

<https://doi.org/10.31891/2219-9365-2023-75-31>

УДК 677.017

ЗДОРЕНКО Валерій

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
<https://orcid.org/0000-0001-6508-4290>
alzd123@meta.ua

МАТЯШ Олександр

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
<https://orcid.org/0009-0000-8366-2066>
matasaleksandr97@gmail.com

ЗАСТОСУВАННЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО МЕТОДУ З ПОВЗДОВЖНІМ РОЗПОВСЮДЖЕННЯМ ХВИЛІ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ НАТЯГУ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

В роботі розглянуто можливість застосування ультразвукового методу вимірювання натягу текстильних полотен з повздовжнім розповсюдженням хвилі у волокнах контрольованого матеріалу. Застосування такого методу для контролю натягу матеріалу дозволить оперативно визначити зазначений параметр в процесі виробництва. Це дозволить у майбутньому вдосконалити текстильні машини для виготовлення готових полотен та стрічок із поточною корекцією натягу матеріалу безпосередньо на технологічному обладнанні із використанням безконтактних датчиків.

Ключові слова: ультразвукова хвиля, повздовжнє розповсюдження, вимірювання натягу, текстильний матеріал.

ZDORENKO Valeriy, MATIASH Oleksandr

National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

APPLICATION OF THE ULTRASONIC METHOD WITH LONGITUDINAL WAVE PROPAGATION FOR MEASURING THE TENSION OF TEXTILE MATERIALS

The paper considers the possibility of applying the ultrasonic method of measuring the tension of textile fabrics with longitudinal wave propagation in the fibers of the controlled material. The use of such a method to control the tension of the material will allow to quickly determine the specified parameter during the production process. This will allow in the future to improve textile machines for the production of finished cloths and tapes with current correction of material tension directly on the technological equipment using non-contact sensors.

Currently, there is a significant demand for textile materials, which contributes to a significant expansion of their assortment. This determines the need to improve the quality of such materials, therefore, modern technological equipment for the production of textile materials requires the use of operational control of technological parameters to improve the productivity and quality of finished products.

One of the main technological parameters in the production of textile materials is their tension. Exceeding the tension of the threads causes their increased breakage, which leads to shortages, downtimes of technological equipment and a decrease in its productivity. Taking into account the fact that thread tension control and regulation systems on technological equipment are mainly mechanical and contact, their use does not allow for operational technological determination of tension.

The existing contact mechanical means of tension measurement exert an influence directly on the textile material itself. This can lead to the occurrence of additional material tension during its control, which can introduce a significant error in the measurement of the main tension. There are also optical devices for determining the tension of textile materials, the use of which is significantly limited due to significant dustiness in the production premises of textile factories. Carrying out the technological process of the production of textile materials without operational technological control of the current value of the tension on textile machines does not allow to obtain high-quality finished products and to ensure the saving of raw materials due to the exclusion of defects and the production of textile materials in the negative field of tolerance in terms of surface density. Therefore, it is advisable to use the methods of operational technological control of the tension of textile materials in the production process, which can be implemented only by non-contact methods and appropriate means of measuring the current value of the tension.

Key words: ultrasonic wave, longitudinal propagation, tension measurement, textile material.

Постановка проблеми у загальному вигляді

та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

В теперішній час існує значний попит на текстильні матеріали, що сприяє значному розширенню їх асортименту. Це обумовлює необхідність підвищення якості таких матеріалів, тому сучасне технологічне обладнання для виробництва текстильних матеріалів потребує застосування оперативного контролю технологічних параметрів для підвищення продуктивності та якості готової продукції.

Одним з основних технологічних параметрів при виробництві текстильних матеріалів є їх натяг. Перевищення натягу ниток обумовлює їх підвищену обривність, що призводить до браку, простоїв технологічного обладнання та зменшення його продуктивності. Враховуючи те, що системи контролю та

регулювання натягу ниток на технологічному обладнанні є, переважно, механічними та контактними [1, 2], то їх застосування не дає можливості оперативного технологічного визначення натягу.

