

Й.І. СТЕНЦЕЛЬ, докт. техн. наук, проф. СНУ ім. В.Даля, Сєвєродонецьк;
А.В. РЯБІЧЕНКО, аспірант, СНУ ім. В.Даля, Сєвєродонецьк;
А.В. ТОМСОН, канд. техн. наук, стар. викл. СНУ ім. В.Даля, Сєвєродонецьк

МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ЗАСОБУ КОНТРОЛЮ РІВНЯ РІДИННИХ СЕРЕДОВИЩ З КОМПЕНСУЮЧИМ СПРІЙМАЮЧИМ СИГНАЛОМ

У роботі наведено результати математичного моделювання фізичних процесів в ультразвукових засобах контролю рівня рідинних середовищ на основі теорії реологічних переходів та методі нульового градієнта. Показано, що в ультразвукових засобах контролю рівня мають місце перетворення ультразвукових сигналів, які описуються градієнтними нелінійними диференціальними рівняннями переносу імпульса енергії та руху. Одержано математичні моделі вимірювального та реперного каналів ультразвукових засобах контролю рівня рідинних середовищ.

В работе приведены результаты математического моделирования физических процессов в ультразвуковых средствах контроля уровня жидких сред на основе теории реологических переходов и методе нулевого градиента. Показано, что в ультразвуковых средствах контроля уровня происходят преобразования ультразвуковых сигналов, которые описываются градиентными нелинейными дифференциальными уравнениями переноса импульса энергии и движения. Получены математические модели измерительного и реперного каналов ультразвуковых средств контроля уровня жидких сред.

The results of mathematical modeling of physical processes in ultrasound control device of liquid mediums' level based on the theory of reological conversions and the zero gradient method are given in the work. It is shown that the conversions of ultrasound signals occurred in ultrasound level control devices were described by gradient nonlinear differential equations of transferring pulse of energy and movement. The mathematical models of measuring and reference channels of ultrasound control devices of liquid mediums' level are received.

Вступ. В ультразвукових засобах контролю рівня (УЗКР) рідинних середовищ (РС) у більшості випадках використовуються п'єзокерамічні елементи (ПКЕ), які призначені для створення ультразвукових коливань (УЗК) [1 – 4]. Під дією електродинамічного зусилля (ЕДЗ), яке створюється електричним збуджуючим імпульсом (ЕЗІ), ПКЕ деформується подібно металевій мембрані, яка жорстко закріплена за периметром. Після припинення дії ЕДЗ ультразвуковий випромінювач (УЗВ) здійснює вільні механічні коливання, частота яких знаходиться в ультразвуковому діапазоні [5]. З іншої сторони, механічні коливання наводять в УЗВ електрорушійну силу (ЕРС) з такою ж частотою, яка створює ЕДЗ, котре направлене протилежно до напрямку руху УЗВ, створюючи гальмуючу дію. За рахунок цього загасання коливань УЗВ здійснюється швидше, що призводить до формування короткого УЗС у формі інтегральної δ – функції Дірака, а також

є причиною додаткової нелінійності статичної характеристики УЗКР. Як правило, більшість УЗКР засновано на вимірюванні часу проходження ультразвукового сигналу (УЗС) подвійної відстані від УЗВ до поверхні РС. Точність таких УЗКР невелика, як правило, не перевищує 0,25 (абсолютна похибка складає 7 – 10 мм), а градувальні характеристики мають суттєві нелінійні похибки вимірювального контролю. У багатьох випадках такі метрологічні характеристики є незадовільними, особливо при госпрозрахункових операціях. Тому підвищення точності вимірювального контролю та лінійності градувальних характеристик у широкому діапазоні зміни рівня РС є актуальною задачею.

Постановка задачі. В УЗКР рідинних середовищ УЗВ одночасно служить як випромінювачем, так і приймачем УЗС. ЕЗІ амплітудою E_I перетворюється в УЗК, котрі після відбиття від поверхні РС перетворюються в сприймаючий електричний сигнал e_c . Так як реологічні перетворення здійснюються послідовно та розділені в часі, то створення ЕРС відстає від початку дії ЕЗІ E_I на час $t(L)$, де L - рівень РС в апараті. В УЗКР мають місце наступні перетворення УЗС, котрі описуються такими градієнтними нелінійними диференціальними рівняннями [6]:

1. Енергія ЕЗІ з амплітудою E_I перетворюється в електродинамічне зусилля $F_{\partial o}(\bar{r}_{\partial}, t_1)$ (зусилля Ампера), яке можна описати наступним рівнянням

$$f_1(\xi) = \frac{\partial E_I}{\partial \theta_1} = \operatorname{div}(D_E \nabla E_I) + \frac{dF_{\partial o}(\bar{r}_{\partial}, t_1)}{dt_1}, \quad (1)$$

де D_E - коефіцієнт перенесення електричної енергії в ЕДЗ; $\bar{r}_{\partial}$ - вектор напрямку дії ЕДЗ; θ_1 - час перенесення ЕЗІ; t_1 - час стоку ЕДЗ.

