

<https://doi.org/10.31891/2219-9365-2023-75-32>

УДК 677.017

БАРИЛКО Сергій

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
<https://orcid.org/0000-0002-2785-5784>  
[sergiibarylko347@gmail.com](mailto:sergiibarylko347@gmail.com)

ВОЛКОВИЙ Павло

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
<https://orcid.org/0009-0000-6032-9084>  
[pavel98volk@gmail.com](mailto:pavel98volk@gmail.com)

ДАЩЕНКО Володимир

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
<https://orcid.org/0009-0000-9298-2993>  
[aph.dvd@gmail.com](mailto:aph.dvd@gmail.com)

## КОНТРОЛЬ ПОВЕРХНЕВОЇ ЩІЛЬНОСТІ МАТЕРІАЛІВ З РІЗНОЮ СТРУКТУРОЮ АМПЛІТУДНО-ФАЗОВИМ ПРИСТРОЄМ

*В роботі розглянуто можливість застосування ультразвукового методу та амплітудно-фазового пристрою контролю одного з основних технологічних параметрів, яким є поверхнева щільність. Зазначений метод та пристрій можна використовувати для матеріалів з різною структурою, які можуть мати пори. Застосування такого безконтактного пристрою для контролю поверхневої щільності різних матеріалів дозволить оперативно визначити технологічний параметр в процесі виробництва.*

*Ключові слова: ультразвуковий метод, амплітудно-фазовий пристрій, поверхнева щільність, амплітуда хвилі, фазовий зсув хвилі, безконтактний контроль.*

BARYLKO Sergii, VOLKOVYI Pavlo, DASHCHENKO Volodymyr

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

## CONTROL OF THE SURFACE DENSITY OF MATERIALS WITH DIFFERENT STRUCTURES WITH AN AMPLITUDE-PHASE DEVICE

*The non-contact ultrasonic method of surface density control will make it possible to conduct operational monitoring of the quality of materials with different structures during their production. The implementation of the ultrasonic non-contact method will allow to obtain materials with a surface density that will be within certain regulated limits, and will also provide an opportunity to reduce the consumption of raw materials in the production process. The specified non-contact method can be used for continuous measurements of the material parameter at each of its points, which is very difficult to implement using traditional contact destructive methods and means of control. Ensuring the surface density of various materials within acceptable limits may depend on many factors, but mainly it is influenced by measuring devices that work in accordance with various methods of converting measurement information. Contact methods and means of control of various technological parameters of materials are mainly used, but there may also be cases of non-contact methods and means of control in experimental systems in production.*

*The paper considers the possibility of using the ultrasonic method and the amplitude-phase control device of one of the main technological parameters, which is the surface density. The specified method and device can be used for materials with different structures that may have pores. The use of such a non-contact device to control the surface density of various materials will allow to quickly determine the technological parameter in the production process.*

*Key words: ultrasonic method, amplitude-phase device, surface density, wave amplitude, wave phase shift, non-contact control.*

### Постановка проблеми у загальному вигляді

#### та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Безконтактний ультразвуковий метод контролю поверхневої щільності дасть можливість проводити оперативний моніторинг якості матеріалів із різною структурою в процесі їх виробництва. Реалізація ультразвукового безконтактного метода дозволить отримувати матеріали із поверхневою щільністю, яка буде в певних регламентованих межах, а також дасть можливість зменшити витрати сировини в процесі виробництва. Зазначений безконтактний метод можна застосовувати при безперервних вимірах параметра матеріалу в кожній його точці, що дуже важко реалізувати із використанням традиційних контактних руйнівних методів та засобів контролю. Забезпечення поверхневої щільності різних матеріалів в допустимих межах може залежати від багатьох факторів [1], але в основному на це впливають саме вимірювальні прилади, які працюють у відповідності до різних методів перетворення вимірювальної інформації. В основному використовуються контактні методи та засоби контролю різних технологічних параметрів матеріалів [1, 2], але також можуть зустрічатися випадки застосування безконтактних методів та засобів контролю в експериментальних системах на виробництві [3].

### Постановка проблеми і огляд останніх досліджень

Для контролю поверхневої щільності матеріалів можна застосовувати пневматичний метод [4], який базується на вимірюванні змінного тиску газу, що обтікає контрольовану поверхню матеріалу. До переваг даного методу можна віднести нечутливість до фізико-механічних властивостей контрольованого матеріалу, впливу сильних електромагнітних полів, а також можливість контролю матеріалу будь-якої форми. До недоліків методу слід віднести похибку при зміні умов навколишнього середовища і низьку швидкість.

