

Й.І. СТЕНЦЕЛЬ, докт. техн. наук, проф. СНУ ім. В.Даля, Сєвєродонецьк
А.В. ТОМСОН, канд.техн.наук, ст. викл. СНУ ім. В.Даля, Сєвєродонецьк
В.В. ЄВСЮКОВ, аспірант, СНУ ім. В.Даля, Сєвєродонецьк
К.А. ЛІТВІНОВ, студент, СНУ ім. В.Даля, Сєвєродонецьк

**ДОСЛІДЖЕННЯ ПОХИБОК РЕПЕРНОГО КАНАЛУ
 УЛЬТРАЗВУКОВИХ ЗАСОБІВ КОНТРОЛЮ РІВНЯ
 РІДИННИХ СЕРЕДОВИЩ**

У роботі наведено результати теоретичних досліджень похибок реперного каналу. Показано, що похибки реперного каналу впливають на точність вимірювання ультразвукового засобу контролю рівня рідинних середовищ. Основними факторами, які викликають похибки реперного каналу, є ультразвуковий перетворювач і фізико-хімічні параметри газового середовища.

The results of theoretical researches of reference canal errors are given in the work. It is shown that the reference canal errors have an influence on measurement accuracy of ultrasound control device of liquid mediums' level. The main factors that lead to the reference canal errors are the ultrasound transducer and physicochemical parameters of the gaseous environment.

Вступ. Реперний пристрій у вигляді металевої пластини або шайби широко використовується в ультразвукових засобах контролю рівня (ЗКР) рідинних середовищ, як правило, для зменшення адитивної складової вимірювального (робочого) каналу, а фактично для приведення результату вимірювального контролю після подачі імпульсу ультразвукового сигналу (УЗС) до деякого нормованого значення [1, 2]. Так як реперний пристрій (далі репер) розташовується на невеликій відстані від мембрани ультразвукового випромінювача (УЗВ), то УЗС спочатку відбивається від репера і сприймається ультразвуковим приймачем (УЗП), а тільки через деякий час цей же сигнал доходить до поверхні рідинного середовища, відбивається від нього і сприймається тим же УЗП. Так як реперний і робочий сигнали випромінюються одним і тим же УЗВ і проходять через одне й теж газове середовище, то зміна електромеханічних параметрів УЗВ й фізико-хімічних параметрів газового середовища дещо компенсується. Але, враховуючи, що відстань від репера до поверхні рідинного середовища є змінною, а робочий УЗС може поглинатися рідиною, то повної компенсації впливу збурюючих параметрів не відбувається.

Постановка задачі. За відповідним алгоритмом відбувається часткова компенсація похибки вимірювального контролю робочого сигналу. Компенсація виконується за лінійним законом, тобто реперний сигнал у електричній вимірювальній схемі змінюється за принципом: $k_p e_p = E(L)$, де k_p - коефіцієнт зміни реперного сигналу; e_p - створений УЗП електричний реперний сигнал; $E(L)$ - створений УЗП електричний робочий сигнал. Так як

відстань J_p від мембрани УЗВ до репера завжди менша ніж відстань J до поверхні рідинного середовища, то зміна реперного сигналу від різних впливаючих факторів буде приводити до погіршення точності вимірювального контролю. У наукових джерелах не виявлено досліджень впливу зміни реперного сигналу на точність контролю ультразвукового ЗКР. Тому важливою є задача теоретичного та експериментального дослідження похибок реперного сигналу.

Основна частина. Дослідження похибок ультразвукового ЗКР реперного каналу, обумовлених зміною напруги збуджуючого імпульсу.

