

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

УДК 677.017

С.В. Барилко, к.т.н., доц.
С.М. Лісовець, к.т.н., доц.
І.В. Головата, магістрант

УЛЬТРАЗВУКОВИЙ МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ОБ'ЄМНОЇ ЩІЛЬНОСТІ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

Київський національний університет технологій та дизайну, м. Київ, ser.lis.290171@gmail.com

Показана можливість визначення об'ємної щільності текстильних матеріалів шляхом одночасного вимірювання амплітуд пакетів ультразвукових коливань, які як пройшли крізь текстильний матеріал, так і відбилися від нього. Також показано, що використання зразкового текстильного матеріалу дозволяє виключити вплив розміру пор і середнього діаметра ниток контрольованих текстильних матеріалів на результат вимірювання.

Ключові слова: автоматизація, наскрізна пора, об'ємна щільність, поверхнева щільність, розмір пор, середній діаметр ниток, текстиль, ультразвукові коливання.

Вступ

В текстильній промисловості при виробництві багатьох текстильних матеріалів (в основному це тканини і трикотаж) часто необхідно контролювати таку властивість цих матеріалів, як їх поверхнева щільність (інша назва – поверхнева густина). Така властивість текстильних матеріалів грає важливу роль при оцінці якості і виборі таких матеріалів для багатьох швейних виробів. Поверхнева щільність строго регламентується в нормативно-технічній документації на текстильні матеріали. Відхилення фактичного значення поверхневої щільності текстильних матеріалів від їх нормативно-технічного значення дуже часто розглядається як суттєвий дефект таких матеріалів. Переважно поверхнева щільність лежить в діапазоні від 20 до 750 г/мм². Часто текстильні матеріали, які мають однаковий хімічний склад, але різну поверхневу щільність, мають і різне призначення. Необхідно зауважити, що на поверхневу щільність текстильних матеріалів суттєво впливає уміст в них вологи, і для перерахунку поверхневої щільності текстильних матеріалів при поточній відносній вологості навколишнього середовища в цю ж саму поверхневу щільність при нормованій відносній вологості навколишнього середовища використовуються спеціальні формули. При визначенні поверхневої щільності товщина самого текстильного матеріалу не враховується.

Сучасні вимоги до виробництва текстильних матеріалів вимагають отримання інформації ще й про таку властивість цих матеріалів, як їх об'ємна щільність (інша назва – об'ємна густина). Наприклад, це стосується виробництва композиційних матеріалів, які мають один або більше шарів, що розташовуються за певною схемою і мають між собою чіткі межі [1]. Об'ємна щільність текстильних матеріалів, відповідно до її визначення, дає можливість враховувати в розрахунках товщину таких матеріалів. Традиційно об'ємна щільність текстильних матеріалів визначається контактними руйнівними методами. Зокрема, з текстильного матеріалу, об'ємну щільність якого необхідно визначити, спочатку вирізається зразок. Після цього визначаються геометричні розміри такого зразка і його вага, а об'ємна щільність розраховується за відповідною формулою. Зрозуміло, що такий метод вимірювання вимагає руйнування частини текстильного матеріалу, потребує багато часу на одне вимірювання і не дозволяє процес вимірювання хоча б частково автоматизувати.

На теперішній час практично відсутні стандартні безконтактні неруйнівні методи визначення об'ємної щільності текстильних матеріалів, які б дозволили оперативно визначити таку властивість текстильних матеріалів, були б швидкісними, недорогими в реалізації, простими в експлуатації, добре б піддавалися автоматизації. Особливо це стосується текстильних матеріалів із складною внутрішньою структурою – наприклад, багатошарового трикотажу або трикотажу із багатошаровим переплетенням. Тому визначення об'ємної щільності текстильних матеріалів вимагає застосування вдосконалених безконтактних неруйнівних методів вимірювання, які б враховували особливості їх внутрішньої структури. До таких особливостей внутрішньої структури текстильних матеріалів відноситься наступне.

