

Здоренко В.Г.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Барилко С.В.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Лісовець С.М.

Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського

Ківа І.Л.

Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського

ПІДВИЩЕННЯ ДОСТОВІРНОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ ШВИДКОСТІ АКУСТИЧНИХ КОЛИВАНЬ В ЛИСТОВИХ МАТЕРІАЛАХ

Як відомо, в різних галузях промисловостей під час виробництва часто використовуються листові матеріали. До них відносяться такі матеріали, як фаніра, деревинностружкові плити, неткані матеріали, текстиль, шкіра і багато інших. Їх головна особливість полягає в тому, що вони мають великі значення довжини і ширини, але невелике значення товщини. Однією з важливих властивостей таких матеріалів при здійсненні їх неруйнівного контролю є швидкість розповсюдження в них акустичних коливань (якщо такий матеріал є однорідним) або усереднена швидкість (якщо такий матеріал є неоднорідним). За такою швидкістю можна визначити інші властивості листових матеріалів, наприклад, їх міцність. Так як при здійсненні неруйнівного акустичного контролю електроакустичний перетворювач і листовий матеріал, зазвичай, знаходяться на певній відстані, то це додаткове середовище розповсюдження акустичних коливань (наприклад, повітря) може вносити в результат контролю значну похибку. Тому метою дослідження було виключення або зменшення до мінімально можливого впливу на результат контролю середовища між електроакустичним перетворювачем і листовим матеріалом. Суть такого контролю полягала в тому, що зондуючі пакети акустичних коливань через середовище розповсюдження випромінювалися в сторону листового матеріалу, де відбувалося їх багаторазове відбиття від зовнішньої і внутрішньої поверхонь листового матеріалу. Далі шляхом використання стробування оброблялися тільки ті пакети, які були необхідні для отримання результату контролю, а інші пакети відсіювалися. В результаті такої обробки усереднена швидкість акустичних коливань в листовому матеріалі визначалася тільки на основі часу відбиття необхідних пакетів акустичних коливань і товщини листового матеріалу, а властивості додаткового середовища розповсюдження акустичних коливань (зокрема, повітря) в розрахунки не входили. Таким чином, достовірність визначення швидкості акустичних коливань в листових матеріалах підвищувалася. Для деяких листових матеріалів такий неруйнівний акустичний контроль було здійснено експериментально.

Ключові слова: внутрішня поверхня, зовнішня поверхня, листовий матеріал, неруйнівний акустичний контроль, пакет коливань, швидкість акустичних коливань.

Постановка проблеми. Під час виробництва різноманітних виробів в різних галузях промисловостей часто використовуються матеріали, один з розмірів яких є невеликим відносно інших двох розмірів. Це так звані листові матеріали. Вони можуть мати великі значення довжини і ширини, але невелике значення товщини. Листових матеріалів є досить багато, вони сильно відрізняються один від одного за своїми властивостями. Напри-

клад, в будівництві часто використовується фаніра і деревинностружкові плити, при виробництві автотранспортних засобів – неткані матеріали, при виготовленні одягу і взуття – текстиль і шкіра. Такий перелік можна довго продовжувати.

Для забезпечення заданих властивостей таких матеріалів як в процесі виготовлення, так і в процесі експлуатації застосовуються різні види контролю [1; 2]. Причому перевага зазвичай

надається контролю неруйнівному, так як при цьому матеріал, який контролюється, остається неушкодженим. Одним з таких неруйнівних контролів є неруйнівний акустичний контроль [3–5]. Зазвичай він здійснюється або методом відбиття, або методом проходження, або одночасно двома такими методами [6; 7]. При такому контролі використовуються випромінюючі і приймаючі електроакустичні перетворювачі, які взаємодіють з матеріалом, що контролюється, шляхом відповідно випромінення і приймання акустичних (пружних) коливань. Особливо зручно застосовувати акустичний контроль для листових матеріалів, так як зміна місця контролю зазвичай досягається зміною положення відповідних електроакустичних перетворювачів.

