

УДК 677.017

ЗДОРЕНКО В. Г., БАРИЛКО С. В., ЛІСОВЕЦЬ С. М.,  
ШИПКО Д. О., ВАСИЛЕНКО В. М.

Київський національний університет технологій та дизайну

### ВІДБИТТЯ УЛЬТРАЗВУКОВИХ ХВИЛЬ ВІД ДВОШАРОВОГО ПАКЕТУ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ ЗІ ЩІЛЬНИМ ВЕРХНІМ ШАРОМ

**Мета.** Отримати та показати у загальному вигляді вираз для модуля комплексного коефіцієнта відбиття ультразвукових хвиль від двошарового пакету текстильних матеріалів зі щільним верхнім шаром. Зазначене необхідне для можливості безконтактного контролю таких матеріалів.

**Методика.** У роботі для аналізу процесу відбиття хвиль від контрольованого матеріалу використаний метод суперпозиції зондуючих коливань.

**Результати.** У загальному вигляді показано вираз для комплексного коефіцієнта відбиття ультразвукових хвиль від двошарового пакету текстильних матеріалів зі щільним верхнім шаром. Доведено, що, враховуючи повне згасання перевідбитих хвиль у шарі першого складового матеріалу, можна спростити основні вирази для комплексного коефіцієнта відбиття від текстильного пакету. Показано, що залежність зміни амплітуди відбитих ультразвукових хвиль для наведеного в роботі текстильного пакету від зміни товщин його шарів дуже мала. Зміну амплітуди відбитих хвиль для таких матеріалів, в основному, спричиняє щільніший верхній шар пакету.

**Наукова новизна.** Отримано залежності дійсної та уявної частини комплексного коефіцієнта відбиття ультразвукових хвиль від двошарового пакету текстильних матеріалів зі щільним верхнім шаром, які допоможуть аналітично визначати як зміну амплітуди хвиль, так і їхній фазовий зсув, що спричиняються взаємодією цих коливань з пакетом матеріалів.

**Практична значимість.** Запропоновано використовувати складові вирази для модуля комплексного коефіцієнта відбиття ультразвукових хвиль, що дасть можливість налаштовувати параметри безконтактних перетворювачів під різний двошаровий пакет текстильних матеріалів зі щільним поверхневим шаром. Для забезпечення можливості визначення малої зміни вимірюваної величини амплітуди відбитих ультразвукових хвиль від двошарового пакету матеріалів з верхнім щільним шаром, можна скористатися комутаційно-модуляційними приладами та перетворювачами. Це дасть можливість усунути похибки, які можуть бути пов'язані з неідентичністю вимірювальних каналів при визначенні малої зміни амплітуди відбитих ультразвукових хвиль.

**Ключові слова:** двошаровий пакет текстильних матеріалів, ультразвукові хвилі, модуль комплексного коефіцієнта відбиття хвиль, пори матеріалу, дефекти матеріалу.

**Вступ.** Сьогодні існує багато різноманітних технологічних об'єктів та виробів легкої промисловості, в основу яких можуть входити різні багатошарові матеріали. Одними із таких матеріалів є пакети з текстильними шарами в своїй структурі. До основних параметрів цих матеріалів можна віднести їх товщину та щільність, за умови виключення наявності дефектів у їхній структурі. У свою чергу, дефекти можуть призвести до різного ступеню неоднорідності пакету із різних текстильних матеріалів. Такі дефекти можуть впливати на їхню витривалість до зміни форми при навантаженнях, міцність матеріалу та ремонтпридатність виробу з багатошарових текстильних пакетів. Для вчасного виявлення прихованих дефектів необхідно застосовувати сучасні методи неруйнівного контролю [1-5] на всіх етапах життєвого циклу виробу.

**Постановка завдання.** Практична реалізація методу контролю двошарового пакету текстильних матеріалів в процесі його виробництва на наявність неоднорідностей в його

структурі, при нормальному падінні ультразвукової хвилі, може бути ускладнена з технічної точки зору. Тому покажемо можливість безконтактного ультразвукового контролю пакету з текстильними шарами в процесі його вироблення, якщо зважати на те, що це випадок при падінні хвилі під кутом до поверхні самого матеріалу. Під час падіння хвиля відбивається від матеріалу або проходить, в основному, крізь середовища складових текстильних шарів, а також середовища повітряних проміжків пор у цих шарах, так як більшість хвиль огинають нитки текстильного матеріалу [6-8]. Тому будемо розглядати цей процес як взаємодію ультразвукових коливань із газоподібними середовищами з волокнами текстилю, якщо взяти текстильні прошарки пакету, для яких виконується маловиражене співвідношення довжини зондуючої хвилі до розмірів пор між їх нитками або між їх міжволоконними відстанями.

