

УЛЬТРАЗВУКОВИЙ ТІНЬОВИЙ МЕТОД ВИМІРЮВАННЯ ШИРИНИ ПАКУВАЛЬНОЇ СТРІЧКИ У ПОВІТРІ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ВИМІРЮВАЛЬНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ДЛЯ ЙОГО РЕАЛІЗАЦІЇ



Рішан Олександр Йосипович,
канд. техн. наук, доцент¹

Новачевський Ярослав Володимирович,
магістрант¹

Зайко Владислав Миколайович, магістрант¹
¹Національний університет харчових технологій,
кафедра автоматизації процесів управління,
вул. Володимирська, 68, м. Київ, Україна, 01601

У статті наведено результати розробки та дослідження ультразвукового тіньового методу вимірювання ширини пакувальної стрічки, суть якого в контролі відхилення від вихідного положення країв пакувальної стрічки за допомогою двох ідентичних первинних вимірювальних перетворювачів ширини (ПВПШ), кожний із яких вміщує жорстко закріплені та направлені назустріч один одному площинами випромінювання та приймання ультразвукових коливань випромінювач і вимірювальний приймач, які створюють акустичну зону контролю положення краю вимірюваної по ширині стрічки в повітрі.

Кожний випромінювач у свою чергу являє собою лінійну групу випромінювачів, які збуджуються синфазною напругою від багатообмоткового трансформатора, що призводить до створення рівнорозподіленого по інтенсивності та довжині акустичного променя, який перекривається краєм акустично непрозорої стрічки. Це дає можливість отримати пропорційну залежність між акустичним тиском на приймачі та положенням краю стрічки. Виведені основні математичні залежності, що описують розглянутий тіньовий метод вимірювання при його реалізації у повітрі, залежності вибору параметрів акустичної зони вимірювання ПВПШ при реалізації методу та приведені результати експериментальних досліджень.

Ключові слова: ультразвуковий тіньовий метод, вимірювання ширини пакувальної стрічки, первинний вимірювальний перетворювач ширини.

Постановка проблеми. Ультразвуковий тіньовий метод вимірювання широко використовується в дефектоскопії для пошуку тріщин чи домішок у металевих виробках. Цей самий метод може бути застосований для вимірювання ширини стрічкових напівфабрикатів у повітрі, які в свою чергу бувають або оптично прозорими, або легко піддаються деформуванню [4] (наприклад, листи для пакування виробів у харчовій промисловості). Головною умовою для реалізації тіньового методу повинна стати велика різниця між акустичними опорами повітря та напівфабрикату [1], що дасть можливість отримати чітку тінь від краю пакувального листа на приймачі. Як правило, ця умова

виконується, оскільки акустичний опір повітря та листа відрізняються майже на три порядки [2].

Ще однією умовою реалізації такого тіньового методу є створення у повітрі рівнорозподіленого за інтенсивністю ультразвукового променя на певній довжині, який перекриватиме край пакувального листа. Для її реалізації використовується відома в гідроакустиці залежність для тиску P_{III} на відстані H , яку утворює лінійна група ультразвукових випромінювачів, що знаходиться у жорсткому екрані з випромінюванням у півпростір по нормалі до їх поверхні [3]:

$$P_{III} = \frac{\rho C^* m^* Q}{2\lambda H} e^{j(\omega t - \frac{2\pi H}{\lambda})}, \quad (1)$$

де ρC – акустичний опір середовища; λ – довжина ультразвукової хвилі; m – кількість випромінювачів, які утворюють лінійну групу; $\frac{2\pi}{\lambda}$ – параметр хвилі, що випромінюється; ωt – часовий множник; ω – циклічна частота випромінювання; Q – об'ємна швидкість джерела ультразвукових коливань, що характеризує здатність випромінювача до утворення акустичного поля.

