

УДК 681.128.82

УЛЬТРАЗВУКОВЫЕ УРОВНЕМЕРЫ С КОРРЕКЦИЕЙ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОГРЕШНОСТЕЙ С НИЖНИМ РАСПОЛОЖЕНИЕМ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ

А.М. Саволук, канд. техн. наук, **А.И. Новик**, докт. техн. наук

Институт электродинамики НАН Украины,

пр. Победы, 56, Киев-57, 03680 Украина

e-mail: melnik@ied.org.ua

Рассмотрены вопросы коррекции температурной погрешности в ультразвуковых уровнемерах с использованием специальных конструкций датчиков, расположенных в нижней части резервуаров, а также показана возможность коррекции погрешностей от температурного изменения параметров сред по высоте резервуара. Библ. 10, рис. 3, таблица.

Ключевые слова: ультразвук, уровень, температура, погрешность.

При измерениях количества вещества в резервуарах ультразвуковым методом существенное влияние на результат измерений оказывают изменения физических параметров контролируемых сред, обусловленные, например, изменением температуры (как текущей, так и по высоте), давления внутри сосуда и др. Очевидно, что при большой высоте резервуара это может приводить к накоплению значительных погрешностей измерения уровня. Известные методы коррекции погрешностей, основанные на использовании дополнительных температурных датчиков, позволяют существенно уменьшить влияние указанных факторов [7, 9]. В настоящей статье рассмотрены другие возможные конструкции ультразвуковых датчиков для уровнемера высокой точности с коррекцией погрешности от вертикального градиента без использования температурных датчиков. Статья является продолжением ранее опубликованной работы [10].

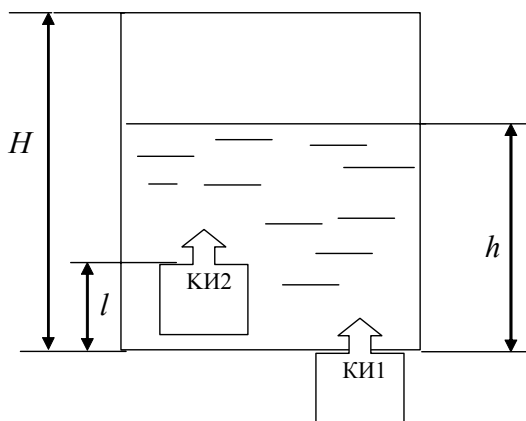


Рис. 1

На рис. 1 представлен новый вариант системы из двух датчиков. Конструкция их имеет два излучателя, расположенные не в верхней [10], а в нижней части резервуара, которые находятся на некотором фиксированном расстоянии друг от друга.

Зависимость скорости звука в жидкости V от температуры T определяется выражением [9]

$$V = V_0 (1 + \alpha_{\text{ж}} \Delta T), \quad (1)$$

где ΔT – отличие температуры воздуха от 0°C ; V_0 – скорость звука в нижней жидкой среде при нулевой температуре; $\alpha_{\text{ж}}$ – температурный коэффициент скорости звука в жидкости.

С учетом соотношения (1) для обоих датчи-

ков можно записать

$$2h = V t_1 = V_0 (1 + \alpha_{\text{ж}} \Delta T) t_1; \quad 2(h-l) = V t_2 = V_0 (1 + \alpha_{\text{ж}} \Delta T) t_2, \quad (2)$$

где t_1 и t_2 – времена следования импульса от излучателей КИ1, КИ2 и обратно; l – расстояние между излучателями; h – текущий уровень.

Из приведенных соотношений получим

$$h = \frac{lt_1}{t_1 - t_2}. \quad (3)$$

Вычисленный по формуле (3) уровень h не зависит от температуры T , поэтому в данном случае отпадает необходимость в использовании датчика температуры, а вычисления легко осуществляются с помощью микроконтроллера.

Далее, рассмотрим случай, когда в среде есть градиент скорости звука по вертикали. Если в нижней части резервуара скорость звука составляет V' , то на высоте z от дна бака она равна

$$V = V' + Gz,$$

где $G = \frac{\partial V}{\partial z}$ – градиент скорости по вертикали, вызванный изменением температуры по высоте. Для получения времени распространения ультразвукового излучения от нижней части бака до поверхности жидкости необходимо просуммировать элементарные времена прохождения каждого участка с учетом изменения скорости звука на каждом конкретном участке:

$$t = \sum \Delta t = \int dt = \int_0^h \frac{dz}{V' + Gz} = \frac{1}{G} \ln\left(1 + G \frac{h}{V'}\right). \quad (4)$$

Проведем оценку компенсации градиента, разложив в ряд и ограничившись двумя членами разложения. Для первого датчика

$$t_1 = \frac{1}{G} \left(G \frac{h}{V'} - G^2 \frac{h^2}{2V'^2} + \dots \right) \approx \frac{h}{V'} \left(1 - G \frac{h}{2V'} \right). \quad (5)$$

Соответствующее выражение получим и для второго датчика:

$$t_2 = \int_l^h \frac{dz}{V' + Gz} = \frac{1}{G} \ln\left(1 + G \frac{z}{V'}\right) \Big|_l^h \approx \frac{h}{V'} \left(1 - G \frac{h}{2V'} \right) - \frac{1}{G} \ln\left(1 + G \frac{l}{V'}\right) \approx \frac{(h-l)}{V'} \left(1 - G \frac{(h+l)}{2V'} \right). \quad (6)$$

Выразив $\frac{G}{2V'}$ из (5) и подставив его в последнее выражение, учитывая двойное расстояние (отраженный от поверхности звук будет обратно возвращаться к излучателям), будем иметь

$$t_2 = \frac{2(h-l)}{V'} \left(1 - \frac{(h+l)}{h} \left(1 - \frac{V' t_1}{2h} \right) \right). \quad (7)$$

