

<https://doi.org/10.31891/2219-9365-2024-79-4>

УДК 676.22.017

ДАЩЕНКО Володимир

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

<https://orcid.org/0009-0000-9298-2993>

apph.dvd@gmail.com

ВОЛКОВИЙ Павло

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

<https://orcid.org/0009-0000-6032-9084>

pavel98volk@gmail.com

ВИМІРЮВАННЯ ПОВЕРХНЕВОЇ ЩІЛЬНОСТІ МАТЕРІАЛУ З ОДНОРІДНОЮ СТРУКТУРОЮ УЛЬТРАЗВУКОВИМ МЕТОДОМ

В результаті виготовлення, переробки паперової сировини та отримання на виході готової продукції, яка має однорідну структуру, виробник прагне отримати високу якість готового виробу. Для досягнення вказаної мети актуальною є задача вимірювання та контролю поверхневої щільності однорідного паперового матеріалу в процесі його виробництва, яка безпосередньо впливає на його якість. На сьогодні, підприємства паперової промисловості використовують контактний руйнівний метод визначення поверхневої щільності матеріалу, що не дає можливості реалізувати постійний моніторинг параметру. Для вирішення даної проблеми необхідно розробити нові комп'ютеризовані системи і методи вимірювання поверхневої щільності матеріалу із використанням саме безконтактних ультразвукових перетворювачів, оскільки тільки вони дають можливість забезпечити моніторинг параметру в режимі реального часу при невеликих грошових витратах на їх установку та експлуатацію у порівнянні з аналогами.

Для розробки безконтактного методу вимірювання поверхневої щільності однорідного матеріалу необхідно вирішити наступні завдання: дослідити теорію розповсюдження та ослаблення ультразвукових хвиль в контрольованому з однорідною структурою матеріалі; навести основні співвідношення амплітуд ультразвукових хвиль, які взаємодіють з матеріалом; розробити алгоритм вимірювальних та розрахункових процедур для визначення параметру поверхневої щільності матеріалу, що будуть застосовані в комп'ютеризованій системі.

Для контролю матеріалу необхідно враховувати особливості складу матеріалу і його вплив на інформативні параметри самого зондувального ультразвукового сигналу під час вимірювання. При безконтактному ультразвуковому методі матеріал опромінюється хвилями, а значення його поверхневої щільності визначається співвідношенням амплітуд ультразвукової хвилі, що пройшла крізь матеріал з однорідною структурою, і хвилі, яка падає на нього. Для налаштування комп'ютеризованої інформаційно-вимірювальної системи під параметри навколишнього середовища перед початком вимірювання поверхневої щільності матеріалу використовується опорний канал.

Ключові слова: поверхнева щільність, паперовий матеріал, однорідна структура, ультразвуковий метод, безконтактні перетворювачі, вимірювання, комп'ютеризована інформаційно-вимірювальна система.

DASHCHENKO Volodymyr, VOLKOVYI Pavlo

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

MEASUREMENT OF THE AREA DENSITY OF A MATERIAL WITH A UNIFORM STRUCTURE USING THE ULTRASONIC METHOD

As a result of the production, processing of paper raw materials and obtaining at the output of the finished product, which is a homogeneous structure, the manufacturer strives to obtain a high quality of the finished product. To achieve this goal, the task of measuring and controlling the area density of homogeneous paper material during its production, which directly affects its quality, is relevant. Today, paper industry enterprises use the contact destructive method of determining the area density of the material, which does not provide the opportunity to implement constant monitoring of the parameter. In order to solve this problem, it is necessary to develop new computerized systems and methods of measuring the area density of the material using non-contact ultrasonic transducers, since only they provide an opportunity to monitor the parameter in real time at low financial costs for their installation and operation in comparison with analogues.

To develop a non-contact method of measuring the area density of a homogeneous material, the following tasks must be solved: to investigate the theory of propagation and attenuation of ultrasonic waves in a controlled material with a homogeneous structure; state the main amplitude ratios of ultrasonic waves that interact with the material; to develop an algorithm of measurement and calculation procedures to determine the area density parameter of the material, which will be applied in the computerized system.