Існуючі контактні механічні засоби вимірювання натягу [3, 4] здійснюють вплив безпосередньо на сам текстильний матеріал. Це може призводити до виникнення додаткового натягу матеріалу при його контролі, що може вносити суттєву похибку вимірювання основного натягу. Також існують оптичні пристрої визначення натягу текстильних матеріалів [5], однак їх застосування суттєво обмежено у зв'язку із значною запиленістю у виробничих приміщеннях текстильних виробництв. Проведення технологічного процесу виробництва текстильних матеріалів без оперативного технологічного контролю поточного значення натягу на текстильних машинах [6] не дозволяє отримати готову продукцію високої якості та забезпечити економію сировини за рахунок виключення браку та виготовлення текстильних матеріалів у мінусовому полі допуску по поверхневій густині. Тому доцільним є застосування методів оперативного технологічного контролю натягу текстильних матеріалів в процесі виробництва, що можна реалізувати тільки безконтактними методами та відповідними засобами вимірювання поточного значення натягу.

Постановка проблеми і огляд останніх досліджень

Проведений порівняльний аналіз показав, що найбільш доцільним є застосування ультразвукових безконтактних методів контролю натягу [7, 8]. Це обумовлено відносною простотою конструкції випромінювачів та приймачів ультразвукових хвиль, відсутністю впливу запиленості та електромагнітних завад на результат вимірювання натягу, простотою технічного обслуговування ультразвукових засобів контролю натягу, а також достатньо високою точністю вимірювання натягу. При цьому безконтактні ультразвукові засоби та системи дозволяють вимірювати профіль натягу текстильних матеріалів по ширині. Це дозволяє забезпечити високу якість готової продукції та вдосконалити технологічне обладнання з метою його автоматизації.

Однією із основних задач для безконтактного вимірювання натягу текстильного полотна є виключення впливу структури самого полотна на зміну розмірів його пор в процесі розтягу текстильних матеріалів при їх виробництві. За зміною міжволоконних відстаней та розмірів наскрізних пор в структурі матеріалу можна визначати і величину його натягу. Пористість текстильного матеріалу на одиницю його площі, або її зміна у певний момент часу впливає на амплітуду ультразвукових хвиль [9], які проходять контрольовані волокна матеріалу. Також розмір наскрізних пор впливає на амплітуду ультразвукової хвилі, яка проходить крізь них. При збільшенні або зменшенні пор текстильного матеріалу полотна та міжволоконної відстані відповідно буде змінюватися амплітуда зондувальної ультразвукової хвилі. У випадку, коли наскрізні пори розширюються, а міжволоконні відстані зменшуватимуться, їх комплексний вплив буде відображатися на амплітуді ультразвукових хвиль, які пройшли крізь структуру текстильного матеріалу з певним натягом. При значному впливі натягу на зміну міжволоконних відстаней за зміною розмірів самих пор, або коли відстані між волокнами матеріалу та самі пори однаково зменшуються при натягу полотна, можна визначати натяг текстильних матеріалів за амплітудою зондувальних ультразвукових хвиль.

Формулювання цілей статті

Метою роботи є проведення аналізу можливості застосування безконтактного ультразвукового методу для вимірювання натягу текстильних полотен з повздовжнім розповсюдженням ультразвукової хвилі у волокнах та міжволоконних порах текстильного матеріалу.

Викладення основного матеріалу

Для можливості безконтактного вимірювання натягу текстильного матеріалу можна використати ультразвуковий амплітудний метод. Співвідношення амплітуд ультразвукових хвиль, які падають на текстильний матеріал, до хвиль, що проходять вздовж волокон матеріалу та міжволоконних пор, будуть представляти собою значення модуля комплексного коефіцієнта проходження. З виразу для модуля комплексного коефіцієнта проходження можна визначати і сам натяг текстильного матеріалу.