Однією з властивостей матеріалів, які контролюються, є швидкість розповсюдження в них акустичних коливань (якщо такий матеріал є однорідним) або усереднена швидкість (якщо такий матеріал є неоднорідним) [8]. В загальному випадку за значенням швидкості можна визначити задану властивість матеріалу, а за зміною швидкості – відповідно зміну такої властивості. Наприклад, при відшаруванні шарів форніра один від одного його міцність буде зменшуватися, і при цьому усереднена швидкість акустичних коливань через товщу форніра також буде зменшуватися (в основному за рахунок появи додаткових прошарків повітря).

При здійсненні неруйнівного акустичного контролю одним з факторів, який впливає на такий контроль, є середовище між електроакустичними перетворювачами і матеріалом, який контролюється. Таким середовищем може бути повітря або узгоджувальний шар (наприклад, у вигляді імер-

сійної рідини). Часто властивості такого середовища можуть змінюватися з часом: типовим є зміна температури повітря і товщини імерсійної рідини. Отже, достовірність визначення швидкості акустичних коливань в матеріалах (зокрема, в листових) можна підвищити, якщо виключити або зменшити до мінімально можливого вплив на результат контролю середовища між електроакустичними перетворювачами і матеріалом.

В загальному випадку спосіб визначення швидкості акустичних коливань на основі часу проходження цих коливань через середовище, яке контролюється, є відомим [9; 10]. Зокрема, пристрій [10] було обрано в якості прототипу. Метою проведеного дослідження, результати якого відображаються в статті, було вдосконалення існуючого способу визначення швидкості акустичних коливань і його експериментальна перевірка на деяких листових матеріалах.

Основний текст статті. Таке вдосконалення існуючого способу визначення швидкості акустичних коливань в листовому матеріалі було реалізоване за допомогою пристрою, структура якого наведена на рис. 1. До його складу входять генератор пакетів електричних коливань 1, підсилювач потужності 2, електроакустичний перетворювач 3, попередній підсилювач 4, блок стробування 5, амплітудний детектор 6, формувач імпульсів 7, тригер 8, вимірювальний прилад 9, частотомір 10, повітря (узгоджувальний шар) 11 і листовий матеріал 12.

На початку n -го циклу вимірювання генератор пакетів електричних коливань 1 формує зондуючий пакет електричних коливань, який підсилюється підсилювачем потужності 2 і надходить на електроакустичний перетворювач 3. Одночасно

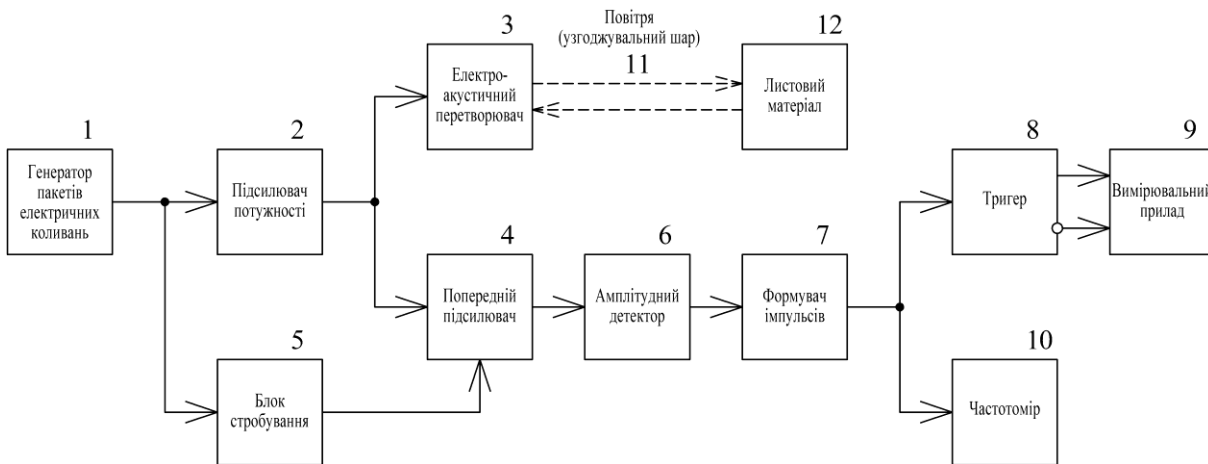


Рис. 1. Структура пристрою для визначення швидкості акустичних коливань в листовому матеріалі

