

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОХОДЖЕННЯ УЛЬТРАЗВУКОВИХ ХВИЛЬ КРІЗЬ ТЕКСТИЛЬНИЙ МАТЕРІАЛ ПРИ КОНТРОЛІ ЙОГО МАСИ

Розглянуто загальне проходження ультразвукових хвиль крізь текстильний матеріал. Обґрунтовано доцільність використання ультразвукових хвиль для контролю маси текстильного матеріалу безконтактним методом. В роботі описано проходження ультразвукових коливань крізь текстильний матеріал з їхнім багаторазовим відбиттям та накладанням на межах різних середовищ. Показано, що використовуючи ультразвукові хвилі можна визначати масу текстильних матеріалів. Отримано залежності амплітуди хвиль від діаметрів ниток контрольованого матеріалу. Також наведено залежність амплітуди хвиль від маси текстильних полотен. Показано, що важливими є і відстані між нитками текстильних матеріалів при контролі їхньої маси. Наведено результати досліджень.

Ключові слова: маса, текстильні матеріали, ультразвукові хвилі.

V.B. KISELOV

Academy of Municipal Management, Kyiv, Ukraine

RESEARCH OF PASSING OF ULTRASONIC WAVES THROUGH THE TEXTILE MATERIAL AT THE CONTROL OF MASS

Abstract - Passing ultrasonic waves through the textile material are examined. Using ultrasonic waves to control the mass of textile material of non-contact method is proved. In work describes the ultrasonic vibrations of passing through the textile material with their multiple and overlay reflections at the boundaries of different environments. Using ultrasonic waves can be determined the mass of textile materials and that is showed. Dependences of amplitude of ultrasonic waves on yarns diameters of controlled material are obtained. Dependence of amplitude of waves on the mass of textile fabrics is obtained too. Significant distance between yarns of textile materials at their control of mass is showed. Results researches are resulted.

Keywords: mass, textile materials, ultrasonic waves.

Вступ

Одним з основних параметрів, що контролюють, та за яким визначають як споживчі властивості, так і фізико-механічні характеристики текстильних матеріалів, є маса одного метра квадратного полотна. На сьогоднішній день методи визначення технологічних параметрів різних текстильних матеріалів є контактними та руйнівними. Так, для контролю маси текстильних матеріалів використовується метод вирізання зразка та його зважування. Зрозуміло, що такий метод не дозволяє оперативно контролювати значення технологічного параметру, призводить до появи браку та зниження сортності текстильних полотен.

Відомі безконтактні методи визначення маси текстильних матеріалів при використанні радіоактивного випромінювання [1]. Однак, такі пристрої потребують калібрування при зниженні активності джерела випромінювання, на результат вимірювань впливають фізико-механічні параметри текстильних матеріалів, що не дозволяє отримати високу точність при використанні таких пристроїв. Висока вартість експлуатації та утилізації, а також необхідність забезпечення захисту персоналу від випромінювання роблять досить складним широке застосування таких пристроїв. Ультразвукові методи [2] мають низку суттєвих переваг порівняно з іншими методами: відносна простота випромінювання та прийому ультразвукових коливань, достатньо висока точність вимірювання, порівняно невисока вартість обслуговування. Проведений аналіз показав, що найбільш перспективним методом контролю технологічних параметрів текстильних матеріалів є безконтактний ультразвуковий метод [3]. При цьому полотно опромінюється ультразвуковими хвилями, а значення маси визначається відношенням амплітуд ультразвукової хвилі, що пройшла крізь текстильний матеріал, і хвилі, яка падає на нього.