To control the material, it is necessary to take into account the features of the material composition and its influence on the informative parameters of the probing ultrasonic signal itself during the measurement. With the non-contact ultrasonic method, the material is irradiated with waves, and the value of its area density is determined by the ratio of the amplitudes of the ultrasonic wave that passed through the material with a uniform structure and the wave that falls on it. A reference channel is used to adjust the computerized information and measurement system to the environmental parameters before starting the measurement of the area density of the material.

Key words: area density, paper material, homogeneous structure, ultrasonic method, non-contact transducers, measurement, computerized information and measurement system.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ У ЗАГАЛЬНОМУ ВИГЛЯДІ ТА ЇЇ ЗВ'ЯЗОК ІЗ ВАЖЛИВИМИ НАУКОВИМИ ЧИ ПРАКТИЧНИМИ ЗАВДАННЯМИ

До матеріалів з однорідною суцільною структурою можна віднести полімерну плівку, папір, фольгу та інші матеріали, що використовуються сьогодні у широкому вжитку у всіх галузях господарства людини. Розглянемо, як приклад, більш детально паперовий матеріал. Відповідно до класифікації, яка застосовується в целюлозно-паперовій промисловості, папір традиційно поділяють за призначенням на 9 груп: папір для друку; пакувальний та обгортковий; для писання, креслення та малювання; оздоблювальний; електротехнічний; світлочутливий; для виготовлення тютюнових виробів; вбирний; технічно-промисловий папір різного призначення. Кожна група об'єднує види паперу, які різняться між собою волокнистим складом, масою 1 м^2 (поверхневою щільністю), кількістю наповнювача, ступенем проклеювання та іншими властивостями. Оскільки сьогодні є необхідність в забезпеченні високої якості паперу особливо для друку, тому актуальним є також і завдання застосування безконтактних перетворювачів для моніторингу поверхневої щільності матеріалу на виробництві.

Папір для друку визначається як папір для друкування видавничої продукції, що включає такі види – газетний, типографський, тонкий типографський, офсетний, для глибокого друку, картографічний, документний, обкладинковий, етикетковий, титульний тощо. Слабким місцем цієї класифікації є те, що види паперу визначені як за сферою застосування, так і за способом друку. Критеріями визначення більшості видів паперу є ступінь проклеювання і зольність, а в деяких випадках склад та інші показники.

Класифікації паперу для друку можуть відрізнятися в різних країнах, але основним параметром паперу є маса 1 м^2 або по іншому поверхнева щільність матеріалу. За державними стандартами, папір має масу до 250 г/м^2 , а картон – понад 250 г/м^2 . Однак, за міжнародними стандартами більшості країн, папером вважають матеріал з масою до 225 г/м^2 , а картоном – понад 225 г/м^2 .

Таким чином, виникає важлива наукова та практична проблема, яка полягає в забезпеченні оперативного вимірювання поверхневої щільності та контролю паперового матеріалу за цим параметром в процесі його виробництва та подальшої переробки.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ І ОГЛЯД ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Існують різні методи контролю поверхневої щільності матеріалів, такі як ємнісний, радіоізотопний, метод відбиття радіохвиль, ультразвуковий та руйнівний метод вирізання і зважування зразків матеріалу на вагах.

Найпростішим є метод вирізання пробних зразків матеріалу та подальше їх зважування [1]. Для визначення поверхневої щільності, беруть зразок розміром приблизно 10 см^2 та зважують його. Масу 10 см^2 перераховують за формулою ділення маси зразка на його виміряне значення площі. Проте такий метод вимірювання не дозволяє проводити безперервний оперативний моніторинг параметру, а тільки забезпечує вимірювання в лабораторних умовах.

Ємнісний метод, який використовує електричні перетворювачі, є перспективним для контролю щільності, але має обмежену чутливість до зміни параметрів матеріалу. Відомі системи сканування матеріалу з ємнісними перетворювачами [2], які можна використовувати для контролю поверхневої щільності, за правильним їх налаштуванням.