**Результати дослідження.** Для можливості контролю текстильних стрічок, ниток з великою лінійною щільністю або двошарових пакетів текстильних матеріалів безконтактним методом необхідно вирішити задачу підвищення чутливості зміни амплітуди зондуючих хвиль до параметрів цих матеріалів. Під час взаємодії ультразвукових хвиль з двошаровим текстильним пакетом та з жорсткою відбиваючою поверхнею збільшується амплітуда відбитих ультразвукових хвиль. За наявності зміни товщини першого щільного шару пакету або дефекту в його структурі змінюється амплітуда відбитої ультразвукової хвилі від такого матеріалу. Ультразвукові перетворювачі потрібно налаштовувати так, щоб хвилі, які випромінюються ними та проходять крізь структуру текстильного матеріалу, були прийняті до іншого перетворювача коливань із більшою зміною своєї амплітуди.

Для контролю двошарового пакету текстильних матеріалів з порами або просто текстилю зі значними міжволоконними відстанями у своїй структурі, необхідно проаналізувати взаємодію ультразвукових хвиль з цим матеріалом, якщо враховувати його рух по жорсткій опорі або у спеціальному хвилеводі в процесі виробництва. Швидкість руху матеріалу по направляючій набагато менша за швидкість розповсюдження звуку у повітрі, тому її впливом на перевідбивання хвиль у структурі рухомого пакету можна знехтувати. Такий випадок, що представляє собою відбиття хвиль від матеріалу під час його руху, можна описати взаємодією наступних хвиль (див рис.1, для повного внутрішнього згасання перевідбитих хвиль у верхньому щільному шарі матеріалу) та зміною їхніх тисків відповідно так:

$$\begin{aligned} P_1 &= P_0 (-V_{\theta 12}); \\ P_2 &= P_0 \left( -W_{\theta 12} V_{\theta 23} W_{\theta 21} \cdot e^{2j K_2 h_2} \right); \\ P_3 &= P_0 \left( -W_{\theta 12} W_{\theta 23} V_{\theta 34} W_{\theta 32} W_{\theta 21} \cdot e^{2j (K_2 h_2 + K_3 h_3)} \right); \\ P_4 &= P_0 \left( -W_{\theta 12} W_{\theta 23} V_{\theta 34} V_{\theta 32} V_{\theta 34} W_{\theta 32} W_{\theta 21} \cdot e^{2j (K_2 h_2 + 2K_3 h_3)} \right); \\ P_5 &= P_0 \left( -W_{\theta 12} W_{\theta 23} V_{\theta 34} V_{\theta 32} V_{\theta 34} V_{\theta 32} V_{\theta 34} W_{\theta 32} W_{\theta 21} \cdot e^{2j (K_2 h_2 + 3K_3 h_3)} \right); \\ &\dots; \\ P &= \sum_{i=1}^m P_i, \end{aligned} \tag{1}$$

$$\begin{aligned}
 V_{\theta 1} = \frac{P}{P_0} = & -V_{\theta 12} - W_{\theta 12} V_{\theta 23} W_{\theta 21} \cdot e^{2j K_2 h_2} - W_{\theta 12} W_{\theta 23} V_{\theta 34} W_{\theta 32} W_{\theta 21} \times \\
 & \times e^{2j(K_2 h_2 + K_3 h_3)} - W_{\theta 12} W_{\theta 23} V_{\theta 34} V_{\theta 32} V_{\theta 34} W_{\theta 32} W_{\theta 21} \cdot e^{2j(K_2 h_2 + 2K_3 h_3)} - \\
 & - W_{\theta 12} W_{\theta 23} V_{\theta 34} V_{\theta 32} V_{\theta 34} V_{\theta 32} V_{\theta 34} W_{\theta 32} W_{\theta 21} \cdot e^{2j(K_2 h_2 + 3K_3 h_3)} - \dots
 \end{aligned} \quad (2)$$

де  $V_{\theta 1}$  – комплексний коефіцієнт відбиття ультразвукових хвиль від пакету текстильних матеріалів з двома складовими шарами і середовища опори, по якій рухається пакет;  $P_0$  – тиск у падаючій хвилі на поверхню контрольованого пакету;  $P$  – сумарний тиск у відбитій хвилі від контрольованих шарів пакету;  $P_1, P_2, P_3, P_4, \dots, P_m$  – тиски у хвилях, що взаємодіють з текстильними шарами та з жорсткою опорою;  $m$  – кількість перевідбитих складових хвиль;  $W_{\theta 12}, W_{\theta 21}, W_{\theta 23}, W_{\theta 32}, V_{\theta 12}, V_{\theta 23}, V_{\theta 32}, V_{\theta 34}$  – коефіцієнти часткового проходження та відбивання хвиль від відповідних середовищ;  $K_2, K_3$  – хвильові числа першого та другого складових шарів пакету;  $h_2, h_3$  – умовні товщини першого та другого складових шарів пакету для цього випадку.

