

Й. І. СТЕНЦЕЛЬ, д-р техн. наук, проф. СНУ ім. В.Даля, Луганськ;
К. А. ЛІТВІНОВ, студент, СНУ ім. В.Даля, Луганськ

ДОСЛІДЖЕННЯ ПОХИБОК ВИМІРЮВАЛЬНОГО КОНТРОЛЮ РІВНЯ РІДИННИХ СЕРЕДОВИЩ

У роботі наведено результати досліджень методичних похибок вимірювання ультразвукових пристроїв контролю рівня рідинних середовищ. Показано, що похибки обумовлені реологічними переходами ультразвукового сигналу і залежать від товщини газового середовища та фізико-параметрів рідини й газу.

Ключові слова: ультразвук, контроль, рівень, методична похибка, вимірювання, час, випромінювач, п'єзоелектричний елемент, рідина.

Вступ. Однією з основних умов підвищення ефективності сучасного виробництва є можливість отримання достатнього обсягу достовірної інформації про стан об'єктів та якість протікання технологічних процесів, зокрема про кількість тої чи іншої рідини в апараті, яка практично у всіх технологічних процесах характеризується за її рівнем при сталих геометричних розмірах технологічного апарату чи ємності. Відома велика кількість методів і приладів контролю та вимірювання рівня рідини в технологічних апаратах, проте далеко не всі вони задовольняють вимоги практики, зокрема точності вимірювань, чутливості, вірогідності контролю, розширення діапазону вимірювань у напрямку малих та великих рівнів. Тому розширення діапазону вимірювання, підвищення точності й вірогідності контролю рівня рідини в технологічних апаратах та ємностях відносяться до важливих науково-технічних задач. Для вимірювального контролю рівня рідинних середовищ у сучасних виробництвах та інших сферах діяльності людини широке розповсюдження набувають безконтактні методи, найбільш оптимальним з яких є ультразвуковий. Він забезпечує достатньо високу точність вимірювального контролю та вірогідність при відносно простому практичному виконанні (по відношенню до інших безконтактних методів) [1]. Ультразвукові засоби контролю рівня (УЗКР) все частіше використовуються в системах господарських розрахунків кількості рідини в ємностях складів, сховищ, водочисних споруд тощо.

Аналіз останніх досліджень та літератури. У науково-технічній літературі зазначається, що розширити діапазон вимірювання рівня ультразвуковим методом можна за рахунок використовувати п'єзокерамічних елементів з низькою ультразвуковою резонансною частотою (близькою до 30 кГц) або збільшення амплітуди випроміненого сигналу [2,3]. Обидва способи приводять до наявності зони нечутливості, яка визначається відстанню між ультразвуковим випромінювачем (УЗВ) і поверхнею рідинного середовища (ПРС). До того ж чутливість УЗВ залежить від якості виготовлення п'єзокерамічних еле-

© Й. І. Стенцель, К. А. Літвінов, 2013

ментів (ПКЕ), котрі використовуються одночасно у якості як випромінювача, так і приймача ультразвукових сигналів (УЗС). Ці недоліки значно звужують область використання УЗКР. Як правило, принцип роботи сучасних УЗКР полягає у вимірюванні часу проходження УЗС подвійної відстані в газовому середовищі (ГС) до ПРС при заданій амплітуді електричного збуджуючого імпульсу (ЕЗІ). Для підвищення точності та вірогідності вимірювального контролю рівнеміри мають реперний пристрій у вигляді пластини чи шайби, яка розташовується на такій відстані від випромінювача УЗС, щоби відбитий від поверхні репера робочий сигнал не перекривався випроміненими УЗС. За рахунок цього такі рівнеміри мають достатню велику зону нечутливості [4]. Окрім того на точність вимірювання та вірогідність контролю рівня чинить вплив наявність вторинних ультразвукових ефектів і зміна фізичних параметрів газового середовища. Без урахування вищезазначених особливостей ультразвукового методу контролю неможливе подальше вдосконалення УЗКР та покращення їх метрологічних характеристик.