Радіоізотопний метод [2], що визначає щільність через розсіювання чи поглинання випромінювання, ефективний для суцільних структур матеріалів, але потребує суворого дотримання заходів безпеки. Метод має переваги: незалежність похибки від умов навколишнього середовища і можливість контролювати паперову масу значної товщини.

Методи відбиття радіохвиль дозволяють визначати щільність матеріалу за опромінюючим сигналом [3], який взаємодіє з об'єктом вимірювання, після його відбиття і формування реєстраційного інформаційного сигналу.

Ультразвукові безконтактні методи вимірювання та контролю є найбільш ефективними, оскільки забезпечують високу точність і зниження вартості приладів порівняно з аналогічними вимірювальними засобами із використанням інших видів датчиків. Зазвичай в ультразвукових вимірювальних системах випромінювання спрямовується перпендикулярно до поверхні матеріалу, а для їх налаштування використовують опорний канал з повітряним середовищем [4]. Ці методи застосовуються для швидкого отримання вимірювальної інформації про параметри матеріалів у виробничому процесі, що забезпечує високу ефективність виробництва.

Сьогодні не існує у світі стандартного безконтактного методу вимірювання поверхневої щільності матеріалів з однорідною структурою, який дозволив би оперативно контролювати цей параметр, та був би простим в реалізації та експлуатації. Тому для контролю матеріалу з однорідною структурою необхідно застосовувати метод, який буде враховувати особливості складу матеріалу і його вплив на інформаційні параметри самого зондувального ультразвукового сигналу під час вимірювання. Для безконтактного оперативного вимірювання поверхневої щільності різних матеріалів з однорідною суцільною структурою

необхідно провести дослідження розповсюдження ультразвукових хвиль в цих середовищах. Проведений аналіз показав, що найбільш перспективними методами вимірювання та контролю поверхневої щільності різних матеріалів є безконтактні ультразвукові методи [5-12]. При цьому матеріал опромінюється ультразвуковими хвилями, а значення його параметру визначається співвідношенням амплітуд ультразвукової хвилі, що пройшла крізь текстильний матеріал, і хвилі, яка падає на нього.

ФОРМУЛЮВАННЯ ЦІЛЕЙ СТАТТІ

Метою роботи є дослідження методу та системи для вимірювання і контролю поверхневої щільності матеріалів з однорідною структурою, задля подальшої реалізації безперервного моніторингу цього параметру в процесі виробництва.

Для досягнення мети необхідно вирішити наступні завдання:

- дослідити теорію розповсюдження та ослаблення ультразвукових хвиль в контрольованому суцільному матеріалі малої товщини;
- навести основні співвідношення амплітуд ультразвукових хвиль, які описують принципи реалізації безконтактного метода вимірювання;
- розробити алгоритм вимірювальних та розрахункових процедур для визначення параметру поверхневої щільності матеріалу з однорідною структурою.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Вираз для модуля $|W(\omega)|$ комплексного коефіцієнта проходження хвиль або, іншими словами, для співвідношення амплітуд ультразвукових хвиль, однієї, що пройшла контрольоване середовище з поверхневою щільністю m_s , до другої, яка тільки падає на нього, можна подати як [6]:

$$|W(\omega)| = \left(\left(\frac{4Z_1 Z_2}{(Z_1 + Z_2)^2} \right)^2 \left(\sum_{N=0}^{\infty} \left(\frac{Z_2 - Z_1}{Z_1 + Z_2} \right)^{2N} \cdot \cos \left((2N + 1) \frac{m_s \omega}{\pi Z_2} \right) \times \right. \right. \\ \left. \left. \times e^{-\alpha_s (2N+1) \frac{m_s}{\pi \rho_2}} \right)^2 + \left(\sum_{N=0}^{\infty} \left(\frac{Z_2 - Z_1}{Z_1 + Z_2} \right)^{2N} \cdot \sin \left((2N + 1) \frac{m_s \omega}{\pi Z_2} \right) \times \right. \right. \\ \left. \left. \times e^{-\alpha_s (2N+1) \frac{m_s}{\pi \rho_2}} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}}, \quad (1)$$

де Z_1 – акустичний опір середовища, з якого падає хвиля; Z_2, ρ_2 – акустичний опір та об'ємна щільність середовища матеріалу, в яке потрапляє ультразвукова хвиля; ω – колова частота; α_s – коефіцієнт згасання ультразвукових хвиль в контрольованому матеріалі; N – кількість перевідбивань ультразвукових хвиль від меж середовищ з різними акустичними опорами.