з цим цей зонduючий пакет електричних коливань надходить на попередній підсилювач 4 – але блок стробування 5 на заданий час відключає попередній підсилювач 4 таким чином, щоб зонduючий пакет електричних коливань далі на амплітудний детектор 6 не потрапив.

Електроакустичний перетворювач 3 перетворює зонduючий пакет електричних коливань в зонduючий пакет акустичних коливань, який через повітря (узгоджувальний шар) 11 надходить в листовий матеріал 12 (див. рис. 2). При надходженні зонduючого пакета акустичних коливань в листовий матеріал 12 виникає 1-й пакет акустичних коливань, який відбився від зовнішньої поверхні листового матеріалу 12. 1-й пакет акустичних коливань, який відбився від зовнішньої поверхні листового матеріалу 12, перетворюється електроакустичним перетворювачем 3 в пакет електричних коливань і надходить на попередній підсилювач 4 – але блок стробування 5 на заданий час відключає попередній підсилювач таким чином, щоб цей пакет електричних коливань далі на амплітудний детектор 6 не потрапив.

Таким чином, блок стробування 5 відключає попередній підсилювач 4 в наступних двох випад-

ках: при надходженні на нього зонduючого пакета електричних коливань і пакета електричних коливань, що отриманий в результаті перетворення в нього 1-го пакета акустичних коливань, який відбився від зовнішньої поверхні листового матеріалу 12.

Зонduючий пакет акустичних коливань, який надійшов на листовий матеріал 12, також проходить крізь нього у вигляді 1-го пакета акустичних коливань, який пройшов зовнішню поверхню листового матеріалу 12, і відбивається від внутрішньої поверхні листового матеріалу 12. 1-й пакет акустичних коливань, який відбився від внутрішньої поверхні листового матеріалу 12, проходить листовий матеріал 12 в зворотному напрямі і далі проходить через його зовнішню поверхню. При цьому формуються 2-й пакет акустичних коливань, який пройшов зовнішню поверхню листового матеріалу 12, і 2-й пакет акустичних коливань, який відбився від зовнішньої поверхні листового матеріалу 12. 2-й пакет акустичних коливань, який пройшов зовнішню поверхню листового матеріалу 12, перетворюється електроакустичним перетворювачем 3 в пакет електричних

