

Корисна модель відноситься до матеріалознавства і деревознавства та може бути використана в деревообробній галузі для дослідження методом неруйнівного контролю фізико-механічних параметрів пиломатеріалів.

Відомий ультразвуковий імпульсний метод (УІМ) заснований на способі визначення швидкості (ультра)звуку в матеріалах, в якому швидкість звуку визначається діленням відстані між пристроєм випромінювання звукової хвилі і пристроєм прийому цієї хвилі (бази прозвучування) на час проходження звуковим імпульсом вказаної відстані. Такий метод використано в ультразвукових імпульсних приладах УКБ-1, ДУК-20, "Бетон-транзистор", для визначення фізико-механічних властивостей середовища, через яке розповсюджуються хвилі. Для зменшення похибки вимірювання часу проходження звуком (бази прозвучування) передбачається компенсація часу затримки сигналу у каналі вимірювання. В УІМ використовуються зондувальні радіо імпульси, що випромінюються у середовище один за одним з певним інтервалом. Частота заповнення зондувального імпульсу є ультразвуковою. Швидкість звуку знаходять за формулою [1, (2.90)]:

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

де:

C - швидкість звуку;

L - база прозвучування;

t - час проходження звуку через базу прозвучування.

Відповідно, границя допустимої відносної похибки визначення швидкості звуку становить [2]:

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

де:

δC_i - границя допустимої відносної похибки визначення швидкості звуку імпульсним методом;

δL - границя допустимої відносної похибки вимірювання бази прозвучування;

δt - границя допустимої відносної похибки вимірювання часу проходження звуку.

Прилад УКБ-1 працює наступним чином. Імпульсний генератор виробляє прямокутний сигнал з частотою повторення сигналів, який подається на модулятор і схему розгортки індикатора. Модулятор перетворює ці імпульси в зондувальні радіоімпульси з ультразвуковою частотою заповнення, що по високочастотному кабелю надходять на випромінювач. Де перетворюються в механічні коливання (зворотний п'єзоефект). Одночасно запускається горизонтальна розгортка індикатора, яка виконує функції обліку часу. Механічні коливання після проходження звуку через взірець попадають на приймач і завдяки прямому п'єзоефекту перетворюються знову в електричний імпульс. Цей імпульс після підсилення подається на вертикальну розгортку і візуалізує момент приходу звуку до приймача. Таким чином часу проходження звуку через взірець відповідає відстань на екрані індикатора від початку розгортки до початку імпульсу. За допомогою регульованої затримки горизонтальної розгортки вказана відстань вимірюється для отримання числового виразу часу проходження. Для зменшення похибки вимірювання передбачається компенсація часу затримки сигналу у каналі вимірювання.

УІМ широко застосовують для вивчення властивостей деревини. Особливістю деревини є значна анізотропія та мінливість властивостей матеріалу у просторі, внаслідок чого, для «достатньо довгого стержня» [3] отримують усереднене значення швидкості звуку. Ця особливість робить актуальним визначення швидкості звуку для найменших ділянок матеріалу при незначній нерівномірності структури. В деревознавстві вважається, що розміром найменшого взірця, якому вже притаманні властивості матеріалу, є розмір п'яти річних шарів. Як правило цей розмір належить інтервалу від 0,01 до 0,03м.

Зважаючи на велику швидкість звуку в деревині при зменшенні розмірів зразка недовілкою УІМ стає збільшення похибки вимірювання малих проміжків часу. Приймавши швидкість звуку в деревині $C=5360\text{м/с}$ ([3], сосна), а розмір взірця $L=0,02\text{м}$ визначимо час проходження звуку через взірець t:

$$t=L/C=0,02/5360=3,7313\text{E}-06=3,7313\text{мкс} \quad (3)$$

При абсолютній похибці вимірювання часу проходження рівною 0,1мкс, границя допустимої відносної похибки вимірювання такого проміжку часу буде дорівнювати:

$$\delta t=0,1*100\%/3,7313=2,68\% \quad (4)$$

Зауважимо, що приведена похибка вимірювання часу розповсюдження ультра звукових коливань за допомогою УКБ-1 становить 1%, у найменшому діапазоні від 0 до 1000мкс. Це відповідає 10мкс в абсолютному значенні, що у 100 разів більше прийнятому в (4). Будемо вважати зниження похибки результатом індивідуальної калібровки приладу.