Результати дослідження

Амплітуду ультразвукових хвиль, які пройшли контрольованим текстильним матеріалом або крізь тканину, що має нитки основи з діаметром d_o і нитки утку з діаметром d_y , можна представити модулем комплексного коефіцієнта проходження $|T|$. Акустичний опір середовища, з якого падає хвиля, дорівнює Z_1 , матеріалу ниток основи – Z_2 , матеріалу ниток утку – Z_3 , середовища, в яке падає хвиля після проходження – Z_4 . Вираз для комплексного коефіцієнта проходження ультразвукової хвилі, яка багаторазово відбивається від різних меж середовищ та проходить крізь пори та нитки контрольованої тканини, є сумою нескінченно спадної геометричної прогресії. Суму такої прогресії можна виразити через тиск у хвилі, після проходження тканини [4]:

$$\begin{aligned}
P_{np.} = \sum_{i=1}^N P_i = P_0 & ((G_1 T_{12} T_{24} + G_2 T_{12} T_{24}) \cdot e^{jK_2 d_o \frac{\pi}{4}} + \\
& + (G_3 T_{12} T_{23} T_{34} + G_4 T_{13} T_{32} T_{24}) \cdot e^{2jK_{23} d_c \frac{\pi}{4}} + \\
& + (G_1 T_{12} T_{24} R_{24} R_{21} + G_2 T_{12} T_{24} R_{24} R_{21}) \cdot e^{3jK_2 d_o \frac{\pi}{4}} + \\
& + (G_3 T_{12} T_{23} T_{34} R_{21} R_{34} (1 + R_{23}) (1 + R_{32}) + G_4 T_{13} T_{32} T_{24} R_{31} R_{24} (1 + R_{32}) (1 + R_{23})) \cdot e^{6jK_{23} d_c \frac{\pi}{4}} + \dots)
\end{aligned} \quad (1)$$

де

$$\begin{aligned}
G_1 = g'_1 g''_1 = g'_1 \cdot 1 = g'_1, \quad G_2 = g'_2 g''_2 = g'_2 \cdot 1 = g'_2, \\
G_3 = g'_3 g''_3 = g'_3 \cdot \frac{\sum_{N=0}^{\infty} \left((1 - (1 - R_{21} R_{34})) (1 + R_{23}) (1 + R_{32}) \right) \cdot e^{4jK_{23} d_c \frac{\pi}{4}} \right)^N}{\sum_{N=0}^{\infty} \left(R_{21} R_{34} (1 + R_{23}) (1 + R_{32}) \cdot e^{4jK_{23} d_c \frac{\pi}{4}} \right)^N}, \\
G_4 = g'_4 g''_4 = g'_4 \cdot \frac{\sum_{N=0}^{\infty} \left((1 - (1 - R_{31} R_{24})) (1 + R_{32}) (1 + R_{23}) \right) \cdot e^{4jK_{23} d_c \frac{\pi}{4}} \right)^N}{\sum_{N=0}^{\infty} \left(R_{31} R_{24} (1 + R_{32}) (1 + R_{23}) \cdot e^{4jK_{23} d_c \frac{\pi}{4}} \right)^N},
\end{aligned} \quad (2)$$

де

T і R – відповідні коефіцієнти проходження і відбиття хвиль на межах відповідних середовищ, при цьому перший індекс позначає середовище, з якого падає хвиля, а другий – середовище, в яке проходить, або, від якого відбивається хвиля;

K_2 – хвильове число матеріалу ниток основи;

K_{23} – середнє хвильове число ниток основи і утоку;

d_c – середній діаметр ниток основи і утоку тканини;

$d_o \frac{\pi}{4}, 2d_c \frac{\pi}{4}$ – величини, що визначають середню відстань проходження і згасання ультразвукових хвиль в матеріалі ниток основи, основи і утоку разом.

Сума коефіцієнтів площ різних ділянок контрольованої тканини, на які падають і розсіюються хвилі, дорівнює $g'_1 + g'_2 + g'_3 + g'_4 = 1$. Коефіцієнти $g'_1 \div g'_4$ є показниками відбиття хвиль від межі середовищ ниток основи та утоку при їхніх різних акустичних опорах всередині тканини при взаємному перекритті.