Наступний метод, який можна використати для вирішення поставленої задачі, є ємнісний. Цей метод відноситься до електричних методів контролю, який на даний час є одним із найперспективніших методів контролю поверхневої щільності матеріалу. Часто при контролі ємнісним методом використовують перетворювачі, які виконані у вигляді скоби [3], через яку пропускається безконтактно контрольований матеріал. Ємнісний перетворювач разом із розташованим контрольованим матеріалом між пластинами конденсатора утворює вимірювальний канал, що може мати обмежену чутливість до зміни технологічного параметру.

Радіоізотопний метод [3, 5] контролю поверхневої щільності базується на взаємодії радіоізотопного випромінювання з контрольованим матеріалом. Поверхнева щільність визначається по розсіюванню чи поглинанню випромінювання контрольованим матеріалом. Метод має переваги: незалежність похибки від умов навколишнього середовища і можливість контролювати пористу структуру матеріалу значної товщини. Проте цей метод не застосовується для контролю при невиконанні всіх заходів безпеки, а також джерело радіоізотопного випромінювання може втрачати свою активність з часом, що може призвести до похибки вимірювання.

Найбільш ефективними є ультразвукові безконтактні методи та засоби контролю різних технологічних параметрів матеріалу [6-10]. Загальна тенденція їх розвитку обумовлена вимогою до значного підвищення точності та зменшення вартості безконтактних приладів та систем контролю для різних технологічних параметрів матеріалів у порівнянні з їх аналогами. В схемах, що реалізуються на основі ультразвукових методів неруйнівного контролю найчастіше, зондує випромінювання падає перпендикулярно поверхні контрольованого матеріалу. Також необхідно застосовувати додатковий опорний канал для налаштування всієї безконтактною ультразвуковою системою. Методи неруйнівного безконтактного контролю застосовуються в основному для можливості оперативного отримання вимірювальної інформації про технологічний параметр різних матеріалів на виробництві.

### Формулювання цілей статті

**Метою роботи** є проведення аналізу можливості застосування ультразвукового методу та амплітудно-фазового пристрою контролю поверхневої щільності матеріалів з різною структурою, які можуть мати пори.

### Виклад основного матеріалу

На рис.1 представлена структурна схема ультразвукового амплітудно-фазового пристрою, за допомогою якого можна безконтактно вимірювати поверхневу щільність  $m_s$  матеріалів із різною структурою.

Пристрій містить генератор синусоїдальної напруги 1, генератор електричних прямокутних імпульсів 2, ключ-модулятор (формує пакетів електричних коливачів) 3, вихідний підсилювач 4, роздільно-суміщені п'єзоперетворювачі 5 та 6, приймаючі п'єзоперетворювачі 7 та 8, вхідний підсилювач з регульованим коефіцієнтом підсилення 9, фазовий детектор 10, підсилювач з регульованим коефіцієнтом підсилення 11, вхідний фазообертач з регульованим фазовим зсувом 12, фазовий детектор 13, блок обчислення різниці напруг 14, вхідний підсилювач з регульованим коефіцієнтом підсилення 15, амплітудний детектор 16, підсилювач з регульованим коефіцієнтом підсилення 17, амплітудний детектор 18, мультиплексор 19, мікроконтролерний блок (МКБ) 20, перетворювач інтерфейсів (ПІ) 21, персональний комп'ютер (ПК) 22, еталонний матеріал позначений позицією 23, а контрольований матеріал позначений позицією 24.

Перед вимірюванням поверхневої щільності  $m_s$  контрольованого матеріалу 24 проводять вимірювання маси зразку еталонного матеріалу 23 за допомогою еталонних електронних ваг та визначають його поверхневу щільність  $m_{s0}$ . У відповідності до вимірюваних значень еталонного матеріалу 23 налаштовують ультразвуковий пристрій так, щоб визначене значення його поверхневої щільності  $m_{s0}$  за нормальних умов співпадало із значенням, що відображається на ПК 22, при розміщенні еталонного матеріалу 23 в ультразвуковому опорному та вимірювальному каналах. Сам ультразвуковий пристрій працює наступним чином.