Якщо вимірювання бази прозвучування, яка становить 0,02м, виконувати за допомогою звичайного мікрометра, що має похибку 0,01мм, то границя допустимої відносної похибки вимірювання бази прозвучування δL буде становити:

$$\delta L=0,01\text{мм}/20\text{мм}=0,05\%.$$

Згідно (2) знаходимо границю допустимої відносної похибки вимірювання швидкості звуку:

$$\delta C=|\delta L|+|\delta t|=2,68\%+0,05\%=2,73\%.$$

Для вимірювання такого проміжку часу можна застосувати більш сучасний високочастотний універсальний частотомір-лічильник-фазометр АХ4105, що має прецизійний опорний датчик частоти 150МГц, 9 цифрових знаків, роздільну здатність вимірювання часового інтервалу - 7нс. Крім того, цей прилад дозволяє вимірювати середнє значення фази в діапазоні від 0 до 360 градусів з похибкою не більшою $7*0,000000001$ [4]. Припустимо, що вимірювання часу затримки сигналу здійснюється саме таким приладом.

Похибка вимірювання часового інтервалу цифровим приладом має чотири складові. ([5]; табл.10.2): 35

$$\Delta_t=\Delta_f+\Delta_c+\Delta_s+\Delta_{sis};$$

де

Δ_t - абсолютна сумарна похибка вимірювання часового інтервалу;

Δ_f - абсолютна похибка зумовлена нестабільністю опорної частоти приладу;

Δ_c - абсолютна похибка селектора;

Δ_3 - абсолютна похибка запуску, що виникає через накладення шумів на сигнал;

Δ_{sis} - абсолютна систематична похибка.

Навіть якщо вважати, що похибки нестабільності опорної частоти немає зовсім ($\Delta f=0$), сигнал сприймається чистим, без шумів ($\Delta_3=0$), а систематичною похибкою навіть на інтервалі у 7 наносекунд можна знехтувати ($\Delta_{\text{sis}}=0$), то і тоді за рахунок похибки селектора абсолютна похибка вимірювання часу проходження звуку через взірць становитиме $\Delta t \approx \pm 0,007 \text{ мкс}$ ([5]; табл. 10.2) або у відносному вираженні:

$$\delta t_i \approx 0,007 * 100\% / 3,7313 = 0,1876\%;$$

де δt_i - границя допустимої відносної похибки визначення часу проходження звуку через взірць;

а границя допустимої відносної похибки вимірювання швидкості звуку приладом УІМ становитиме:

$$\delta C_i = |\delta L| + |\delta t_i| = 0,1876\% + 0,05\% = 0,2376\%.$$

Недоліки способу УІМ при дослідженні малих взірців впливають з необхідності вимірювати короткий часовий інтервал фактично за одне проходження фронту імпульсу.

Суть запропонованої корисної моделі – у використанні для визначення швидкості звуку безперервного гармонійного сигналу. Такому сигналу відповідає значно більша енергія, він дає змогу проводити вимірювання тривалий час і, в результаті, знизити похибки вимірювання.

Поставлена мета досягається тим, що у взірці вібратором збуджуються безперервні гармонічні коливання відомої частоти, а по різниці фаз коливань на випромінювачі та давачі (далі: різниці фаз) знаходять швидкість звуку.

В основі роботи цифрових фазометрів і частотомірів всіх систем лежить принцип перетворення вимірюваного кута різниці фаз у часовий інтервал, тривалість якого пропорційна значенню вимірюваної величини. Фазометри з безпосереднім перетворенням значення тривалості тимчасового інтервалу в код, у свою чергу, підрозділяються на дві групи: з виміром за один період і з виміром за декілька періодів вхідних напруг. Фазометри першої групи називаються фазометрами миттєвого значення, а другої групи – фазометрами середнього значення. Фазометри середнього значення, які називають також фазометрами з постійним часом виміру, завдяки високим метрологічним характеристикам одержали найбільше поширення [6]. Як частотомірам так і фазометрам середнього значення притаманна залежність похибки вимірювання від часу вимірювання: чим менший час вимірювання, тим більша похибка.

Вибравши прилад з більшим часом вимірювання можна отримати меншу похибку.

На Фігурі зображено схему пристрою, що реалізує фазовий спосіб вимірювання швидкості звуку. Генератор гармонічних коливань 1 через вібратор 2 збуджує в січненні А акустичну хвилю, що розповсюджується по зразку 3. В січненні зразка В на шляху розповсюдження акустичної хвилі на відомій відстані L від А розташований давач 4. Його сигнал після проходження підсилювача 5 надходить на фазометр 6. На другий вхід фазометра 6, через вузол компенсації затримки каналу вимірювання 7 і на частотомір 8 подають сигнал з генератора 1. Функціонально довершені фазометри можуть мати підсилювач 5 у своєму складі. На рисунку додатково показані: фрагмент форми хвилі 9, що розповсюджується по зразку 3, а також векторну діаграму 10, що показує вимірюваний фазометром 6 кут між векторами коливань в січеннях А та В.

