

Похибки ультразвукового інтерференційного рівнеміра на стоячій хвилі в системі нормалізації молока в ємностях та методи їх усунення

О.Й. Рішан

Abstract – The Stated results of the studies on reductions of additional inaccuracy ultrasonic interference meter level on standing wave in automatic system of the normalizations milk, which is realized greatly raise accuracy of the measurements level.

I. ВСТУП

Масова доля жиру у молоці – основний параметр, який визначає його склад та харчову цінність. Концентрацію жиру в молоці враховують при оплаті як за сировину (незбиране молоко), так і особливо за якість кінцевої продукції при її реалізації – нормалізоване молоко, жирність якого необхідно підтримувати з похибкою не більше $\pm 0,06\%$. Для забезпечення випуску нормалізованого молока заданої якості по вмісту жиру при одночасній економії вершків, доцільно виконувати нормалізацію молока в ємностях з використанням ультразвукових інтерференційних рівнемірів на стоячій хвилі, які забезпечують високу роздільну здатність вимірювання рівня в повітрі. При цьому попередньо знежирене молоко та отримані при цьому вершки, які знаходяться у окремих ємностях, надходять почергово у резервуари нормалізації. При відомому поперечному перерізі резервуара, необхідна жирність молока на фасування забезпечується тільки одним приладом – високоточним рівнеміром з високою дозвільною здатністю, що контролює заповнення компонент до визначеного рівня [1].

Одною із особливостей ультразвукового інтерференційного рівнеміра на стоячій хвилі є не ізоляваність від навколишнього середовища акустичної зони вимірювання і, відповідно, вплив навколишнього середовища на цю зону при вимірюванні відхилення рівня від номінального значення. Зона вимірювання утворюється між поверхнею молока, яка використовується в якості відбиваючої поверхні, та площиною випромінювання – приймання акустичної головки, яка вміщує випромінювач та приймач [2]. Основними факторами збурення на зону вимірювання є зміна швидкості потоків повітря в цій зоні (турбулентність) та зміна його температури, які визивають додаткові похибки на результати вимірювань рівня. Вплив цих факторів пояснюється заповненням зони вимірювання неоднорідністю повітряних потоків і температури. Якщо величина неоднорідності порівняна з довжиною хвилі, то ультразвукові хвилі розсіюються на ній в усі сторони, а коли неоднорідність набагато більша довжини хвилі, випромінюваний промінь заломлюється на ній. Це призводить до зміни як інтенсивності ультразвукових коливань стоячої хвилі на приймачі, так і на зміну фази коливань на ньому.

II. ОЦІНЮВАННЯ ДОДАТКОВИХ ПОХИБОК

Найбільш загальна формула для середнього значення зміни квадрату логарифму амплітуди сигналу $\overline{Y^2}$ на приймачі, яка враховує турбулентність повітряного середовища зони вимірювання, дорівнює:

$$\sqrt{\overline{Y^2}} = 2,3 \frac{A_0 * \sqrt{I^3}}{C * \sqrt[6]{K^7} * \sqrt[6]{\lambda^7}}, \quad (1)$$

де A_0 - характеристика турбулентності $[(\sqrt[3]{i^2}) / \tilde{N}]$;

$k = 2\pi/\lambda$ – хвильове число; λ – довжина хвилі [і]; \tilde{N} - швидкість розповсюдження ультразвуку [м/с]; H - відстань між поверхнею випромінювання-приймання первинного вимірювального перетворювача (ПВП) рівня та поверхнею молока.

Якщо врахувати, що вихідна відстань $H_{0(\text{вих.})}$ між площиною випромінювання-приймання та поверхнею молока, що встановлюється перед початком вимірювань, визначається за формулою [2]:

$$H_{0(\text{вих.})} = (4n - 1) (\lambda/8), \quad (2)$$

а також врахувати, що залежність між швидкістю C розповсюдження ультразвукових коливань в повітряному середовищі і відхиленням $\pm \Delta t_x$ температури цього середовища від температури 0°C має вигляд:

$$C = C_0 \pm 0,6 \Delta t_x, \quad (3)$$

то, виразивши довжину λ ультразвукової хвилі через її частоту F_B випромінювання і швидкість C , можемо отримати фазовий зсув Δh_t в зоні вимірювання, який спричинений зміною температури:

$$\Delta h_t = H_{0(\text{тх.})} - H_{0(\text{твих.})} = (4n - 1) (C_0 \pm 0,6 \Delta t_x) (1/8F_B) - (4n - 1)(C_0 \pm 0,6 \Delta t_{\text{вих.}}) (1/8F_B) = 0,075 (4n - 1) (\Delta t_{\text{тх.}}/8F_B) (4),$$

