

УДК 681.542

Дубовец О.М., к. техн. н., доцент, Подустов М.О., д. техн. н., професор, Дзевочко О.М., к. техн. н., доцент, Букатенко О.І., к. техн. н., доцент, Ворожбіян Р.М., к. техн. н.

*Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут"*

## МЕТОДИ МОДЕРНІЗАЦІЇ П'ЄЗОМЕТРИЧНИХ ЩІЛЬНОМІРІВ ТА РІВНЕМІРІВ

**Ключові слова:** рідина, вимірювання, рівномір, щільномір, п'єзометричний метод.

**Вступ.** П'єзометричні рівнеміри і щільноміри широко використовуються в різних галузях промисловості, що визначається їх простотою і можливістю застосування на різних рідких середовищах – агресивних, однофазних і багатofазних [1–4]. Робота п'єзометричних рівнемірів протікає відповідно до формули

$$H = P/\rho g, \quad (1)$$

де  $H$  – глибина занурення п'єзометричної трубки в рідину, м;  $P$  – тиск повітря в п'єзометричній трубці, Па;  $\rho$  – щільність контрольованої рідини,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $g$  – прискорення вільного падіння,  $\text{м}/\text{с}^2$ .

В якості вимірювального приладу використовується манометр, шкала якого проградуєвана в одиницях виміру рівня [5].

Робота п'єзометричних щільномірів здійснюється відповідно до формули

$$\rho = P/Hg. \quad (2)$$

Шкала манометра градується в одиницях виміру щільності рідини [6].

З наведених формул випливає, що основною причиною виникнення похибок в результатах вимірювання п'єзометричних рівнемірів є залежність зазначених результатів від щільності контрольованих рідин, які можуть мати різні значення або щільність яких може змінюватися в ході технологічного процесу. Зазначена похибка п'єзометричних щільномірів може бути усунена за допомогою використання двох п'єзометричних трубок занурених у рідину на різну глибину. Щільність рідини розраховується відповідно до формули

$$\rho = \Delta P/\Delta Hg, \quad (3)$$

де  $\Delta H = H_1 - H_2$  – різниця глибин занурення п'єзометричних трубок, м;  $\Delta P = P_1 - P_2$  – різниця тисків в п'єзометричних трубках, Па.

Але застосування двох п'єзометричних трубок виключає похибку вимірювання, коли щільність рідини не змінюється по висоті. Використання фізично взаємопов'язаних закономірностей для вимірювання рівня і щільності рідин дозволяє припустити, що можливий варіант одночасного вимірювання щільності та рівня рідини, заснованого на п'єзометричному методі. Очевидно, що вказаний засіб повинен оцінювати з допус-

мою похибкою і рівень рідини в межах висоти об'єкта і щільність рідини, тобто в процесі вимірювання повинно забезпечуватися умови  $H \neq f(\rho)$  і  $\rho \neq f(H)$ .

**Мета роботи.** Розробка нових перспективних методів вимірювання щільності та рівня п'єзометричним методом.

**Основна частина.** На основі аналізу залежності тисків у двох п'єзометричних трубках, занурених на різну глибину

$$P_1 = H_1 \rho g, \quad (4)$$

$$P_2 = H_2 \rho g, \quad (5)$$

при  $P_1 > P_2$  та  $H_1 > H_2$ , можна стверджувати, що відношення

$$P_1/P_2 = H_1/H_2 \quad (6)$$

жорстко пов'язує тиск в п'єзометричних трубках і рівні їх занурення в рідину. Крім того, зазначена інформація дозволяє отримати значення

$$\Delta H = H_1 - H_2, \quad (7)$$

яке можна задати та

$$\Delta P = P_1 - P_2, \quad (8)$$

яке можна виміряти. Але тоді справедливо рівність

$$P_1/P_2 = H_1/(H_1 - \Delta H), \quad (9)$$

з якого випливає що рівень рідини

$$H_1 = P_1 \Delta H / \Delta P, \quad (10)$$

де  $H_1$  виражено через безупинно обчислювані  $P_1$  і  $P_2$  та постійну  $\Delta H$  величини.

Спрощена схема п'єзометричного рівнеміра, що реалізує закономірності представлена на рис. 1.

$$H_1 = P_1 \Delta H / \Delta P; \quad (11)$$

$$H_2 = P_2 \Delta H / \Delta P. \quad (12)$$

Рівнемір складається з двох п'єзометричних трубок 1 і 2, опущених в рідину 3 в об'єкті 4 на різну глибину, відповідно  $H_1$  і  $H_2$ , джерело стисненого повітря 5, перетворювачі тиску 6 і 7, мікропроцесор 8 і вторинний прилад 9.