По-перше, це розмір пор (пористість) текстильних матеріалів, який змінюється при прикладенні до таких матеріалів певного розтягуючого навантаження. Особливо це стосується текстильних матеріалів, розмір пор яких може збільшуватися навіть в кілька раз відносно вихідного розміру. По-друге, це середній діаметр ниток текстильних матеріалів, який змінюється при прикладенні до таких матеріалів навантаження як вздовж ниток, так і поперек ниток.

Наприклад, об'ємну щільність текстильного матеріалу можна визначати шляхом його радіоактивного опромінення і визначення ступеня загасання цього випромінювання після проходження ним такого матеріалу [2]. Однак використання джерел радіоактивності має багато недоліків, основними з яких є шкідливий вплив радіоактивного випромінювання на людей і на навколишнє середовище. Об'ємну щільність текстильного матеріалу можна визначати також шляхом зондування його ультразвуковими хвилями із подальшим визначенням ступеня поглинання цих хвиль в такому матеріалі і ступеня відбиття цих хвиль від такого матеріалу [3, 4]. Однак таке зондування ніяк не враховує ані змін розміру пор (пористості) текстильного матеріалу, ані змін середнього діаметра ниток текстильного матеріалу, які виникають при прикладенні до такого матеріалу навіть невеликих зусиль (наприклад, внаслідок впливу власної ваги).

Постановка завдання

Полягає у створенні таких засобів визначення об'ємної щільності текстильних матеріалів, які б дозволяли визначати об'ємну щільність текстильних матеріалів, враховуючи як розмір пор (пористість) таких матеріалів, так і середній діаметр ниток таких матеріалів.

Розв'язок поставленого завдання

В якості розв'язку поставленого завдання пропонується ультразвуковий метод визначення об'ємної щільності текстильних матеріалів, який враховує як розмір пор (пористість) таких матеріалів, так і середній діаметр ниток таких матеріалів. Такий метод можна реалізувати за допомогою пристрою, структурна схема якого наведена на рис. 1.

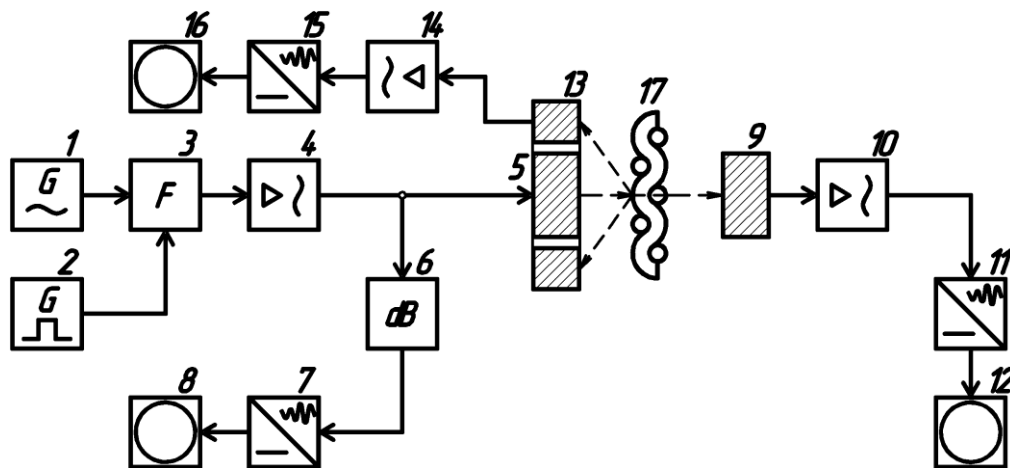


Рис. 1. Структурна схема пристрою для реалізації ультразвукового методу визначення об'ємної щільності текстильних матеріалів