Вираз для модуля комплексного коефіцієнта проходження $|W_{нов}|$ ультразвукових хвиль, що пройшли текстильне полотно вздовж його волокон з врахуванням величин: коефіцієнта згасання α_3 , частоти ультразвукових хвиль f , кута огинання більшої частини хвиль волокон матеріалу $\cos \nu_3$, швидкості розповсюдження хвилі в повітряному середовищі C_1 , об'ємної щільності цього середовища ρ_1 , швидкості розповсюдження ультразвукових хвиль в середовищі текстильного матеріалу C_2 , коефіцієнта зміни розмірів наскрізних пор у порівнянні з еталонним матеріалом K та поверхневої густини волоконної маси m_s , можна навести у наступному вигляді [9]:

$$|W_{нов.}| = \frac{1}{\sqrt{\left(1 + \alpha_3 \cdot \frac{c_2}{\rho_1 c_1} \cdot \frac{K m_s \cos v_3}{2\pi}\right)^2 + \left(\frac{K m_s f \cos v_3}{\rho_1 c_1}\right)^2}}. \quad (1)$$

Зважаючи на те, що коефіцієнт згасання хвиль α_3 , змінюється в залежності від натягу текстильного контрольованого полотна, тобто від зміни орієнтації елементарних волокон в його структурі, то наближено його можливо подати як добуток початкового коефіцієнту згасання α_{03} , хвиль та співвідношення початкового натягу матеріалу до його кінцевого значення P_n / P_k , у наступному вигляді:

$$\alpha_3 \approx \alpha_{03} \cdot \frac{P_n}{P_k}. \quad (2)$$

Підставивши залежність для коефіцієнта згасання (3) в вираз (2) можливо визначити модуль комплексного коефіцієнта повздовжнього проходження ультразвукових хвиль:

$$|W_{нов.}| = \frac{1}{\sqrt{\left(1 + \alpha_{03} \cdot \frac{P_n \cdot c_2 \cdot K m_s \cos v_3}{2\pi P_k \cdot \rho_1 c_1}\right)^2 + \left(\frac{K m_s f \cos v_3}{\rho_1 c_1}\right)^2}}. \quad (3)$$

З останнього виразу для модуля коефіцієнта повздовжнього проходження можна визначити швидкість ультразвукових хвиль в текстильному матеріалі полотна, яка може змінюватися в залежності від зміни розпрямленості волокон. Значення цієї швидкості розповсюдження ультразвукових хвиль можна подати як:

$$c_2 = \frac{2\pi P_k \cdot \rho_1 c_1 \cdot \left(\sqrt{\frac{1}{|W_{нов.}|^2} - \left(\frac{K m_s f \cos v_3}{\rho_1 c_1}\right)^2} - 1 \right)}{\alpha_{03} \cdot P_n \cdot K m_s \cos v_3}, \quad (4)$$

а поточний натяг текстильного матеріалу можна тоді визначити як:

$$P_k = \frac{\alpha_{03} \cdot P_n \cdot c_2 \cdot K m_s \cos v_3}{2\pi \rho_1 c_1 \cdot \left(\sqrt{\frac{1}{|W_{нов.}|^2} - \left(\frac{K m_s f \cos v_3}{\rho_1 c_1}\right)^2} - 1 \right)}. \quad (5)$$

На рис.1 показані залежності зміни швидкості c_2 хвиль від їхньої поверхневої густини m_s , а на рис.2 наведено поверхню залежності зміни модуля $|W_{нов.}|$ від зміни натягу P_k та поверхневої густини m_s матеріалу.