де $H_{0(\text{вих.})}$ – вихідна відстань між випромінюючою та відбиваючою поверхнями при температурі в зоні вимірювання на момент налаштування рівнеміра; $H_{0(\text{тх})}$ – вихідна відстань між випромінюючою та відбиваючою поверхнями при довільній температурі в зоні вимірювання рівнеміра в процесі експлуатації; $\pm \Delta t_{\text{тх}}$ – відхилення температури в зоні вимірювання від температури в момент налаштування рівнеміра; $C_0 = 331,3$ м/с – швидкість ультразвуку при температурі повітря 0°C та атмосферному тиску 760 мм.рт.ст.; $0,6$ – константа [м/(с* $^\circ\text{C}$)]

Додаткові похибки рівнеміра за формулою (1) за зміни швидкості потоків повітря (турбулентності) на кожні 10

м/с складає до $\pm 0,3$ мм, а за зміни температури за формулою (4) знаходиться в межах $\pm 0,24$ мм при відхиленні температури в зоні вимірювання від вихідного її значення на $\pm 10^\circ\text{C}$.

III. МЕТОДИ УСУНЕННЯ ДОДАТКОВИХ ПОХИБОК

З метою зниження впливу на зону вимірювання зміни швидкості повітряних потоків, які приводять до зміни амплітуди приймача при незмінному рівні, розроблений метод виділення цього впливу та його компенсація. Суть методу – в одночасному використуванні інформації в двох точках стоячої хвилі, які віддалені одна від одної по осі випромінювання та приймання ультразвукових коливань на чверть довжини випромінюваної хвилі, що реалізується в ПВП за допомогою двох приймачів, один із яких зсунутий по осі випромінювання-приймання по відношенню приймача, що знаходиться у площині випромінювача, на чверть довжини хвилі [3]. Характерною особливістю таких точок є те, що сума квадратів тисків у цих точках є постійною. Дійсно, якщо використати значення амплітуди тиску по осі стоячої хвилі на площині випромінювання $P(h)$ та тиск в точці $P(h+\lambda/4)$, що зміщена по осі випромінювання-приймання на $\lambda/4$, то сума квадратів тисків у таких точках (з урахуванням співвідношення між тиском P , інтенсивністю I_0 вихідного випромінювання та акустичним опором ρC : $P = 2\sqrt{2} \rho C I_0$), дорівнює:

$$\begin{aligned} P^2(h) + P^2(h+\lambda/4) &= \\ &= [2\sqrt{2} \rho C I_0 \cos(h)]^2 + [2\sqrt{2} \rho C I_0 \cos(h+\lambda/4)]^2 = \\ &= [2\sqrt{2} \rho C I_0 \cos(h)]^2 + [2\sqrt{2} \rho C I_0 \sin(h)]^2 = \\ &= 8 * \rho C * I_0. \end{aligned} \quad (5)$$

Відповідно можна отримати залежність для суми квадратів амплітуд сигналів приймачів вимірювального $U(h)$ та додаткового $U(h+\lambda/4)$, що зсунутий по осі випромінювання-приймання стоячої хвилі на $\lambda/4$:

$$U^2(h) + U^2(h+\lambda/4) = 8 * \rho C * I_0 * K_{\text{пр}}, \quad (6)$$

де $K_{\text{пр}} = K_{\text{пр}(h)} = K_{\text{пр}(h+\lambda/4)}$ – загальний коефіцієнт перетворення приймачів, після їхнього нормування.