Очевидно, що опущені в рідину на глибину  $H_1$  і  $H_2$  п'єзометричні трубки при відомих  $\Delta P$ ,  $P_1$  і  $P_2$  забезпечують еталонні умови для вимірювання рівня рідини будь-якої щільності в межах  $H_2$ , що в повній мірі відноситься і до багатофазних рідин, що розширюються. Однак зазначена ідентичність порушується в зоні  $\Delta H$ , що скорочує на  $\Delta H$  межі вимірювання рівня рідини і її щільності. В межах  $\Delta H$  рівень рідини можна визначити за формулою

$$H_{\Delta H} = P_{1\Delta H} / \rho_{\Delta H} g, \quad (13)$$

де  $H_{\Delta H}$  – рівень рідини в кінці п'єзометричної трубки, м;  $P_{1\Delta H}$  – тиск рідини в кінці п'єзометричної трубки, Па;  $\rho_{\Delta H}$  – щільність рідини у межах  $\Delta H$ , кг/м<sup>3</sup>.

Поточне значення  $P_{1\Delta H}$  може бути виміряно, якщо в схемі рівнеміра (рис. 1) «відключена» п'єзометрична трубка 2 ( $P_2 = P_{ат}$ ). Ця умова реалізується при використанні схеми рівнеміра – щільноміра, представленої на рис. 2.