2. ЕДЗ приводить до механічного руху мембрани УЗВ у напрямку x

$$f_2(\xi) = \frac{\partial F_{\partial o}}{\partial \theta_2} = \operatorname{div}(D_{\partial} \nabla F_{\partial o}) + \frac{x(\bar{r}_x, t_2)}{dt_2}, \quad (2)$$

де D_{∂} - коефіцієнт перенесення ЕДЗ у переміщення x мембрани; θ_2 - час перенесення ЕДЗ; $\bar{r}_x$ - вектор напрямку руху мембрани; t_2 - час стоку вимушеного переміщення мембрани.

3. Після припинення переміщення мембрани під дією ЕДЗ остання здійснює вільний механічний рух y_o мембрани УЗВ з ультразвуковою частотою. Такий реологічний перехід описується наступним градієнтним рівнянням

$$f_3(\xi) = \frac{\partial x}{\partial \theta_3} = \text{div}(D_x \nabla x) + \frac{dy_o(\bar{r}_y, t_3)}{dt_3}, \quad (3)$$

де D_x - коефіцієнт перенесення кількості руху мембрани; θ_3 - час перенесення кількості руху; $\bar{r}_y$ - вектор напрямку руху вільних коливань мембрани; t_3 - час вільних коливань мембрани.

УЗК, по-перше, викликають вимушений рух ПКЕ, а відповідно, створюють вторинну ЕРС e_1 , котра викликає гальмуючу дію мембрани УЗВ, а по-друге, - ці УЗК розповсюджуються в газовому середовищі (ГС) технологічного апарату, в котрому контролюється рівень. Ці два реологічні переходи походять паралельно.

4.Вторинна ЕРС e_1 , яка створюється в ПКЕ описується наступним градієнтним рівнянням

$$f_4(\xi) = \frac{\partial y_o}{\partial \theta_4} = \text{div}(D_{y_o} \nabla y_o) + \frac{de_1(\bar{r}_{e_1}, t_4)}{dt_4}, \quad (4)$$

де D_{y_o} - коефіцієнт перенесення кількості руху УЗК в ПКЕ; θ_4 - час його перенесення; $\bar{r}_{e_1}$ - вектор напрямку зміни вторинної ЕРС; t_4 - час стоку вторинної ЕРС.

5.Вторинна гальмуюча дія F_{∂_1} призводить до зменшення амплітуди основних УЗК на величину Δy_{∂_1} (п'ятий реологічний перехід) і може бути описана таким градієнтним рівнянням

$$f_5(\xi) = \frac{\partial F_{\partial_1}}{\partial \theta_5} = \text{div}(D_{\partial_1} \nabla F_{\partial_1}) + \frac{d\Delta y_{\partial_1}(\bar{r}_{y_{\partial_1}}, t_5)}{dt_5}, \quad (5)$$

де D_{∂_1} - коефіцієнт перенесення вторинного ЕДЗ мембрани УЗВ; θ_5 - час перенесення ЕДЗ; $\bar{r}_{y_{\partial_1}}$ - вектор напрямку руху мембрани; t_5 - час стоку вимушеного переміщення мембрани.

Таким чином, УЗК, які випромінюються в ГС технологічного апарату, в котрому контролюється рівень рідини, дорівнюватимуть

$$y_{\Gamma_0}(\bar{r}_\Gamma, t) = y_o(\bar{r}_y, t_3) - \Delta y_{\partial_1}(\bar{r}_{y_{\partial_1}}, t_5). \quad (6)$$

6. У ГС УЗК $y_{\Gamma}(\bar{r}_{\Gamma}, t)$ поглинаються за законом Бугера-Бера, створюючи шостий реологічний перехід, який можна описати таким градієнтним рівнянням

$$f_6(\xi) = \frac{\partial y_{\Gamma_0}}{\partial \theta_6} = \text{div} \left(D_{y_{\Gamma_0}} \nabla y_{\Gamma_0} \right) + \frac{dy_{\Gamma_1}(\bar{r}_{y_{\Gamma_1}}, t_6)}{dt_6}, \quad (7)$$

де $D_{y_{\Gamma_0}}$ - коефіцієнт перенесення УЗК у ГС; θ_6 - час перенесення; $\bar{r}_{y_{\Gamma_1}}$ - вектор напрямку поглинання УЗК; t_6 - час стоку УЗК в газовому середовищі.