Мета дослідження, постановка задачі. полягає в дослідженні похибок ультразвукових засобів контролю рівня рідинних середовищ у резервуарах, які використовуються для управління великою кількістю рідких продуктів і мають розширений діапазон вимірювального контролю рівня. Якщо рівень контролюється ультразвуковим методом, заснованим на визначенні часу проходження УЗС відстані між УЗВ і ПРС у ГС, то рівень L рідини в резервуарі визначається за наступною формулою: $L = H - h_{\Gamma}$, де H - висота резервуару; h_{Γ} - відстань від ПРС до ультразвукового приймача (УЗП). Відстань h_{Γ} можна визначити за формулою: $h_{\Gamma} = ct$, де c - швидкість розповсюдження УЗС в ГС (м/с); t - час проходження УЗС цієї відстані (с) [5]. Швидкість розповсюдження УЗС у ГС визначається за наступною формулою: $c = \sqrt{kP/\rho}$, де k - адиабатичний коефіцієнт для газів; P - тиск ГС; ρ - густина ГС. Якщо припустити, що густина ГС підпорядковується рівнянню Менделєєва-Клапейрона, тобто $\rho = M_{\Gamma}P/RT$, де M_{Γ} - молекулярна маса ГС; R - універсальна газова стала; T - температура, то з врахуванням вищенаведених формул рівень рідини в резервуарі визначатиметься за формулою $L = H - ct = H - t\sqrt{kRT/M_{\Gamma}}$, з якої випливає, що рівень L рідини пропорційний часу t , що покладено в основу роботи практично всіх ультразвукових рівнемірів. При цьому в наукових працях не вказується принцип визначення часу проходження УЗС. Якщо поглинання ультразвукової енергії здійснюється за законом Бугера-Ламберта-Бера, то можна прийняти, що й амплітуда e_{Γ} УЗС, яка створюється УЗП, зменшуватиметься аналогічно, тобто $e_{\Gamma} = f(E_0, h_{\Gamma}, t_{\text{Б}})$, де E_0 - амплітуда випромінюючого в ГС УЗС, який створюється УЗВ; h_{Γ} - відстань від УЗВ до УЗП; $t_{\text{Б}}$ - вимірний час проходження робочим УЗС відстані $h_{\text{Б}}$. У разі використання

реперного пристрою, УЗП створює так званий опорний сигнал, амплітуду якого можна описати наступною функцією: $e_{0П} = f_0(E_0, h_p, t_{PB})$, де h_p - відстань від УЗВ до реперного пристрою; t_{PB} - вимірний час проходження реперним УЗС відстані h_p . Зі сказаного випливає, що вимірний час t_B не є пропорційним вимірюваному рівню L , а час $t_{PB} = \text{var}$ при $h_p = \text{const}$, що викликає відповідні похибки вимірювального контролю.

Матеріали досліджень. Лічильник тактових імпульсів, який призначений для вимірювання часу в УЗКР, включається в роботу при подачі на ПКЕ ЕЗІ і відраховує час до появи на виході УЗП електрорушійної сили (ЕРС), яка створюється тим же ПКЕ, амплітудою $e_{П} > u_0$, де u_0 - опорна напруга, яка може бути сталою, або змінюватися в залежності від величини вимірюваного рівня (рис. 1), на якому показано: УЗС $y_M = f(t)$, котрий формується ПКЕ (рис. 1,а); $y_B = f(t)$, котрий випромінюється в ГС (рис. 1,б), і напруга $e_C = f(t)$, котра створюється ПКЕ при сприйнятті УЗС, відбитого від ПРС (рис. 1,с).

З рис. 1 видно, що при проходженні УЗС від ПКЕ до їх приймача форма сигналу суттєво змінюється, особливо його передній фронт. Так як для забезпечення достовірності роботи УЗКР амплітуда сприймаючого сигналу e_a повинна бути дещо більшою від опорної напруги e_o , то за рахунок деформації переднього фронту сприймаючого сигналу e_c , яка збільшується зі зменшенням рівня рідини, викликаючи похибку вимірювального контролю.

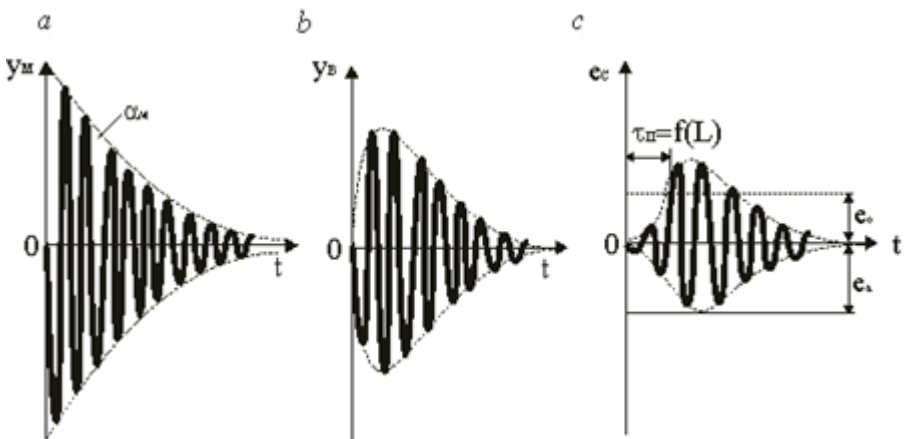


Рис. 1 – Форми ультразвукового сигналу: а – п'єзокерамічного елемента; б – випромінювача; с – приймача

Як показали результати експериментальних досліджень, залежність збільшення часу вимірювального контролю від зменшення рівня рідини (збільшення товщини газового середовища) є нелінійною й має форму близьку до квадратичної (на рис. 2,а показані залежності $\tau_{\Pi} = f(L)$ для води – крива 1, соняшникової олії – крива 2 і керосину – крива 3). Дослідження показали, що на деформацію сприймаючого сигналу впливає також і склад газового середовища. На рис. 2,б показані залежності похибки вимірювального контролю при зміні товщини газового середовища (крива 1 – повітря; крива 2 – вуглекислий газ).