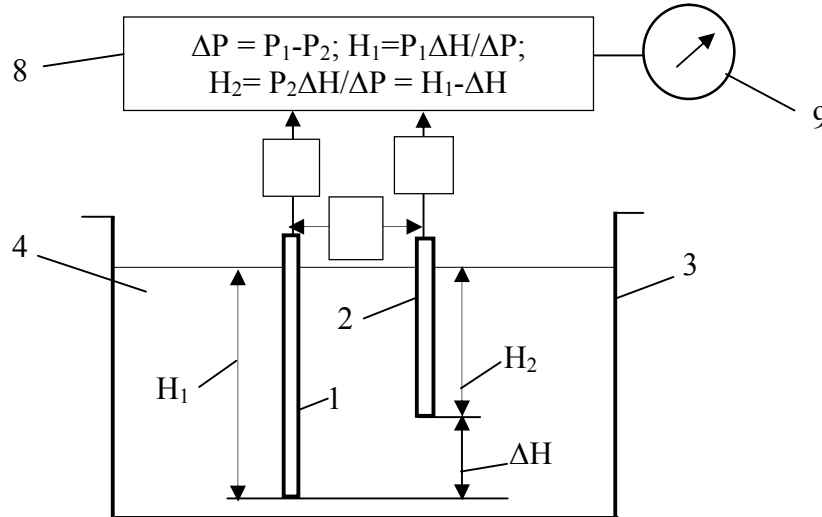


Рисунок 1 – Схема п'єзометричного рівнеміра

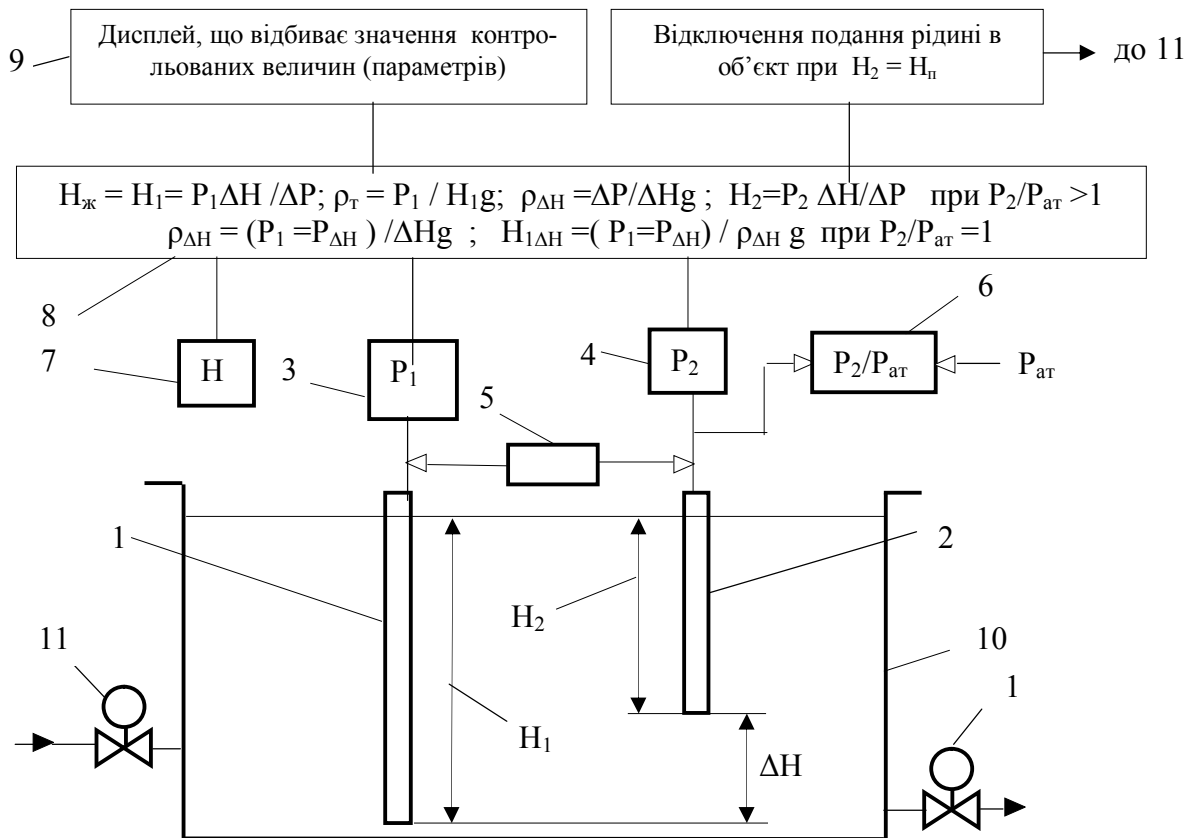


Рисунок 2 – Схема рівнеміра-щільноміра з умовним відключенням  $P_{H2}$

В дану конструкцію введений блок вимірювання відносини тисків  $P_2$  в п'єзометричній трубці з меншою  $H_2$  глибиною занурення в рідину і атмосферного –  $(P_2/P_{ат})$ . Як засіб розрахунку поточних значень вимірюваних величин і формування керуючих сигналів використаний мікропроцесор, що виконує обчислювальні операції (за умови  $P_2/P_{ат} > 1$ ) за формулами

$$H_ж = H_1 = P_1 \Delta H / \Delta P; \quad (14)$$

$$\rho_1 = P_1 / H_1 g; \quad (15)$$

$$\rho_{\Delta H} = \Delta P / \Delta H g \text{ (в межах } H_2) \quad (16)$$

і (за умови  $P_2/P_{ат} = 1$ ) - за формулами

$$H_1 = (P_1 = P_{\Delta H}) / \rho_{\Delta H} g; \quad (17)$$

$$\rho_{\Delta H} = (P_1 = P_{\Delta H}) / \Delta H g, \quad (18)$$

де  $\rho_1$  – щільність рідини в межах  $H_2$ , коли щільність вимірюється з урахуванням тисків  $P_1$ ,  $P_2$  і  $\Delta P$ ,  $\text{кг/м}^3$ ;  $g$  – прискорення вільного падіння,  $\text{м/с}^2$ ;  $\rho_{\Delta H}$  – щільність рідини при  $(P_2 = P_{ат})$ , коли рівень рідини вимірюється по тиску в п'єзометричній трубці з більшою глибиною занурення  $H_1$  (при  $H_1 \leq \Delta H$ ),  $\text{кг/м}^3$ ;  $\rho_{\Delta H}$  – щільність рідини в межах  $\Delta H$ ,  $\text{кг/м}^3$ .

Рівнемір – щільномір містить дві п'єзометричні трубки 1, 2 занурені в рідину на глибину відповідно  $H_1$  і  $H_2$  ( $H_1 = H_2 + \Delta H$ ), перетворювачі тиску в аналоговий електричний сигнал 3, 4, джерело живлення п'єзометричних трубок 5, перетворювач 6 різниці тисків в п'єзометричній трубці з  $H_2$  і атмосферного  $(P_2/P_{ат})$  в аналоговий електричний сигнал, задатчик граничного рівня 7, мікропроцесор 8, дисплей 9, що відображає поточні значення вимірюваних фізичних величин і технологічних параметрів, об'єкт 10, вхідний 11 та вихідний 12 регулюючі органи з виконавчими механізмами.

Робота рівнеміра – щільноміра здійснюється наступним чином. При заповненні об'єкта рідина починає впливати на п'єзометричну трубку з більшою глибиною занурення в рідину 1, з якої безперервно виходить повітря, що надходить з джерела стисненого повітря 5, створюючи в ній тиск  $P > P_{ат}$ . У п'єзометричній трубці 1 виникає тиск  $P_1 = H_1 \rho g$ , яке перетворюється в аналоговий електричний сигнал перетворювачем 3, вихід якого з'єднаний з одним із входів мікропроцесора 8 [7].