Із залежності (1) видно, що тиск, який розвиває лінійна група випромінювачів на відстані H , залежить від кількості випромінювачів у групі, які створюють загальний акустичний промінь. Якщо цей загальний промінь буде перекривати край акустично непрозорої стрічки, то можна отримати пропорційну залежність між тиском $P_{ш}$ і положенням краю стрічки, тобто реалізувати тінювий метод вимірювання положення краю стрічки.

Мета статті – розробка функціональної схеми пристрою вимірювання ширини стрічки у повітрі та дослідження умов побудови акустичної зони вимірювання при реалізації тінювого амплітудного методу.

Виклад основного матеріалу. Залежність (1) для тиску $P_{ш}$ ультразвукової хвилі може бути надана у наступному вигляді:

$$P_{ш} = \frac{\rho C * m * Q}{2\lambda H} = P_{ош} \frac{S_c}{2\lambda H}, \quad (2)$$

де $Q = S * V$ – об'ємна швидкість джерела ультразвукових випромінювань; S – площа одного випромінювача в групі; $S_c = m * S$ – загальна площа, що утворює лінійну групу; $V = \frac{P_{ош}}{\rho C}$ – коливальна швидкість на поверхні одного випромінювача в групі; $P_{ош}$ – тиск, який розвиває у своєї поверхні один випромінювач у групі.

Залежність (2) на відміну від залежності (1) описує результуюче амплітудне значення тиску ультразвукових коливань, що пропорційне загальній площині лінійної групи випромінювачів і показує на основну умову,

яку необхідно виконати для досягнення пропорційної залежності між зміною тиску та величиною перекриття ультразвукового променя краєм стрічки. Такою умовою є пропорційна зміна сумарної площі лінійної групи випромінювачів, яка легко може бути виконана у разі, коли груповий випромінювач буде прямокутним. Останнє показує на доцільність набору випромінювача із одиночних прямокутних випромінювачів і їх розташування у пакеті по довжині його перекриття краєм стрічки на мінімально допустимих відстанях, що обумовлюють акустичну і електричну розв'язку (рис. 1).

У цьому випадку при збудженні всіх одиночних випромінювачів пакета синфазною напругою пакет можна розглядати як монолітний прямокутний випромінювач, а залежність амплітуди тиску, який розвиває така лінійна група випромінювачів на відстані H по нормалі до поверхні випромінювання, приймає вигляд:

$$P_{ш} = P_{ош} \frac{m * L_{шo} * L_{п}}{2\lambda H} = P_{ош} \frac{L_{п}}{2\lambda H} L_{ш}, \quad (3)$$

де $L_{шo}$ – розмір одиночного випромінювача в напрямку зміщення краю стрічки; $L_{ш}$ – розмір пакету випромінювачів у напрямку зміщення краю стрічки; $L_{п}$ – розмір одиночного випромінювача в напрямку руху стрічки, що контролюється по ширині; а $L_{шo} * m * L_{п} = L_{ш} * L_{п} = S_c$.

Залежність (3) дозволяє визначити амплітуду напруги $U_{ш}$ на виході ультразвукового приймача, що вимірює цей тиск на відстані H від поверхні випромінювача з урахуванням величини перекриття X ультразвукового променя:

$$U_{ш} = K_{пш} P_{ош} \frac{S_c}{2\lambda H} \left(1 - \frac{X}{L_{ш}}\right), \quad (4)$$

де $K_{пш}$ – чутливість приймача; X – зміщення краю стрічки, що визиває перекриття ультразвукового променя пакету випромінювачів.