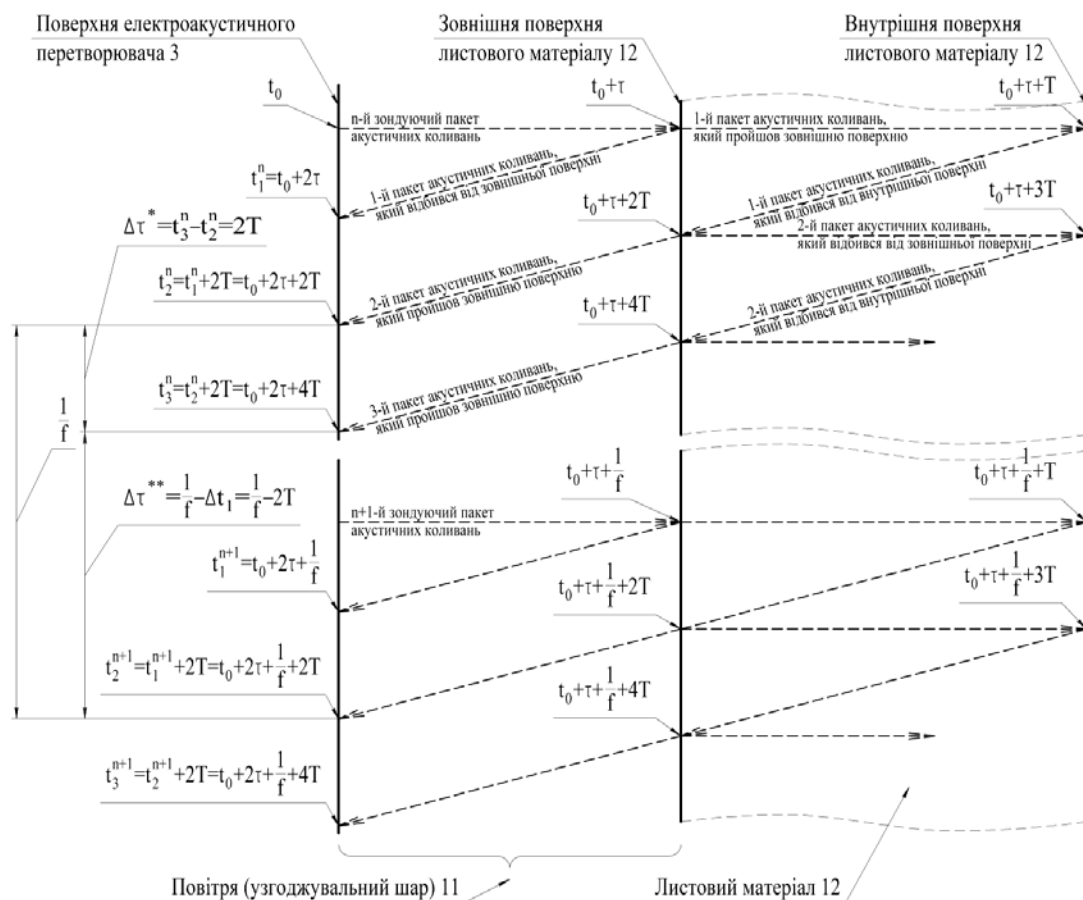


Рис. 2. Розподіл акустичних коливань в листовому матеріалі

коливань і надходить на попередній підсилювач 4 – причому блок стробування 5 на заданий час підключає попередній підсилювач 4 таким чином, щоб цей пакет електричних коливань на амплітудний детектор 6 потрапив.

2-й пакет акустичних коливань, який відбився від зовнішньої поверхні листового матеріалу 12, проходить крізь нього і відбивається від внутрішньої поверхні листового матеріалу 12. 2-й пакет акустичних коливань, який відбився від внутрішньої поверхні листового матеріалу 12, проходить листовий матеріал 12 в зворотному напрямі і далі проходить через його зовнішню поверхню. При цьому формується 3-й пакет акустичних коливань, який пройшов зовнішню поверхню листового матеріалу 12. Цей пакет перетворюється електроакустичним перетворювачем 3 в пакет електричних коливань і надходить на попередній підсилювач 4 – причому блок стробування 5 на заданий час підключає попередній підсилювач 4 таким чином, щоб цей пакет електричних коливань на амплітудний детектор 6 потрапив.

В результаті на виході попереднього підсилювача 4 формується періодична послідовність з двох різних пакетів електричних коливань: пакетів електричних коливань, що отримані в результаті перетворення в них 2-х пакетів акустичних коливань, які пройшли зовнішню поверхню листового матеріалу 12, і пакетів електричних коливань, що отримані в результаті перетворення в них 3-х пакетів акустичних коливань, які пройшли зовнішню поверхню листового матеріалу 12. З цих пакетів електричних коливань амплітудний детектор 6 і формувач імпульсів 7 формують короткі електричні імпульси, які надходять на тригер 8. Причому “порог спрацьовування” амплітудного детектора 6 і формувача імпульсів 7 обирається таким чином, щоб пакети електричних коливань, що отримані в результаті перетворення в них 4-х, 5-х, 6-х і так далі пакетів акустичних коливань, які пройшли зовнішню поверхню листового матеріалу 12, не приводили до формування додаткових коротких електричних імпульсів.