Якщо представити залежність (2) через геометричну прогресію, то ми можемо тоді подати її так:

$$\begin{aligned}
 V_{\theta 1} = & -V_{\theta 12} - W_{\theta 12} V_{\theta 23} W_{\theta 21} \cdot e^{2j K_2 h_2} - W_{\theta 12} W_{\theta 23} V_{\theta 34} W_{\theta 32} W_{\theta 21} \times \\
 & \times e^{2j(K_2 h_2 + K_3 h_3)} \cdot \sum_{N=0}^{m-3} \left( V_{\theta 32} V_{\theta 34} \cdot e^{2j K_3 h_3} \right)^N.
 \end{aligned} \quad (3)$$

Враховуючи, що  $-V_{\theta 12} = V_{\theta 21}$  та, прийнявши структуру тканин з порами за шари контрольованого пакету, вираз (3) можна показати ще як:

$$\begin{aligned}
 V_{\theta 1} = & V_{\theta 21} - W_{\theta 12} V_{\theta 23} W_{\theta 21} \cdot e^{2j K_2 d_{oy2} \frac{\pi}{4} \cos v_2} - W_{\theta 12} W_{\theta 23} V_{\theta 34} W_{\theta 32} W_{\theta 21} \times \\
 & \times e^{2j \left( K_2 d_{oy2} \frac{\pi}{4} \cos v_2 + K_3 d_{oy3} \frac{\pi}{4} \cos v_3 \right)} \cdot \sum_{N=0}^{m-3} \left( V_{\theta 32} V_{\theta 34} \cdot e^{2j K_3 d_{oy3} \frac{\pi}{4} \cos v_3} \right)^N,
 \end{aligned} \quad (4)$$

таку геометричну прогресію можна подати для подальших перетворень ще так:

$$\begin{aligned}
 V_{\theta 1} = & V_{\theta 21} - W_{\theta 12} V_{\theta 23} W_{\theta 21} \cdot e^{2j K_2 d_{oy2} \frac{\pi}{4} \cos v_2} - \\
 & - \frac{W_{\theta 12} W_{\theta 23} V_{\theta 34} W_{\theta 32} W_{\theta 21} \cdot e^{2j \left( K_2 d_{oy2} \frac{\pi}{4} \cos v_2 + K_3 d_{oy3} \frac{\pi}{4} \cos v_3 \right)}}{1 - V_{\theta 32} V_{\theta 34} \cdot e^{2j K_3 d_{oy3} \frac{\pi}{4} \cos v_3}},
 \end{aligned} \quad (5)$$

або

$$V_{\theta 1} = V_{\theta 21} - W_{\theta 12} V_{\theta 23} W_{\theta 21} \cdot e^{2j K_2 d_{oy2} \frac{\pi}{4} \cos v_2} - \left( \frac{1}{W_{\theta 12} W_{\theta 23} V_{\theta 34} W_{\theta 32} W_{\theta 21}} \times \right. \\ \left. \times e^{-2j \left( K_2 d_{oy2} \frac{\pi}{4} \cos v_2 + K_3 d_{oy3} \frac{\pi}{4} \cos v_3 \right)} - \frac{V_{\theta 32}}{W_{\theta 12} W_{\theta 23} W_{\theta 32} W_{\theta 21}} \times e^{-2j K_2 d_{oy2} \frac{\pi}{4} \cos v_2} \right)^{-1}.$$

Для визначення дійсної  $ReV_{\theta 1}$  та уявної  $ImV_{\theta 1}$  частини виразу (4) переписемо залежність (5) ще так:

$$V_{\theta 1} = \left( V_{\theta 21} - V_{\theta 21} V_{\theta 32} V_{\theta 34} \cdot e^{2j K_3 d_{oy3} \frac{\pi}{4} \cos v_3} - W_{\theta 12} V_{\theta 23} W_{\theta 21} \times \right. \\ \left. \times e^{2j K_2 d_{oy2} \frac{\pi}{4} \cos v_2} + W_{\theta 12} W_{\theta 21} V_{\theta 34} (V_{\theta 23} V_{\theta 32} - W_{\theta 23} W_{\theta 32}) \times \right. \\ \left. \times e^{2j \left( K_2 d_{oy2} \frac{\pi}{4} \cos v_2 + K_3 d_{oy3} \frac{\pi}{4} \cos v_3 \right)} \right) \cdot \left( 1 - V_{\theta 32} V_{\theta 34} \cdot e^{2j K_3 d_{oy3} \frac{\pi}{4} \cos v_3} \right)^{-1}, \quad (6)$$