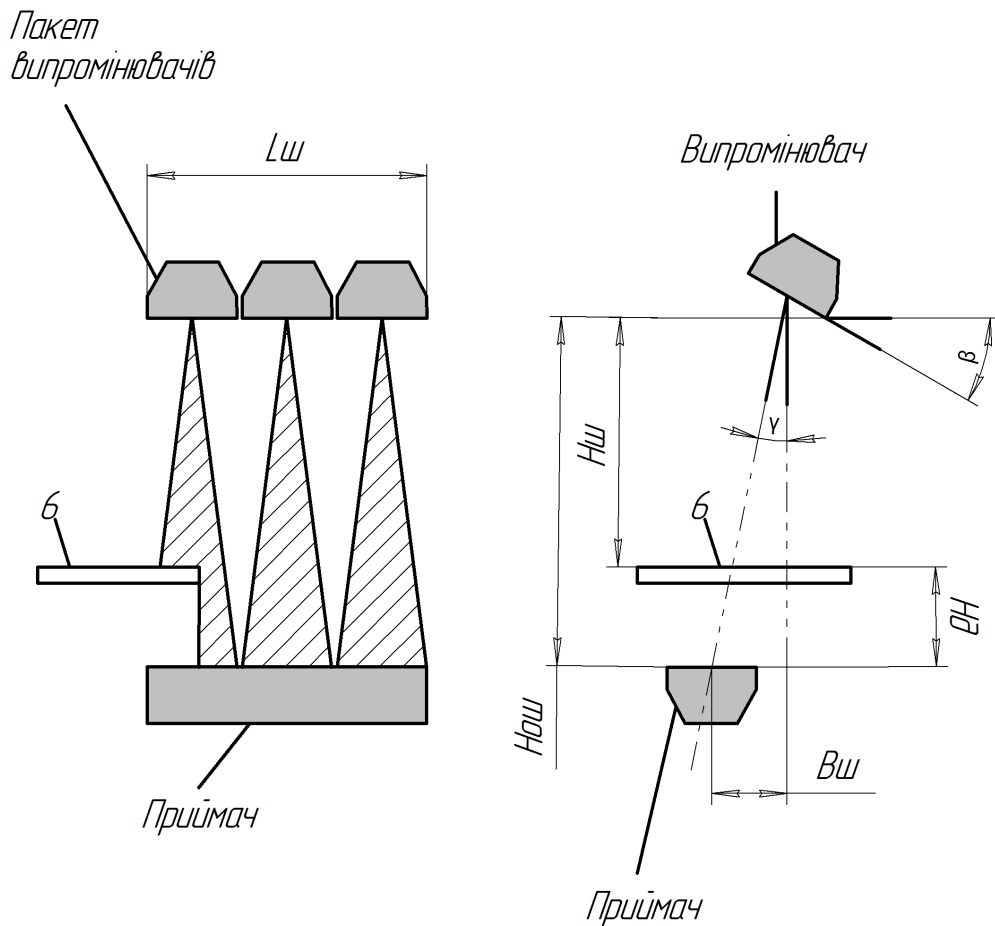


Рис 1. Синтез параметрів ПВПШ

Коефіцієнт передачі (чутливість перетворення) при тіньовому методі вимірювання ширини визначається залежністю:

$$K_{пш} = \frac{\partial U_{ш}}{\partial X} = -P_{ош} \frac{S_c}{2\lambda H}. \quad (5)$$

Сигнал приймача досягає максимального значення при $X=0$, а мінімального – при повному перекритті параметра $L_{ш}$ пакета випромінювачів, тобто при $X = L_{ш}$. Так параметр $L_{ш}$ визначає діапазон вимірювання положення краю стрічки і повинен визначатись із умови:

$$L_{ш} \geq 2|X| + 2|\Delta B_{ш}|, \quad (6)$$

де $\pm X$ – можливе відхилення краю стрічки від вихідного положення, що визивається зміною ширини стрічки; $\pm \Delta B_{ш}$ – зміщення осі стрічки щодо вихідного положення при незмінній її ширині.

Залежність (5) дає можливість визначити кількість одиночних випромінювачів m , необхідних для забезпечення заданого діапазону вимірювання із умови:

$$m = \frac{2|x| + 2|\Delta B_{ш}|}{L_{шо}} \approx \frac{L_{ш}}{L_{шо}}. \quad (7)$$

Залежність (4) при тіньовому методі вимірювання ширини стрічки пакувального листа реалізується за структурною схемою, приведеною на рис. 2.