Тригер 8 має два входи: один з них є прямим, а інший є інверсним. Таким чином, тригер 8 перемикається в одне положення (і формує напругу одного рівня) з частотою надходження пакетів електричних коливань, що отримані в результаті перетворення в них 2-х пакетів акустичних коливань, які пройшли зовнішню поверхню листового матеріалу 12, і в інше положення (і формує напругу іншого рівня) з частотою надходження пакетів електричних коливань, що отри-

мані в результаті перетворення в них 3-х пакетів акустичних коливань, які пройшли зовнішню поверхню листового матеріалу 12. Тривалість Δt^* напруги одного рівня визначається часовим інтервалом між: приходом 2-го пакету акустичних коливань, який пройшов зовнішню поверхню листового матеріалу 12 в n -му циклі вимірювання, і приходом 3-го пакету акустичних коливань, який пройшов зовнішню поверхню листового матеріалу 12 в n -му циклі вимірювання. Тривалість Δt^{**} напруги іншого рівня визначається часовим інтервалом між: приходом 3-го пакету акустичних коливань, який пройшов зовнішню поверхню листового матеріалу 12 в n -му циклі вимірювання, і приходом 2-го пакету акустичних коливань, який пройшов зовнішню поверхню листового матеріалу 12 в $n + 1$ -му циклі вимірювання. Вимірювальний прилад 9 дозволяє ці тривалості Δt^* і Δt^{**} вимірювати. Припускається, що зондуєчий пакет акустичних коливань надходить через повітря (узгоджувальний шар) 11 в листовий матеріал 12 періодично. Також припускається, що часові затримки в електричних блоках пристрою, за виключенням електроакустичного перетворювача 3, або відсутні, або ними можна нехтувати.

Пакет електричних коливань, що отриманий в результаті перетворення в нього 1-го пакета акустичних коливань, який відбився від зовнішньої поверхні листового матеріалу 12, надійде на попередній підсилювач 4 в момент часу

$$t_1^n = t_0 + 2\tau, \quad (1)$$

де t_0 – час появи зондуєчого пакета електричних коливань на вході електроакустичного перетворювача 3 в n -му циклі вимірювання; τ – часова затримка в електроакустичному перетворювачі 3 і повітрі (узгоджувальному шарі) 11.

Так як в момент часу t_1^n попередній підсилювач 4 є відключеним блоком стробування 5, то цей пакет електричних коливань далі на амплітудний детектор 6 не потрапляє.

Пакет електричних коливань, що отриманий в результаті перетворення в нього 2-го пакета акустичних коливань, який пройшов зовнішню поверхню листового матеріалу 12, надійде на попередній підсилювач 4 в момент часу

$$t_2^n = t_1^n + 2T = t_0 + 2\tau + 2T, \quad (2)$$

де T – час проходження пакетами акустичних коливань відстані між зовнішньою і внутрішньою поверхнями листового матеріалу 12.

Так як в момент часу t_2^n попередній підсилювач 4 є підключеним блоком стробування 5, то цей

пакет електричних коливань далі на амплітудний детектор 6 потрапляє.

Пакет електричних коливань, що отриманий в результаті перетворення в нього 3-го пакета акустичних коливань, який пройшов зовнішню поверхню листового матеріалу 12, надійде на попередній підсилювач 4 в момент часу

$$t_3^n = t_2^n + 2T = t_0 + 2\tau + 4T. \quad (3)$$

Так як в момент часу t_3^n попередній підсилювач 4 є підключеним блоком стробування 5, то цей пакет електричних коливань далі на амплітудний детектор 6 потрапляє.

Пакети електричних коливань, що отримані в результаті перетворення в них 4-го, 5-го, 6-го і так далі пакетів акустичних коливань, які пройшли зовнішню поверхню листового матеріалу 12, також надходять на попередній підсилювач 4 через часові інтервали, які кратні $2T$, але амплітудний детектор 6 і формувач імпульсів 7 їх далі не пропускає, так як їх амплітуда стає менше "порога спрацьовування".

