

А. В.РЯБІЧЕНКО, В.В. ЄВСЮКОВ, Й.І. СТЕНЦЕЛЬ, проф. д-р техн. наук, СНУ ім.В.Дала

КОМПЕНСАЦІЙНИЙ УЛЬТРАЗВУКОВИЙ РІВНЕМІР

Описується новий принцип вимірювання рівня рідини компенсаційним ультразвуковим рівнеміром за принципом визначення амплітуди збуджуючого сигналу, який сприймається п'єзокерамічним елементом після відбиття від реперного пристрою, і такого ж сигналу, який сприймається тим же елементом після відбиття від поверхні рідини. Приводиться математичне описання такого рівнеміра і показано, що він має зменшену зону нечутливості, практично не чутливий до зміни складу газового середовища, його температури і тиску.

The new principle of measurement of liquid's level by the compensating ultrasound level meter by a principle of definition of amplitude of a stimulating signal, which is perceived by piezoceramic element after reflection from the fiducial plate and after reflection from a surface of the liquid are observed. The mathematical description of this level meter is given. It is shown, that it has reduced zone to insensitivity, practically non-sensitive to change the gas ambience, the temperature and the pressures.

Сучасні ультразвукові рівнеміри (УЗР), як правило, мають реперний пристрій (репер) у вигляді пластини або шайби, від якої випромінений ультразвуковий сигнал (УЗС) відбивається та сприймається п'єзоелектричним приймачем. При цьому вимірювальним блоком визначається час проходження цим сигналом подвійної відстані від випромінювача до репера. Такий метод уведення корекції в процес вимірювання є достатньо недосконалим, так як не враховує похибки, коли відстань до контрольованого рівня перевищує відстань до репера. З метою усунення цього недоліку пропонується компенсаційний УЗР. Такий спосіб вимірювання рівня значно зменшує зону нечутливості рівнеміра, а також підвищує точність контролю. Структурна схема компенсаційного рівнеміра приведена на рис. 1. На відміну від відомих рівнемірів, у яких амплітуда випроміненого сигналу є сталою, у запропонованому приладі амплітуда випроміненого сигналу в залежності від рівня рідини змінюється до тих пір, поки різниця між цими амплітудами не стане рівною нулю. Для врахування впливу температури газу, його тиску, а також складу газового середовища реперний пристрій розташовується в газовому середовищі на фіксованій відстані від п'єзокерамічного випромінювача (ПКВ). Так як відбиті ультразвукові сигнали (УЗС) від репера та від поверхні контрольованого середовища проходять одне і теж газове середовище, то при їх зрівноваженні компенсується зміна параметрів цього середовища, що призводить до зменшення похибок вимірювання рівня. Рівнемір працює наступним чином. Після включення рівнеміра в роботу мікроконтролер видає управляючий сигнал на регулююче джерело імпульсів збудження, яке формує і видає на ПКВ електричний

імпульс з мінімальною амплітудою. Одночасно обнуляється і включається лічильник тактових сигналів. ПКВ генерує УЗС, який відбивається від репера і сприймається тим же п'єзокерамічним елементом, формуючи на його виході електричний сигнал. Останній нормується підсилювачем, перетворюється у цифровий код аналого-цифровим перетворювачем і запам'ятовується в блоці пам'яті. Після цього мікроконтролер ініціює подачу на ПКВ послідовності імпульсів з наростаючою амплітудою до величини, при якій запам'ятований електричний сигнал стане рівним сигналу, котрий сформований при відбитті УЗС від поверхні контрольованої речовини. Коли ці електричні сигнали стануть рівними нулю, то мікроконтролер виключає регульоване джерело імпульсів збудження і видає сигнал на блок оброблення інформації [1].