Схема реалізує диференціальний метод вимірювання, коли вимірюється тільки відхилення ширини стрічки від її номінального значення, яке після кожного вимірювання алгебраїчно додається до номінального значення. Метод здійснюється за допомогою двох 1 і 2 первинних вимірювальних перетворювачів ширини (ПВПШ), кожний із яких вміщує жорстко закріплені та направлені назустріч

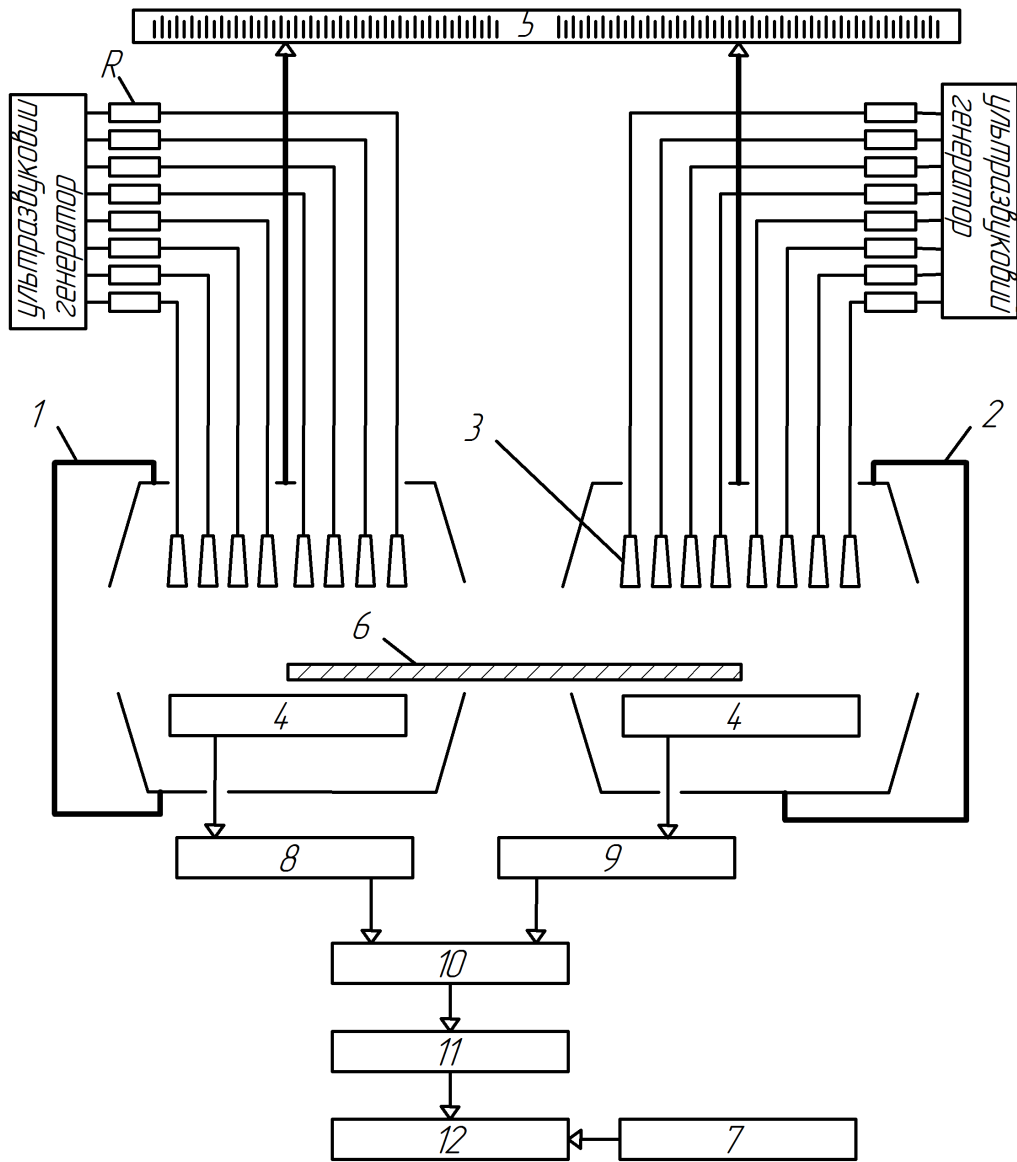


Рис 2. Структурна схема реалізації диференціального методу вимірювання ширини стрічки пакувального листа