В $n+1$ -му циклі вимірювання пакет електричних коливань, що отриманий в результаті перетворення в нього 1-го пакета акустичних коливань, який відбився від зовнішньої поверхні листового матеріалу 12, надійде на попередній підсилювач 4 в момент часу

$$t_1^{n+1} = t_0 + 2\tau + \frac{1}{f}, \quad (4)$$

де f – початкова частота слідування зондуючих пакетів електричних коливань.

Початкова частота f вимірюється за допомогою частотоміра 10.

Пакет електричних коливань, що отриманий в результаті перетворення в нього 2-го пакета акустичних коливань, який пройшов зовнішню поверхню листового матеріалу 12, надійде на попередній підсилювач 4 в момент часу

$$t_2^{n+1} = t_1^{n+1} + 2T = t_0 + 2\tau + \frac{1}{f} + 2T. \quad (5)$$

Пакет електричних коливань, що отриманий в результаті перетворення в нього 3-го пакета акустичних коливань, який пройшов зовнішню поверхню листового матеріалу 12, надійде на попередній підсилювач 4 в момент часу

$$t_3^{n+1} = t_2^{n+1} + 2T = t_0 + 2\tau + \frac{1}{f} + 4T. \quad (6)$$

Таким чином, короткі електричні імпульси на тригер 8 будуть надходити в моменти часу t_2^n і t_2^{n+1} .

Отже, тригер 8 буде формувати напругу одного рівня протягом часового інтервалу

$$\Delta\tau^* = t_3^n - t_2^n = (t_0 + 2\tau + 4T) - (t_0 + 2\tau + 2T) = 2T, \quad (7)$$

і формувати напругу іншого рівня протягом часового інтервалу

$$\Delta\tau^{**} = \frac{1}{f} - \Delta\tau_1 = \frac{1}{f} - 2T. \quad (8)$$

Різниця між часовим інтервалами $\Delta\tau^*$ і $\Delta\tau^{**}$ вимірюється за допомогою вимірювального приладу 9. Якщо, наприклад, виконується умова $\Delta\tau^* \neq \Delta\tau^{**}$, то показання цього приладу будуть ненульовими.

Далі необхідно змінювати частоту f генератора пакетів електричних коливань 1 до значення f^* доти, поки показання цього приладу не стануть нульовими. При цьому при зближенні $\Delta\tau_1$ та $\Delta\tau_2$ 3-й пакет акустичних коливань, який пройшов зовнішню поверхню листового матеріалу 12 в n -му циклі вимірювання, починає співпадати з 1-м пакетом акустичних коливань, який відбився від внутрішньої поверхні листового матеріалу 12 в $n+1$ -му циклі вимірювання.

Якщо виконується умова $\Delta\tau_1 = \Delta\tau_2$, то ці пакети повністю співпадають, і при цьому блок стробування 5 відключає попередній підсилювач 4 таким чином, щоб 1-й пакет акустичних коливань, який відбився від внутрішньої поверхні листового матеріалу 12 в $n+1$ -му циклі вимірювання (а разом з ним і 3-й пакет акустичних коливань, який пройшов зовнішню поверхню листового матеріалу 12 в n -му циклі вимірювання) далі на амплітудний детектор 6 не потрапили.

Таким чином, на тригер 8 будуть надходити тільки 2-і пакети акустичних коливань, які відбилися від внутрішньої поверхні листового матеріалу 12 в n -му і $n+1$ -му циклах вимірювання.

З умови $\Delta\tau^* = \Delta\tau^{**}$ можна отримати, що

$$2T = \frac{1}{f^*} - 2T, \quad (9)$$

звідки

$$T = \frac{1}{4f^*}. \quad (10)$$

Якщо товщина L листового матеріалу 12 відома, то усереднена швидкість розповсюдження в ньому акустичних коливань становить

$$c = \frac{L}{T} = 4f^*L. \quad (11)$$

Як можна побачити з формули (11), часова затримка τ в електроакустичному перетворю-

вачі 3 і повітрі (узгоджувальному шарі) 11 в неї не входить. У порівнянні з прототипом [10] розроблене обладнання було удосконалене шляхом застосування електроакустичного перетворювача з покращеними властивостями і засобів обчислювальної техніки.