Рівняння для реперного сигналу запишемо в такій формі [3]

$$e_p = K_p B_1 B_3 U_0 [1 - \exp(-k_1 B_1 B_2 U_0)]^2 [1 - \exp(-B_1 B_4 U_0)] \quad (1)$$

де: K_p - коефіцієнт передачі за реперним каналом; U_0 - амплітуда ЕЗІ;

$$B_1 = \exp(-t_1 / R_1 C_1); \quad B_2 = \left[(53,38\pi)^3 \frac{T^3}{gr^3 m^3} \frac{z\gamma_C}{P} \sqrt{\frac{z\gamma_C}{P}} \right] t;$$

$$B_3 = [\exp(-t_1 / \tau_x)]^2 \left\{ 1 - \exp \left[- \left(\left[\left(53,38\pi \frac{T}{rm} \sqrt{\frac{z\gamma_C}{P}} \right)^3 t \right]^* \right) \right] \right\};$$

$$B_4 = \left[53,38\pi \frac{\sqrt{MT}}{r} \right]^3 k_1 t_1 / m^3 g; \quad k_1 - \text{коефіцієнт передачі п'єзоелектричного}$$

елемента(ПЕЕ); R_1, C_1 - активний опір і ємність ПЕЕ; T, P, γ_C, M - температура, тиск, густина і молярна маса газового середовища; r, m - радіус і маса мембрани УЗВ; t_1, τ_x - час переміщення і стала часу мембрани відповідно; $g = 9,81 м/с^2$; ϵ - коефіцієнт поглинання УЗС газовим середовищем; z - стала.

Залежність реперного сигналу від зміни напруги ЕЗІ приведена на рис. 1. На практиці напругу ЕЗІ рекомендується змінювати від 40 В і вище.

Параметри B_1, B_2, B_3 впливають на точність реперного сигналу, а їх зміна приводить до відхилення характеристики реперного сигналу від номінальної. У рівнянні (1) уведемо позначення: $K_{au} = K_p B_1 B_2$, $N_{1U} = k_1 B_1 B_2$;

$N_{2U} = B_1 B_2$. У результаті рівняння (1) приймає вигляд

$$e_p = K_{au} U_0 [1 - \exp(-N_{1U} U_0)]^2 [1 - \exp(-N_{2U} U_0)]; \quad (2)$$

На рис. 2 показані залежності $e_p = f(U_0)$ при одночасній зміні впливаючих параметрів N_{1U} і N_{2U} : 1 – 0,015; 2 – 0,025; 3 – 0,035.

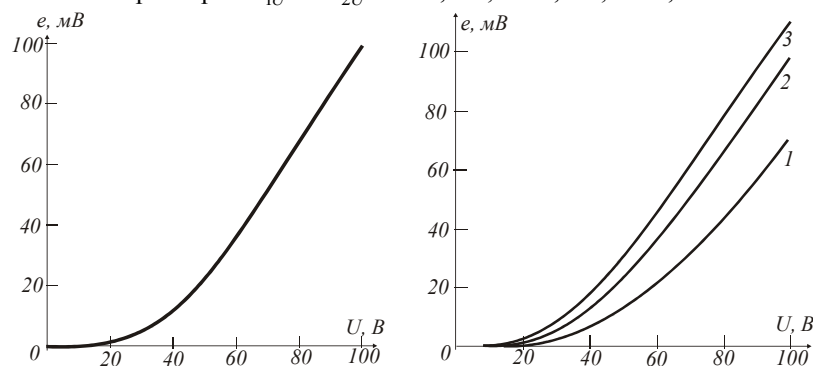


Рис. 1. Залежність реперного сигналу від зміни величини ЕЗІ

Рис. 2. Залежність реперного сигналу від сумарної зміни величин впливаючих параметрів

Зміна цих параметрів може приводити до значної похибки вимірювального контролю. Коефіцієнти впливу позначимо таким чином: мультиплікативна складова - $N_{\mu U}$; нелінійна квадратична складова - N_{H2U} ; нелінійна кубічна складова - N_{H3U} . Тоді рівняння для абсолютної похибки вимірювального контролю, обумовленої зміною напруги ЕЗІ, набуде наступного вигляду

$$\Delta_U = N_{\mu U} \Delta U_0 \left(1 + \frac{N_{H2U}}{N_{\mu U}} \Delta U_0 + \frac{N_{H3U}}{N_{\mu U}} \Delta U_0^2 \right). \quad (3)$$