один одному площинами випромінювання та приймання ультразвукових коливань випромінювач 3 та вимірювальній приймач 4 (рис. 2). Обидва ПВПШ можуть переміщуватись по кронштейн-лінійці 5. ПВПШ фіксуються по відношенню до стрічки 6, ширина якої вимірюється так, щоб лівий і правий край стрічки знаходились між випромінювачем і приймачем обох ПВПШ.

Номинальне (необхідне) значення стрічки виставляється відповідним зміщенням обох ПВПШ по кронштейн-лінійці 5 на рівень перекриття обох ультразвукових променів, що відповідають половині їх максимальної довжини, та в електронному задавачі 7. Сума

середніх значень сигналів від обох вимірювальних приймачів визначається суматором 10, після їх детектування детекторами 8 та 9 і масштабування в підсилювачі 11, і приймається за початок вимірювання відхилення ширини стрічки від її номінального значення.

При збудженні випромінювачів обох ПВПШ ультразвукові промені лівого та правого ПВПШ перекриваються краями стрічки 6. Частина променів кожного ПВПШ відбивається від поверхні стрічки і не попадає на приймачі.

Зі збільшенням ширини стрічки зростає ступінь перекриття акустичних променів обох ПВПШ, сумарний вихідний сигнал зменшу-

ється по відношенню до його значення, що відповідало номінальному значенню початкового налаштування. Від'ємна різниця між цими сигналами визначається алгебраїчним суматором-індикатором I_2 , який визначає знак і величину відхилення ширини стрічки від номінального її значення, а також відображає дійсне значення ширини стрічки b . Зменшення ширини стрічки визиває зворотний ефект. Використовуванням суми сигналів обох ПВПШ як інформаційних забезпечується незалежність вихідного сигналу при тіньовому методі від можливого зміщення незмінної по ширині стрічки в сторону лівого або правого ПВПШ.

Залежність (5) характеризує коефіцієнт передачі при тіньовому методі для конкретних значень параметрів зони вимірювання між випромінювачем і приймачем ($S, L_{ш}, H, \lambda$), але не оцінює вплив дифракції на дозволяючу властивість методу та на його похибку.

Дифракція визивається кутовим відхиленням ультразвукового променя (кута дифракційного розширення) і проявляється в тому, що порушує його прямолінійність. Це в свою чергу призводить до того, що акустична тінь від краю стрічки є розмитою, не чіткою. Відповідно, аби зменшити додаткову похибку від впливу дифракції, ширина дифракційної смуги на приймачі повинна бути якомога меншою. У цьому випадку спостерігається дифракція у паралельних променях від напівплощини, що утворена стрічкою, яка перекриває акустичний промінь. Ширина дифракційної смуги при цьому залежить від довжини ультразвукової хвилі, направленості випромінювання (кута розходження випромінювання), а також від відстані між поверхнею, що утворює тінь, та вимірювальним приймачем.

Для зменшення дифракційної смуги, яка вносить у результат вимірювання додаткову похибку Δ_d , необхідно використовувати випромінюючі системи з високим значенням

коефіцієнта направленості, тобто зменшувати кут α дифракційного розширення, який для прямокутного випромінювача довжиною $L_{ш}$ визначається за формулою:

$$\sin \alpha = \lambda / L_{ш}. \quad (8)$$

При синтезі параметрів ПВПШ, що приведені на рис. 1, і в якому вимірювання тиску здійснюється розподіленням по довжині перекриття прямокутним вимірювальним приймачем довжиною $L_{ш}$, враховується умова забезпечення заданої абсолютної сумарної похибки $\Delta_{ш}$ вимірювання положення краю листа, яка може бути записана у наступному вигляді: $\Delta_{ш} = \Delta_H + \Delta_d + \Delta_\phi$, де Δ_H – похибка нелінійності, а Δ_ϕ – похибка флуктуації (впливу повітряного середовища на результати вимірювань).