Відповідні значення для T і R можна записати як:

$$\begin{aligned}
T_{12} = \frac{2Z_1}{Z_1 + Z_2}, \quad R_{12} = \frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2}, \\
T_{13} = \frac{2Z_1}{Z_1 + Z_3}, \quad R_{13} = \frac{Z_1 - Z_3}{Z_1 + Z_3}, \\
T_{21} = \frac{2Z_2}{Z_2 + Z_1}, \quad R_{21} = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1}, \\
T_{24} = \frac{2Z_2}{Z_2 + Z_4}, \quad R_{24} = \frac{Z_2 - Z_4}{Z_2 + Z_4}.
\end{aligned} \quad (3)$$

За умов коли: $Z_2 = Z_3$, $Z_1 = Z_4$ та $G_1 = G_2 \approx 0$ (при досить малих порах між нитками основи і утоку), з виразу (1) можна визначити комплексний коефіцієнт проходження T так:

$$T = \frac{T_{12} T_{21} \cdot e^{2jK_{23} d_c \frac{\pi}{4}}}{1 - R_{21} R_{21} \cdot e^{4jK_{23} d_c \frac{\pi}{4}}} = \frac{T_{12} T_{21} \cdot e^{jK_{23} d_{oy} \frac{\pi}{4}}}{1 - R_{21} R_{21} \cdot e^{2jK_{23} d_{oy} \frac{\pi}{4}}}, \quad (4)$$

де d_{oy} – сума діаметрів нитки основи та нитки утоку.

З врахуванням згасання α ультразвукових хвиль в текстильному матеріалі, хвильове число K_{23} можна показати у вигляді:

$$K_{23} = \frac{2\pi f}{c_2} + j\alpha, \quad (5)$$

Підставивши (3), (5) в (4) та спростивши отримуємо:

$$T = \frac{2}{\left(e^{\frac{d_{oy}\pi}{4}\left(-\alpha+j\frac{2\pi f}{c_2}\right)} + e^{\frac{d_{oy}\pi}{4}\left(\alpha-j\frac{2\pi f}{c_2}\right)} \right) - \left(\frac{Z_2}{2Z_1} + \frac{Z_1}{2Z_2} \right) \left(e^{\frac{d_{oy}\pi}{4}\left(-\alpha+j\frac{2\pi f}{c_2}\right)} - e^{\frac{d_{oy}\pi}{4}\left(\alpha-j\frac{2\pi f}{c_2}\right)} \right)}, \quad (6)$$

$$T = \frac{1}{\cos\left(\frac{d_{oy}\pi^2 f}{2c_2} + jd_{oy}\frac{\pi}{4}\alpha\right) - j\left(\frac{Z_2}{2Z_1} + \frac{Z_1}{2Z_2}\right) \cdot \sin\left(\frac{d_{oy}\pi^2 f}{2c_2} + jd_{oy}\frac{\pi}{4}\alpha\right)},$$

або

$$T = \frac{1}{\cos K_{23}d_{oy}\frac{\pi}{4} - j\left(\frac{Z_2}{2Z_1} + \frac{Z_1}{2Z_2}\right) \cdot \sin K_{23}d_{oy}\frac{\pi}{4}}.$$

Враховуючи, що величина $(K_{23}d_{oy}\frac{\pi}{4})/2 \ll 1$, комплексний коефіцієнт проходження T можна представити як:

$$T = \frac{1}{1 - j\left(\frac{Z_2}{Z_1} + \frac{Z_1}{Z_2}\right) \cdot K_{23}d_{oy}\frac{\pi}{8}}, \quad (7)$$

а модуль $|T|$ можна подати у вигляді

$$|T| = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\left(\frac{Z_2}{Z_1} + \frac{Z_1}{Z_2}\right) K_{23}d_{oy}\frac{\pi}{4}\right)^2}}. \quad (8)$$

Зважаючи на те, що величина $Z_1/Z_2 \ll 1$, вираз (8) для модуля $|T|$ комплексного коефіцієнту проходження можна записати як:

$$|T| = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{M f (K_o + K_y)^2}{Z_1}\right)^2}}, \quad (9)$$

де M – маса тканини одного метра квадратного;

f – частота ультразвукових коливань;

K_o, K_y – коефіцієнти, які враховують відстані між нитками основи, утку та їх деформацію в переплетінні між собою.

Для випадку, коли для ниток основи і утку $K_o + K_y = 2$, модуль $|T|$ комплексного коефіцієнту проходження можна представити у вигляді:

$$|T| = \frac{1}{\sqrt{1 + M^2 B^2}}, \quad (10)$$

де величина $B = 4f/Z_1$ є постійною при незмінній частоті f ультразвукових коливань.