тоді, врахувавши (4) та (6), можна показати дійсну  $ReV_{\theta 1}$  та уявну  $ImV_{\theta 1}$  частини комплексного коефіцієнта відбиття від двошарового пакету текстильних матеріалів з верхнім щільним шаром як:

$$ReV_{\theta 1} = V_{\theta 21} \sum_{N=0}^{m-3} (V_{\theta 32} V_{\theta 34})^N \cdot \cos \left( 2N K_3 d_{oy3} \frac{\pi}{4} \cos v_3 \right) - V_{\theta 21} V_{\theta 32} V_{\theta 34} \times \\ \times \sum_{N=0}^{m-3} (V_{\theta 32} V_{\theta 34})^N \cdot \cos \left( (2N+2) K_3 d_{oy3} \frac{\pi}{4} \cos v_3 \right) - W_{\theta 12} V_{\theta 23} W_{\theta 21} \times \\ \times \sum_{N=0}^{m-3} (V_{\theta 32} V_{\theta 34})^N \cdot \cos \left( 2K_2 d_{oy2} \frac{\pi}{4} \cos v_2 + 2N K_3 d_{oy3} \frac{\pi}{4} \cos v_3 \right) + \\ + W_{\theta 12} W_{\theta 21} V_{\theta 34} (V_{\theta 23} V_{\theta 32} - W_{\theta 23} W_{\theta 32}) \cdot \sum_{N=0}^{m-3} (V_{\theta 32} V_{\theta 34})^N \times \\ \times \cos \left( 2K_2 d_{oy2} \frac{\pi}{4} \cos v_2 + (2N+2) K_3 d_{oy3} \frac{\pi}{4} \cos v_3 \right), \quad (7)$$

$$ImV_{\theta 1} = V_{\theta 21} \sum_{N=0}^{m-3} (V_{\theta 32} V_{\theta 34})^N \cdot \sin \left( 2N K_3 d_{oy3} \frac{\pi}{4} \cos v_3 \right) - V_{\theta 21} V_{\theta 32} V_{\theta 34} \times \\ \times \sum_{N=0}^{m-3} (V_{\theta 32} V_{\theta 34})^N \cdot \sin \left( (2N+2) K_3 d_{oy3} \frac{\pi}{4} \cos v_3 \right) - W_{\theta 12} V_{\theta 23} W_{\theta 21} \times \\ \times \sum_{N=0}^{m-3} (V_{\theta 32} V_{\theta 34})^N \cdot \sin \left( 2K_2 d_{oy2} \frac{\pi}{4} \cos v_2 + 2N K_3 d_{oy3} \frac{\pi}{4} \cos v_3 \right) - W_{\theta 12} W_{\theta 21} V_{\theta 34} (V_{\theta 23} V_{\theta 32} - W_{\theta 23} W_{\theta 32}) \times \\ \times \sum_{N=0}^{m-3} (V_{\theta 32} V_{\theta 34})^N \cdot \sin \left( 2K_2 d_{oy2} \frac{\pi}{4} \cos v_2 + (2N+2) K_3 d_{oy3} \frac{\pi}{4} \cos v_3 \right), \quad (8)$$

$$\begin{aligned} & \times \sum_{N=0}^{m-3} (V_{\theta 32} V_{\theta 34})^N \cdot \sin \left( 2 K_2 d_{oy2} \frac{\pi}{4} \cos v_2 + 2N K_3 d_{oy3} \frac{\pi}{4} \cos v_3 \right) + \\ & + W_{\theta 12} W_{\theta 21} V_{\theta 34} (V_{\theta 23} V_{\theta 32} - W_{\theta 23} W_{\theta 32}) \cdot \sum_{N=0}^{m-3} (V_{\theta 32} V_{\theta 34})^N \times \\ & \times \sin \left( 2 K_2 d_{oy2} \frac{\pi}{4} \cos v_2 + (2N+2) K_3 d_{oy3} \frac{\pi}{4} \cos v_3 \right), \end{aligned}$$