Допустиме значення похибки Δ_d від впливу явища дифракції при вибраній частоті випромінювання та довжині випромінювача досягається вибором відстані H_d між поверхнею листа, що озвучується ультразвуковими коливаннями, та вимірювальним приймачем із умови:

$$H_d \leq \frac{\Delta_d}{\operatorname{tg} \alpha} \cong \frac{\Delta_d}{\sin \alpha} = \frac{\Delta_d * L_{ш}}{\lambda} = \Delta_{ш} \frac{L_{ш} * F_H}{C}, \quad (9)$$

де F_H – резонансна частота використаних ультразвукових випромінювачів; C – швидкість ультразвуку в зоні вимірювання положення краю листа.

Оскільки вибором частоти випромінювання і розміром лінійної групи випромінювачів досягається значення кута α , розходження випромінювання в межах одиниць градусів по залежності (9) $\operatorname{tg} \alpha$ для малих кутів замінено на $\sin \alpha$.

Допустиме значення похибки нелінійності характеристики перетворення ПВПШ, яка обумовлена нелінійністю самої діаграми направленості лінійної групи ультразвукових перетворювачів, що складають випромінювач, досягається, якщо лінійна група одиночних випромінювачів генерує ультразвуковий про-

мінь із однаковою інтенсивністю по всьому його поперечному перерізу. З цією метою додавання акустичних тисків, що утворюються в зоні вимірювального приймача, необхідно проводити з урахуванням характеристики направленості кожного одиночного випромінювача в межах кута гостроти головного максимуму. Кут гостроти головного максимуму є одним із основних факторів оцінки направленості випромінювача і характеризується кутом $\Delta\alpha_{II}$ розходження (рис. 1) від осі направленості головного максимуму випромінювання, якому відповідає відносно мала зміна V тиску ультразвукової хвилі по відношенню до тиску в максимумі. Для прямокутного одиночного поршневого випромінювача довжиною $L_{ШО}$ кут $\Delta\alpha_{II}$ визначається за формулою:

$$\sin \Delta\alpha_{II} = \frac{\sqrt{6}}{\pi} \sqrt{v} \frac{\lambda}{L_{ШО}}. \quad (10)$$

Якщо врахувати, що значення v при реалізації тіньового методу є не що інше, як відносна похибка нелінійності в межах перекриття ультразвукового променя одиночного випромінювача, тобто

$$v = \Delta_H / L_{ШО}, \quad (11)$$

то відстань $H_{Ш}$ між випромінювачем і вимірювальним приймачем, при якій у межах довжини одиночного випромінювача нелінійність у розподілі інтенсивності ультразвукового поля, а тим самим нелінійність вихідного сигналу вимірювальним приймачем в функції перекриття його краю, не буде виходити за межі залежності (11), визначається за формулою:

$$\begin{aligned} H_{Ш} &= \frac{L_{ШО}}{2 \operatorname{tg} \Delta\alpha_{II}} \cong \frac{L_{ШО}}{2 \frac{\sqrt{6}}{\pi} \sqrt{v} \frac{\lambda}{L_{ШО}}} = \\ &= 0,64 \frac{L_{ШО}^2 * F_H}{\sqrt{v} * C}. \end{aligned} \quad (12)$$

Залежність (12) визначає умову оптимального додавання акустичних тисків від окремих

випромінювачів у площині вимірювального приймача для отримання заданого діапазону вимірювання з необхідною нелінійністю, а також вказує на можливість впливу на загальну нелінійність вихідного аналогового сигналу вимірювального приймача за рахунок зміни збудження кожного окремого одиночного випромінювача. Для забезпечення лінеаризації використовується багатообмотковий вихідний трансформатор ультразвукового генератора (рис. 1) з можливістю індивідуального регулювання напруги окремого одиночного випромінювача зміною додаткового опору в кожній із обмоток збудження.