Для спрощення прийемо, що у прийнятому діапазоні частот УЗК рідинним середовищем не поглинаються (що підтверджується експериментальними дослідженнями) і практично повністю відбиваються від ПРС.

7. При проходженні УЗК $\Delta y_{\partial \Gamma_1}(\bar{r}_{y_{\Gamma_1}}, t_6)$ від ПРС до УЗВ у газовому середовищі має місце реологічний перехід, який описується таким градієнтним рівнянням

$$f_7(\xi) = \frac{\partial y_{\partial \Gamma_1}}{\partial \theta_7} = \text{div} \left(D_{y_{\Gamma_1}} \nabla y_{\partial \Gamma_1} \right) + \frac{dy_M(\bar{r}_M, t_7)}{dt_7}, \quad (8)$$

де $D_{y_{\Gamma_1}} = D_{y_{\Gamma_0}}$ - коефіцієнт перенесення УЗК у ГС; θ_7 - час перенесення; $\bar{r}_M$ - вектор напрямку поглинання УЗК; t_7 - час стоку УЗК в газовому середовищі.

8. Так як мембрана жорстко зв'язана з ПКЕ, то в останньому появляється ЕРС e_c , котра поступає в запам'ятовуючий пристрій електричної вимірювальної схеми. Процес створення ЕРА терпить реологічний перехід, який описується таким рівнянням

$$f_8(\xi) = \frac{\partial y_M}{\partial \theta_8} = \text{div} \left(D_M \nabla y_M \right) + \frac{de_c(\bar{r}_c, t_8)}{dt_8}, \quad (9)$$

де $D_M = D_{y_0}$ - коефіцієнт переносу УЗК у ГС; θ - час перенесення; $\bar{r}_M$ - вектор напрямку поглинання УЗК; t - час перенесення ЕРС в ПКЕ.

Стоки енергії чи кількості руху являють собою швидкості зміни процесу перенесення і являють собою інтегруючі динамічні ланки. Враховуючи прийнятий однонаправлений характер перенесення енергії та кількості руху, градієнтні рівняння приводяться до наступної форми

- для першого реологічного переходу

$$\frac{\partial E_I}{\partial \theta_1} - D_E \frac{\partial^2 E_I}{\partial \xi_1^2} = \tau_1 \frac{d^2 F_{\partial o}}{dt_1^2} + \frac{dF_{\partial o}}{dt_1}; \quad (10)$$

- для другого реологічного переходу

$$\frac{\partial F_{\partial o}}{\partial \theta_2} - D_{\partial} \frac{\partial^2 F_{\partial o}}{\partial \xi_2^2} = \tau_2 \frac{d^2 x}{dt_2^2} + \frac{dx}{dt_2}; \quad (11)$$

- для третього реологічного переходу

$$\frac{\partial x}{\partial \theta_3} - D_x \frac{\partial^2 x}{\partial \xi_3^2} = \tau_{32}^2 \frac{d^3 y_o}{dt_3^3} + \tau_{31} \frac{d^2 y_o}{dt_3^2} + \frac{dy_o}{dt_3}; \quad (12)$$

- для четвертого реологічного переходу

$$\frac{\partial y_o}{\partial \theta_4} - D_{y_o} \frac{\partial^2 y_o}{\partial \xi_4^2} = \tau_4 \frac{d^2 e_1}{dt_4^2} + \frac{de_1}{dt_4}; \quad (13)$$

- для п'ятого реологічного переходу

$$\frac{\partial F_{\partial_1}}{\partial \theta_5} - D_{\partial_1} \frac{\partial^2 F_{\partial_1}}{\partial \xi_5^2} = \tau_{52}^2 \frac{d^3 y_{\partial_1}}{dt_5^3} + \tau_{51} \frac{d^2 y_{\partial_1}}{dt_5^2} + \frac{dy_{\partial_1}}{dt_5}; \quad (14)$$