Пристрій містить генератор гармонійних коливань 1, генератор прямокутних коливань 2, формувач зондуючих пакетів 3, підсилювачі потужності 4, 10 і 14, випромінюючу частину роздільно-суміщеного п'єзоперетворювача 5, атенюатор 6, пікові детектори 7, 11 і 15, вольтметри 8, 12 і 16, приймаючий п'єзоперетворювач 9, приймаючу частину роздільно-суміщеного п'єзоперетворювача 13 і текстильний матеріал 17, який може бути як контрольованим (для якого об'ємна щільність визначається), так і зразковим (об'ємна щільність якого приймається в якості зразка). Контрольований текстильний матеріал 17 вводиться між випромінюючою частиною роздільно-суміщеного п'єзоперетворювача 5 і приймаючим п'єзоперетворювачем 9, створюючи таким чином вимірювальний ультразвуковий канал.

Електричні коливання з виходу генератора гармонійних коливань 1 перетворюються за допомогою генератора прямокутних коливань 2 і формувача зондуючих пакетів 3 у пакети електричних коливань, які підсилюються підсилювачем потужності 4 і надходять на випромінюючу частину роздільно-суміщеного п'єзоперетворювача 5. Пакети ультразвукових коливань, які випромінюються випромінюючою частиною роздільно-суміщеного п'єзоперетворювача 5, після проходження ними контрольованого текстильного матеріалу 17 надходять на приймаючий п'єзоперетворювач 9, де перетворюються в пакети електричних коливань. Пакети електричних коливань, які сформувалися за допомогою приймаючого п'єзоперетворювача 9, підсилюються підсилювачем потужності 10 і надходять на вхід пікового детектора 11, де перетворюються у постійну напругу $U_1^{(k)}$, яка надходить на вхід вольтметра 12. Постійна напруга $U_1^{(k)}$ є пропорційною модулю $|W^{(k)}|$ комплексного

коефіцієнта $W^{(K)}$ проходження пакетів ультразвукових коливань крізь контрольований текстильний матеріал 17. Модуль $|W^{(K)}|$ комплексного коефіцієнта проходження $W^{(K)}$ пакетів ультразвукових коливань визначається наступним чином:

$$|W^{(K)}| = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{K^{(K)} \eta^{(K)} f \cos(\nu)}{\rho_{\Pi} c_{\Pi}} \right)^2}}, \quad (1)$$

де $K^{(K)}$ – коефіцієнт, який відноситься до контрольованого текстильного матеріалу 17 і який враховує як відстані і об'єм повітря між нитками цього матеріалу, так і деформацію структури цього матеріалу; $\eta^{(K)}$ – поверхнева щільність контрольованого текстильного матеріалу 17.

Постійну напругу $U_1^{(K)}$, з урахуванням коефіцієнтів передачі різних ланок пристрою, можна визначити наступним чином:

$$U_1^{(K)} = K_1 K_2 K_3 K_4 K_5 \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{K^{(K)} \eta^{(K)} f \cos(\nu)}{\rho_{\Pi} c_{\Pi}} \right)^2}} U_m, \quad (2)$$

де U_m – амплітуда напруги генератора гармонійних коливань 1; K_1 – коефіцієнт передачі формувача зондуючих пакетів 3; K_2 – коефіцієнт передачі підсилювача потужності 4; K_3 – коефіцієнт перетворення випромінюючої частини роздільно-суміщеного п'єзоперетворювача 5 і приймаючого п'єзоперетворювача 9; K_4 – коефіцієнт передачі підсилювача потужності 10; K_5 – коефіцієнт передачі пікового детектора 11.

Пакети електричних коливань після підсилення їх підсилювачем потужності 4 також надходять на вхід атенюатора 6, де вони послаблюються і надходять на вхід пікового детектора 7. Там вони перетворюються в постійну напругу $U_0^{(K)}$, яка надходить на вхід вольтметра 8. Постійна напруга $U_0^{(K)}$ є пропорційною амплітуді пакетів ультразвукових коливань, які випромінюються випромінюючою частиною роздільно-суміщеного п'єзоперетворювача 5. Постійну напругу $U_0^{(K)}$, з урахуванням коефіцієнтів передачі різних ланок пристрою, можна визначити наступним чином:

$$U_0^{(K)} = K_1 K_2 K_6 K_7 U_m, \quad (3)$$

де K_6 – коефіцієнт передачі атенюатора 6; K_7 – коефіцієнт передачі пікового детектора 7.