З метою усунення виникнення стоячої хвилі при тіньовому методі контролю ширини і її впливу на розподілений за інтенсивністю ультразвуковий промінь площину випромінювання акустичної системи випромінювачів необхідно встановлювати не паралельно площині вимірювального приймача, а під кутом β до нього, який визначається із умови непопадання відбитого променя від поверхні листа в площину випромінювача. Ця умова визначається залежністю (рис. 1):

$$\frac{L_{II}}{2} \cos \beta \geq 2H_{ОШ} \operatorname{tg}(\beta - \gamma), \quad (13)$$

де β – кут нахилу акустичної системи випромінювачів у напрямку руху листа від положення нормалі між площиною випромінювачів і поверхнею листа; γ – кут розходження випромінювання акустичної системи випромінювачів у напрямку руху листа, ширина якого вимірюється і який визначається по залежності (8) для довжини L_{II} а $H_{ОШ} = H - H_{д}$ – відстань між площиною випромінювачів і поверхнею листа, що озвучується. Звідки:

$$\beta \geq \gamma + \operatorname{arctg} \frac{L_{II}}{4H_{ОШ}}. \quad (14)$$

Враховуючи, що для малих кутів розходження $\sin \gamma \approx \operatorname{tg} \gamma$, розраховується зміщення $B_{Ш}$ вимірювального приймача, яке відповідає

максимальному тиску на нього ультразвукового променя після повороту системи випромінювачів:

$$B_{III} \geq H_{III} * \operatorname{tg} \beta \equiv H_{III} \left(\frac{\lambda}{L_{II}} + \frac{L_{II}}{4H_{OIII}} \right). \quad (15)$$

Реальне значення амплітуди тиску ультразвукових коливань на вимірювальний приймач буде дещо меншим, ніж при паралельному розташуванні площин випромінювача та приймача, і визначається залежністю (2) множеною на величину $\cos \beta$.

ULTRASONIC SHADOW METHOD OF MEASURING THE WIDTH OF PACKING TAPE IN THE AIR AND THE RESEARCH OF OPTIONS OF MEASURING TRANSDUCERS FOR ITS IMPLEMENTATION

Rishan O.Y., *PhD in Technical Sciences*¹

Novachevskiy Ya.V., *Master's degree student*¹

Zaiko V.M., *Master's degree student*¹

¹National University of Food Technologies, 68, Volodymyrska Str., Kyiv, Ukraine, 01601

The article presents the results of research and development of ultrasonic shadow method of measuring the width of the packaging tape. The essence of this method is to control the deviation from the initial position of edge of the packaging tape using two identical primary measuring transducers of width (PMTW), each of which contains rigidly fixed and directed towards each other planes of emission and receiving of ultrasonic vibrations, they are oscillator and measuring receiver, which create acoustic control zone of edge position of the tape which is measured by the width in the air.

Each emitter is a linear group of emitters that are excited by common-mode voltage from the transformer with plenty of windings, that leads to creation of equally distributed acoustic beam by the intensity and length, which overlaps by the edge of the acoustically nontransparent tape. The latter gives an opportunity to get a proportional correlation between the acoustic pressure on the receiver and the position of the edge of the tape. There are derived basic mathematical dependencies that describe the considered shadow measurement method in its implementation in the air, and dependencies by choosing of parameters of acoustic measurement zone PMTW in the implementation of the method and the results of experimental researches are presented.