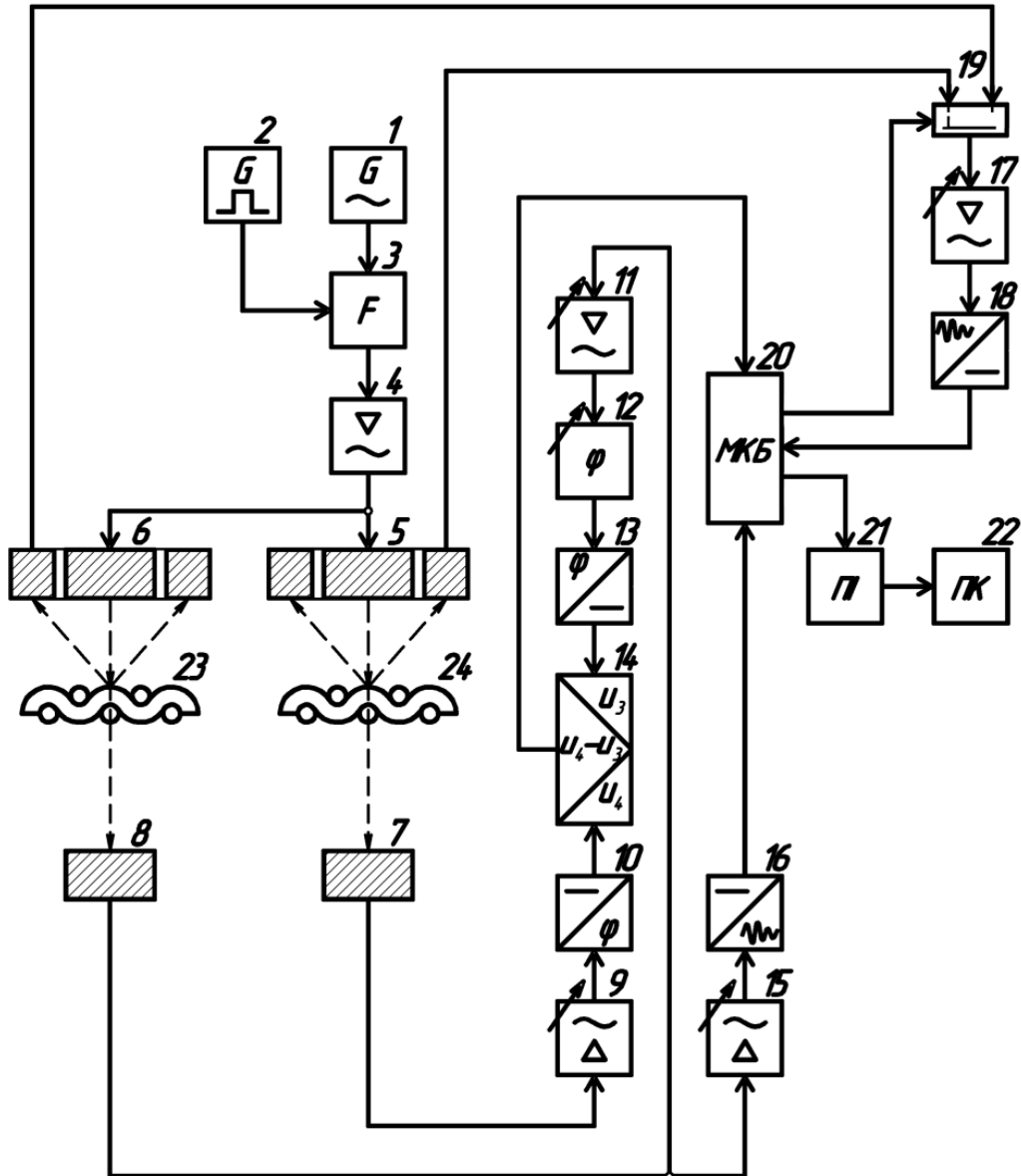


Рис. 1. Ультразвуковий комутаційний пристрій для вимірювання поверхневої щільності контрольованих матеріалів

Синусоїдальні коливання напруги з виходу генератора 1 перетворюються за допомогою генератора прямокутних імпульсів 2 та формувача пакетів електричних коливань 3 у зондуючі імпульси, які підсилюються вихідним підсилювачем 4 за потужністю і випромінюються роздільно-суміщеним п'єзоперетворювачем 5 у вигляді пакетів ультразвукових імпульсів хвиль у напрямі матеріалу 24 перпендикулярно до його поверхні. Ці пакети хвиль частково відбиваються від поверхні контрольованого матеріалу 24 і приймаються тим самим роздільно-суміщеним п'єзоперетворювачем 5, а також частково проходять крізь матеріал 24 і приймаються п'єзоперетворювачем 7. Так створюється інформаційний вимірювальний канал.

