



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **37774** (13) **U**
(51) МПК (2006)
G01N 29/00МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ**ОПИС
ДО ПАТЕНТУ
НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ**видається під
відповідальність
власника
патенту**(54) КОРЕЛЯЦІЙНИЙ СПОСІБ ВИМІРЮВАННЯ ШВИДКОСТІ ЗВУКУ В МАТЕРІАЛАХ**

1

2

(21) u200808130

(22) 17.06.2008

(24) 10.12.2008

(46) 10.12.2008, Бюл.№ 23, 2008 р.

(72) СОКОЛОВСЬКИЙ ЯРОСЛАВ ІВАНОВИЧ, UA,
СТОРОЖУК ОЛЕКСАНДР ЛЕОНІДОВИЧ, UA, БО-
РИСОВ ВІКТОР МИХАЙЛОВИЧ, UA(73) НАЦІОНАЛЬНИЙ ЛІСОТЕХНІЧНИЙ УНІВЕР-
СИТЕТ УКРАЇНИ, UA(57) Кореляційний спосіб вимірювання швидкості
звуку в матеріалах, при якому в одному перерізі

зразка матеріалу збуджують зонduючий акустич-
ний сигнал, а в другому його приймають, швид-
кість звуку знаходять діленням відомої відстані між
перерізами на час проходження її звуком, для
зменшення похибки вимірювання компенсують час
затримки сигналу в каналі вимірювання, який **від-
різняється** тим, що час проходження звуку визна-
чають затримкою максимуму взаємної кореляцій-
ної функції коливань в точках збудження та
прийому.

Корисна модель відноситься до
матеріалознавства та може бути використана для
зменшення похибок вимірювання швидкості звуку
при дослідженні методом неруйнівного контролю
фізико-механічних характеристик матеріалів.

Аналогом пропонованому є спосіб визначення
швидкості (ультра)звуку в матеріалах покладений
в основу ультразвукового імпульсного методу
(УІМ), за яким в одному січені зразка матеріалу
збуджують зонduючий акустичний сигнал, а в дру-
гому його приймають, швидкість звуку знаходять
діленням відомої відстані між січеннями (бази про-
зву чування) на час проходження її звуком, для
зменшення похибки вимірювання компенсують час
затримки сигналу в каналі вимірювання. Такий
спосіб використано в ультразвукових імпульсних
приладах УКБ-1, ДУК-20, "Бетон-транзистор", УК-
14 тощо призначених для визначення фізико-
механічних властивостей середовища, через яке
розповсюджуються акустичні хвилі.

Швидкість звуку знаходять за формулою [2]:

$$C=L/t; \quad (1)$$

де: C - швидкість звуку;

L - база прозвучування;

t - час проходження звуку через базу прозвучування.

Відповідно, границя допустимої відносної по-
хибки визначення швидкості звуку становить [3]:

$$\delta C=|\delta L|+|\delta t|; \quad (2)$$

де: δC_i - границя допустимої відносної похибки
визначення швидкості звуку імпульсним методом; δL – границя допустимої відносної похибки ви-
мірювання бази прозвучування; δt - границя допустимої відносної похибки ви-
мірювання часу проходження звуку.Як видно з (2) похибка вимірювання часу про-
ходження є визначальною складовою похибки
знаходження швидкості звуку імпульсним мето-
дом.В реальних приладах для збудження коливань
випромінювача використовується періодичний
короткий імпульс зі стрімким фронтом, як правило
прямокутної або експотенціальної форми, від яко-
го починається відлік часу проходження звуку.В приладах УІМ пристроєм випромінювання
звукової хвилі, як правило, виступає п'єзокераміч-
на пластинка, що має виражені резонансні власти-
вості. Навіть при невеликій добротності ця ланка
суттєво звужує ширину спектру сигналу і, відповід-
но, зменшує крутизну фронту сигналу. Наслідком
зміни спектрального складу є суттєва відмінність
квазігармонійного сигналу, що випромінюється у
зразок, від прямокутного сигналу збудження ви-
промінювача.Ще один етап зменшення ширини спектру і
зміни форми сигналу відбувається на прийомній
стороні зразка, де ще одна п'єзокерамічна пласти-
нка перетворює механічні коливання, що дійшли
до межі бази прозвучування, в електричний сигнал
U(t). Навіть ідеально узгоджена з випромінювачем
по частотних характеристиках прийомна пластин-
ка, ще більше звужує спектр і згладжує фронт
прийнятого сигналу через нерівномірну амплітудну
та нелінійну фазову характеристики [4]. Похилий(13) **U**
(11) **37774**
(19) **UA**

фронт прийнятого сигналу робить результати вимірювання чутливими до рівня шумів.