а сам модуль покажемо загальним його видом:

$$|V_{\theta 1}| = \sqrt{\operatorname{Re} V_{\theta 1}^2 + \operatorname{Im} V_{\theta 1}^2}. \quad (9)$$

Отримані вирази для модуля  $|V_{\theta 1}|$ , для комплексного коефіцієнту відбиття  $V_{\theta 1}$  ультразвукових хвиль від двошарового пакету текстильних матеріалів та для його дійсної  $\operatorname{Re} V_{\theta 1}$  та уявної  $\operatorname{Im} V_{\theta 1}$  частин дадуть змогу аналітично визначати можливу зміну амплітуди відбитих зондуєчих хвиль, а також їх фазовий зсув у порівнянні з падаючими коливаннями на контрольований матеріал.

За вимірними значеннями амплітуди відбитих хвиль від матеріалу, які пропорційні модулю комплексного коефіцієнту відбиття хвиль від двошарового пакету, можна робити висновок про наявність дефектів в його структурі при безконтактному контролі [9-11].

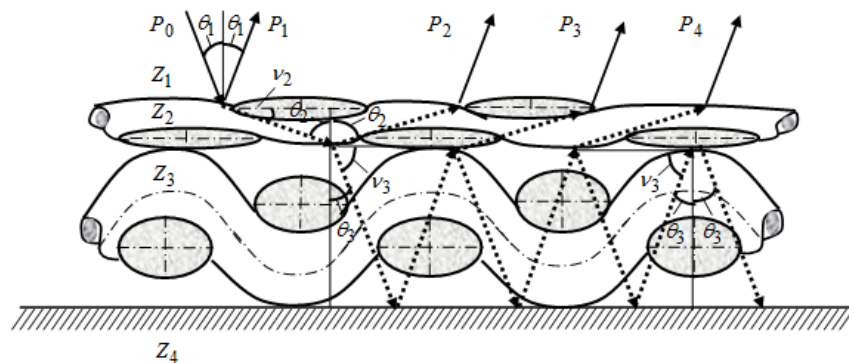


Рис. 1. Відбиття ультразвукових хвиль від двошарового пакету текстильних матеріалів з верхнім щільним шаром, який рухається по направляючій

На рис.2 розглянуто приклад поверхні для двошарового пакету, яка показує як змінюється модуль комплексного коефіцієнта відбиття від умовних товщин складових шарів пакету, якщо співвідношення акустичного опору  $Z_2$  першого щільнішого шару до такого ж параметру  $Z_3$  для другого текстильного шару, який опирається на жорстку опору, буде  $Z_2 / Z_3 = 6,3$ , а порівняно з повітрям  $Z_2 / Z_1 \approx 2048$ , де  $Z_1$  – акустичний опір повітря.

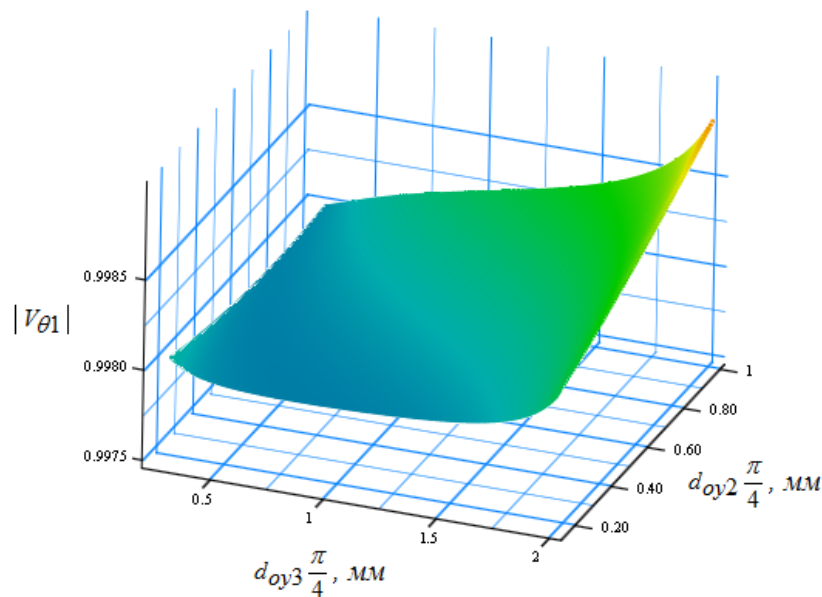


Рис. 2. Поверхня, що показує зміну модуля  $|V_{\theta 1}|$ , який пропорційний амплітуді відбитих ультразвукових хвиль, від умовної товщини  $d_{\text{ou}2} \frac{\pi}{4}$  першого щільного шару матеріалу та від умовної товщини  $d_{\text{ou}3} \frac{\pi}{4}$  другого його шару

З рис.2 можна побачити, що зміна амплітуди відбитих ультразвукових хвиль для наведеного двошарового пакету текстильних матеріалів зі зміною товщин його шарів дуже мала. Тому для забезпечення можливості визначення такої малої зміни вимірюваної величини можна скористатися комутаційно-модуляційними приладами та перетворювачами. Також слід звернути увагу на те, що зміну амплітуди відбитих хвиль для таких матеріалів, в основному, спричиняє щільніший верхній шар пакету.