При подальшому заповненні об'єкта, коли рідина досягає п'єзометричної трубки 2, на вхід мікропроцесора надходять сигнали  $P_1 = H_1 \rho g$  і  $P_2 = H_2 \rho g$ , відношення яких

$$P_1/P_2 = H_1 \rho g / H_2 \rho g = H_1/H_2; \quad (19)$$

$$P_2 = (P_1 - \Delta P); \quad (20)$$

$$H_2 = (H_1 - \Delta H) \quad (21)$$

тому

$$P_1/P_2 = H_1 / (H_1 - \Delta H); \quad (22)$$

$$H_1 = P_1 \Delta H / \Delta P. \quad (23)$$

З формули (23) випливає, що результати вимірювання в межах  $H_2$  не залежить від щільності рідкого середовища.

При спорожненні об'єкта в межах  $H_2$  вимір рівня  $H_1$  здійснюється відповідно до формули

$$H_1 = P_1 \Delta H / \Delta P. \quad (24)$$

Тому, якщо навіть рідке середовище розшаровується (змінюється по висоті її щільність), то результати вимірювання  $H_1$  в межах  $H_2$  не залежать від щільності рідини. Але це триває до моменту  $H_2 = 0$ . Внаслідок чого в зоні  $\Delta H$  незалежність результатів вимірювання рівня від щільності рідини виключається. Але в момент  $P_2/P_{ат}=1$  мікро-процесор розраховує значення «кінцевої» щільності рідини на кордоні  $H_2$  і  $\Delta H$  за формулою

$$\rho_k = (P_1 - P_{\Delta H}) / \Delta H g \quad (25)$$

і поточне значення рівня  $H_1$  в межах  $\Delta H$  за формулою

$$H_1 = (P_1 - P_{\Delta H}) / \rho_k g, \quad (26)$$

де  $P_{\Delta H}$  – тиск в п'єзометричній трубці 1 рівнеміра в зоні  $\Delta H$ , Па.

При цьому можливий варіант визначення щільності рідини в зоні  $\Delta H$  при  $H_1 = \Delta H$  за формулою

$$\rho_{\Delta H} = \Delta P / \Delta H g, \quad (27)$$

а її рівень в зоні  $\Delta H$  за формулою

$$H_1 = (P_1 - P_{\Delta H}) / \rho_{\Delta H} g. \quad (28)$$

Щільність рідини в даному випадку розраховується за певних  $H_1$  і  $H_2$  за формулами

$$\rho_1 = P_1 / H_1 g, \quad (29)$$

$$\rho_2 = P_2 / H_2 g. \quad (30)$$

Очевидно, що на однорідних (однофазних) рідких середовищах  $\rho_1 = \rho_2$ . Якщо рідкі середовища розшаровуються, то відносини  $\rho_1/\rho_2$  і  $\rho_2/\rho_{\Delta H}$  є «індикаторами» розшарування фаз, за величиною якого можна судити про якість перемішування твердих компонентів в рідині.

Таким чином, конструктивне рішення щільноміра – рівнеміра (рис. 2) в порівнянні конструктивним рішенням рівнеміра (рис. 1) має такі переваги:

- 1) забезпечує одночасне вимірювання рівня, щільності контрольованої рідини і рівномірності розподілу в ній розчинних (і нерозчинних) компонентів;
- 2) забезпечує можливість контролю рівня в діапазоні.

Слід зазначити, що контроль рівня рідини в межах  $\Delta H$  забезпечує орієнтаційну інформацію про поточне його значення в разі розшарування рідин. Це пояснюється можливістю зміни щільності рідини в результаті розшарування її фаз, яке найбільш інтенсивно протікає в зоні  $\Delta H$ . Очевидно, що зазначений недолік може бути усунутий шляхом визначення і реалізації еталонних умов вимірювання при будь-яких рівнях і щільності рідини і будь-яких закономірностей розподілу її фаз в різних зонах об'єкта.

Єдиною ознакою еталонних умов в розглядаємому випадку є ставлення

$$H_{1\max}/H_{2\max} = H_{1T}/H_{2T} = K_e, \quad (31)$$

де  $H_{1\max}$ ,  $H_{2\max}$  глибини занурення вимірювальних трубок в рідину до моменту  $H_2 = 0$ , м;  $H_{1T}$  і  $H_{2T}$  - поточні значення глибин занурення в рідину п'єзометричних трубок, м.