Для реперного сигналу коефіцієнти впливу нелінійних складових незначні. Тому можна обмежитися тільки мультиплікативною складовою. У результаті отримуємо вираз для абсолютної похибки, обумовленої зміною напруги ЕЗІ в такій формі

$$\Delta_U = N_{\mu U} \Delta U_0. \quad (4)$$

Дослідження похибок ультразвукового ЗКР по реперному каналу, обумовлених зміною температури газового середовища. Знайдемо похибки вимірювального контролю при зміні температури газового середовища. Для цього рівняння статичної характеристики запишемо таким чином [2]

$$e_p(T) = K_P B_{1T} B_{3T}^2 \left\{ 1 - \exp\left(-k_1 B_{1T} [B_{2T} T^3]\right) \right\}^2 \left\{ 1 - \exp\left(-B_{2T} T^3 k_1 t / m^3 g B_{1T}\right) \right\} * \left\{ 1 - \exp\left(-\left[(B_{2T}) T^3 \frac{k_1 B_{1T}}{g} + 2\varepsilon J_P\right]\right) \right\}. \quad (5)$$

$$\text{де } B_{1T} = U_0 \exp(-t_1 / R_1 C_1); \quad B_{2T} = \frac{(53,38\pi)^3 z \gamma_C}{g T^3 m^3 P} \sqrt{\frac{z \gamma_C t}{P}}; \quad B_{3T} = \exp(-t / \tau_x).$$

Введемо наступні позначення

$$N_{1T} = k_1 B_1 B_2; \quad N_{2T} = \frac{k_1 B_1 B_2}{g}; \quad N_{3T} = \frac{k_1 B_1 B_2 t}{g m^3}; \quad K_{aT} = K_P B_1 B_3^2.$$

У результаті маємо:

$$e_p(T) = K_T \left\{ 1 - \exp(-N_{1T} T^3) \right\}^2 \left\{ 1 - \exp(-[N_{2T} T^3 + 2\varepsilon J_P]) \right\} * \left\{ 1 - \exp(-N_{3T} T^3) \right\}. \quad (6)$$

На рис. 3 приведена залежність реперного сигналу від зміни температури газу.

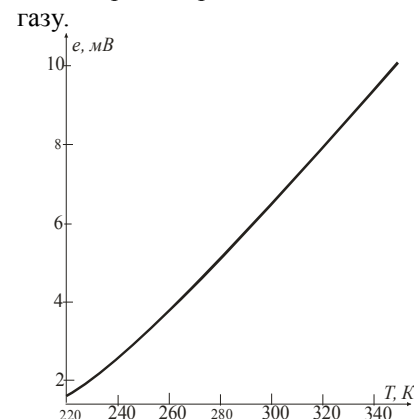


Рис. 3. Залежність реперного сигналу від зміни ТГС

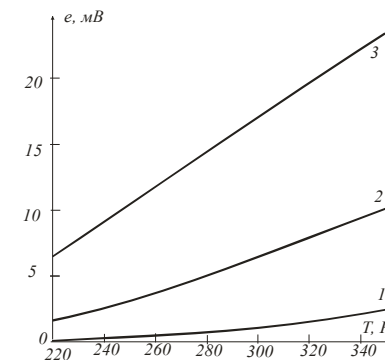


Рис. 4. Температурна залежність ЗКР при сукупній зміні параметрів B_1, B_2 і B_3

Розклавши рівняння (6) у ряд Тейлора, отримуємо наступне рівняння для температурної похибки Δ_T в такому вигляді

$$\Delta_T = N_{\mu T} \Delta T \left(1 + \frac{N_{H2T}}{N_{\mu T}} \Delta T \right), \quad (7)$$

де $N_{\mu T}, N_{H2T}$ - коефіцієнти впливу для мультиплікативної та нелінійної квадратичної складових температурної похибки; ΔT - приріст температури.