Одночасно з цим пакети імпульсів хвиль випромінюються роздільно-суміщеним п'єзоперетворювачем 6 у вигляді пакетів ультразвукових імпульсів хвиль у напрямі еталонного матеріалу 23 перпендикулярно до його поверхні. Ці пакети хвиль частково відбиваються від поверхні еталонного матеріалу 23 і приймаються тим самим роздільно-суміщеним п'єзоперетворювачем 6, а також частково проходять крізь еталонний матеріал 23 і приймаються п'єзоперетворювачем 8. Так створюється опорний вимірювальний канал.

Підсилювачі 9, 11, 15 і 17, а також фазообертачі 12 призначені для коригування відповідно амплітуд і фазових зсувів сигналів з метою приведення вимірювального пристрою поверхневої щільності матеріалів перед початком автоматизованого вимірювання у "вихідний стан".

Отримані пакети електричних імпульсів з виходу роздільно-суміщеного п'єзоперетворювача 5, після проходження ними мультиплектора 19 у визначений момент часу (задається цей час МКБ 20 через керуючий його вихід, що підключається до мультиплектора 19), підсилюються підсилювачем 17, детектуються детектором 18 і надходять на вхід МКБ 20 у вигляді напруги  $U_1$ , яку можна показати так:

$$U_1 = K_1 K_2 K_3 K_4 K_5 K_6 \frac{K_\rho}{\sqrt{1 + \left( \frac{\rho_1 c_1}{K m_s f \cos v} \right)^2}} U_m, \quad (1)$$

де  $U_m$  – амплітуда синусоїдальної напруги генератора 1;  $K$  – коефіцієнт контрольованого матеріалу 24, який враховує відстані та об'єм повітря між нитками матеріалу і їх деформацію в його структурі;  $K_\rho$  – коефіцієнт, який враховує надходження відбитих ультразвукових хвиль до приймаючої частини п'єзоперетворювача 5 залежно від положення матеріалу 24 та його здатності розсіювати відбиті хвилі;  $f$  – частота ультразвукових хвиль;  $\rho_1, c_1$  – щільність навколишнього середовища (повітря) та швидкість розповсюдження у ньому ультразвукової хвилі;  $v$  – кут між вектором ультразвукових хвиль (ультра звукові хвилі, які відбиваються від зовнішньої межі матеріалу, але проходять крізь його пори) та самим матеріалом (береться середній показник для досліджуваних матеріалів 23, 24);  $K_1$  – коефіцієнт перетворення формувача пакетів електричних коливань 3;  $K_2$  – коефіцієнт підсилення підсилювача 4;  $K_3$  – коефіцієнт перетворення для обох роздільно-суміщених п'єзоперетворювачів 5 та 6;  $K_4$  – коефіцієнт передачі сигналу мультиплексором 19;  $K_5$  – коефіцієнт підсилення підсилювача з регульованим підсиленням 17;  $K_6$  – коефіцієнт детектування детектора 18.

Отримані пакети електричних імпульсів з виходу роздільно-суміщеного п'єзоперетворювача 6, після проходження ними мультиплектора 19 у визначений момент часу (задається цей час МКБ 20 через керуючий його вихід, що підключається до мультиплектора 19), підсилюються підсилювачем 17, детектуються детектором 18 і надходять на вхід МКБ 20 у вигляді напруги  $U_{01}$ , яку можна показати так:

$$U_{01} = K_1 K_2 K_3 K_4 K_5 K_6 \frac{K_{\rho 0}}{\sqrt{1 + \left( \frac{\rho_1 c_1}{K_0 m_{s0} f \cos v} \right)^2}} U_m, \quad (2)$$

де  $K_0$  – коефіцієнт еталонного матеріалу 23, який враховує відстані та об'єм повітря між нитками матеріалу і їх деформацію в його структурі;  $K_{\rho 0}$  – коефіцієнт, який враховує надходження відбитих ультразвукових хвиль до приймаючої частини п'єзоперетворювача 6 залежно від положення еталонного текстильного матеріалу 23 та його здатності розсіювати відбиті хвилі.