Можливим варіантом реалізації даної ознаки є забезпечення умови  $H_2 \neq 0$  в межах  $H_1$ . Це практично може бути здійснено в процесі вимірювання рівня за допомогою зміни глибини занурення п'єзометричної трубки з  $H_2 = (H_1 - \Delta h)$  до межі, при досягненні якої відновлюється рівність

$$H_{1T}/H_{2T} = K_e. \quad (32)$$

При цьому необхідно знати інформацію, при наявності якої п'єзометрична трубка з меншою глибиною занурення повинна переміщатися вгору або вниз, забезпечуючи еталонні умови вимірювання. Зменшення рівня рідини в об'єкті на  $\Delta h$  призводить до нерівності

$$(H_1 - \Delta h)/(H_2 - \Delta h) > H_1/H_2. \quad (33)$$

Так як  $H_1 > H_2$ , то  $H_1$  при зміні рівня на  $\Delta h$  зміниться в меншій мірі, ніж  $H_2$ , що призводить до  $P_1/P_2 > K_e$ . Для забезпечення еталонних умов вимірювання необхідно п'єзометричну трубку з  $H_2$  піднімати до отримання рівності  $P_1/P_2 = K_e$ , при якому

$$(H_1 - \Delta h)/(H_2 - \Delta h) = H_1/H_2. \quad (34)$$

Збільшення рівня на  $\Delta h$  призводить до нерівності

$$(H_1 + \Delta h)/(H_2 + \Delta h) < H_1/H_2 \quad (35)$$

і п'єзометричну трубку з  $H_2$  необхідно опускати до межі  $P_1/P_2 > K_e$ , при досягненні якого забезпечується рівність

$$(H_1 + \Delta h)/(H_2 + \Delta h) = H_1/H_2. \quad (36)$$

Технічна реалізація еталонних умов в межах  $H_1$  можлива за допомогою розробки системи, що стежить та безперервно забезпечує умову  $H_{1T}/H_{2T} P_1/P_2 = K_e$ . Конструкція рівнеміра-щільноміра яка реалізує принцип безперервного відстеження  $K_e$ , наведена на рис. 3.

Рівнемір - щільномір містить нерухому п'єзометричну трубку 1 з максимальною глибиною занурення  $H_{1\max}$  в контрольовану рідину і рухливу п'єзометричну трубку 2 з максимальною глибиною занурення  $H_{2\max} < H_{1\max}$  в контрольовану рідину в технологічному об'єкті 3, перетворювачі пневматичного сигналу в аналоговий електричний сигнал 4, 5, джерело стисненого повітря 6, шланг 7, перетворювач обертового руху в поступальний, що складається з корпусу 8, всередині якого розташований реверсивний двигун 9 і вертикальний шток 10, який приводиться в рух двигуном, індуктивний перетворювач лінійного переміщення в аналоговий електричний сигнал 11, 12, плунжер якого 11, закріплений на штоку 10 і переміщається в стаціонарно встановленої котушці 12, мікропроцесорний блок 13, вхід якого з'єднаний з виходом індуктивного перетворювача, а виходи з входами реверсивного двигуна 9 і входом вимірювального двохшкаль-

ного приладу 14, перша шкала якого проградуєвана в одиницях виміру рівня, друга - в одиницях виміру щільності.