На рис. 4 приведена температурна залежність ЗКР при сукупній зміні параметрів B_1, B_2 і B_3 : 1 – зменшення параметрів; 2 – номінальні значення параметрів; 3 – збільшенні параметрів.

Дослідження похибок ультразвукового ЗКР по реперному каналу, обумовлених зміною тиску газового середовища. Знайдемо похибки

вимірювального контролю при зміні тиску газу. Для цього рівняння статичної характеристики запишемо таким чином

$$e_p(P) = K_P B_{1T} B_{3T}^2 \left\{ 1 - \exp\left(-k_1 B_{1T} \left[\frac{B_{2T}}{P\sqrt{P}} \right]^2 \right) \right\}^2 \left\{ 1 - \exp\left(-B_{2T} k_1 t / P\sqrt{P} m^3 g B_{1T}\right) \right\} * \left\{ 1 - \exp\left(-\left[\frac{B_{2T}}{P\sqrt{P}} \right] \frac{k_1 B_{1T}}{g} + 2\varepsilon J_P \right) \right\} \quad (8)$$

де $B_{1T} = U_0 \exp(-t_1 / R_1 C_1)$; $B_{2T} = \frac{(53,38\pi)^3 z \gamma C T_C^3}{g r^3 m^3} \sqrt{z \gamma C t}$; $B_{3T} = \exp(-t / \tau_x)$.

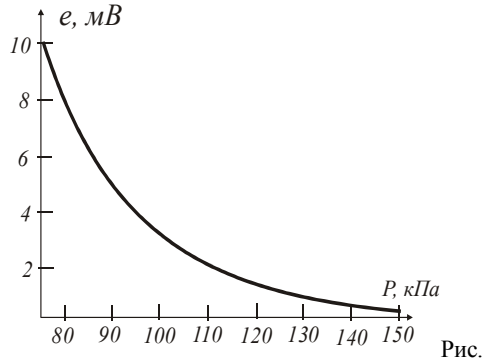


Рис. 5. Залежність реперного сигналу від зміни тиску газу

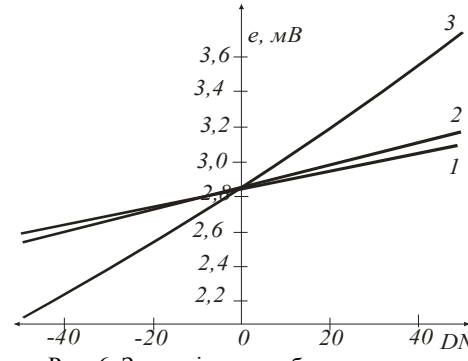


Рис. 6. Залежність похибок реперного сигналу від зміни впливаючих параметрів

Позначимо: $K_{P0} = K_P B_{1T} B_{3T}^2$; $N_{1P} = k_1 B_{1T} B_{2T}$; $N_{2P} = \frac{k_1 B_{1T}}{g} B_{2T}$;

$N_{3P} = \frac{B_{2T} k_1 t}{m^3 g B_{1T}}$. У результаті маємо

$$e_p(P) = K_{P0} \left\{ 1 - \exp\left(-N_{1P} / P\sqrt{P}\right) \right\}^2 \left\{ 1 - \exp\left(-\left[N_{2P} / P\sqrt{P} + 2\varepsilon J_P \right] \right) \right\} * \left\{ 1 - \exp\left(-N_{3P} / P\sqrt{P}\right) \right\} \quad (9)$$

Залежність $e_p(P) = f(P)$ є нелінійною (див. рис. 5), що свідчить про наявність нелінійних складових похибок. На рис. 6 показана залежність похибок реперного сигналу, обумовлених зміною тиску газового середовища, для впливаючих параметрів: N_1 (крива 1), N_2 (крива 2) і N_3 (крива 3).