Напруги  $U_1, U_{01}$  потрапляють через перший вхід до МКБ 20, де перетворюються у відповідні їм коди  $N_1, N_{01}$ . При контролі еталонного матеріалу 23 з відомою пористістю за нормальних умов, записуються до МКБ 20 один раз цифрові значення параметрів  $\rho_1^*, c_1^*$  (щільності повітря та швидкості розповсюдження у ньому ультразвукової хвилі за нормальних умов),  $f, \cos v, m_{s0}$  та коефіцієнта  $K_0$ .

Для врахування зміни пористості контрольованого матеріалу 24 відносно еталонного матеріалу 23 при однакових параметрах навколишнього повітряного середовища необхідно знайти фактичне значення коефіцієнта  $K$ , що можна визначити з виразу:

$$K = \frac{U_1}{U_{01}} K_0 = \frac{N_1}{N_{01}} K_0. \quad (3)$$

Отримані пакети електричних імпульсів з виходу п'єзоперетворювача 8, зміна величини яких пропорційна зміні величини пакетів ультразвукових хвиль, що пройшли навколишнє повітряне середовище та еталонний матеріал 23, після проходження їх підсилювача з регульованим підсиленням 15, потрапляють до детектора 16, де створюється напруга  $U_2$ , що надходить на другий вхід МКБ 20, де перетворюється на код  $N_2$ , і яку можна показати виразом так:

$$U_2 = K_1 K_2 K_7 K_8 K_9 \frac{1}{\sqrt{1 + \left( \frac{K_0 m_{s0} f \cos v}{\rho_1 c_1} \right)^2}} U_m, \quad (4)$$

при значеннях частоти  $f$ , коли величина  $\left( \frac{K_0 m_{s0} f \cos v}{\rho_1 c_1} \right)^2 \gg 1$  вираз (4) можна подати як:

$$U_2 = K_1 K_2 K_7 K_8 K_9 \frac{\rho_1 c_1}{K_0 m_{s0} f \cos v} U_m, \quad (5)$$

де  $K_7$  – коефіцієнт перетворення роздільно-суміщеного п'єзоперетворювача 6 та приймаючого п'єзоперетворювача 8;  $K_8$  – коефіцієнт підсилення підсилювача з регульованим підсиленням 15;  $K_9$  – коефіцієнт детектування детектора 16.

Значення напруги  $U_{2N}$ , яке створюється в опорному каналі при зондуванні еталонного матеріалу 23 за нормальних умов для навколишнього повітряного середовища, можна подати виразом так:

$$U_{2N} = K_1 K_2 K_7 K_8 K_9 \frac{1}{\sqrt{1 + \left( \frac{K_0 m_{s0} f \cos v}{\rho_1^* c_1^*} \right)^2}} U_m, \quad (6)$$

при значеннях частоти  $f$ , коли величина  $\left( \frac{K_0 m_{s0} f \cos v}{\rho_1^* c_1^*} \right)^2 \gg 1$  вираз (6) можна також подати

як:

$$U_{2N} = K_1 K_2 K_7 K_8 K_9 \frac{\rho_1^* c_1^*}{K_0 m_{s0} f \cos v} U_m. \quad (7)$$

Для напруги  $U_{2N}$  відповідний їй цифровий код  $N_{2N}$  створюється і записується в МКБ 20 один раз.

Врахувавши вирази (5) та (7) можна визначити дійсне значення параметра акустичного опору  $\rho_1 c_1$  навколишнього повітряного середовища під час вимірювань поверхневої щільності  $m_s$  текстильного матеріалу 24, порівнявши його з акустичним опором  $\rho_1^* c_1^*$  повітря за нормальних умов при контролі еталонного матеріалу 23. Акустичний опір  $\rho_1 c_1$  повітря у вимірювальному каналі можна визначити тоді з наступного виразу:

$$\rho_1 c_1 = \rho_1^* c_1^* \cdot \frac{\frac{\rho_1 c_1}{K_0 m_{s0} f \cos v}}{\frac{\rho_1^* c_1^*}{K_0 m_{s0} f \cos v}} = \rho_1^* c_1^* \cdot \frac{U_2}{U_{2N}} = \rho_1^* c_1^* \cdot \frac{N_2}{N_{2N}}. \quad (8)$$

Вираз (8) дозволить враховувати зміну параметрів навколишнього повітряного середовища під час вимірювання поверхневої щільності  $m_s$  контрольованого матеріалу 24 та її абсолютної зміни  $\Delta m_s$  відносно параметру  $m_{s0}$  еталонного матеріалу 23.