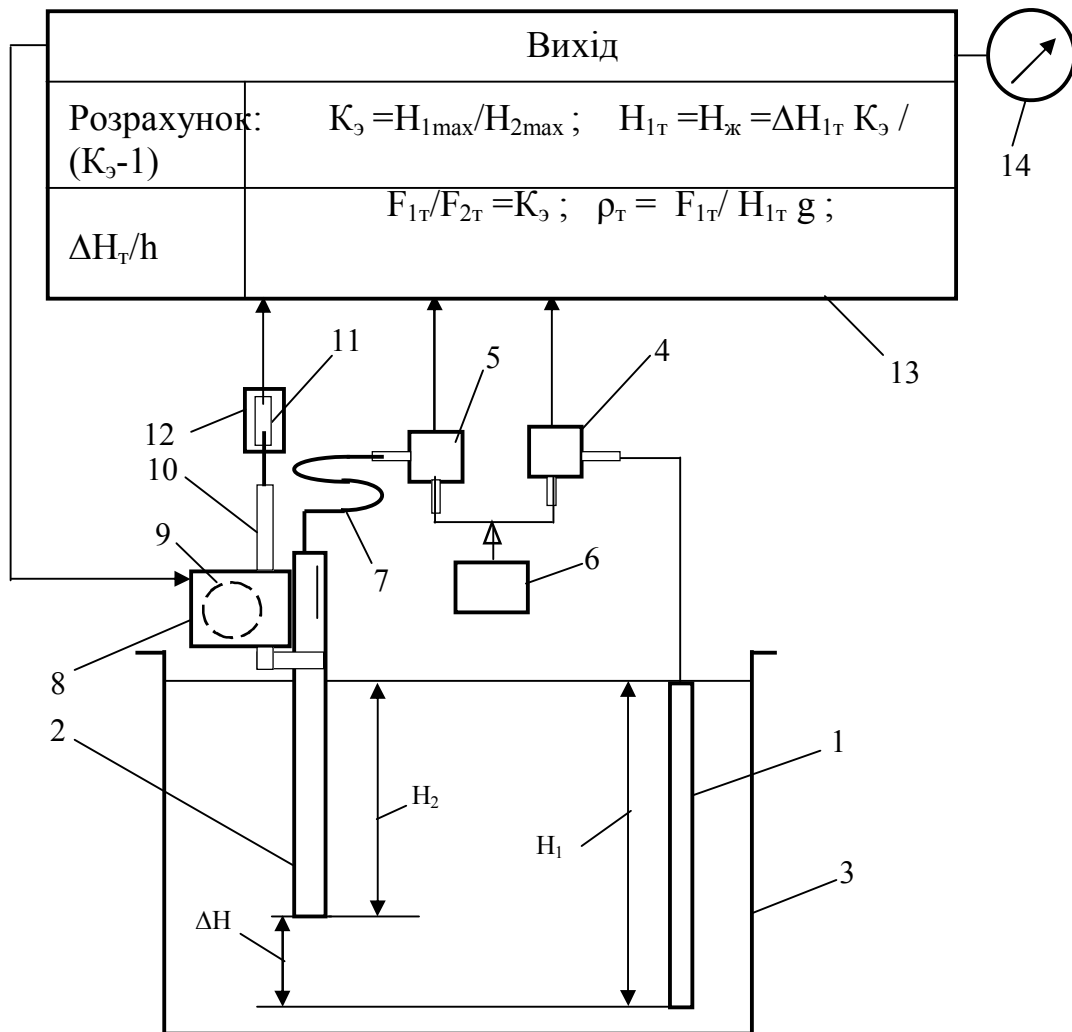


Рисунок 3 – Схема рівнеміра –щільноміра з рухливою п'єзометричною трубкою  $H_2$

Вхідними сигналами мікропроцесора є: максимальні значення занурення в рідину  $H_{1max}$ ,  $H_{2max}$  п'єзометричних трубок 1 і 2, які є константами і задаються при розробці рівнеміра, поточні значення тисків  $P_{1T}$ ,  $P_{2T}$  відповідно в 1 і 2 п'єзометричних трубках, значення різниці  $\Delta H_T = H_{1T} - H_{2T}$  глибин занурення п'єзометричних трубок в рідину при будь-якому поточному значенні її рівня в об'єкті, яке безперервно вимірюється при  $H_{1max}/H_{2max} = K_e$  і ставлення  $\Delta H_T \leq 2h$ , де  $h$  – поріг чутливості рівнеміра.

Мікропроцесорний блок виконує:

1) розрахункові функції за формулами:

$$K_{1T} = P_{1T}/P_{2T} = K_e; \quad (37)$$

$$H_{ж} = H_{1T} = \Delta H_T K_e / (K_e - 1); \quad (38)$$

$$\rho = P_{1T}/H_{1T} g, \Delta H_T/2h. \quad (39)$$

2) керуючі функції:

при  $K_{1T} > K_e$  – формування сигналу на переміщення рухомої п'єзометричної трубки вниз до межі  $K_{1T} = K_e$ ;

при  $K_{1T} < K_e$  – формування вихідного сигналу на переміщення рухомої п'єзометричної трубки вгору до межі  $K_{1T} = K_e$ ;

припинення переміщення (рухомої) п'єзометричної трубки вниз при досягненні умови  $\Delta H_T \leq 2h$ ;

3) інформаційну функцію – формування аналогових вихідних сигналів, перший з яких пропорційний розрахунковим значенням рівня рідини

$$H_{ж} = H_{1T} = \Delta H_T K_e (K_e - 1); \quad (40)$$

другий – розрахунковому значенню щільності рідини

$$\rho = P_{1T} / H_{1T} g, \quad (41)$$

що надходять на входи двохшкального вимірювального приладу 14, перша шкала якого проградуєвана в одиницях виміру рівня, друга шкала – в одиницях виміру щільності.

Рівнемір – щільномір працює наступним чином.

Попередньо шкала вторинного приладу градується в межах обраного діапазону вимірювання. Для цього використовуються такі дані: 1) максимальні межі занурення п'єзометричних трубок в контрольовану рідину  $H_{1max}$  і  $H_{2max}$ ; 2) різниця глибин занурення п'єзометричних трубок в контрольовану рідину  $\Delta H_{1max} = H_{1max} - H_{2max}$ ; 3) константа  $K_e = H_{1max} / H_{2max} = P_{1max} / P_{2max}$ , що задає еталонні умови вимірювання  $K_e P_{1T} / P_{2T} = K_e$ .