Дослідження похибок ультразвукового ЗКР, обумовлених зміною молярної маси газового середовища. Враховуючи, що коефіцієнт тертя мембрани УЗВ $\beta = 53,38\pi\sqrt{MT}/r$ і власна частота УЗК $\omega_0 \approx 53,38\pi\sqrt{MT_C}/rm$, то рівняння статичної характеристики приймає наступну форму

$$e_p(t) = K_P U_1 [1 - \exp(-\alpha_1 t)]^2 [\exp(-t/\tau_x)]^2 * \left\{ 1 - \exp\left(-\left[\left(\frac{53,38\pi\sqrt{MT_C}}{rm} \right)^3 t \right] \frac{x_0}{g} + 2\varepsilon J_P \right) \right\} * \left\{ 1 - \exp\left(-\left(\frac{53,38\pi\sqrt{MT}}{r} \right)^3 x_0 t / m^3 g \right) \right\} \quad (10)$$

Позначимо в (10): $K_{PM} = K_P U_1 [1 - \exp(-\alpha_1 t)]^2 [\exp(-t/\tau_x)]^2$;

$N_1 = \left(\frac{53,38\pi x_0 \sqrt{T_C}}{rm} \right)^3 t x_0 / g$; $N_2 = \left(\frac{53,38\pi x_0 \sqrt{T_C}}{rm} \right)^3 t x_0 / g m^3$.

З врахуванням цього рівняння (10) приймає вигляд

$$e_p(M) = K_{PM} \left\{ 1 - \exp\left(-\left[N_1 M \sqrt{M} + 2\varepsilon J_P \right] \right) \right\} \left\{ 1 - \exp\left(-N_2 M \sqrt{M}\right) \right\} \quad (11)$$

Криві залежності величини реперного сигналу від зміни молярної маси газового середовища приведені на рис. 7 (крива 1 для гелія, крива 2 для повітря і крива 3 для діоксиду вуглецю).

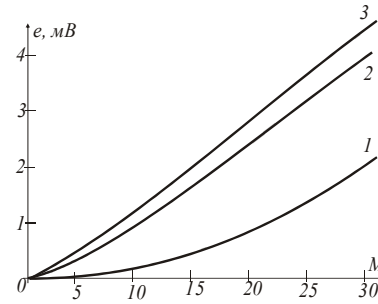


Рис. 7. Залежність величини реперного сигналу від зміни молярної маси газового середовища

Залежність $e_p(M) = f(M)$ є нелінійною. При збільшенні молекулярної маси газу (наприклад для важких газових сумішей) похибка складово похибки незначна і нею можна знехтувати.

Збільшується, а для більш легких по відношенню до молекулярної маси повітря – зменшується. Як показують дослідження, нелінійна кубічна складово похибки незначна і нею можна знехтувати.

Висновок. У результаті досліджень встановлено, що частина похибок реперного сигналу має нелінійні складові, що впливає на точність робочого вимірювального контролю. Якщо мультиплікативні складові похибок, обумовлених, наприклад, зміною напруги ЕЗІ, температури тощо можна зменшити за рахунок уведення поправок, які формуються відповідними засобами контролю, то компенсацію нелінійних складових похибок можна виконати розрахунковим методом за відомою мультиплікативною складовою.

Список літератури: 1. Стенцель Й.І., Томсон А.В., Рябіченко А.В. Математичні моделі ультразвукових рівнемірів рідин. МНТЖ „Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. –Хмельницький, 2006. №2 (28). – с.55-58. 2. Бабиков О.И. Контроль уровня с помощью ультразвука. – Л.: Энергия, 1971. – 98 с. 3. Рябіченко А.В., Стенцель Й.І. Математичні моделі ультразвукового рівнеміра рідини з компенсатором вихідних сигналів //Вісник національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Прилади та методи неруйнівного контролю. – Харків: НТУ «ХПІ» - № 48. – 2008. – с. 61-65.

Поступила в редакцію 25.04.11