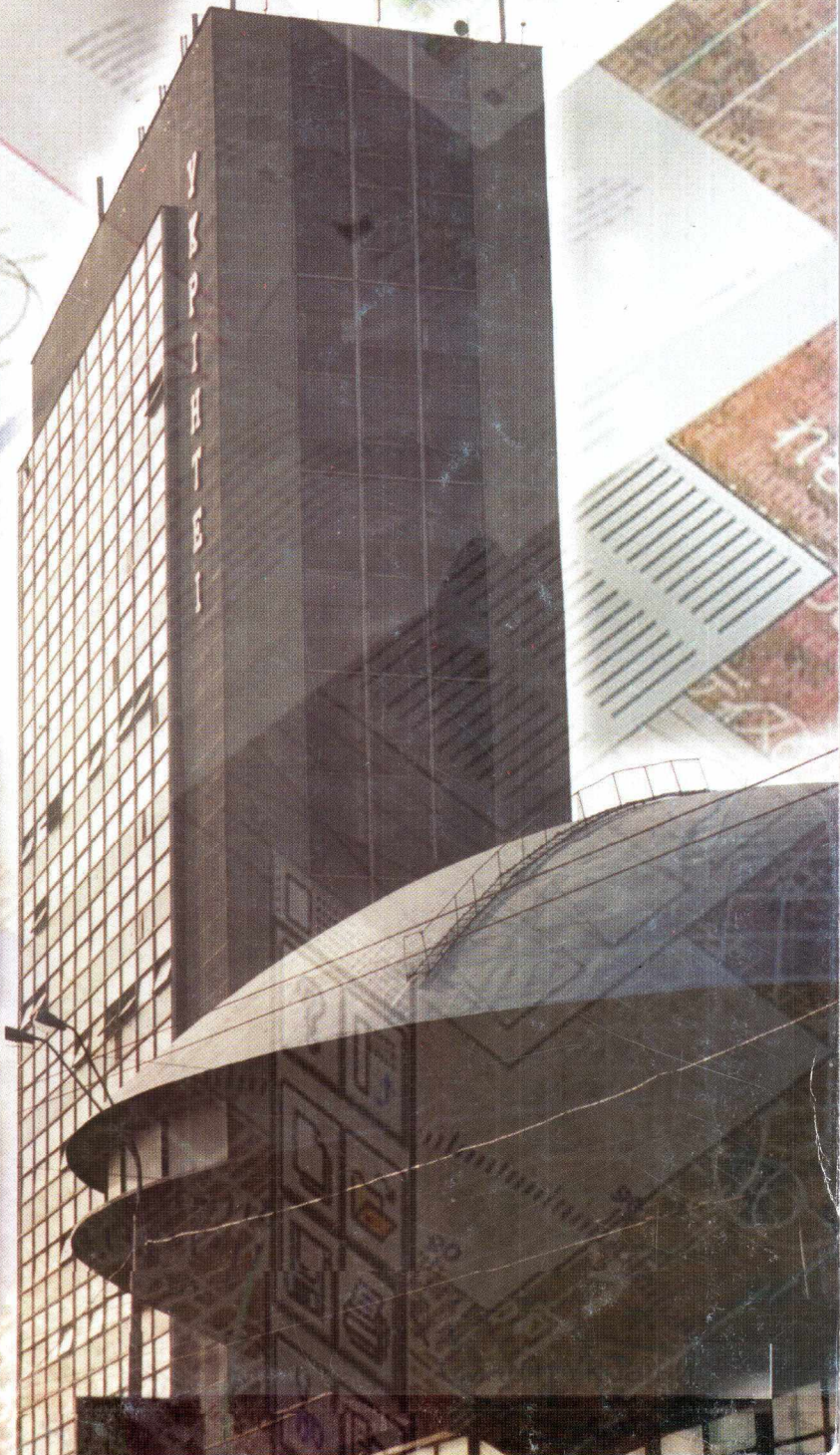


науковий журнал

НАУКОВО-ТЕХНІЧНА ІНФОРМАЦІЯ

1(51)'2012



ДОСЛІДЖЕННЯ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ УЛЬТРАЗВУКОВИХ ІНТЕРФЕРЕНЦІЙНИХ РІВНЕМІРІВ НА СТОЯЧІЙ ХВИЛІ