Вираз для модуля $|V(\omega)|$ комплексного коефіцієнта відбиття хвиль або, іншими словами, для співвідношення амплітуд ультразвукових хвиль, однієї, що відбилася від контрольованого середовища з поверхневою щільністю m_s , до другої, яка тільки падає на нього, можна подати так [6]:

$$|V(\omega)| = \left(\left(\frac{Z_2 - Z_1}{Z_1 + Z_2} \right)^2 \cdot \left(\sum_{N=0}^{\infty} \left(\frac{Z_2 - Z_1}{Z_1 + Z_2} \right)^{2N} \cdot \left(\cos \left(2N \frac{m_s \omega}{\pi Z_2} \right) \times \right. \right. \right. \\ \left. \left. \times e^{-\alpha_s 2N \frac{m_s}{\pi \rho_2}} - \cos \left((2N + 2) \frac{m_s \omega}{\pi Z_2} \right) \times e^{-\alpha_s (2N+2) \frac{m_s}{\pi \rho_2}} \right) \right)^2 + \\ \left. \left(\sum_{N=0}^{\infty} \left(\frac{Z_2 - Z_1}{Z_1 + Z_2} \right)^{2N} \cdot \left(\sin \left(2N \frac{m_s \omega}{\pi Z_2} \right) \cdot e^{-\alpha_s 2N \frac{m_s}{\pi \rho_2}} - \right. \right. \right. \\ \left. \left. \left. - \sin \left((2N + 2) \frac{m_s \omega}{\pi Z_2} \right) \cdot e^{-\alpha_s (2N+2) \frac{m_s}{\pi \rho_2}} \right) \right) \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}}. \quad (2)$$

Отримані залежності (1) та (2) є базовими для створення вимірювальних систем на основі

амплітудного методу опрацювання сигналу, що проходить крізь контрольований матеріал, та сигналу, який відбивається від нього.

Відносні зміни амплітуд хвиль, що спричиняються згасанням сигналів, для різних матеріалів, враховуючи залежності (1) та (2), після спрощення складових виразів із переходом від колової частоти ω до f та зважаючи на те, що величини $\frac{Z_1}{Z_2} \ll 1$, $\frac{m_s \omega}{\pi Z_2} \ll 1$ можна подати так:

$$|W| = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{m_s f}{Z_1}\right)^2}}, \quad (3)$$

$$\delta_{|W|} = \left(|W| \sqrt{1 + \left(\frac{m_s f}{Z_1}\right)^2} - 1 \right) \cdot 100\%,$$

$$|V| = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{Z_1}{m_s f}\right)^2}}, \quad (4)$$

$$\delta_{|V|} = \left(|V| \sqrt{1 + \left(\frac{Z_1}{m_s f}\right)^2} - 1 \right) \cdot 100\% .$$

Використаємо формулу (3) для реалізації амплітудного ультразвукового метода вимірювання поверхневої щільності паперу на проходження хвиль для розробки структури комп'ютеризованої інформаційно-вимірювальної системи (КІВС). На рисунку 1 показано структурну схему КІВС, за допомогою якої можна контролювати поверхневу щільність паперових матеріалів з використанням амплітудних залежностей ультразвукових сигналів.

Запропонована КІВС містить генераторну частину електричних імпульсів на мікроконтролері 1, блок живлення формувача зондувальних імпульсів 2, формувач радіоімпульсів на ключах 3, підсилювач потужності 4, випромінюючі перетворювачі 5 та 7, приймаючі перетворювачі 6 і 8, підсилювач з автоматичним регульованим підсиленням (АРП) 9, регулюючий атенюатор 10, детектори пікової напруги 11 і 12, мікроконтролер 13, перетворювач рівнів сигналів (ПР) 14 і персональний комп'ютер (ПК) 15, контрольований паперовий матеріал 16.