- для шостого реологічного переходу

$$\frac{\partial y_{\Gamma_0}}{\partial \theta_6} + D_{y_{\Gamma_0}} \frac{\partial^2 y_{\Gamma_0}}{\partial \xi_6^2} = \tau_6 \frac{d^2 y_{\partial \Gamma_1}}{dt_6^2} + \frac{dy_{\partial \Gamma_1}}{dt_6}; \quad (15)$$

- для сьомого реологічного переходу

$$\frac{\partial y_{\partial \Gamma_1}}{\partial \theta_7} + D_{y_{\Gamma_1}} \frac{\partial^2 y_{\partial \Gamma_1}}{\partial \xi_7^2} = \tau_7 \frac{d^2 y_M}{dt_7^2} + \frac{dy_M}{dt_7}; \quad (16)$$

- для восьмого реологічного переходу

$$\frac{\partial y_M}{\partial \theta_8} + D_M \frac{\partial^2 y_M}{\partial \xi_8^2} = \tau_8 \frac{d^2 e_c}{dt_8^2} + \frac{de_c}{dt_8}, \quad (17)$$

де $\xi_1 - \xi_8$ - напрямок перенесення; $\tau_1 = \tau_4 = \tau_8 = RC$ - стала часу; R, C - активний опір та ємність ПКЕ; $\tau_2 = \tau_6 = \tau_7 = \sqrt{mk_1/c_2^2}$ - стала часу; m - маса мембрани; k_1 - коефіцієнт демпферування; c_2 - жорсткість; $\tau_{31} = \tau_{51} = k_1/c_1$; $\tau_{31}^2 = \tau_{52}^2 = m/c_1$; $\tau_{e1} = \tau_{c1} = RC$.

Рівняння (10) – (17) є нелінійними. Тому для їх аналітичного розв'язку скористаємося методом нульового градієнта [7]. У результаті отримуємо наступні математичні моделі для реологічних переходів:

- для першого реологічного переходу

$$F_{\partial_0}(t_1) = E_1 \left(k_1 \xi_1 / \sqrt{D_E \theta_1} \right) \left[1 - \exp(-t_1 / \tau_E) \right]^{1/3}; \quad (18)$$

- для другого реологічного переходу

$$x(t_2) = F_{\partial_0} \left(k_2 \xi_2 / \sqrt{D_{\partial} \theta_2} \right) \left[1 - \exp(-t_2 / \tau_x) \right]^{1/3}; \quad (19)$$

- для третього реологічного переходу

$$y_0(t_3) = x(t_2) \left(k_3 \xi_3 / \sqrt{D_x \theta_3} \right) \left[\exp(-\alpha_0 t_3) \cos(\omega_0 t_3) \right]^{1/3}, \quad (20)$$

де $\alpha_0 = -\tau_{31} / 2\tau_{32}^2$ - ступінь загасання УЗК; $\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{\tau_{32}^2} - \left(\frac{\tau_{31}}{2\tau_{32}^2} \right)^2}$ - частота власних коливань мембрани;

- для четвертого реологічного переходу

$$e_1(t_4) = y_0(t) \left(k_4 \xi_4 / \sqrt{D_{y_0} \theta_4} \right); \quad (21)$$

- для п'ятого реологічного переходу

$$y_{\partial_1}(t_5) = e_1(t_4) \left(k_5 \xi_5 / \sqrt{D_{\partial_1} \theta_5} \right) \left[1 - \exp(-\alpha_1 t_5) \cos(\omega_0 t_5) \right]^{1/3}, \quad (22)$$

де $\alpha_1 = -\frac{\tau_{51}}{2\tau_{52}^2}$ ступінь загасання; $\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{\tau_{52}^2} - \frac{\tau_{51}}{2\tau_{52}^2}}$ - частота власних коливань;

- для шостого реологічного переходу

$$y_{\partial_{\Gamma_1}}(t_6) = y_{\partial_1}(t_5) \left(k_6 \xi_6 / \sqrt{D_{y_{\Gamma_0}} \theta_6} \right); \quad (23)$$

- для сьомого реологічного переходу

$$y_M(t_7) = y_{\partial_{\Gamma_1}}(t_6) \left(k_7 \xi_7 / \sqrt{D_{y_{\Gamma_1}} \theta_7} \right); \quad (24)$$