О. Й. Рішан, канд. техн. наук,
Ю. М. Бородкіна

Постановка проблеми. Однією з умов ефективного функціонування будь-якої автоматизованої системи управління є наявність необхідних первинних вимірювальних перетворювачів (ПВП) технологічних параметрів, які забезпечують високі метрологічні характеристики і дають змогу уникнути зниження якості продукту, що випускається на технологічній лінії, а також перевищити вихідного напівфабрикату. Так, під час виготовлення і зберігання (перед фасуванням) нормалізованого молока з масовою часткою жиру 3,2; 2,5; 1,5; 1% допустима похибка має становити не більше $\pm 0,06\%$. При цьому використовують два способи: нормалізація в потоці і в ємностях. Для забезпечення наведеної вище точності вмісту жиру в молоці при нормалізації молока в потоці необхідні високоточні витратоміри для вимірювання витрати вершків на знежиреному молоці і відповідний регулятор для підтримання співвідношення цих витрат. За відомої жирності попередньо знежиреного молока й отриманих при цьому вершків, які знаходяться в окремих ємностях, можливе застосування нормалізації в ємностях, причому обидва компоненти надходять почергово в резервуари нормалізації. При відомому поперечному перерізі резервуара, необхідна жирність молока на фасування може бути забезпечена тільки за допомогою високоточного рівнеміра з високою роздільною здатністю, який контролює заповнення компонент до визначеного рівня. Значне збільшення роздільної здатності рівнемірів до сотих часток міліметра при вимірюванні відстані в повітрі можна отримати, використовуючи інтерференційний метод на стоячій ультразвуковій хвилі, яка утворюється в просторі між електроакустичним перетворювачем і поверхнею, що контролюється за рівнем. Стояча

ультразвукова хвиля в зоні вимірювання утворюється за рахунок суперпозиції прямої і зворотної хвиль у разі безперервного озвучування поверхні, положення якої контролюється.

Амплітуда тиску P_p по осі стоячої хвилі на площину випромінювання визначається залежністю:

$$P_p = 2 P_{0p} \cos(k H_p) e^{i\omega t}, \quad (1)$$

де P_{0p} – амплітуда тиску відповідно в прямій і зворотній хвилях, що піддаються інтерференції;

$k = 2\pi/\lambda$ – хвильове число;

λ – довжина хвилі;

H_p – відстань між площинами випромінювання і відбивання;

$e^{i\omega t}$ – часовий множник.

Амплітуда, або фаза сигналу $U(h)$ на виході приймача, що вимірює тиск за залежністю (1), може бути надана у вигляді:

$$U(h) = 2 K_{np} P_{0p} |\cos(k H_p)| = U_{\max} |\cos[h + (n\lambda) / 2]| = U_{\max} |\cosh|, \quad (2)$$

де K_{np} – коефіцієнт перетворення приймача;

h – зміна відстані між поверхнями випромінювання і відбивання;

n – ціле число половин хвиль, що розміщується на відстані H_p ;

U_{\max} – амплітудне значення сигналу на виході приймача при $h = 0$.

Таким чином, якщо використовувати поверхню рідини (молока) як відбиваючу, а відстань між поверхнями випромінювання і відбивання буде змінюватись із зміною рівня рідини, то за сигналом приймача можна контролювати зміни її рівня. Цей метод ґрунтується на великому значенні коефіцієнта відбиття на межі «повітря – молоко».