КІВС працює наступним чином. Електричні коливання з генераторної частини на мікроконтролері 1 потрапляють до формувача радіоімпульсів на ключах 3, який використовує напругу з блоку живлення 2 для підсилення імпульсів, з виходу якого радіоімпульси додатково підсилюються підсилювачем 4 за потужністю і поступають на випромінюючий перетворювач 5. Ультразвукові коливання, що випромінюються приймаються перетворювачем 6, після проходження ними контрольованого паперового матеріалу 16 (вимірювальний канал). Радіоімпульси подаються також на випромінюючий перетворювач 7, який випромінює ультразвукові коливання в повітряне середовище (опорний канал), що потрапляють в приймаючий перетворювач 8. Електричні коливання з другого приймаючого перетворювача 8 після проходження атенюатора 10 та пікового детектора 11 подаються на один вхід мікроконтролера 13, на інший його вхід подається вихідна напруга приймаючого перетворювача 6 після підсилення її підсилювачем з АРП 9 та виділення максимальної амплітуди напруги піковим детектором 12. Вихідний код інформаційного параметру мікроконтролера 13 треба подати у вигляді добутку вхідної напруги опорного каналу та модулю коефіцієнту проходження $|W|$ ультразвукового сигналу, який можна визначити з виразу (3). Вхідні напруги перетворюються за допомогою внутрішнього АЦП мікроконтролера 13 в цифрові коди і записуються в пам'ять ПК 15 після передачі інформації з ПР 14.

Приймаючи, що $Z_1/f = \text{const}$ в ПК 15 визначається поверхнева щільність паперового матеріалу за формулою:

$$m_s = \frac{\sqrt{\left(\frac{1}{|W|^2} - 1\right)} Z_1}{f}. \quad (5)$$

Результат відображається на моніторі ПК 15. В пам'ять ПК 15 у вигляді констант введені значення частоти f , швидкості розповсюдження ультразвукових коливань c_1 в навколишньому середовищі (повітрі), щільність цього середовища ρ_1 за нормальних умов. При відсутності контрольованого паперового матеріалу 16 у вимірювальному каналі перед початком вимірювань за допомогою регулюючого атенюатора 10 проводиться зрівнювання амплітуд напруг на входах мікроконтролера 13 за їх кодованими значеннями (при цьому $|W| = 1$), отже із виразу (5) отримаємо $m_s = 0$.

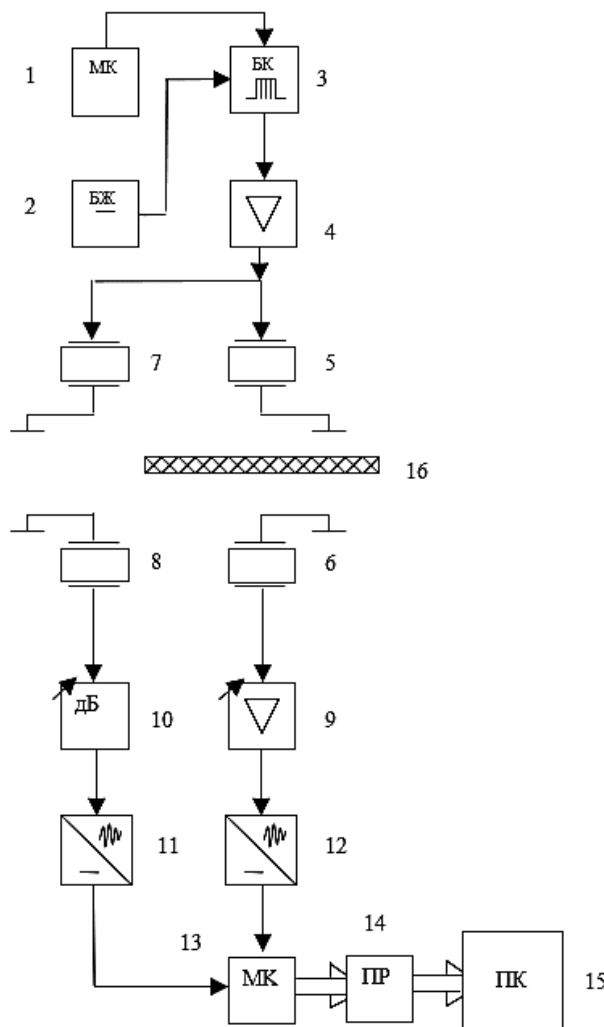


Рис. 1. Структурна схема КІВС для вимірювання та контролю поверхневої щільності паперових матеріалів