Додатковим джерелом похибки УІМ є дисперсія швидкості звуку в досліджуваному матеріалі, в наслідок якої не всі частотні компоненти сигналу одночасно досягають приймача. Вона виникає в наслідок фізичних властивостей середовища, присутності неоднорідних включень і наявності границь тіла, в якому розповсюджується хвиля [5]. Дисперсія швидкості звуку спостерігається також в капілярних трубках [5]. Це явище призводить до спотворення форми кожного немонохроматичного сигналу.

Якщо профіль хвилі міняє свою форму, то поняття швидкості такої хвилі у строгому розумінні не має сенсу [5, «групова швидкість»]. В УІМ в якості часу проходження акустичної хвилі вимірюється затримка між простими елементами різних за формою сигналів - фронтом імпульсу збудження випромінювача і переднім фронтом на заданому вибраним критерієм рівні коливання резонансної п'єзокерамічної пластинки на прийомній стороні зразка.

Імпульсний метод визначає час проходження через зразок не визначених наперед, а залежних від матеріалу та конструкції зразка спектральних складових звуку. Час проходження, у такому тлумаченні, визначається тими частотними компонентами сигналу збудження, котрі в більшій мірі пройшли через випромінювач, приймач та зразок, і до того ж розповсюджуються швидше за інші складові.

Необхідність виміряти затримку між сигналами різної форми: призводить до чисельності критеріїв визначення моменту приходу імпульсу в різних приладах УІМ. Серед таких критеріїв зустрічаємо:

- момент перевершення сигналом рівня шумів;
- момент перевершення масштабним прийнятим сигналом наперед встановленого рівня;
- точку перегину осцилограми прийнятого сигналу;
- момент перевершення першою похідною сигналу рівня (першої похідної) шумів

Але жоден з цих критеріїв не враховує різницю частотних характеристик матеріалів, різне затування коливань у зразках та спектру коливань на прийомній стороні, які зумовили появу сигналу на приймачі. Цей критерій лишається одним і тим самим для всіх матеріалів, форм і розмірів зразків, що призводить до фактично різних умов вимірювання часу проходження звуком кожного зразка. А з другого боку різноманіття критеріїв моменту приходу сигналу в різних приладах ускладнює порівняння результатів їх вимірювань.

Корекція систематичної похибки приладів УІМ здійснюється за допомогою комплексу зразків з органічного скла [6]. Такий спосіб не враховує відмінності рівня прийнятого сигналу і частотної залежності параметрів досліджуваного матеріалу і органічного скла.

Якщо моментом приходу акустичного сигналу вважати перевершення певного фіксованого рівня, то похибка виміру часу буде визначатися в основному кінцевою крутизною фронтів радіоімпульсу і рівнем шуму в сигналі приймача. Ця похибка оці-

нюється величиною порядку 1/4 періоду заповнення радіоімпульсу [7].

Про суттєвість впливу частотної залежності властивостей матеріалів на результати вимірювань швидкості звуку УІМ свідчить, наприклад, наявність в приладі УК-14 режиму вимірювання „довжини фронту першої півхвилі прийнятого сигналу” [6]. Таким чином частотні спотворення середовища і вплив дисперсії швидкості звуку визнаються такими, що відбивають властивості матеріалів і є помітними навіть на фоні частотних спотворень п'єзокерамічних пластин, але все одно не враховуються УІМ при вимірюванні швидкості звуку.

Пропонується час проходження звуку визначати затримкою максимуму взаємної кореляційної функції коливань в точках збудження та прийому. Такому критерію відповідає момент проходження крізь січення приймача максимального потоку енергії від випромінювача.