Пакети ультразвукових коливань, які відбилися від контрольованого текстильного матеріалу 17, надходять на приймаючу частину роздільно-суміщеного п'єзоперетворювача 13, де перетворюються в пакети електричних коливань. Пакети електричних коливань, які сформувалися за допомогою приймаючої частини роздільно-суміщеного п'єзоперетворювача 13, підсилюються підсилювачем потужності 14 і надходять на вхід пікового детектора 15, де перетворюються у постійну напругу $U_2^{(K)}$, яка надходить на вхід вольтметра 16. Постійна напруга $U_2^{(K)}$ є пропорційною добутку модуля $|V^{(K)}|$ комплексного коефіцієнта $V^{(K)}$ відбиття пакетів ультразвукових коливань і коефіцієнта $K_{\rho}^{(K)}$, який характеризує залежність амплітуди пакетів ультразвукових коливань, які надходять на приймаючу частину роздільно-суміщеного п'єзоперетворювача 13, як від особливостей структури контрольованого текстильного матеріалу 17, так і від його розміщення в просторі. Модуль $|V^{(K)}|$ комплексного коефіцієнта відбиття $V^{(K)}$ пакетів ультразвукових коливань визначається наступним чином:

$$|V^{(K)}| = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\rho_{II} c_{II}}{K^{(K)} \eta^{(K)} f \cos(\nu)} \right)^2}}. \quad (4)$$

Постійну напругу $U_2^{(K)}$ з урахуванням коефіцієнтів передачі різних ланок пристрою, можна визначити наступним чином:

$$U_2^{(K)} = K_1 K_2 K_8 K_9 K_{10} \frac{K_\rho^{(K)}}{\sqrt{1 + \left(\frac{\rho_{II} c_{II}}{K^{(K)} \eta^{(K)} f \cos(\nu)} \right)^2}} U_m, \quad (5)$$

де K_8 – коефіцієнт перетворення випромінюючої частини роздільно-суміщеного п'єзоперетворювача 5 і приймаючої частини роздільно-суміщеного п'єзоперетворювача 13; K_9 – коефіцієнт передачі підсилювача потужності 14; K_{10} – коефіцієнт передачі пікового детектора 15.

Виключити вплив зміни розміру $q^{(K)}$ пор контрольованого текстильного матеріалу 17 на результат вимірювання можна, забезпечивши контроль зміни коефіцієнта $K^{(K)}$, який в основному змінюється із зміною як відстані і об'єму повітря між нитками контрольованого текстильного матеріалу 17, так і з деформацію структури контрольованого текстильного матеріалу 17.

Зміну коефіцієнта $K^{(K)}$ контрольованого текстильного матеріалу 17 можна пов'язати із зміною амплітуди пакетів ультразвукових коливань, які відбиваються від контрольованого текстильного матеріалу 17 і надходять на приймаючу частину роздільно-суміщеного п'єзоперетворювача 13, відносно амплітуди пакетів ультразвукових коливань, які відбиваються від зразкового текстильного матеріалу і надходять на приймаючу частину роздільно-суміщеного п'єзоперетворювача 13 раніше.

Визначити зміну коефіцієнта $K^{(K)}$ контрольованого текстильного матеріалу 17 можна за зміною постійної напруги $U_2^{(K)}$ (при дослідженні контрольованого текстильного матеріалу 17) відносно постійної напруги $U_2^{(3)}$ (при дослідженні зразкового текстильного матеріалу 17). Знаючи, що розмір $q^{(K)}$ пор контрольованого текстильного матеріалу 17 безпосередньо пов'язаний з коефіцієнтом $K^{(K)}$, їх співвідношення можна визначити наступним чином:

$$\frac{|V^{(K)}| K_\rho^{(K)}}{|V^{(3)}| K_\rho^{(3)}} = \frac{q^{(3)}}{q^{(K)}} = \frac{K^{(K)}}{K^{(3)}}, \quad (6)$$

де $q^{(3)}$ – розмір пор зразкового текстильного матеріалу 17.