ВИСНОВКИ З ДАНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ І ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ РОЗВІДОК У ДАНОМУ НАПРЯМІ

Проведені дослідження показали, що за допомогою безконтактного ультразвукового методу та інформаційно-вимірювальної системи можна визначити поверхневу щільність паперового матеріалу з врахуванням зміни параметрів навколишнього середовища. Тому подальший розвиток безконтактних ультразвукових методів вимірювання поверхневої щільності матеріалів з однорідною структурою дасть можливість у майбутньому створювати високоточні засоби вимірювання різних технологічних параметрів матеріалів вже з неоднорідною структурою. Це дозволить проводити безперервний оперативний контроль як поверхневої щільності, так і інших технологічних параметрів різних матеріалів, а також підвищити якість готової продукції.

Література

1. Здоренко В.Г., Барилко С.В. Дослідження похибки розрахункового методу визначення поверхневої щільності тканин. Вісник КНУТД. 2013. № 2 (70). С. 16–21.
2. Gloy Y.-S., Gries T., Spies G. (2013). Non Destructive Testing of Fabric Weight in the Weaving Process. 13th International Symposium on Nondestructive Characterization of Materials (NDCM-XIII), 20-24 May 2013, Le Mans, France. NDT.net Issue: 2014-04).

3. ТОЕ. Електромагнітне поле: підручник / Ю. О. Карпов, Ю. Г. Ведміцький, В. В. Кухарчук. – Херсон: ОЛДІ-ПЛЮС, 2014. – 392 с.
4. Здоренко В.Г., Барилко С.В. Дослідження проходження імпульсного ультразвукового сигналу крізь тканину при контролі поверхневої щільності. Вісник ХНУ. 2013. № 3. С. 90–96.
5. Barylko S, Zdorenko V, Kuzymchuk O, et al (2019). Adaptive ultrasonic method for controlling the basis weight of knitted fabrics, *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, 14, P. 1-7.
6. Zdorenko V. Development of a Computerized Control System Structure and Study of Ultrasonic Wave Propagation in Various Textile Materials / Zdorenko V., Barylko S., Zashchepkina N., Zaporozhets A., Lisovets S., Kiva I. // *Studies in Systems, Decision and Control*. 460. 2023. – P. 33 – 82.
7. Zdorenko V. Research on the Interaction of Ultrasonic Waves with Various Textile Materials in the Process of Non-contact Control / Zdorenko V., Barylko S., Zashchepkina N., Zaporozhets A., Lisovets S., Kiva I. // *Studies in Systems, Decision and Control*. 460. 2023. – P. 83 – 124.
8. Zdorenko V. Application of Non-contact Methods to Control the Technological Parameters of Textile Materials in the Production Process / Zdorenko V., Barylko S., Zashchepkina N., Zaporozhets A., Lisovets S., Kiva I. // *Studies in Systems, Decision and Control*. 460. 2023. – P. 125 – 165.
9. Zdorenko V. Design of the Models and Methods of Constructing Computerized Control Systems of Technological Parameters of Textile Materials / Zdorenko V., Barylko S., Zashchepkina N., Zaporozhets A., Lisovets S., Kiva I. // *Studies in Systems, Decision and Control*. 460. 2023. – P. 167 – 214.
10. Zdorenko V. Development of Experimental Samples of Computerized Systems and Non-contact Control Over Technological Parameters of Textile / Zdorenko V., Barylko S., Zashchepkina N., Zaporozhets A., Lisovets S., Kiva I. // *Studies in Systems, Decision and Control*. 460. 2023. – P. 215 – 289.
11. Здоренко В.Г. Застосування ультразвукового пристрою для визначення поверхневої густини текстильної волоконної маси / Здоренко В.Г., Барилко С.В., Лісовець С.М., Шипко Д.О. // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. №5 (150). 2020. – С. 67 –73.
12. Здоренко В.Г., Барилко С.В., Чорноморченко В.К., Защепкіна Н.М. Дослідження згасання амплітуд ультразвукових хвиль при контролі тканин з різною поверхневою щільністю. Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. 2013. № 3 (71). С. 24–29.