Таким чином, сума квадратів тисків в двох точках в стоячій хвилі, що віддалені одна від одної на $\lambda/4$, постійна та пропорційна інтенсивності I_0 і, відповідно, сума квадратів нормованих сигналів приймачів, що вимірюють тиск в цих точках, не залежить від зміни відстані між площиною випромінювання приймання акустичної головки та відбиваючою поверхнею молока, що визивається зміною рівня. В той же час відхилення цієї суми від вихідного значення по (6), визивається впливом тих факторів збурення, які змінюють амплітуду приймачів без зміни довжини хвилі в зоні вимірювання, і ці збурення усуваються зміною інтенсивності коливань, що випромінюються. Останнє здійснюється за допомогою АСР зміни напруги збудження випромінювача, яка підтримує суму квадратів сигналів обох приймачів постійною.

Для стабілізації довжини хвилі в зоні вимірювання інтерференційного рівнеміра на стоячій ультразвуковій хвилі розроблений метод, який підтримує незмінною довжину хвилі незалежно від того, який фактор впливає на її зміну. При його реалізації змінюється частота випромінюваних коливань по різниці модулів акустичних тисків P в двох точках стоячої хвилі, які віддалені одна від одної по осі випромінювання-приймання ультразвукових коливань на половину довжини хвилі [4]. В загальному, різниця тисків ΔP в таких точках стоячої хвилі, якщо довжина хвилі отримує від дії збурення деякий приріст $\pm \Delta \lambda$, дорівнює:

$$\begin{aligned} \Delta P &= P(h+\lambda/2) - P(h) = \\ &= P \cos[(2\pi/\lambda)(h+\lambda/2)] - P \cos(2\pi h/\lambda) = \\ &= 2P \cos[(2\pi h/\lambda) + (\pi/2)(\lambda/(\lambda \pm \Delta \lambda))] * \cos[(\pi/2)(\lambda/(\lambda \pm \Delta \lambda))], \end{aligned} \quad (7)$$

де $P(h)$ - тиск в стоячій хвилі в площині випромінювання-приймання; $P(h+\lambda/2)$ – тиск в точці, що віддалена від площини випромінювання-приймання на відстань $\lambda/2$; λ - розрахункове значення довжини хвилі в зоні вимірювання для конкретних умов налаштування.

Залежність (7) показує, що при умові $\pm \Delta \lambda \neq 0$, $\cos[(\pi/2)(\lambda/(\lambda \pm \Delta \lambda))] \neq 0$ та $\Delta P \neq 0$, а зміна знаку $\cos[(\pi/2)(\lambda/(\lambda \pm \Delta \lambda))]$ дозволяє визначити в яку сторону відбувається зміна довжини хвилі в зоні вимірювання по відношенню до її значення у момент налаштування ПВП. По аналогії з (6) – різниця сигналів на приймачах теж визначається залежністю (7), але помножений на загальний коефіцієнт $K_{\text{пр}}$ перетворення приймачів, після їхнього нормування. При практичній реалізації методу в якості елемента порівняння в АСР стабілізації довжини хвилі використовується подвійний інтегратор, на один вхід якого подається опорний нульовий сигнал (якщо різниця між сигналами приймачів дорівнює нулю, то довжина хвилі є незмінною), а на другий - подається алгебраїчна різниця між сигналами приймачів по залежності (7). Сигнал з виходу подвійного інтегратора змінює частоту випромінювання ультразвукових коливань в зоні вимірювання за допомогою спеціального генератора, чим підтримується незмінною довжина стоячої хвилі.

III. ВИСНОВОК

Розглянуті способи забезпечення інваріантності ПВП вимірювання рівня на ультразвуковій стоячій хвилі, забезпечують зниження додаткових похибок: від впливу турбулентності повітряних потоків в зоні вимірювання майже на порядок (до $\pm 0,03$ мм), а від зміни температури в зоні вимірювання – до $\pm 0,02$ мм.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Способи зниження методичної похибки ультразвукових інтерференційних методів контролю рівня рідин /Рішан О.Й., Христенко В.О.//Науково-технічна інформація. – 2011. - №4. – С. 54-56.
2. Спосіб ультразвукового контролю товщини виробу /Рішан О.Й., Гуманюк М.Н.//А.С.№994911, Б.В.№5, 1983.
3. Ультразвуковий пристрій вимірювання товщини стрічки / Рішан О.Й.// А.С. № 845553, 1983.
4. Ультразвуковий пристрій вимірювання товщини стрічки /Рішан О.Й., Гуманюк М.Н./А.С.№1047268, 1983.