**Висновки.** Якщо розглядати багатошарові текстильні пакети з наявними значними порами, то для пористих шарів таких матеріалів чутливість ультразвукових датчиків може бути малою. Тому можливий варіант використання комутаційно-модуляційних приладів та перетворювачів для безконтактного контролю двошарових пакетів текстильних матеріалів. Це може допомогти вирішити проблему чутливості амплітуди зондуючих хвиль до наявності дефекту, але при цьому додатково необхідно налаштовувати параметри частоти, потужності і навіть самої форми випромінюваних коливань. Проведений аналіз показав, що отримані вирази для ультразвукових хвиль, які відбиваються від двошарового пакету текстильних матеріалів зі щільним верхнім шаром, можна використати для створення нових методів та засобів безконтактного контролю однорідності матеріалів зі складною багатошаровою структурою. Зазначене дозволить реалізувати на практиці безконтактний оперативний контроль таких матеріалів у процесі їх виробництва.

#### Література

1. Костюков А.Ф. Модель регистрации признаков многослойной структуры с помощью акустических колебаний. А.Ф. Костюков. Вестник АГАУ. 2010. № 3. С. 94—98.

#### References

1. Kostukov, A.F. (2010). Model registracii priznakov mnogoslojnoj struktury s pomoshyu akusticheskikh kolebanij [The Registration Model of features of the multilayer structure using acoustic oscillations]. Vestnik AGAU. Bulletin of Altai State Agricultural University, 3, 94 — 98