Рис. 1. Структурна схема компенсаційного ультразвукового рівнеміра

Статична характеристика компенсаційного рівнеміра є практично квадратичною, яку можна описати наступним рівнянням [2]

$$E = E_p \left(\frac{N}{J_p^2} \right) J_L^2 \exp \left\{ -n_0 \frac{J_L}{J_p} \left(1 - \frac{J_p}{J_L} \right) \left[1 + \sqrt{\left(1 + \frac{\Delta e_p}{N_{0p}} \right) - 2k_{CT} J_p} \right] \right\}, \quad (1)$$

де E_p - амплітуда випроміненого сигналу; N, N_{0p}, n_0, k_{CT} - сталі; J_p, J_L - відстань від випромінювача до реперного пристрою та поверхні рідини відповідно; Δe_p - різниця сигналів, яка поступає на компаратор.

Приймається, що підсилювачі, компаратор і джерело регульованої напруги є електричними елементами з лінійною статичною характеристикою. Тому для них можна записати наступне рівняння

$$U_i = k_E e_C, \quad (2)$$

де k_E - узагальнюючий коефіцієнт передачі електричних схем підсилювачів, компаратора і джерела регульованої напруги.

Інтенсивність сигналу ультразвукових коливань (УЗК), який випромінюється ПКВ, можна описати наступним рівнянням

$$I_0 = 2DS\Pi U_i / CrP = k_0 U_i = \rho c (\omega Y_0)^2 / 2, \quad (3)$$

де $k_0 = 2DS\Pi / CrP$ - стала п'єзоелемента; D - жорсткість його пластини S - поверхня пластини; Π - умовний розмір п'єзоелемента; C - його ємність; r - активний опір; P - активна потужність розсіювання; ρ - густина газу; c - швидкість розповсюдження УЗК в газовому середовищі; $\omega = 2\pi f$ - кутова частота УЗК; f - частота коливань; Y_0 - амплітуда УЗК на вході в газове середовище.

Інтенсивність сигналу УЗК, який досягнув поверхні рідини дорівнює [3]

$$I_{\Pi} = \rho c V_{1m}^2 / 2 = \rho c (\omega Y_{\Pi})^2 / 2, \quad (4)$$

де $V_{1m} = \omega Y_{1m}$ - максимальна коливальна швидкість частинок газу при досягненні поверхні рідини; Y_{Π} - амплітуда сигналу УЗК на поверхні рідини.

Зменшення амплітуди сигналу УЗК обумовлюється поглинанням енергії газовим середовищем. Якщо поглинання інтенсивності сигналу УЗК підпорядковується закону Бугера-Ламберта-Бера, то

$$I_{\Pi} = I_0 \exp(-k_r R), \quad (5)$$

де k_r - коефіцієнт поглинання сигналу УЗК газовим середовищем; R - відстань від випромінювача УЗК до поверхні рідини.

З врахуванням (3) і (4) маємо

$$Y_{\Pi} = Y_0 [1 - \exp(-0,5 k_r R)]. \quad (6)$$

При досягненні поверхні рідини частина енергії сигналу УЗК поглинається рідиною, а друга частина відбивається від поверхні. Якщо рахувати, що процес розповсюдження УЗК у рідині підпорядковується закону Бугера-Ламберта-Бера, то інтенсивність поглинання

$$I_p = I_{\Pi} [1 - \exp(-k_p \delta_p)], \quad (7)$$

де I_p - інтенсивність сигналу УЗК, який поглинається рідиною; k_p - коефіцієнт поглинання УЗК рідиною; δ_p - глибина поглинання УЗК рідиною, яка залежить від її фізико-хімічного складу і температури.