Проаналізувавши вираз (10), можна зробити висновок, що при $M B \gg 1$ залежність модуля $|T|$ комплексного коефіцієнту проходження наближається до гіперболічної залежності, яку можна представити як:

$$|T| = \frac{1}{M B}. \quad (11)$$

Для того, щоб точно визначати величину маси контрольованої тканини за допомогою амплітудних співвідношень ультразвукових хвиль, необхідно оцінити точність опису отриманої математичної моделі.

Амплітудне співвідношення ультразвукових хвиль, що пройшли крізь контрольовану тканину, та хвиль, які падають на неї, пропорційне амплітудному співвідношенню напруг U_1/U_0 . Де амплітуди напруг U_0 та U_1 пропорційні зазначеним амплітудам ультразвукових коливань та відображаються на індикаторах вольтметрів ультразвукового пристрою. Напруга електричних коливань U_0 перетворюється в ультразвуковий сигнал за допомогою випромінюючого п'єзоперетворювача. Після проходження ультразвукового сигналу крізь контрольовану тканину він знову перетворюється в електричну напругу U_1 за допомогою приймаючого п'єзоперетворювача та підсилювача з детектором.

Для оцінки математичної моделі необхідно визначити відхилення між розрахунковими значеннями амплітудного співвідношення та їхніми вимірними величинами. Зазначене проводилося для тканин з різною масою та з різними середніми відстанями між центрами ниток. Абсолютне та відносне відхилення амплітудного співвідношення напруг U_1/U_0 між вимірними та розрахунковими їхніми значеннями можна подати наступними залежностями:

$$\Delta = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{M f (K_o + K_y)^2}{Z_1} \right)^2}} - \frac{U_1}{U_0}, \quad \delta = \frac{\sqrt{1 + \left(\frac{M f (K_o + K_y)^2}{Z_1} \right)^2} - U_1}{U_1} \cdot 100\%. \quad (12)$$

Залежності амплітудного співвідношення напруг U_1/U_0 від маси M тканин показані на рис. 1. На рис.2 показана залежність відносного відхилення δ від маси M тканин з різними середніми відстанями між центрами ниток.

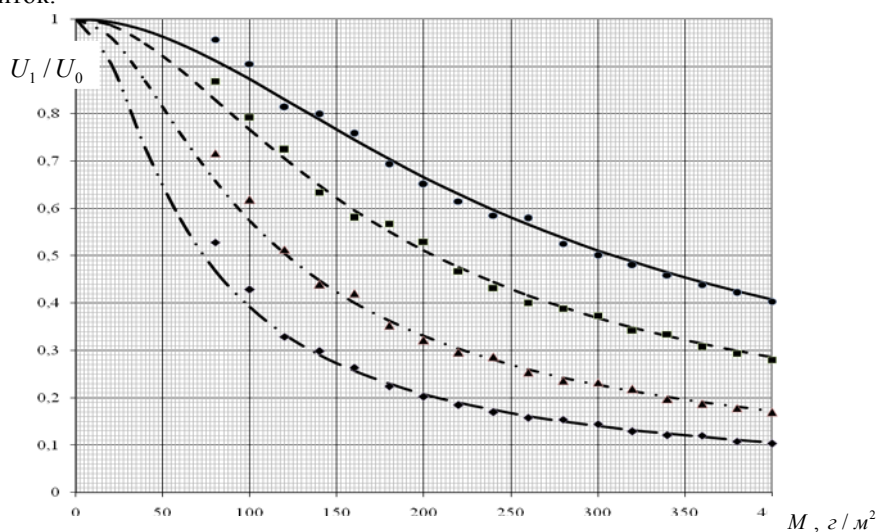


Рис. 1. Залежності співвідношення U_1/U_0 від M

- середня відстань між центрами ниток тканин 0,6 мм (● - вимір. знач.);
- - - середня відстань між центрами ниток тканин 0,5 мм (■ - вимір. знач.);
- · - · середня відстань між центрами ниток тканин 0,4 мм (▲ - вимір. знач.);
- · - · - · середня відстань між центрами ниток тканин 0,3 мм (◆ - вимір. знач.)