На Фіг.1 показано схему реалізації такого способу. Сигнал генератора 1 періодично збуджує коливання випромінювача 2, який передає їх у зразок 3. Давач 4 перетворює механічні коливання, що пройшли через зразок в електричний сигнал, який подається на перший вхід корелометра 5. На другий вхід якого підключений сигнал з випромінювача 2. Корелометр 5 отримує функцію взаємної кореляції сигналів, що були збуджені у зразку, і тих, що пройшли крізь нього. Затримка, яка відповідає максимуму взаємної кореляційної функції, є часом проходження максимального потоку енергії від випромінювача до приймача.

У пропонованому способі порівнюються за допомогою корелометра реалізації сигналу збуджених у зразку коливань і тих, що пройшли через зразок. Ці сигнали порівнюються не по одному елементу форми, а по всій реалізації, на протязі всього часу поки сигнали відрізняються від нуля. У такий спосіб лишаються не визначеними момент початку і кінця прозвучування, рівні сигналів в ці моменти, зате з найбільшою точністю вимірюється затримка розповсюдження енергії коливань у зразку. Врахування значення сигналів не в один з моментів, а на протязі певного проміжку часу, дозволяє зменшити випадкову складову похибки вимірювання швидкості звуку.

Зміни спектрального складу сигналу під час проходження через зразок, як і дисперсія швидкості звуку, змінюють значення максимуму взаємної кореляційної функції, але не визначають положення цього максимуму на осі затримки - тобто не впливають на результат вимірювання часу проходження коливань через зразок. Неузгодженість частотних характеристик випромінювача і приймача також відбивається на максимальному значенні взаємної кореляційної функції і не впливають на результати вимірювання затримки [1]:

$$|r_{12}(\tau)|_{\max} = \sqrt{\frac{\Delta\omega}{\omega_2 - \omega_1}} * \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{\sigma_n^2}{\sigma_c^2}}} \quad (6)$$

де $|r_{12}(\tau)|_{\max}$ - максимальне значення взаємної кореляційної функції;

$\Delta\omega$ - частотна смуга сигналу, що пройшов через зразок і приймач;

ω_2 - верхня частота сигналу, що був поданий на зразок;

ω_1 - нижня частота сигналу, що був поданий на зразок;

σ_n - середнє квадратичне значення перешкоди;

σ_c - середнє квадратичне значення сигналу на прийомній стороні.

Усереднення перешкод під час розрахунку кореляційної функції, зменшує інтенсивність впливу шумів на результати вимірювання в залежності від вибраних меж інтегрування [1]. На Фіг.2 наведено приклади сигналу з шумами на приймачі, а на Фіг.3 - взаємної кореляційної функції цього сигналу з сигналом поданим у зразок за умови інтегрування по сорока точкам реалізації. У цьому прикладі вибрано рівень шумів значно вищий за реальний для демонстрації стійкості результату

вимірювання швидкості звуку пропонуваним способом до дії перешкод.

Джерела інформації:

1. А.К. Новиков. Статистические измерения в судовой акустике, Л, Судостроение. 1985.

2. Поліщук Є.С., Дорожовец М.М., Яцук В.О., Метрологія та вимірювальна техніка, Львів, Бескид Біт, 2003.

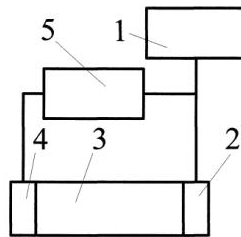
3. Сиберт У.М., Цепи, сигналы, системы: в 2-х частях. Пер. с английского, М., Мир, 1988

4. Ультразвук, под ред. И.П. Голямина

5. ЩЮ2.777.006 РЭ. Прибор ультразвуковой УК-14. Руководство по эксплуатации.

6. О.Я.Шмелёв Относительное измерение скорости и затухания ультразвука в сильнопоглощающих жидкостях, "Измерительная техника", №1, 1995, с.66-67.

7. Боровиков А.М., Уголев Б.И., Справочник по древесине, М, Лесн. пром. 1989.



Фіг. 1



Фіг. 2.



Фіг. 3.