References

1. Zdorenko V.G., Barylko S.V. Doslidzhennia pokhybky rozrakhunkovoho metodu vyznachennia poverkhnevoi shchilnosti tkanyn. *Visnyk KNUTD*. 2013. № 2 (70). P. 16–21.
2. Gloy Y.-S., Gries T., Spies G. (2013). Non Destructive Testing of Fabric Weight in the Weaving Process. 13th International Symposium on Nondestructive Characterization of Materials (NDCM-XIII), 20-24 May 2013, Le Mans, France. *NDT.net Issue: 2014-04*).
3. ТОЕ. Elektromahnitne pole: pidruchnyk / Yu. O. Karpov, Yu. H. Vedmitskiy, V. V. Kukharchuk. – Kherson: OLDI-PLIUS, 2014. – 392 p.
4. Zdorenko V.G., Barylko S.V. Doslidzhennia prokhodzhennia impulsnoho ultrazvukovoho syhnalu kriz tkanynu pry kontroli poverkhnevoi shchilnosti. *Visnyk KhNU*. 2013. № 3. P. 90–96.
5. Barylko S, Zdorenko V, Kuzymchuk O, et al (2019). Adaptive ultrasonic method for controlling the basis weight of knitted fabrics, *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, 14, P. 1-7.
6. Zdorenko V. Development of a Computerized Control System Structure and Study of Ultrasonic Wave Propagation in Various Textile Materials / Zdorenko V., Barylko S., Zashchepkina N., Zaporozhets A., Lisovets S., Kiva I. // *Studies in Systems, Decision and Control*. 460. 2023. – P. 33 – 82.
7. Zdorenko V. Research on the Interaction of Ultrasonic Waves with Various Textile Materials in the Process of Non-contact Control / Zdorenko V., Barylko S., Zashchepkina N., Zaporozhets A., Lisovets S., Kiva I. // *Studies in Systems, Decision and Control*. 460. 2023. – P. 83 – 124.
8. Zdorenko V. Application of Non-contact Methods to Control the Technological Parameters of Textile Materials in the Production Process / Zdorenko V., Barylko S., Zashchepkina N., Zaporozhets A., Lisovets S., Kiva I. // *Studies in Systems, Decision and Control*. 460. 2023. – P. 125 – 165.
9. Zdorenko V. Design of the Models and Methods of Constructing Computerized Control Systems of Technological Parameters of Textile Materials / Zdorenko V., Barylko S., Zashchepkina N., Zaporozhets A., Lisovets S., Kiva I. // *Studies in Systems, Decision and Control*. 460. 2023. – P. 167 – 214.
10. Zdorenko V. Development of Experimental Samples of Computerized Systems and Non-contact Control Over Technological Parameters of Textile / Zdorenko V., Barylko S., Zashchepkina N., Zaporozhets A., Lisovets S., Kiva I. // *Studies in Systems, Decision and Control*. 460. 2023. – P. 215 – 289.
11. Zdorenko V.G. Zastosuvannia ultrazvukovoho prystroiu dlia vyznachennia poverkhnevoi hustyny tekstylnoi volokonnoi masy / Zdorenko V.H., Barylko S.V., Lisovets S.M., Shypko D.O. // *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu tekhnolohii ta dyzainu*. №5 (150). 2020. – P. 67 –73.
12. Zdorenko V.G., Barylko S.V., Chornomorchenko V.K., Zashchepkina N.M. Doslidzhennia zghasannia amplitud ultrazvukovykh khvyl pry kontroli tkanyn z riznoiou poverkhnevoiou shchilnistiu. *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu tekhnolohii ta dyzainu*. 2013. № 3 (71). P. 24–29.