Інтенсивність сигналу УЗК, яка відбивається від поверхні рідини

$$I_B = I_{\Pi} - I_p = I_0 \left\{ 1 - \exp \left[-k_r R \left(1 + \frac{k_p \delta_p}{k_r R} \right) \right] \right\}. \quad (8)$$

або, враховуючи (2) – (6), маємо

$$Y_B = Y_0 \left\{ 1 - \exp \left[-k_r R \left(1 + \frac{k_p \delta_p}{k_r R} \right) \right] \right\}^{1/2}. \quad (9)$$

Інтенсивність сигналу УЗК, яка сприймається п'єзокерамічним елементом

$$I_C = \rho c V_{2m}^2 / 2 = \rho c (\omega Y_C)^2 / 2, \quad (10)$$

де $V_{2m} = \omega Y_C$ - максимальна коливальна швидкість частинок газу при досягненні поверхні п'єзоелектричного елемента; Y_C - амплітуда сприймаючого п'єзоелектричним елементом сигналу УЗК.

Якщо прийняти, що газове середовище для падаючого і відбитого УЗК одне й теж, то інтенсивність поглинання відбитого сигналу УЗК можна описати рівнянням

$$I_C = I_0 \left\{ 1 - \exp \left[-2k_r R \left(1 + 0,5 \frac{k_p \delta_p}{k_r R} \right) \right] \right\} \quad (11)$$

або

$$Y_C = Y_0 \left\{ 1 - \exp \left[-2k_r R \left(1 + 0,5 \frac{k_p \delta_p}{k_r R} \right) \right] \right\}^{1/2}. \quad (15)$$

Рахуватимемо, що амплітуда e_C електрорушійної сили, яка створюється п'єзоелементом, пропорційна амплітуді Y_C . Тоді маємо

$$e_C = k_{\Pi} Y_0 \left\{ 1 - \exp \left[-2k_r R \left(1 + 0,5 \frac{k_p \delta_p}{k_r R} \right) \right] \right\}^{1/2}, \quad (12)$$

де k_{Π} - коефіцієнт передачі п'єзоелемента.

З рівняння (2) знайдемо амплітуду випромінюючого імпульса, яка дорівнює

$$Y_0 = \frac{1}{\omega} \sqrt{\frac{2k_0 U_i}{\rho c}}. \quad (13)$$

Підставивши (13) у рівняння (12), маємо

$$e_C = \frac{k_E}{\omega} \sqrt{\frac{2k_0 U_i}{\rho c}} \left\{ 1 - \exp \left[-2k_r R \left(1 + 0,5 \frac{k_p \delta_p}{k_r R} \right) \right] \right\}^{1/2}. \quad (14)$$

Згідно з принципом вимірювання амплітуда e_c створюваного п'єзоелементом електричного сигналу, є сталою величиною. Тоді, приймаючи, що $e_c = E_c = const$, з (14) одержуємо

$$U_i = \frac{\rho c}{2k_0} \left(\frac{\omega E_c}{k_E} \right) \left\{ 1 - \exp \left[-2k_r R \left(1 + 0,5 \frac{k_p \delta_p}{k_r R} \right) \right]^{1/2} \right\}. \quad (15)$$

Формально рівняння (15) є статичною характеристикою рівноміра зі змінним збуджуючим імпульсом. Нижній рівень збуджуючого імпульса U_H характеризує реперну точку і визначається репером. Відстань R_0 від п'єзоелемента до репера визначається зоною нечутливості рівноміра. Якщо $R = R_0$, то збуджуючий сигнал, який є реперним, дорівнює

$$U_{Pi} = \frac{\rho c}{2k_0} \left(\frac{\omega E_c}{k_E} \right) \exp(2k_r R_0). \quad (16)$$

З врахуванням реперної напруги імпульса і того, що $R = H - L$ рівняння статичної характеристики рівноміра набуває вигляду

$$U_i = \frac{\rho c}{2k_0} \left(\frac{\omega E_c}{k_E} \right) \left[1 - \exp \left[-2k_r R \left(1 + 0,5 \frac{k_p \delta_p}{k_r R} \right) \right]^{1/2} + \exp(-2k_r R_0) \right]. \quad (17)$$

Позначимо $N_0 = \rho c \omega E_c / 2k_0 k_E$. Тоді рівняння (17) приймає наступну форму

$$U_i = N_0 \left\{ \left[1 - \exp \left[-2k_r R \left(1 + 0,5 \frac{k_p \delta_p}{k_r R} \right) \right]^{1/2} \right\} + \exp(-2k_r R_0) \right\}. \quad (18)$$

Розрахована за формулою (18) статична характеристика рівноміра, призначеного для вимірювання рівня води, коли газовим середовищем є повітря, близька до лінійної і має вигляд показаний на рис. 5.