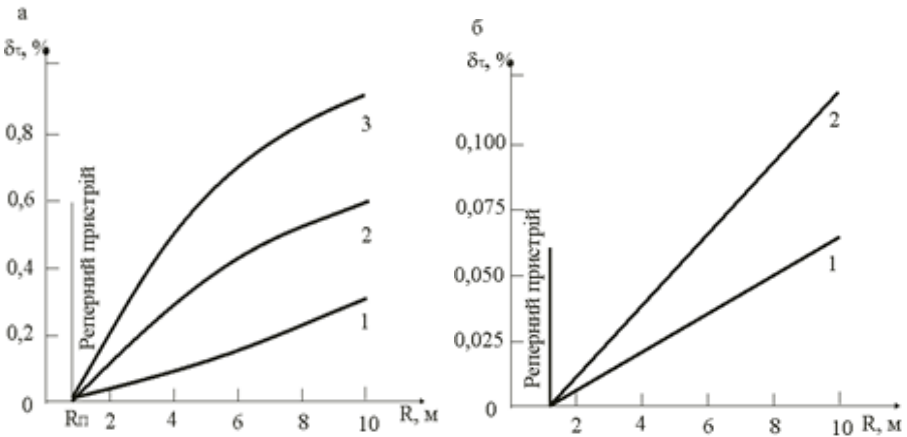


Рис. 2 – Залежності похибки вимірювального контролю, обумовленої зміною часу τ_{Π} від відстані R при зміні: а – рідини; б – газу

Висновки. Вперше встановлено, що ультразвукові засоби контролю рівня рідинних середовищ, які працюють за принципом вимірювання часу проходження ультразвуковим сигналом подвійної відстані (від УЗВ до ПРС і від ПРС до УЗП) мають методичну похибку вимірювального контролю, яка залежить від рівня рідинного середовища, його фізико-хімічних параметрів, а також від складу газового середовища, в якому розповсюджується УЗС.. Похибка, яка обумовлена складом ГС є незначною і може входити як складова до загальної методичної похибки вимірювання, в той час, як методична похибка, котра обумовлена реологічними перетвореннями УЗС та фізико-хімічними параметрами рідини може бути значною, яку потрібно враховувати при достатньо великих змінах рівня, наприклад, у високих резервуарах. Звідси впливає, що для підвищення точності вимірювального контролю рівня рідинних середовищ, розробка методів, алгоритмів і нових принципів визначення рівня рідинних середовищ ультразвуковим методом є актуальною задачею.

Список літератури: 1. *Баби́ков О.И.* Контроль уровня с помощью ультразвука / Баби́ков О.И. – Л.: Энергия, 1971. – 98 с. 2. *Стенцель И.И., Томсон А.В.* Математические модели ультразвуковых пьезоэлектрических преобразователей уровня веществ // Вопросы химии и химической технологии. – Днепропетровск: УГХТУ, 2007. – Выпуск №4. – С. 182 – 185. 3. *Стенцель Й.І., Томсон А.В., Рябіченко А.В.* Математичні моделі ультразвукових рівнемірів рідин // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2006. - №2. – С. 55 – 58. 4. *Стенцель Й.І., Томсон А.В., Рябіченко А.В.* Аналіз похибок вимірювання ультразвукових рівнемірів // Вісник національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Прилади та методи неруйнівного контролю. – Харків: НТУ «ХПІ» - № 48. – 2008. – с. 55-60. 5. *Рябіченко А.В., Євсюков В.В., Стенцель Й.І.* Компенсаційний ультразвуковий рівнемір // Вісник національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Прилади та методи неруйнівного контролю. – Харків: НТУ «ХПІ» - № 48. – 2008. – с. 66-71.

Надійшла до редколегії 19.04.2013

УДК 681.586.773

Дослідження похибок вимірювального контролю рівня рідинних середовищ / Й. І. Стенцель, К. А. Літвінов // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Електроенергетика та перетворювальна техніка. – Х. : НТУ «ХПІ», 2013. – № 34 (1007). – С. 32 – 36. Бібліогр.: 5 назв.

В работе приведены результаты исследований методических погрешностей измерения ультразвуковых устройств контроля уровня жидкостных сред. Показано, что погрешности обусловлены реологическими переходами ультразвукового сигнала и зависят от толщины газовой среды и физических параметров жидкости и газа.

Ключевые слова: ультразвук, контроль, уровень, методическая погрешность, измерение, время, излучатель, пьезокерамический элемент, жидкость.

The results of study of methodological errors in the measurement of ultrasonic monitoring devices of level of liquids are given. It is shown, that the errors are caused by rheological transitions of ultrasonic signal depend on the thickness of the gaseous medium and physical parameters of the liquid and gas.

Keywords: the ultrasound, the control, the level, the methodical error, the measurement, time, the radiation source, the piezoelectric element, the liquid.