Вплив коефіцієнта відбиття може бути оцінено за формулою Релея:

$$I_r = I_e \{(\rho_m C_m - \rho_n C_n) / (\rho_m C_m + \rho_n C_n)\}^2, \quad (3)$$

яка визначає співвідношення між інтенсивністю падаючої I_r і відбитої I_e хвиль при густині молока $\rho_m = 1,026$ г/см³, повітря $\rho_n = 0,00129$ г/см³ і швидкості розповсюдження звуку в останніх відповідно: $C_m = 1479$ м/с та $C_n = 331$ м/с.

Після підстановки значень у (3) отримуємо: $I_r = 0,9987 I_e$. Отже, на межі розподілу «повітря – молоко» амплітуда відбитої (зворотної) ультразвукової хвилі практично дорівнює амплітуді падаючої (прямої) хвилі, що дає можливість отримати стоячу хвилю, близьку до ідеальної за залежністю (1).

Мета статті – розробка функціональної схеми ПВП з високою роздільною здатністю, що реалізує ультразвуковий метод контролю рівня на стоячій хвилі, і визначення основних його параметрів.

Виклад основного матеріалу. Розроблена функціональна схема ПВП [2] на стоячій хвилі складається (рис. 1): із акустичної головки 1, в поверхні випромінювання – приймання якої розташовані випромінювач 2 і приймач 3. Акустична головка закріплена на телескопічній трубі 10, яка за допомогою мікрометричного гвинта

9, шестерень 13, 14 і крокового двигуна 12 переміщується у вертикальній площині [3]. Весь механічний вузол розташований у корпусі 11 і його передавальне число розраховане так, щоб одному імпульсу на обертання крокового двигуна 12 відповідало переміщення телескопічної труби 10 з акустичною головкою на 1 мкм. Електронний блок ПВП складається з: генератора 4 ультразвукових коливань, підсилювача 5 сигналу приймача, амплітудно-фазового детектора 6, аналого-цифрового перетворювача і блока 7 обробки, реєстрації і керування кроковим двигуном.

Механічний вузол жорстко фіксується на верхній кришці резервуара, а площа випромінювання – приймання головки встановлюється паралельно поверхні, контрольованій за рівнем рідини в ньому, і на вихідній відстані від дзеркала рідини. Вихідна відстань задається в блоці обробки і реєстрації необхідною кількістю імпульсів на обертання крокового двигуна [2].

У процесі здійснення контролю зі зміною рівня рідини змінюється відстань H_p , що спричинює зміни тиску в стоячій хвилі за залежністю (1), унаслідок чого сигнал приймача змінюється за залежністю (2).

Для виключення невизначеності в процесі вимірювання повинна виконуватись умова:

$$0 < |\cos(2\pi/\lambda) h| < 1, \quad (4)$$

якій відповідає діапазон вимірювання:

$$0 < h < (\lambda/4). \quad (5)$$

З метою максимального використання акустичної енергії з одночасним виконанням умови (5), необхідно застосовувати співвідношення між конструктивними і акустичними параметрами ПВП, що реалізує метод на стоячій хвилі, і відстанню між його акустичною головкою і відбиваючою поверхнею рідини, які мають відповідати таким залежностям [1]:

$$n (\lambda/2) \geq H_p \geq (2n - 1) (\lambda/2); \quad (6)$$

$$[D_b + 2(D_n + \delta)] / (2\lambda \operatorname{tg} \alpha) + 0,5 \geq n \geq [D_b + 2(D_n + \delta)] / (2\lambda \operatorname{tg} \alpha), \quad (7)$$

де $D_b + 2(D_n + \delta) = D$ – зовнішній діаметр акустичної головки ПВП;

D_b – діаметр випромінювача;

D_n – діаметр приймача;

δ – зазор між випромінювачем і приймачем;