2. Костюков А.Ф. Метод контроля технологических параметров сельскохозяйственных волокон с помощью ультразвука. А.Ф. Костюков. Вестник АГАУ. 2013. № 1. – С. 96–99.
3. Кандрин Ю.В. Скорость распространения ультразвуковых колебаний в волоконной среде. Ю.В. Кандрин, О.В. Цымбалист, Н.П. Воробьев. Вестник АГАУ. 2011. № 1. С. 95–98.
4. Ермолов И. Н. Методы и средства неразрушающего контроля качества. И.Н. Ермолов, Ю.Я. Останин. — М.: Высшая школа, 1988. 368 с.
5. Бреховских Л.М. Волны в слоистых средах. Л.М. Бреховских. М.: Наука, 1973. 343 с.
6. Здоренко В.Г. Дослідження проходження імпульсного ультразвукового сигналу крізь тканину при контролі поверхневої щільності. В.Г. Здоренко, С.В. Барилко. Вісник ХНУ. 2013. №3. С. 90—96.
7. Здоренко В.Г. Технологічний контроль текстильних матеріалів. В.Г. Здоренко, С.В. Барилко, О.В. Барилко. Метрологія та прилади. 2017. №5. С. 86 – 88.
8. Здоренко В.Г. Технологічний контроль пористості текстильних матеріалів із складною структурою. В.Г. Здоренко, С.В. Барилко, А.С. Дяченко. Вісник Херсонського національного технічного університету. 2017. №1. С. 105 – 112.
9. Здоренко В.Г. Дослідження застосування ультразвукового безконтактного методу визначення технологічних параметрів для процесу ткацтва. В.Г. Здоренко, С.В. Барилко, О.В. Барилко, С.М. Лісовець, Т.В. Лебедюк. Вісник ХНТУ. 2018. №4(67). С. 152 – 161.
10. Здоренко В.Г. Контроль технологічних параметрів тканини за допомогою ультразвукового адаптивного пристрою. В.Г. Здоренко, С.В. Барилко. Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2013. №3. С. 7–11.
11. Здоренко В.Г. Дослідження згасання ультразвукових хвиль при [In Russian].
2. Kostukov, A.F. (2013). Metod kontrolya tehnologicheskikh parametrov selskohozyajstvennyh volokon s pomoshyu ultrazvuka [The method of monitoring the technological parameters of agricultural fibers using ultrasound]. Vestnik AGAU. - Bulletin of Altai State Agricultural University, 1, 96 - 99 [In Russian].
3. Kandrin, Yu.V., Tsymbalist O.V., & Vorobiev N.P. (2011). Skorost rasprostraneniya ultrazvukovyh kolebanij v volokonnoj srede [The propagation velocity of ultrasonic vibrations in a fiber medium]. Vestnik AGAU. Bulletin of Altai State Agricultural University, 1, 95 - 98 [In Russian].
4. Ermolov, I. N., & Ostanin, Yu. A. (1988). Metody i sredstva nerazrushayushego kontrolya kachestva [Methods and tools for not eroding quality control]. Moscow: Vysshaya shkola. 368 p. [In Russian].
5. Brekhovskikh, L.M. (1973). Volny v sloistyh sredah [The waves in layered medium]. Moscow: Nauka. 343 p. [In Russian].
6. Zdorenko, V.G., & Barylko, S.V. (2013). Doslidzhennya prohodzhennya impulsnogo ultrazvukovogo signalu kriz tkaninu pri kontroli poverhnevoy shilnosti [Research of ultrasonic passing of pulsed signal through the fabric during the control of basis weight]. Visnik KhNU. Herald of Khmelnytskyi national university, 3, 90-96 pp. [In Ukrainian].
7. Zdorenko, V.G., & Barylko, S.V. (2017). Tehnologichnij kontrol tekstilnih materialiv [Technological control of textile materials]. Metrologiya ta priladi. Metrology and instruments, 5, 86 - 88 [In Ukrainian].
8. Zdorenko, V.G., Barylko, S.V., & Dyachenko A.S. (2017). Tehnologichnij kontrol poristosti tekstilnih materialiv iz skladnoyu strukturoyu [Technological control of porosity of textile materials with complex structure]. Visnik KhNTU. Visnyk of Kherson National Technical University, 1, 105 – 112 pp. [In Ukrainian].
9. Zdorenko, V.G., Barylko, O.V., Barylko, S.V., Lisovets S.N., & Lebedyuk T.V. (2018). Doslidzhennya zastosuvannya ultrazvukovogo bezkontaktnogo metodu viznachennya tehnologichnih parametrov dlya procesu tkactva [Investigation of the use of ultrasonic non-contact method for determining technological parameters for the weaving process]. Visnik KhNTU. Visnyk of Kherson National Technical University, 4, 152 – 161 pp. [In Ukrainian].
10. Zdorenko, V.G., & Barylko, S.V. (2013). Kontrol tehnologichnih parametrov tkanini za dopomogoyu ultrazvukovogo adaptivnogo pristroyu [Control of the technological parameters of the fabric with the ultrasonic adaptive device]. Visnik Vinnickogo politechnichnogo institutu. — Visnyk of Vinnytsia Politechnical Institute, 3, 7-11 pp. [In Ukrainian].
11. Zdorenko, V.G., Barylko, S.V., & Kiselov V.B. (2014).

безконтактному контролю товщини полімерного покриття текстильних матеріалів. В.Г. Здоренко, С.В. Барилко, В.Б. Кисельов. Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. – 2014. №4(78). С. 169 – 177.

Doslidzhennya zgasannya ultrazvukovih hvil pri bezkontaktному kontroli tovshini polimernogo pokryttya tekstilnih materialiv [Investigation of the attenuation of ultrasonic waves in contactless control of the thickness of the polymer coating of textile materials]. Visnik KNUTD. Bulletin of the Kiev National University of Technology and Design, 4, 169-177pp. [In Ukrainian].

**BARYLKO S.**

[poo4ta@bigmir.net](mailto:poo4ta@bigmir.net)

ORCID: 0000-0002-2785-5784

Kyiv National University of Technologies and Design

**LISOVETS S.**

[ser.lis.290171@gmail.com](mailto:ser.lis.290171@gmail.com)

ORCID: 0000-0003-3643-046X

Kyiv National University of Technologies and Design

**ZDORENKO V.**

[alzd123@meta.ua](mailto:alzd123@meta.ua)

ORCID: 0000-0001-6508-4290

Kyiv National University of Technologies and Design

**SHIPKO D.**

[kaks@knutd.com.ua](mailto:kaks@knutd.com.ua)

Kyiv National University of Technologies and Design

**VASYLENKO V.**

ORCID: 0000-0003-3482-2750

Scopus ID: 57210801224

[https://www.scopus.com/authid/detail.uri?author](https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57210801224)

Id=57210801224

Kyiv National University of Technologies and Design

## ОТРАЖЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ВОЛН ОТ ДВУХСЛОЙНОГО ПАКЕТА ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ПЛОТНЫМ ВЕРХНИМ СЛОЕМ ЗДОРЕНКО В. Г., БАРЫЛКО С. В. ЛИСОВЕЦ С. Н., ШИПКО Д. А., ВАСИЛЕНКО В. Н.