- для восьмого реологічного переходу

$$e_c(t_8) = y_M(t_7) \left(k_8 \xi_8 / \sqrt{D_M \theta_8} \right). \quad (25)$$

У загальному випадку коефіцієнти перенесення енергії та кількості руху D_i є функціями внутрішніх параметрів того чи іншого реологічного переходу, у тому числі залежать від температури, тиску, в'язкості тощо. Але враховуючи, що ці залежності, як правило, незначні, а аргументи функцій $erf(u)$ достатньо малі, то для інженерних розрахунків можна прийняти, що відношення $\xi_i / \sqrt{D_i \theta_i} \approx k_{iD}$. Так як власна частота коливань для всіх переходів є однаковою, то прийнявши, що час стоку $t_1 = t_2 = t_4 = t_I$, де $t_I = const$ - час тривалості ЕЗІ, а також, що час реологічного переходу $t_6 = t_7 = J / c$, де J - відстань від УЗВ до поверхні рідини; c - швидкість УЗК у ГС. Окрім того врахуємо [8], що коефіцієнт тертя газового середовища $\beta = 53,38\pi \sqrt{MT} / r$, де M - молекулярна маса ГС; T - його температура; r - радіус мембрани; $\omega_0 = \beta / m$ - частота власних коливань мембрани при сприйнятті УЗК; де m - маса мембрани; $\alpha_0 = \omega_0^3 x_0 / g$ - ступінь загасання УЗК. Так як процес проходження УЗК через ГС супроводжується поглинанням ультразвукової енергії, то аргумент експоненціальної функції рівнянь (23) і (24) збільшиться на величину цього поглинання, яке дорівнює $A = \epsilon_\lambda \rho J$, де ϵ_λ - молярний коефіцієнт світлопоглинання; $\rho = MP / zT$ - густина газового середовища; P, T - тиск і температура ГС; z - поправочний множник.

Згідно зі структурною схемою рис. отримаємо наступне рівняння для робочого вимірювального каналу

$$e_c = F_{\partial\partial} x (y_0 - e_1 y_{\partial I}) y_{\partial T} y_M. \quad (26)$$

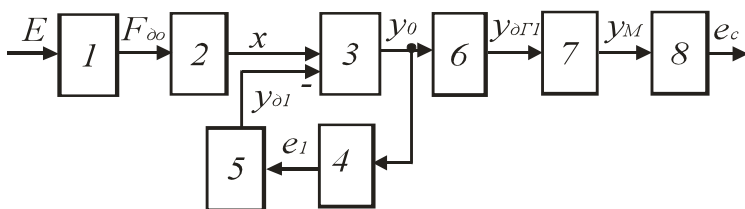


Рис. Структурна схема реологічних перетворень вимірювального каналу УЗКР

Ураховуючи обумовлене, з врахуванням (18 – 24) рівняння (26) набуває наступної форми

$$e_c = K_0 E_1 \left[1 - \exp \left(- 2J \left(\frac{\alpha_2}{c} - \varepsilon_\lambda \frac{MP}{zT} \right) \right) \cos(\omega_0 t_0) \right]^{1/3} \times \\ \times \left\{ \left[1 - \exp \left(- \frac{t_I}{RC} \right) \right] \left[1 - \exp \left(- \frac{t_I}{\sqrt{mk_1/c_2^2}} \right) \right] \right\}^{1/3}. \quad (27)$$

де $K_0 = k_1 k_2 k_7 k_8 (k_3 - k_4 k_6)$ - узагальнений коефіцієнт передачі; $\alpha_2 = \alpha_0 - \alpha_1$.

При сталих внутрішніх параметрах УЗВ можна прийняти, що

$$\left\{ \left[1 - \exp \left(- \frac{t_I}{RC} \right) \right] \left[1 - \exp \left(- \frac{t_I c_2}{\sqrt{mk_1}} \right) \right] \right\}^{1/3} = E_{10} = const. \quad (28)$$

Прийнявши, що $\cos(\omega_0 t_0) \approx 1$, рівняння (27) спрощується і приймає такий вигляд

$$e_c = K_0 E_{10} \left[1 - \exp \left(- 2J \left(\frac{\alpha_2}{c} - \varepsilon_\lambda \frac{MP}{zT} \right) \right) \right]^{1/3}. \quad (29)$$