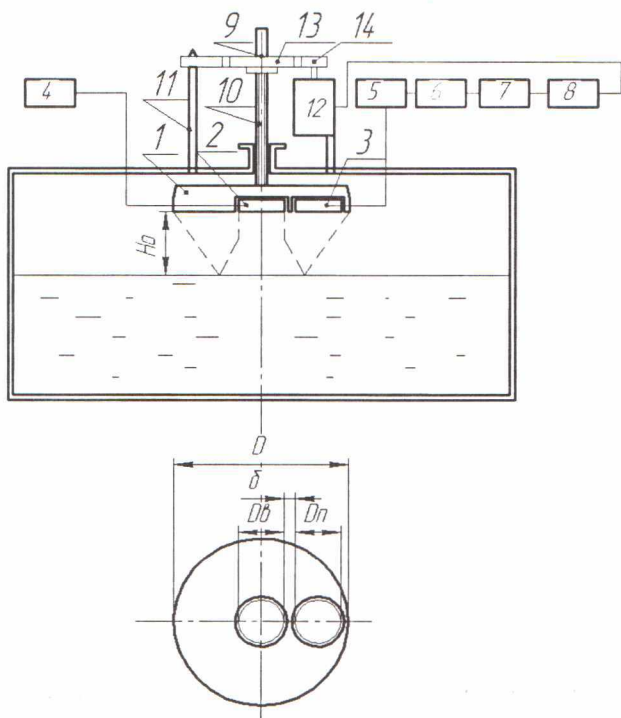


Рис. 1. Функціональна схема ультразвукового рівнеміра на стоячій хвилі

α – кут розходження випромінювання.

Після визначення цілого числа n половин хвиль, що розміщується на відстані H_p за залежністю (7), уточнюються параметри акустичної зони вимірювання методу на стоячій хвилі, в якій виконуються умови (6) і (7).

За залежністю (6) визначається максимальна H_{max} і мінімальна H_{min} відстані між поверхнею рідини і площиною акустичної головки, а також вихідна відстань H_0 між ними, що встановлюється перед початком вимірювань:

$$H_{max} = (n \lambda) / 2; \quad (8)$$

$$H_{min} = (2n - 1) / (\lambda/4); \quad (9)$$

$$H_0 = (H_{max} + H_{min}) / 2 = (4n - 1) (\lambda/8). \quad (10)$$

Якщо врахувати формулу для визначення кута розходження випромінювання, що наведена в [4]: $\sin \alpha = 1,22(\lambda / D_B)$, то формула (10) може бути надана тільки залежно від довжини ультразвукової хвилі в зоні вимірювання і вибраних діаметрів випромінювача і приймача:

$$H_0 = 0,25[D_B + 2(D_n + \delta)] * \sqrt{\{[0,67 (D_B)^2 / (\lambda^2)] - 1\}}, \quad (11)$$

де у свою чергу:

$$1 / \sqrt{\{[0,67 (D_B)^2 / (\lambda^2)] - 1\}} = \operatorname{tga}.$$

Далі уточнюється необхідний зовнішній діаметр D акустичної головки ПВП із умови концентрації в ньому ультразвукового променя другого відбиття при відстані H_{max} :

$$D = 4 H_{max} \operatorname{tga} = (2n\lambda) / \sqrt{\{[0,67 (D_B)^2 / (\lambda^2)] - 1\}}. \quad (12)$$

Визначається мінімальний діаметр D_{min} зони в площині акустичної головки, якої досягають ультразвукові коливання, що відбиті від поверхні рідини на відстані H_{min} :

$$D_{min} = 4 H_{min} \operatorname{tga} = [(2n-1)\lambda] / \sqrt{\{[0,67 (D_B)^2 / (\lambda^2)] - 1\}}. \quad (13)$$

При вибраних п'єзокерамічних перетворювачах для випромінювання і приймання ультразвукових коливань діаметрами D_B і D_n визначається величина зазору $\delta_{арн}$ між зовнішнім діаметром

акустичної головки і приймачем (випромінювачем):

$$\delta_{арн} = (D - D_{min}) / 2 = (\lambda/2) / \sqrt{\{[0,67 (D_B)^2 / (\lambda^2)] - 1\}}, \quad (14)$$