Враховуючи вираз (6), можна визначити коефіцієнт $K^{(K)}$ контрольованого текстильного матеріалу 17 через постійні напруги $U_2^{(K)}$ і $U_2^{(3)}$ наступним чином:

$$K^{(K)} = \frac{|V^{(K)}| K_\rho^{(K)}}{|V^{(3)}| K_\rho^{(3)}} K^{(3)} = \frac{U_2^{(K)}}{U_2^{(3)}} K^{(3)}, \quad (7)$$

де коефіцієнт $K^{(3)}$ зразкового текстильного матеріалу 17 в процесі вимірювання визначається лише один раз.

Оскільки об'ємна щільність $\rho^{(K)}$ контрольованого текстильного матеріалу 17 безпосередньо пов'язана з його поверхневою щільністю $\eta^{(K)}$, то їх взаємний зв'язок можна визначити наступним чином:

$$\rho^{(K)} = \frac{4 K^{(K)} \eta^{(K)}}{\pi^2 d_{OY}^{(K)}}, \quad (8)$$

де $d_{OY}^{(K)}$ – сума діаметрів ниток основи і утку контрольованого текстильного матеріалу 17.

Тоді, із урахуванням залежності (8), об'ємну щільність $\rho^{(K)}$ контрольованого текстильного матеріалу 17 можна визначати наступним чином:

$$\rho^{(K)} = \frac{4 \rho_{II} c_{II} \sqrt{\frac{1}{|W^{(K)}|^2} - 1}}{\pi^2 d_{OY}^{(K)} f \cos(\nu)}. \quad (9)$$

Так як середній діаметр $d_C^{(K)}$ ниток основи і ниток утку контрольованого текстильного матеріалу 17

$$d_C^{(K)} = \frac{d_{OY}^{(K)}}{2}, \quad (10)$$

то

$$\rho^{(K)} = \frac{2 \rho_{II} c_{II} \sqrt{\frac{1}{|W^{(K)}|^2} - 1}}{\pi^2 d_C^{(K)} f \cos(\nu)}. \quad (11)$$

Для того, щоб виключити вплив середнього діаметра $d_C^{(K)}$ ниток контрольованого текстильного матеріалу 17 на результат визначення об'ємної щільності $\rho^{(K)}$ контрольованого текстильного матеріалу 17, необхідно середній діаметр $d_C^{(K)}$ ниток контрольованого текстильного матеріалу 17 якимось чином визначити. Як показують результати експериментальних досліджень, співвідношення середнього діаметра $d_C^{(K)}$ ниток контрольованого текстильного матеріалу 17 і середньої довжини $l_C^{(K)}$ сторони квадратної наскрізної пори в контрольованому текстильному матеріалі 17 можна описати наступним чином:

$$\sqrt{K^{(K)}} = \frac{d_{OY}}{l_C^{(K)}} = \frac{2d_C}{l_C^{(K)}}. \quad (12)$$

Звідси середній діаметр $d_C^{(K)}$ ниток контрольованого текстильного матеріалу 17 буде визначатися наступним чином:

$$d_C^{(K)} = \frac{l_C^{(3)} \sqrt{K^{(K)}}}{2} = \frac{l_C^{(3)} \sqrt{\frac{|V^{(K)}| K_\rho^{(K)}}{|V^{(3)}| K_\rho^{(3)}}} K^{(3)}}{2}, \quad (13)$$

де середня довжина $l_C^{(3)}$ сторони квадратної наскрізної пори зразкового текстильного матеріалу 17 в процесі вимірювання визначається лише один раз.