Київський національний університет технологій і дизайну

**Цель.** Получить и показать в общем виде выражение для модуля комплексного коэффициента отражения ультразвуковых волн от двухслойного пакета текстильных материалов с плотным верхним слоем. Указанное необходимо для возможности бесконтактного контроля таких материалов.

**Методика.** В работе для анализа процесса отражения волн от контролируемого материала использован метод суперпозиции зондирующих колебаний.

**Результаты.** В общем виде показано выражение для комплексного коэффициента отражения ультразвуковых волн от двухслойного пакета текстильных материалов с плотным верхним слоем. Доказано, что, учитывая полное затухание переотраженных волн в слое первого составного материала, можно упростить основные выражения для комплексного коэффициента отражения от текстильного пакета. Показано, что зависимость изменения амплитуды отраженных ультразвуковых волн для приведенного в работе текстильного пакета от изменения толщины его слоев очень мала. Изменение амплитуды отраженных волн для таких материалов, в основном, вызывает плотный верхний слой пакета.

**Научная новизна.** Получены зависимости действительной и мнимой части комплексного коэффициента отражения ультразвуковых волн от двухслойного пакета текстильных материалов с плотным верхним слоем, которые помогут аналитически определять как изменение амплитуды волн, так и их фазовый сдвиг, вызванных взаимодействием этих колебаний с пакетом материалов.

**Практическая значимость.** Предложено использовать составляющие выражения для модуля комплексного коэффициента отражения ультразвуковых волн, что позволит настраивать параметры бесконтактных преобразователей под разный двухслойный пакет текстильных материалов с плотным поверхностным слоем. Для обеспечения возможности определения малого изменения измеряемой величины амплитуды отраженных ультразвуковых волн от двухслойного пакета материалов с верхним плотным слоем, можно воспользоваться коммутационно-



модуляційними приборами и преобразователями. Это позволит устранить погрешности, которые могут быть связаны с неидентичностью измерительных каналов при определении малого изменения амплитуды отраженных ультразвуковых волн.

**Ключевые слова:** двухслойный пакет текстильных материалов, ультразвуковые волны, модуль комплексного коэффициента отражения волн, поры материала, дефекты материала.

## REFLECTIONS OF ULTRASONIC WAVES FROM A TWO-LAYER PACKAGE OF TEXTILE MATERIALS WITH A DENSE FIRST LAYER

ZDORENKO V. G., BARYLKO S. V., LISOVETS S. N., SHIPKO D. A., VASYLENKO V. N.

Kyiv National University of Technologies & Design

**Purpose.** Obtain and show in general terms the expression for the module of the complex reflection coefficient of ultrasonic waves from a two-layer package of textile materials with a dense first layer. The above is necessary for the possibility of research of contactless control of such materials.

**Methodology.** To analyze the process of reflection of waves from a controlled material, the method of superposition of sounding vibrations is used.

**Findings.** In general terms, the expression for the complex reflection coefficient of ultrasonic waves from a two-layer package of textile materials with a dense first layer is shown. It is proved that taking into account the complete attenuation of the reflected waves in the layer of the first material, it is possible to simplify the basic expressions for the complex reflection coefficient from a package of textile materials. It is shown that the change in the amplitude of the reflected ultrasonic waves for the material presented in the work with a change in the thickness of its layers is very small. The change in the amplitude of the reflected waves for such materials mainly causes a dense first layer of package of textile materials.

**Originality.** The dependences of the real and imaginary parts of the complex reflection coefficient of ultrasonic waves on a package of textile materials with a dense first layer are obtained, which will help analytically determine both the change in the amplitude of the waves and their phase shift caused by the interaction of these vibrations with the material.

**Practical value.** It is proposed to use the component expressions for the module of the complex reflection coefficient of ultrasonic waves, which will allow you to adjust the parameters of the contactless transducers for different two-layer package of textile materials with a dense surface layer. To ensure the possibility of determining a small change in the measured magnitude of the amplitude of the reflected ultrasonic waves from the two-layer package of textile materials with the first dense layer, you can use switching and modulation devices and transducers. This will eliminate the errors that may be associated with the non-identity of the measuring channels when determining a small change in the amplitude of the reflected ultrasonic waves.

**Keywords:** two-layer package of textile materials, ultrasonic waves, module of the complex coefficient of reflection of waves, pores of the material, defects of the material.