Keywords: *ultrasonic shadow method, measuring the width of the packaging tape, primary measuring transducers of width.*

УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ТЕНЕВОЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ШИРИНЫ УПАКОВОЧНОЙ ЛЕНТЫ В ВОЗДУХЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ДЛЯ ЕГО РЕАЛИЗАЦИИ

Ришан Александр Иосифович, *канд. техн. наук*¹

Новачевский Ярослав Владимирович, *магистрант*¹

Зайко Владислав Николаевич, *магистрант*¹

¹Национальный университет пищевых технологий, кафедра автоматизации процессов управления, ул. Владимирская, 68, г. Киев, Украина, 01601

В статье приведены результаты разработки и исследования ультразвукового теневого метода измерения ширины упаковочной ленты, суть которого в контроле отклонения от исходного положения кромки упаковочной ленты с помощью двух идентичных первичных измерительных преобразователей ширины (ПИПШ), каждый из которых содержит жёстко скрепленные и направленные встречно друг другу плоскостями

излучения и приема ультразвуковых колебаний излучатель и измерительный приемник, которые образуют акустическую зону контроля положения кромки измеряемой по ширине ленты в воздушной среде.

Каждый излучатель в свою очередь представляет собой линейную группу излучателей, которые возбуждаются синфазно напряжением от многообмоточного трансформатора, что приводит к образованию равномерно распределенного по интенсивности и длине акустического луча, который перекрывается кромкой акустически непрозрачной ленты. Это дает возможность получить пропорциональную зависимость между акустическим давлением на приемнике и положением кромки ленты. Выведены основные математические зависимости, которые описывают рассмотренный теневой метод измерения при его реализации в воздухе, зависимости по выбору параметров акустической зоны измерения ПИПШ при реализации метода и приведены результаты экспериментальных исследований.

Ключевые слова: ультразвуковой теневой метод, измерение ширины упаковочной ленты, первичный измерительный преобразователь ширины.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ришан О.Й. Аналіз та розробка методу вимірювання рівня речовин в повітрі на просторових ультразвукових биттях / О.Й. Ришан // Автоматизація виробничих процесів. – 2006. – № 1 (22). – С. 10–13.

2. Ришан О.Й. Дослідження основних параметрів ультразвукових інтерференційних рівнемірів на стоячій хви-

лі / О.Й. Ришан, Ю.М. Бородка // Науково-технічна інформация. – 2011. – № 4. – С. 54–56.

3. Основы гидроакустики / А.И. Тюрин и др. – Л. : Судостроение. – 1986. – 296 с.

4. Ультразвуковое устройство для измерения ширины ленты / А.И. Ришан, М.Н. Гуманюк // А.С. № 1000753, БИ № 8, 1983.

УДК 620.9.004.18

ДОСВІД ІНСТИТУТУ ПРОБЛЕМ МАТЕМАТИЧНИХ МАШИН І СИСТЕМ НАН УКРАЇНИ У ПРОЕКТУВАННІ ТА ВПРОВАДЖЕННІ СИСТЕМ СВІТЛОДІОДНОГО ОСВІТЛЕННЯ



Морозов Анатолій Олексійович,
директор, академік НАН України, докт. техн. наук, проф.
Інститут проблем математичних машин і систем НАН України,
пр-т Академіка Глушкова, 42, м. Київ,
Україна, 03680; morozov@immsp.kiev.ua

Клименко Віталій Петрович,
замісник директора, докт. фіз.-мат. наук, проф.
ІПММС НАН України, пр-т Академіка Глушкова, 42, м. Київ,
Україна, 03680; klimenko@immsp.kiev.ua

Ієвлєв Микола Георгійович,
учений секретар, канд. техн. наук, с.н.с.
ІПММС НАН України, пр-т Академіка Глушкова, 42, м. Київ,
Україна, 03680; ievlev@immsp.kiev.ua

Бутко Володимир Григорович, головний конструктор
ІПММС НАН України, пр-т Академіка Глушкова, 42, м. Київ,
Україна, 03680; volodya58@gmail.com

У статті розглянуті основні результати розробки і впровадження енергозберігаючих світлодіодних систем освітлення, одержані Інститутом проблем математичних машин і систем НАН України за останні сім років.

Ключові слова: енергозбереження, світлодіод, освітлювальні системи.