Так як при  $P_{1T} > 2h$ , в контрольовану рідину опущені обидві п'єзометричні трубки і рівень рідини безперервно зростає, внаслідок чого  $P_{1T} / P_{1T} < K_e$ , то мікропроцесорний блок 13 формує сигнал, який надходить на вхід реверсивного двигуна 8, який забезпечує переміщення штока 10 і закріплену на його нижньому кінці п'єзометричну трубку 2 вниз, зменшуючи глибину її занурення  $H_{2T}$  в рідину до тих пір, поки не встановиться рівність  $P_{1T} / P_{2T} = K_e$ . Одночасно відбувається переміщення закріпленого на верхньому кінці штока 10 плунжера індукційного перетворювача 11, 12, вихідний сигнал якого надходить на вхід мікропроцесорного блоку 13 і з його виходу на вхід двохшкального вимірювального приладу 14, перша шкала якого проградуєвана в одиницях виміру рівня, друга шкала – в одиницях виміру щільності. Переміщення рухомої трубки вгору здійснюється до межі  $H_{1max} / H_{2max} = K_e$ , при якій  $\Delta H$  має максимальне значення. Зменшення рівня рідини в об'єкті призводить до нерівності  $P_{1T} / P_{1T} > K_e$ , тому вихідний сигнал мікропроцесора пускає в хід реверсивний двигун напрямок обертання валу якого забезпечує переміщення штока 10 і закріплену на його нижньому кінці п'єзометричну трубку 2, збільшуючи глибину її занурення  $H_{2T}$  в рідину до тих пір, поки не встановиться рівність  $P_{1T} / P_{2T} = K_e$ . При досягненні зазначеної рівності двохшкальний вимірювальний прилад здійснює одночасно вимір рівня і щільності контрольованої рідини.

Таким чином, даний п'єзометричний рівнемір - щільномір, по-перше забезпечує еталонні умови для вимірювання рівня рідких середовищ п'єзометричними рівнемірами (при збереженні незалежності результатів вимірювання від щільності контрольованої рідини) і результатів вимірювання щільності від зміни її рівня і, по друге, істотно зменшує межі  $\Delta H = H_1 - H_2$  рівнеміра до порога чутливості приладу.

Наявність інформації  $P_{1T} / P_{2T} = H_{1T} / H_{2T} = K_e$  дозволяють визначити значення  $\Delta P_T$  і  $\Delta H_T$  і обчислити поточні значення щільності рідини в різних межах  $\Delta H_T$  за формулою



$$\rho_{\Delta H} = \Delta P_T / \Delta H_{Tg}. \quad (42)$$

При цьому інформація про ступінь розшарування фаз багатофазних рідин може бути отримана за допомогою зіставлення значень  $\rho_{\Delta H}$  в зазначених межах.

### Висновки

1. Всі конструктивні рішення виконують одночасно функції рівнемірів і щільномірів.
2. В межах глибини занурення вимірювальної трубки  $H_2 = (H_1 - \Delta H)$  при вимірі рівня за формулою  $H_1 = P_1 \Delta H / \Delta P$  всі конструктивні рішення забезпечують незалежність результатів вимірювання рівня від щільності контрольованої рідини.
3. Конструктивне рішення (рис. 3) дозволяє вимірювати не тільки рівень і щільність контрольованої рідини, але і практично виключити похибку вимірювання рівня рідини в межах  $\Delta H$ .
4. Поліпшення конструктивних рішень засобів одночасного вимірювання рівня, щільності і ступеня розшарування рідких середовищ повинно базуватися на закономірностях, що забезпечують еталонні умови вимірювання.