Як також показують результати експериментальних досліджень, для контрольованих текстильних матеріалів 17 з поверхневою щільністю $\eta^{(K)}$, яка лежить в діапазоні від 120 до 280 г/м², при

виконанні умови більшості середньої довжини $l_C^{(3)}$ сторони квадратної наскрізної пори зразкового текстильного матеріалу 17 за середню довжину $l_C^{(K)}$ сторони такої ж квадратної наскрізної пори контрольованого текстильного матеріалу 17 ($l_C^{(3)} > l_C^{(K)}$) середній діаметр $d_C^{(K)}$ ниток контрольованого текстильного матеріалу 17 можна визначити досить точно з відносною похибкою не більше 5 %.

За напругами $U_0^{(K)}$, $U_1^{(K)}$, $U_2^{(K)}$ і $U_2^{(3)}$, які пропорційні амплітудам пакетів ультразвукових коливань, що взаємодіють з контрольованим і зразковим текстильними матеріалами, з урахуванням зміни коефіцієнта $K^{(K)}$ і при виконанні умови

$$\frac{\rho_{II} c_{II}}{f \cos(\nu)} = const \quad (14)$$

об'ємна щільність $\rho^{(K)}$ контрольованого текстильного матеріалу 17, після підстановки середнього діаметра $d_C^{(K)}$ з виразу (13) в вираз (11), буде визначитися наступним чином:

$$\rho^{(K)} = \frac{4 \rho_{II} c_{II} \sqrt{\left(\frac{1}{|W^{(K)}|^2} - 1 \right) \frac{|V^{(3)}| K_{\rho}^{(3)}}{|V^{(K)}| K_{\rho}^{(K)} K^{(3)}}}}{\pi^2 l_C^{(3)} f \cos(\nu)} = \frac{4 \rho_{II} c_{II} \sqrt{\left(\left(\frac{U_0^{(K)}}{U_1^{(K)}} \right)^2 - 1 \right) \frac{U_2^{(3)}}{U_2^{(K)} K^{(3)}}}}{\pi^2 l_C^{(3)} f \cos(\nu)}. \quad (15)$$

Таким чином, маючи значення ρ_{II} , c_{II} , $l_C^{(3)}$, f , ν , $U_0^{(K)}$, $U_1^{(K)}$, $U_2^{(K)}$, $U_2^{(3)}$ і $K^{(3)}$, можна згідно з виразом (15) визначити об'ємну щільність $\rho^{(K)}$ контрольованого текстильного матеріалу 17.

Висновки

Ультразвуковий метод визначення об'ємної щільності текстильних матеріалів дозволяє здійснювати наступне. По-перше, визначити об'ємну щільність текстильних матеріалів безконтактно, як в процесі їх виготовлення, так і в процесі їх експлуатації. По-друге, виключати вплив як зміни розмірів пор текстильних матеріалів, так і зміни середнього діаметра ниток текстильних матеріалів на результат вимірювання. При цьому необхідна наявність зразкового текстильного матеріалу.

Список літературних джерел

1. Розробка та дослідження текстильних композиційних матеріалів для засобів індивідуального захисту [Електронний ресурс] / Л.Д. Третьякова, Н.П. Супрун, В.М. Василенко // Проблеми охорони праці в Україні. – 2014. – Вип. 28. – С. 47–52. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/pop_2014_28_8.
2. Шумиловский Н.Н. Применение ядерных излучений в устройствах автоматического контроля технологических процессов / Н.Н. Шумиловский, Л.В. Мельцер. – М.-Л.: Госэнергоиздат, 1958. – 96 с.
3. Бреховских Л.М. Волны в слоистых средах / Л.М. Бреховских. – М.: Наука, 1973. – 343 с.
4. Пат. 63663 Україна, МПК G01N7/00, G01N29/00. Пристрій для вимірювання часу проходження та згасання акустичних імпульсів / Скрипник Ю.О., Здоренко В.Г., Барилко С.В.; заявник та патентовласник Київський національний університет технологій та дизайну. – № u201106890; заявл. 01.06.2011; опубл. 10.10.2011, Бюл. № 19.
5. 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.