Висновки. В статті показано, що, застосовуючи вибіркового аналізу багаторазового відбиття пакетів акустичних коливань від зовнішньої і внутрішньої поверхонь листового матеріалу, можна підвищити достовірність визначення швидкості акустичних коливань в такому матеріалі.

Список літератури:

1. ГОСТ 18353-79 Контроль неразрушающий. Классификация видов и методов.
2. Радько О.В., Медведєва Н.А., Кремешний О.І. Вибір методів контролю якості конструкційних елементів машин та механізмів. *Системи озброєння і військова техніка: науковий журнал*. Х. : Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, 2015. № 2 (42). С. 127–130.
3. Лазарев М.І., Шматков Д.І. Неруйнуючий контроль технічних об'єктів у схемах : навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. Харків : УПА, 2012. 162 с.
4. Скальський В.Р., Сулим Г.Т. Основи акустичних методів неруйнівного контролю. Львів: Видав. центр ЛНУ ім. Івана Франка, 2010. 386 с.
5. Неразрушающий контроль. В 5 кн. Кн. 2. Акустические методы контроля : практ. пособие / И.Н. Ермолов, Н.П. Алешин, А.И. Потапов; Под ред. В.В. Сухорукова. М. : Высш. шк., 1991. 283 с.: ил.
6. Киттель Ч. Введение в физику твёрдого тела М. : Наука, 1978. 791 с.
7. Гринченко В.Т., Вовк И.В., Маципура В.Т. Основы акустики : учебное пособие. К. : Наукова думка, 2007. 640 с.
8. Бреховских Л.М. Волны в слоистых средах. М. : Наука, 1973. 343 с.
9. Патент № 50186. Україна. МПК G01H 7/00. Спосіб вимірювання часу проходження акустичних імпульсів. – Київський національний університет технологій та дизайну; Скрипник Ю.О., Лісовець С.М. № u200913061; Заявл. 15.12.2009 ; Опубл. 25.05.2010, Бюл. № 10.
10. Лісовець С.М., Скрипник Ю.О. Вимірювання часу проходження акустичних імпульсів в твердотільних середовищах. *Вісник КНУТД*. 2010. № 1 (51). С. 17–23.

Zdorenko V.H., Barylko S.V., Lisovets S.M., Kiva I.L. IMPROVING RELIABILITY OF DETERMINATION OF SPEED OF ACOUSTIC OSCILLATIONS IN SHEET MATERIALS

As is known, sheet materials are often used in various industries. These include materials such as plywood, particle boards, nonwoven materials, textiles, leather and many others. Their main feature is that they have large values of length and width, but a small value of thickness. One of the important properties of such materials when performing non-destructive testing is the speed of propagation of acoustic oscillations in them (if such material is homogeneous) or the average speed (if such material is heterogeneous). Other properties of the sheet materials, such as their strength, can be determined by this speed. Since the electroacoustic transducer and the sheet material are usually at a certain distance when performing nondestructive acoustic testing, this additional medium of propagation of acoustic oscillations (for example, air) can introduce a significant error into the test result. Therefore, the aim of the study was to eliminate or reduce to the minimum possible effect on the result of medium control between the electroacoustic transducer and the sheet material. The essence of such a control was that sounding packets of acoustic vibrations through the propagation medium were radiated towards the sheet material, where they were repeatedly reflected from the outer and inner surfaces of the sheet material. Then, only those packets that were needed to obtain the result of the control were processed by using strobing, and the remaining packets were screened out. As a result of such processing, the average acoustic vibration rate in the sheet material was determined only on the basis of the reflection time of the necessary acoustic vibration packets and the thickness of the sheet material, and the properties of the additional acoustic vibration propagation medium (in particular air) were not included in the calculations. Thus, the reliability of determining the speed of acoustic oscillations in sheet materials increased. For some sheet materials, such nondestructive acoustic testing was carried out experimentally.

Key words: internal surface, external surface, sheet material, nondestructive acoustic test, vibration package, acoustic vibration rate.