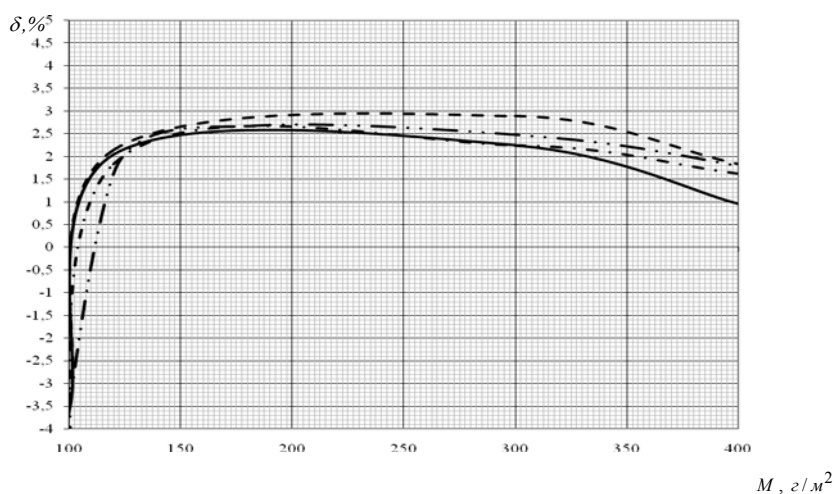


Рис. 2. Залежності відносного відхилення δ від M

- середня відстань між центрами ниток тканин 0,6 мм;
- - - середня відстань між центрами ниток тканин 0,5 мм;
- · - · середня відстань між центрами ниток тканин 0,4 мм;
- · - · - · середня відстань між центрами ниток тканин 0,3 мм

Висновки

Проведений аналіз показав, що найбільш перспективним методом визначення маси одного метра квадратного текстильного полотна, є ультразвуковий. При цьому текстильний матеріал опромінюється ультразвуковими хвилями, а значення маси визначається відношенням амплітуд ультразвукової хвилі, що пройшла крізь текстильний матеріал, і хвилі, яка падає на нього. Подальший розвиток ультразвукових засобів контролю маси текстильних матеріалів дозволить зменшити кількість браку, який буде безпосередньо пов'язаний з відхиленням маси самого текстильного полотна, а також дасть можливість проводити безперервний контроль в процесі виробництва, що підвищить якість готової продукції.

Література

1. Власов П.В. Исследование возможных применений радиоактивного излучения при нормализации процессов качества / П.В. Власов. – М.: Гизлегпром., 1963. – 152 с.
2. Бренер И.Р. Контроль прочности комплексных нитей акустическим методом / И.Р. Бренер, И.А. Флексер, В.А. Берестнев // Текстильная промышленность. – 1974.– № 4. – С. 64 – 66.
3. Шкарлет Ю.М. Бесконтактные методы ультразвукового контроля / Ю.М. Шкарлет. – М.: Машиностроение, 1974. – 57 с.
4. Бреховских Л.М. Волны в слоистых средах / Л.М. Бреховских. – М.: Наука, 1973. – 343 с.

References

1. Vlasov P. V. Issledovanie vozmozhnykh primenenij radioaktivnogo izlucheniya pri normalizaczii processov kachestva. Moscow, Gizlegprom, 1963. – 152 p. [in Russian]
2. Brenner I. R., Flekser I. A., Berestnov V. A. Kontrol prochnosti kompleksnykh nitej akusticheskim metodom // Tekstilnaya promyshlennost. – 1974. – №4. – P. 64–66. [in Russian]
3. Shkarlet Y. M. Beskontaktnie metody ultrazvukovogo kontrolya. Moscow, Mashaynostroenie, 1974. – 57 p. [in Russian]
4. Brexovskix L. M. Volny v sloistyx sredax. Moscow, Nauka, 1973. – 343 p. [in Russian]

Рецензія/Peer review : 17.6.2014 р.

Надрукована/Printed :13.7.2014 р.

Рецензент: д.т.н., проф., каф. АКС КНУТД Здоренко В. Г.