а зазор $\delta_{вн}$ між випромінювачем і приймачем при $D_B = D_n = D_0$ дорівнює:

$$\delta_{вн} = (D_{min} - 2D_n - D_B) / 2 = 0,5\{ [(2n-1)\lambda] / \sqrt{\{[0,67 (D_B)^2 / (\lambda^2)] - 1\}} - 3D_0\}. \quad (15)$$

Мінімальні розміри поверхні рідини, контроль якої здійснюється за допомогою даного методу, мають задовольняти умову:

$$D_n \geq n\lambda / 2 \sqrt{\{[0,67 (D_B)^2 / (\lambda^2)] - 1\}}. \quad (16)$$

Вихідна характеристика перетворення (ХП) «амплітуда або фаза сигналу приймача – зміна рівня рідини» для умови налаштування ПВП на стоячій хвилі за залежністю (10) має вигляд косинусоїди. На відстані H_0 підсилений сигнал приймача 2 в блоці 7 обробки і реєстрації приймається за нульову точку відліку по ХП. У процесі вимірювання рівня рідини для цього випадку приросту зміни рівня в бік більший від H_0 відповідає зменшення сигналу приймача.

Можливим є налаштування приймача на вихідну відстань H_0 , коли приріст рівня рідини і відповідний йому приріст сигналу приймача будуть мати однакові знаки, а вихідна ХП – форму синусоїди. У цьому випадку необхідно перейти в другу чверть хвильової зони вимірювання за рахунок збільшення або зменшення відстані H_0 , що розрахована за залежністю (10), на чверть довжини випромінюваної хвилі. Вибір конкретного значення вихідної відстані уточнюється експериментальним шляхом і залежить від знака і ступеня округлення числа n півхвиль у зоні вимірювання до цілого числа.

Результати досліджень ПВП на ультразвуковій стоячій хвилі для вимірювання рівня рідин показали, що за відносно низької частоти випромінювання 19,265 кГц ($\lambda = 17,82$ мм) досягається роздільна здатність ПВП в межах 0,01 мм, а абсолютна похибка вимірювання відхилення рівня рідини в межах чверті стоячої хвилі не перевищує $\pm 0,2$ мм.

Значне розширення діапазону вимірювання ПВП, без втрати його роздільної здатності, може бути досягнуто завдяки розробці автоматичної

системи, яка підтримувала б акустичну головку на відстані H_0 зі зміною рівня рідини.

Висновок

Розглянутий метод контролю рівня рідин на стоячій ультразвуковій хвилі і застосування ПВП, дають можливість на порядок підвищити точність вимірювання в повітрі зміни відстані (рівня) до відбиваючої поверхні в порівнянні з ехолокаційними ультразвуковими методами (абсолютна похибка при вимірюваннях відстані в повітрі не менше ± 2 мм) [4]. Застосовувати ПВП на стоячій ультразвуковій хвилі можна для контролю інших параметрів технологічних процесів, зокрема для вимірювання в повітрі товщини напівфабрикатів,

що легко деформуються тощо.

ЛІТЕРАТУРА

1. Аналіз та розробка методу вимірювання рівня речовин в повітрі на просторових ультразвукових биттях / Ришан О. Й. // Автоматизація виробничих процесів. – 2006. – № 1(22). – С. 10–13.
2. А.С. № 994911. Способ ультразвукового измерения толщины движущегося изделия / М. Н. Гуманюк, А. И. Ришан, В. И. Ходал // Открытия. Изобретения. – 1983. – БИ №5.
3. А.с. №1397730. Ультразвуковой интерферометрический толщиномер / А. И. Ришан // Открытия. Изобретения. – 1988. – БИ №19.
4. Акустические методы измерения расстояний и управления / Горбатов А. А., Рудашевский Г. Е. // – М.: Энергоиздат. – 1981. – 208 с.