З рівняння (29) видно, що залежність сприймаючого сигналу e_c УЗКР від зміни відстані J є нелінійною. З цього рівняння знайдемо відстань J :

$$J = \frac{zcT}{2(zT\alpha_2 - \varepsilon_\lambda cMP)} \ln \left[1 - \left(\frac{e_c}{K_0 E_{10}} \right)^3 \right]. \quad (30)$$

Для реперного каналу маємо

$$J_p = \frac{zcT}{2(zT\alpha_2 - \varepsilon_\lambda cMP)} \ln \left[1 - \left(\frac{e_{cp}}{K_0 E_{10}} \right)^3 \right]. \quad (31)$$

З рівнянь (30) і (31) випливає, що для забезпечення рівності $J = J_p$ необхідно, щоби були рівними аргументи логарифмічних функцій, або були рівними між собою сприймаючі сигнали e_c і e_{cp} . Так як $J = f(L)$, де L - рівень рідини в апараті, є лінійною функцією, то для забезпечення рівності $J = J_p$ необхідно виконати рівність $e_c = n e_{cp}$, де n - параметр, котрий визначає зміну сприймаючого сигналу робочого каналу відносно такого ж

сигналу реперного каналу, а відповідно зміну відстані J відносно J_p . Зі сказаного видно, що залежність $n = f(J) = f(L)$ є лінійною.

Висновок. У результаті досліджень УЗКР, які використовуються для вимірювального контролю рівня РС установлено, що при компенсації сприймаючого сигналу робочого каналу вимірювання за рахунок відповідної зміни сприймаючого сигналу реперного каналу статична характеристика такого УЗКР є лінійною. Теоретичні дослідження підтверджені експериментальними [9]. Такі УЗКР мають незначні температурні та барометричні похибки, а також практично незалежні від зміни складу газового середовища. При такому принципі вимірювального контролю рівня задача може приводиться до оптимізаційної з одним або двома закріпленими кінцями (оптимізаційна задача Ейлера).

Список літератури: 1. *Крым А.Е.* Применение ультразвуковых уровнемеров в различных областях промышленности / *А.Е. Крым* // Сборник докладов семинара ЗАО «Взлёт». – Санкт-Петербург, 2007. – С. 97 – 100. Режим доступу: www.vzljot.ru/files/publications2007/014.pdf – Назва з титул.екрану. 2. *Бабилов О.И.* Контроль уровня с помощью ультразвука / *О.И. Бабилов* – Л.: Энергия, 1971. – 98 с. 3. *Дж. Фрайден.* Современные датчики. Справочник / Перевод с английского Ю.А. Заболотной под ред. *Е.Л. Свинцова*. – Москва: Техносфера, 2006. – 592 с. 4. *Малов В.В.* Пьезорезонансные датчики / *В.В. Малов* – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 272 с.: ил. 5. Датчики уровня акустические (ультразвуковые) ЭХО5-5Н и ЭХО-5Н-В [Електрон. ресурс] : Уровнемеры акустические (ультразвуковые) для жидких, сыпучих и кусковых материалов: Уровнемеры и ограничители уровня: Продукция / ОАО «Завод «СТАРОРУСПРИБОР». – Режим доступу: <http://staroruspribor.ru/catalog/741/> – Назва з титул.екрану. 6. *Стенцель Й.И.* Фізичні моделі перетворень в ультразвукових засобах контролю рівня рідинних середовищ / *Й.И. Стенцель, А.В. Рябіченко, К.А. Літвінов* // Вісник національного технічного університету «ХПІ». Сборник научных трудов «Электроэнергетика и преобразовательная техника». – Харків: НТУ «ХПІ» - №19. -2011. – С. 3-18. 7. *Стенцель Й.И.* Математичні моделі ультразвукових рівнемірів рідин / *Й.И. Стенцель, А.В. Томсон, А.В. Рябіченко* // МНТЖ „Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. –Хмельницький, 2006. №2 (28). – С. 55-58. 8. *Рябіченко А.В.* Математичні моделі ультразвукового рівнеміра рідини з компенсатором вихідних сигналів / *А.В. Рябіченко, Й.И. Стенцель* // Вісник національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Прилади та методи неруйнівного контролю. – Харків: НТУ «ХПІ» - № 48. – 2008. – С. 61-65. 9. Пат. 32894 Україна, МПК G01F23/28. Ультразвуковий рівнемір / *Рябіченко А. В., Стенцель Й. І.* - № u 2007 13822; заявл. 10.12.2007; опубл. 10.06.08; Бюл. №11.

Надійшла до редакції 12.04.12