### Література

1. Промислові засоби автоматизації. Частина 1. Вимірювальний пристрій: Нав. посібник / А.К. Бабіченко, В.І. Тошинський, В.С. Михайлов та інш.; За ред. А.К. Бабіченка. – Харків: НТУ "ХПІ", 2001. – 470 с.
2. Лукінюк М.В. Технологічні вимірювання та прилади: Нав. посібник / М.В. Лукінюк. – К: НТУУ "КПІ", 2007. – 436 с.
3. Основи вимірювань і автоматизації технологічних процесів: Підручник / А.К. Бабіченко, В.І. Тошинський, Ю.А. Бабіченко та інш.; За ред. А.К. Бабіченка. – Харків: Вид-во ТОВ "С.А.М.", 2009. – 616 с.
4. Лукінюк М.В. Контроль і керування хіміко-технологічними процесами. Книга 1. Методи та технічні засоби автоматичного контролю хіміко-технологічних процесів: Нав. посібник / М.В. Лукінюк – К: НТУУ "КПІ", 2012. – 336 с.
5. Пат. 125534 Україна, МПК G01 № 23/00. Рівнемір / О.М. Дубовец, М.О. Подустов, О.М. Дзевочко, О.В. Пугановський, Р.М. Ворожбіян. – № 2017 12765; заявл. 22.12.2017; опубл. 10.05.2018, Бюл. № 9. – 4 с.
6. Пат. 118494 Україна, МПК G01 № 9/00. Поплавковий щільномір / О.М. Дубовец, Є.І. Литвиненко, М.О. Подустов, А.І. Дзевочко, Я.О. Кравченко. – № 2017 02120; заявл. 06.03.2017; опубл. 10.08.2017, Бюл. № 15. – 3 с.
7. Мікропроцесорні засоби в автоматизованих системах керування технологічними процесами / А.К. Бабіченко, І.Л. Красніков, Ю.А. Бабіченко та інш.; За ред. А.К. Бабіченка. – Харків: Вид-во ТОВ "Водний Спектр Джі-Ем-Пі", 2016. – 440 с.

### Bibliography (transliterated)

1. Promislovi zasobi avtomatizatsiyi. Chastina 1. Vimsryuvalniy pristroyi: Nav. posibnik / A.K. Babichenko, V.I. Toshinskiy, V.S. Mihaylov ta insh.; Za red. A.K. Babichenka. – Harkiv: NTU "HPI", 2001. – 470 p.
2. Lukinyuk M.V. Tehnologichni vimiryuvannya ta priladi: Nav. posibnik / M.V. Lukinyuk. – K: NTUU "KPI", 2007. – 436 p.

3. Osnovi vimiryuvan i avtomatizatsiyi tehnologichnih protsesiv: Pidruchnik / A.K. Babichenko, V.I. Toshinskiy, Yu.A. Babichenko ta insh.; Za red. A.K. Babichenka. – Harkiv: Vid-vo TOV "S.A.M.", 2009. – 616 p.

4. Lukinyuk M.V. Kontrol i keruvannya himiko-tehnologichnimi protsesami. Kniga 1. Metodi ta tehichni zasobi avtomatichnogo kontrolyu himiko-tehnologichnih protsesiv: Nav. posibnik / M.V. Lukinyuk – K: NTUU "KPI", 2012. – 336 p.

5. Pat. 125534 Ukrayina, MPK G01 № 23/00. Rivnemir / O.M. Dubovets, M.O. Podustov, O.M. Dzevochko, O.V. Puganovskiy, R.M. Vorozhbiyan. – № 2017 12765; zayavl. 22.12.2017; opubl. 10.05.2018, Byul. № 9. – 4 p.

6. Pat. 118494 Ukrayina, MPK G01 № 9/00. Poplavkoviy schilnomir / O.M. Dubovets, E.I. Litvinenko, M.O. Podustov, A.I. Dzevochko, Ya.O. Kravchenko. – № 2017 02120; zayavl. 06.03.2017; opubl. 10.08.2017, Byul. № 15. – 3 p.

7. Mikroprotsesorni zasobi v avtomatizovanih sistemah keruvannya tehnologichnimi protsesami / A.K. Babichenko, I.L. Krasnikov, Yu.A. Babichenko ta insh.; Za red. A.K. Babichenka. – Harkiv: Vid-vo TOV "Vodniy Spektr Dzhi-Em-Pi", 2016. – 440 p.

УДК 681.542

Дубовец А.Н., к. техн. н., доцент, Подустов М.А., д. техн. н., профессор, Дзевочко А.М., к. техн. н., доцент, Букатенко А.И., к. техн. н., доцент, Ворожбиян Р.М., к. техн. н.

*Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт*

### **МЕТОДЫ МОДЕРНИЗАЦИИ ПЬЕЗОМЕТРИЧЕСКИХ ПЛОТНОМЕРОВ И УРОВНЕМЕРОВ**

В статье рассмотрены методы модернизации пьезометрических плотномеров и уровнемеров для одновременного измерения данных параметров. Показаны существенные конструктивные отличия различных измерительных схем.

Dubovets O.M., Podustov M.O., Dzevochko O.M., Bukatenko O.I., Vorozhbiyan R.M.

### **METHODS OF MODERNIZATION OF PIEZOMETRIC PLOTNOMERS AND LEVELERS**

The article discusses methods for upgrading piezometric density meters and level gauges for simultaneous measurement of these parameters. Significant structural differences of various measuring circuits are shown.