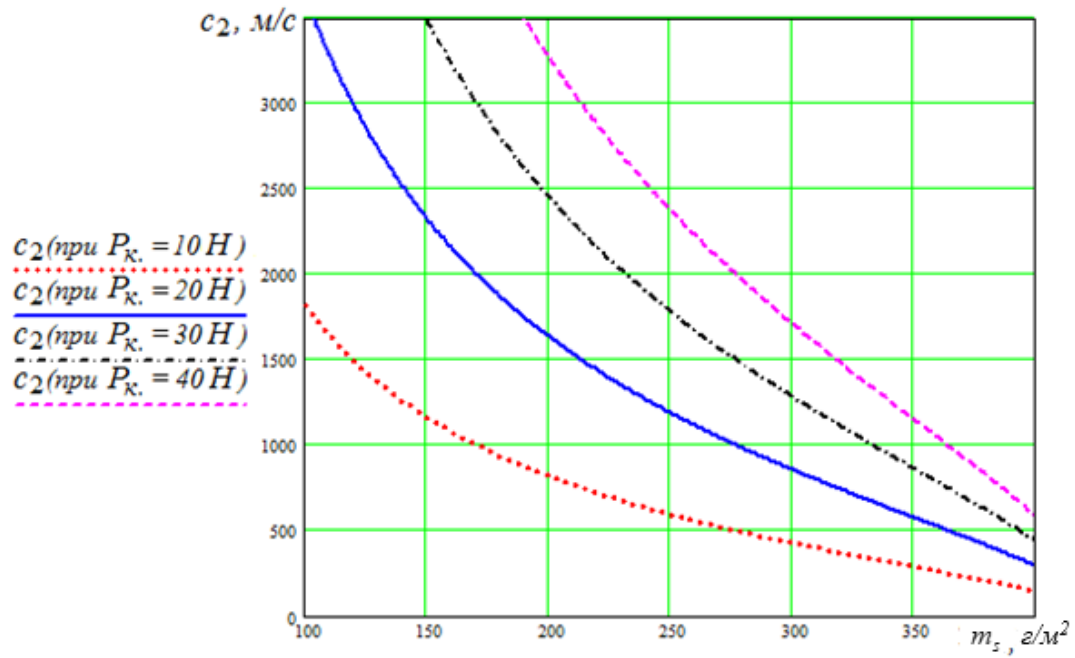


Рис. 1. Залежності зміни швидкості c_2 ультразвукових хвиль від їхньої поверхневої густини m_s

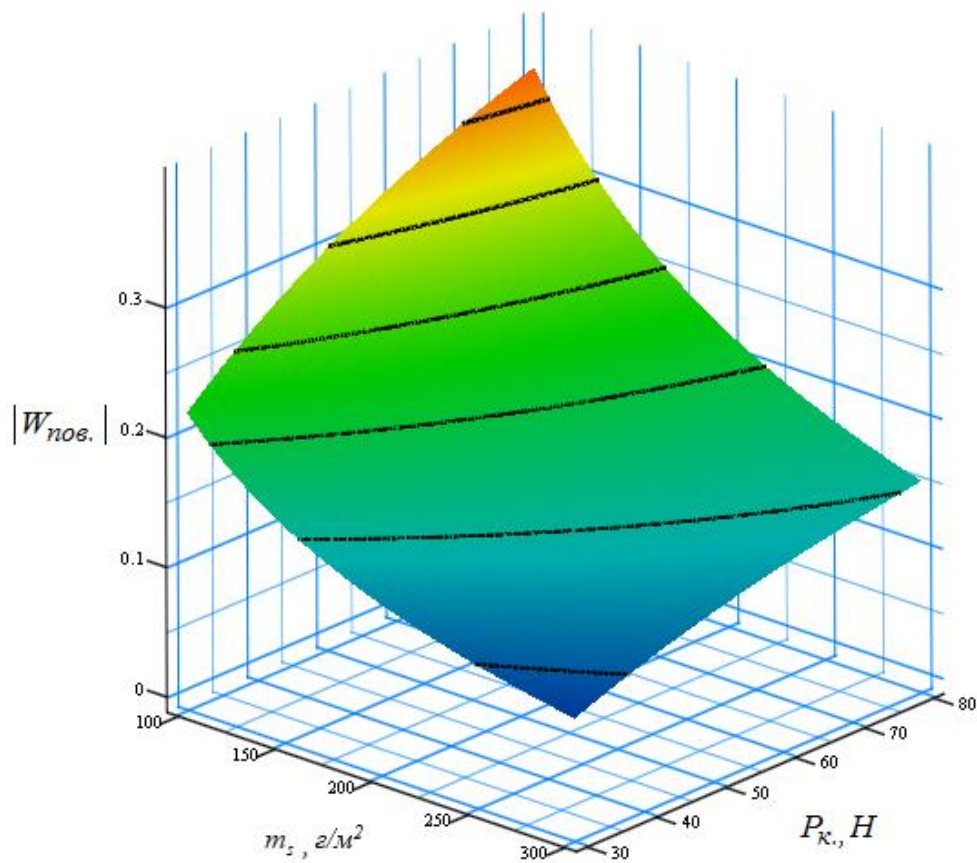


Рис. 2. Поверхня залежності зміни модуля $|W_{\text{пов.}}|$ повздовжнього проходження ультразвукових хвиль крізь текстильний матеріал від зміни натягу $P_{\kappa.}$ та поверхневої густини m_s матеріалу