Статична характеристика має зміщення на величину $U_0 = kR_0$ при (див. рис. 5, крива 2) $R_0 = 0$. При градуванні рівнеміра на заданий діапазон вимірювання статичну характеристику приводять до наступної форми (рис. 5, крива 3)

$$U_i = N_0 R^2 \left\{ 1 - \exp \left[-2k_r (R + 2R_0) \left(1 + 0,5 \frac{k_p \delta_p}{k_r R} \right) \right]^{1/2} + \exp(-2k_r R_0) \right\} - k_0 R_0, \quad (19)$$

де k_0 - налагоджувальний параметр рівнеміра.

Рівень рідини в апараті розраховується в обчислювальному пристрої вимірювальної схеми за формулою $L = k_L (U_{0i} - U_i)$, де k_L - коефіцієнт

перетворення рівноміра; U_{0i} - збуджуючий електричний сигнал, який відповідає нульовому рівню рідини в апараті. Експериментальна статична характеристика рівноміра показана на рис. 5, крива 1. Її відхилення від теоретичної не перевищує 0,25 %, що свідчить про адекватність математичних моделей.

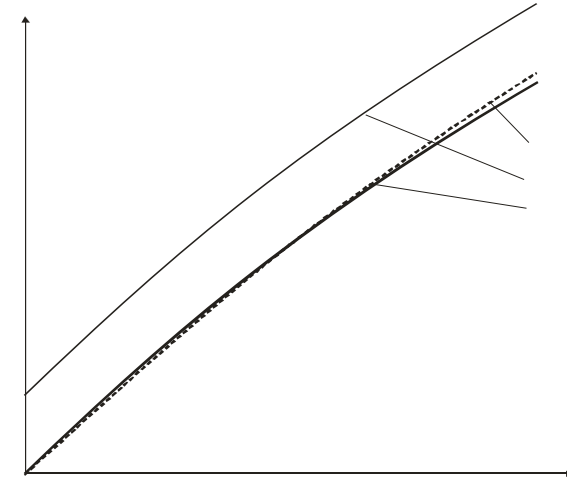


Рис. 5. Статична характеристика рівноміра зі змінним збуджуючим імпульсом.

Висновки. Теоретичні та експериментальні дослідження показують, що статична характеристика компенсаційного ультразвукового рівноміра є близькою до лінійної. Величина нелінійності, в основному, обумовлюється фізико-хімічними параметрами газового середовища, в якому розповсюджуються УЗК. Як показують експериментальні дослідження, при висоті рівня до 20 м нелінійність статичної характеристики не перевищує 0,3 %. Зона нечутливості рівноміра не перевищує 0,2 м. Показано, що компенсаційний принцип вимірювання дозволяє суттєво зменшити вплив температури, тиску та складу газового середовища на точність контролю.

Література: 1. Патент України на корисну модель 32894 МКВ G 01 F 23/28. Ультразвуковий рівнемір / Рябіченко А.В., Стенцель Й. І.; Заявл. 10. 12. 2007; Опубл. 10.06.2008. Бюл. 11. 2. Стенцель Й.І., Томсон А.В., Рябіченко А.В. Математичне моделювання ультразвукових рівномірів на основі теорії реологічних переходів. Матеріали другої всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції „Актуальні проблеми сучасної науки”. – Київ: 2006. – с.78-81. 3. Кухлинг Х. Справочник по физике: Пер. с нем. – М.: Мир, 1982. – 520 с.