Довжина хвилі λ в середовищі відповідає зміні фазового кута коливань на 360 градусів. Відстані L між січеннями А і В буде відповідати куту φ , що його вимірює фазометр 6. Перелічені вище параметри зв'язані такими залежностями:

$$\lambda = C/f;$$

$$\lambda/360 = L/\varphi,$$

звідки знаходимо

$$C = \lambda * f = L * f * 360/\varphi,$$

де:

λ - довжина акустичної хвилі;

C - швидкість звуку;

f - частота коливань;

L - база прозвучування;

φ - вимірюваний фазометром 6 кут між векторами коливань в січеннях А та В (град).

Оцінимо значення похибки вимірювання швидкості звуку запропонованим способом:

$$\delta C_\varphi = |\delta L| + |\delta f| + |\delta \varphi|;$$

де:

δC_φ - границя допустимої відносної похибки вимірювання швидкості звуку фазовим способом;

δL - границя допустимої відносної похибки вимірювання бази прозвучування;

δf - границя допустимої відносної похибки вимірювання частоти коливання;

$\delta \varphi$ - границя допустимої відносної похибки вимірювання різниці фаз.

Різниця фаз при визначенні швидкості звуку запропонованим способом на вказаному взірці буде складати кут:

$$\varphi = L * f * 360^\circ / C = 0,02 * 250000 * 360^\circ / 5360 = 335,82^\circ$$

де:

C = 5360 м/с - швидкість звуку;

F = 250 кілогерц - частота коливань;

L = 0,02 м - база прозвучування;

360° - діапазон вимірювання.

Якщо для вимірювання різниці фаз використати прилад АХ4105, котрий має абсолютну похибку діапазону $\Delta \varphi = 360^\circ * 7 * 0,000000001 = 0,0000252^\circ$, то границя відносної похибки вимірювання різниці фаз буде становити:

$$\delta \varphi = \Delta \varphi / \varphi = 0,0000252^\circ / 335,82^\circ = 7,50402 \text{E-}09 \approx 0,00000075\%.$$

При цьому границя допустимої відносної похибки вимірювання швидкості звуку фазовим способом буде мати

значення:

$$\delta C_{\Phi} = |\delta L| + |\delta f| + |\delta \varphi| = 0,05\% + 7 \cdot 10^{-9} + 7,5 \cdot 10^{-9} \approx 0,05\%.$$

Розглянемо варіант вимірювання різниці фаз за допомогою фазометра Ф2-16, який має в діапазоні від 0 до 360° абсолютну похибку вимірювання різниці фаз значно більшу $\Delta_{\varphi 1} = 0,2^\circ$. Для цього приладу границя допустимої відносної похибки вимірювання дорівнюватиме $\delta_{\varphi 1} = 0,2^\circ \cdot 100\% / 336^\circ \approx 0,06\%$, і тоді при використанні Ф2-16 границя допустимої відносної похибки вимірювання швидкості звуку фазовим способом буде становити:

$$\delta C_{\Phi 1} = |\delta L| + |\delta f| + |\delta \varphi_1| = 0,05\% + 7 \cdot 10^{-9}\% + 0,06\% \approx 0,11\%.$$

І у такому випадку похибка фазового способу виявляється меншою за навіть при умові нехтування трьома з чотирьох складових похибки імпульсного методу ($\delta C_i \approx 0,2376\%$), до того ж реалізованому приладом вищого класу точності.

Джерела інформації:

1. Вінтонів І.С., Сопушинський І.М., Тайшінґер А., Деревинознавство, навчальний посібник, - Львів, РВВ УкрДЛТУ, 2005.
2. Поліщук Є.С., Дорожовець М.М., Яцук В.О. та ін., Метрологія та вимірювальна техніка, Підручник За ред. проф. Є.С. Поліщука, - Львів, "Бескид Біт", 2003.
3. Боровиков А.М., Уголев Б.Н., Справочник по древесине, Справочник// Под ред. Б.Н. Уголева. - М.: Лесн. пром-сть, 1989.
4. www.guidobadaloni.com
5. Мейзда Ф., Электронные измерительные приборы и методы измерений, - М.: Мир, 1990.
6. www.niedcenter.mirea.ru. Практикум по основам измерительных технологий, МИРЭА, Кафедра информационных систем.