На рис. 1 показано, що швидкість c_2 ультразвукових хвиль в структурі полотна зменшується при збільшенні поверхневої густини m_s матеріалу та при меншому натязі P_K . Також графік з рис.1 показує, що більша міжволоконна пористість може впливати на зменшення швидкості хвиль c_2 в текстильному полотні при його повздовжньому прозвучуванні.

На рис.2 наведена поверхня залежності зміни модуля $|W_{нов.}|$ повздовжнього проходження ультразвукових хвиль крізь текстильний матеріал від зміни натягу P_K та поверхневої густини m_s матеріалу. Показано, що при збільшенні поверхневої густини m_s текстильного полотна амплітуда ультразвукових хвиль, яка пропорційна модулю $|W_{нов.}|$, буде зменшуватись, а при збільшенні натягу P_K текстилю, навпаки, амплітуда ультразвукових хвиль буде збільшуватись.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

Проведений аналіз показує, що застосування ультразвукового методу контролю з повздовжнім розповсюдженням ультразвукової хвилі дає можливість визначати поточний натяг текстильного полотна із використанням вимірювань амплітуди ультразвукової хвилі та зміни її швидкості c_2 в структурі самого матеріалу. За зміною швидкості c_2 розповсюдження хвиль в контрольованому матеріалі та амплітудою ультразвукових хвиль можна безконтактно визначати натяг P_K текстильного матеріалу безпосередньо в ході технологічного процесу.

References

1. Vasconcelos FB. Influence of yarn tension variations before the positive feed on the characteristics of knitted fabrics / FB. Vasconcelos, JPP. Marcicano, RA. Sanches // Textile Research Journal. – 2015. Vol.85(17). P.1864–1871.
2. Koranne M. Fundamentals of yarn winding/ M. Koranne. - New Delhi: Woodhead Publishing India Pvt Limited, 2013. - 190 p.
3. Krause H. W. The significance of yarn tension in Open-end Spining / H. W. Krause, H. A. Soliman // The Journal of The Textile Institute. – 2008. Vol.67. Issue5. P.166-174.
4. Hu Xintong. Tension modeling and analysis of braiding carriers during radial-direction and axial-direction braiding / Xintong Hu, Yujing Zhang, Zhuo Meng & Yize Sun // The Journal of The Textile Institute. – 2019. P.1-12.
5. Tong Yun. Intelligent Control of the Dynamic Tension of Yarn by Means of Sensors in Winding Process / Yun Tong // Applied Mechanics and Materials. – 2014. P.2305-2308.
6. Здоренко В.Г. Дослідження похибки розрахункового методу визначення поверхневої щільності тканин / В.Г. Здоренко, С.В. Барилко // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. – 2013. – №2(70). – С. 16 – 21.
7. Zdorenko V. The use of ultrasonic method for determining the basis weight of textile materials / V. Zdorenko, O. Kyzymchuk, S. Barylko, L. Melnyk // The Journal of The Textile Institute, – 2018. Vol.109. Issue 3. P.410-418.
8. Barylko S. Adaptive ultrasonic method for controlling the basis weight of knitted fabrics / S. Barylko, V. Zdorenko, O. Kyzymchuk, S. Lisovets, L. Melnyk & Olena Barylko // Journal of Engineered Fibers and Fabrics, – 2019. Vol.14. P.1-7.
9. Zdorenko V, Kucheruk V, Barylko S, et al, et al (2021). Non-contact ultrasound method of thread tension determination for light industry machinery, Bulletin of the Karaganda University, Physics Series, 104, P. 35-45.