Також пакети електричних імпульсів з приймаючого п'єзоперетворювача 8, підсилюються регульованим підсилювачем 11, надходять на фазообертач з регульованим фазовим зсувом 12, потім за допомогою фазового детектора 13 детектуються і надходять на перший зі входів блока обчислення різниці напруг 14 у вигляді напруги  $U_3$ . Одночасно з цим ультразвукові хвилі, які проходять крізь текстильний матеріал 24 та перетворюються в пакети електричних імпульсів за допомогою приймаючого п'єзоперетворювача 7, підсилюються регульованим підсилювачем 9, детектуються фазовим детектором 10 і надходять на другий зі входів блока обчислення різниці напруг 14 у вигляді напруги  $U_4$ . На виході цього блока створюється напруга  $U_\varphi$ , яка дорівнює різниці напруг  $U_4$  та  $U_3$ :

$$U_\varphi = U_4 - U_3. \quad (9)$$

Напруга  $U_\varphi$  з виходу блока обчислення різниці напруг 14 буде пропорційною величині фазового зсуву  $\varphi$  ультразвукових хвиль, які проходять контрольований матеріал 24 та повітря в інформаційному вимірювальному каналі, відносно хвиль, що проходять еталонний матеріал 23 та навколишнє повітряне середовище в опорному вимірювальному каналі. Цей фазовий зсув  $\varphi$  з врахуванням розглянутих залежностей (1-8) для більшості матеріалів з порами з поверхневою щільністю  $m_s \leq 300$  г/м<sup>2</sup>, для яких похибка вимірювання не повинна перевищувати  $\delta \leq 2\%$ , можна подати так:

$$\varphi = 1,33 \cdot \arctg \left( \frac{K \Delta m_s f \cos v}{\rho_1 c_1} \right) = 1,33 \cdot \arctg \left( \frac{K_0 N_1 N_{2N} \Delta m_s f \cos v}{\rho_1^* c_1^* N_{01} N_2} \right). \quad (10)$$

Напруга  $U_\varphi$  з виходу блока обчислення різниці напруг 14 потрапляє до МКБ 20, де перетворюється у відповідний їй код  $N_\varphi$ .

В МКБ 20 у діапазоні вимірюваних значень параметру  $\Delta m_s$  визначається значення коду  $N_x$ , яке пов'язане з кодом  $N_\varphi$  наступною залежністю:

$$N_\varphi = 1,33 \cdot \arctg (N_x). \quad (11)$$

Зважаючи на вирази (10), (11) з врахуванням зміни пористості, різної структури контрольованого матеріалу 24 відносно еталонного матеріалу 23, зміни параметрів навколишнього повітряного середовища, абсолютна зміна поверхневої щільності  $\Delta m_s$  відносно  $m_{s0}$  та сам технологічний параметр  $m_s$  будуть оперативно визначатися з високою точністю запропонованим пристроєм за наступними залежностями в МКБ 20 так:

$$\Delta m_s = \frac{N_x \rho_1^* c_1^* N_{01} N_2}{K_0 N_1 N_{2N} f \cos v}, \quad m_s = m_{s0} + \Delta m_s. \quad (12)$$

Поточне значення  $\Delta m_s$  та поверхневої щільності  $m_s$  контрольованого матеріалу 24 в процесі їх оперативного вимірювання, додатково передаються через ПІ 21 до ПК 22, де формується база вимірюваних значень параметру.

При відсутності контрольованого матеріалу 24 та знаходженні еталонного матеріалу 23 в інформаційному та опорному вимірювальних каналах, коли  $U_\varphi = 0$  значення коду  $N_\varphi = 0$  та  $N_x = 0$ , тоді за виразом (12) обчислюється та відображається на ПК 22  $\Delta m_s = 0$  та  $m_s = m_{s0}$ .

Отже, при зміні будь-яких параметрів навколишнього повітряного середовища та при зміні пористості контрольованого матеріалу 24 пристрій буде адаптуватися до цих змін в процесі вимірювання. Таким чином, за допомогою запропонованого пристрою, за показами ПК 22 можна вимірювати величину поверхневої щільності  $m_s$  матеріалів та абсолютної її зміни  $\Delta m_s$ .

### Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

З отриманих результатів видно, що відбитий ультразвуковий сигнал можна застосовувати для визначення зміни пористості матеріалів відносно еталону, а за допомогою ультразвукового сигналу, що проходить ці матеріали можна вимірювати безконтактно поверхневу щільність  $m_s$  з високою точністю. Запропонований безконтактний пристрій для вимірювання поверхневої щільності контрольованих матеріалів, у свою чергу, дозволить: підвищити точність вимірювань поверхневої щільності, виключити вплив пористості досліджуваних матеріалів та вплив зміни параметрів навколишнього середовища на результат вимірювань; забезпечити безконтактне оперативне вимірювання поверхневої щільності матеріалів на виробництві, безпосередньо в процесі їх виготовлення.

### Література

1. 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.
2. Hu Xintong, Zhang Yujing, Meng Zhuo, Sun Yize (2019). Tension modeling and analysis of braiding carriers during radial-direction and axial-direction braiding, The Journal of The Textile Institute, P 1-12.
3. 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.
4. Прусенко В.С. Пневматические датчики и вторичные приборы / В.С. Прусенко. – М. – Л.: Энергия, 1965. – 193 с.
5. Гельфанд М.Е. Радиоизотопные приборы и их применение в промышленности: Справочное пособие / М.Е. Гельфанд, В.М. Калашин, Г.Н. Ходоров. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 224 с.
6. 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.
7. 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.
8. Защепкіна Н.М. Ультразвуковий пристрій для технологічного контролю якості текстильних матеріалів / Н.М. Защепкіна, В.Г. Здоренко // Вісник КНУТД. – 2007. – №5(37). – С. 40 – 43.
9. Лютак І.З. Адаптивний алгоритм обробки вимірюваного ультразвукового сигналу в частотній області / І.З. Лютак, І.С. Кісіль // Методи та прилади контролю якості. – 2006. – №16 – С. 15–18.
10. Мороз О.М. Використання акустичних коливань в технологічних процесах виробництва / О.М. Мороз, О.Д. Черенков, Ю.Ф. Свєргун // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства “Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України”. – Харків: ХНТУСГ, 2005. – Вип. 43, Т. 1. – С. 145 – 151.

### References

1. Zdorenko V.H. Doslidzhennia pokhybky rozrakhunkovoho metodu vyznachennia poverkhnevoi shchilnosti tkanyn / V.H. Zdorenko, S.V. Barylko // Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu tekhnolohii ta dyzainu. – 2013. – №2(70). – S. 16 – 21.
2. Hu Xintong, Zhang Yujing, Meng Zhuo, Sun Yize (2019). Tension modeling and analysis of braiding carriers during radial-direction and axial-direction braiding, The Journal of The Textile Institute, P 1-12.
3. 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.

4. Prusenko V.S. Pnevmatycheskiye datchyky u vtorychnnye prybory / V.S. Prusenko. – М. – L.: Enerhyia, 1965.– 193 s.
5. Helfant M.E. Radyoizotopnye prybory u ykh prymenenye v promyshlennosti: Spravochnoe posobyie / M.E. Helfant, V.M. Kaloshyn, H.N. Khodorov. – М.: Enerhoatomyzdat, 1986. – 224 s.
6. 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.
7. 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.
8. Zashchepkina N.M. Ultrazvukovyi prystrii dlia tekhnolohichnoho kontroliu yakosti tekstylnykh materialiv / N.M. Zashchepkina, V.H. Zdorenko // Visnyk KNUTD. – 2007. – №5(37). – S. 40 – 43.
9. Liutak I.Z. Adaptivnyi alhorytm obrobky vymirianoho ultrazvukovoho syhnalu v chastotnii oblasti / I.Z. Liutak, I.S. Kisel // Metody ta prylady kontroliu yakosti. – 2006. – №16 – S. 15–18.
10. Moroz O.M. Vykorystannia akustychnykh kolyvan v tekhnolohichnykh protsesakh vyrobnytstva / O.M. Moroz, O.D. Cherenkov, Yu.F. Sverhun // Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu silskoho hospodarstva “Problemy enerhozabezpechennia ta enerhozberezhennia v APK Ukrainy”. – Kharkiv: KhNTUSH, 2005. – Vyp. 43, T. 1. – S. 145 – 151.