После несложных преобразований равенство (7) может быть приведено к виду

$$\frac{V' t_2}{2} = (h-l) - \frac{h^2 - l^2}{h} \left(1 - \frac{V' t_1}{2h} \right).$$

Из выражения

$$h \left(\frac{V' t_2}{2} + l \right) - l^2 = \frac{V' t_1}{2h} (h^2 - l^2)$$

получим уравнение

$$h^2 [V' (t_2 - t_1) + 2l] - 2hl^2 + l^2 V' t_1 = 0. \quad (8)$$

Подставив значения коэффициентов $a = V' (t_2 - t_1) + 2l$; $b = -2l^2$; $c = l^2 V' t_1$ в формулу решения квадратного уравнения $h = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$, в упрощенном виде получим

$$h = \frac{l^2 \pm l \sqrt{l^2 - a V' t_1}}{a}. \quad (9)$$

Из соотношения (9) видно, что вычисляемый уровень не зависит от температур T верхней и нижней сред, а также в него не входят вертикальные температурные градиенты G скоростей звука в этих средах.

Далее, необходимо оценить эффективность компенсации погрешности от влияния вертикального градиента температуры по высоте резервуара (как уже указывалось, такая погрешность может возникать при высоте порядка десяти метров). Для решения вопроса об эффективности коррекции погрешности от градиента сравним погрешности для двух случаев: использования всего одного датчика (излучателя) и применения системы из двух датчиков. Из соотношения (5) для первого случая получим

$$h_{\text{изм1}} = h \left(1 - G \frac{h}{2V_{\text{ж}}} \right),$$

где $h_{\text{изм1}}$ – измеренное значение уровня; $V_{\text{ж}}$ – некоторое среднее значение скорости.

Подставив выражения (5) и (6) в соотношение (3), получим аналогичное соотношение для второго случая:

$$h_{\text{изм2}} = \frac{lt_1}{t_1 - t_2} = h \left(1 - \frac{G}{2V_{\text{ж}}} \frac{(h-l)}{\left(1 - \frac{Gl}{2V_{\text{ж}}} \right)} \right).$$

Эффективность компенсации погрешности от влияния вертикального градиента скорости имеет вид

$$\mathcal{E} = (h_{\text{изм1}} - h) / (h_{\text{изм2}} - h) = \frac{h(2V_{\text{ж}} - Gl)}{2(h-l)V_{\text{ж}}} \approx \frac{h}{h-l}.$$

Расчеты эффективности компенсации, произведенные согласно полученному последнему соотношению при $V_{\text{ж}} = 1497$ м/с (25 °С, вода); $l = 0,1 \dots 0,4$ м.; $h = 0 \dots 6$ м.; $G = 0,01$ с⁻¹, приведены в таблице. Из расчетов видно, что эффективность компенсации погрешности \mathcal{E} от влияния градиента скорости возрастает к началу диапазона измерений уровня, а к концу диапазона остается незначительной; она также увеличивается с увеличением расстояния l между датчиками.

	$h=0,11$ м	$h=0,12$ м	$h=0,15$ м	$h=0,2$ м	$h=0,3$ м	$h=0,5$ м	$h=0,9$ м	$h=2,0$ м	$h=4,0$ м	$h=6,0$ м
$l=0,1$ м	11	6	3	2	1,5	1,25	1,13	1,053	1,03	1,02
$l=0,2$ м					3	1,66	1,3	1,1	1,052	1,035
$l=0,4$ м						5	1,8	1,25	1,11	1,071

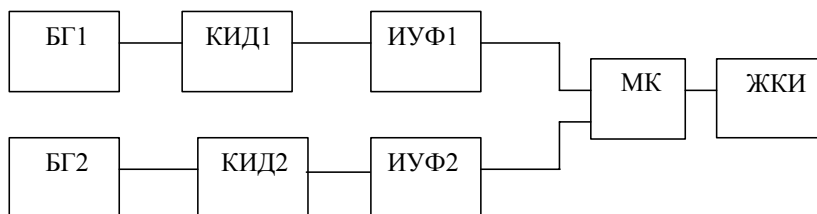


Рис. 2

Особенностью данной конструкции датчиков является также использование различных частот генераторов для возбуждения излучателей. Это показано на структурной схеме рис. 2. Используются два блока генераторов БГ1 и БГ2, связанных с кварцевыми излучателями и датчиками КИД1, КИД2.

Поскольку питающие частоты датчиков различны, то используются два избирательных усилителя с формирователями ИУФ1 и ИУФ2. Серийно выпускаются кварцевые излучатели на 33 и 40 кГц. Разделение частот принципиально необходимо, поскольку внутри в замкнутом пространстве в резервуаре с жидкостью возможны различные отражения. Сигналы с выхода формирователей подаются на микроконтроллер, где производятся вычисления уровня и вывод сигнала на жидкокристаллический индикатор ЗКИ.

В дополнение необходимо отметить, что рассмотренные в этой статье и в [10] методы построения ультразвуковых измерителей уровня (УЗУ) позволяют создавать приборы для измерения уровней двухслойных сред (рис. 3).

Соотношения для вычисления уровней для такого случая имеют вид

$$h_1 = 0,5V' / (1 + \alpha_{\text{ж}} \Delta T) t_1; \quad h_2 = 0,5V' / (1 + \alpha_{\text{г}} \Delta T) t_2,$$

где $\alpha_{\text{г}}$ – температурный коэффициент скорости звука в газовой среде.

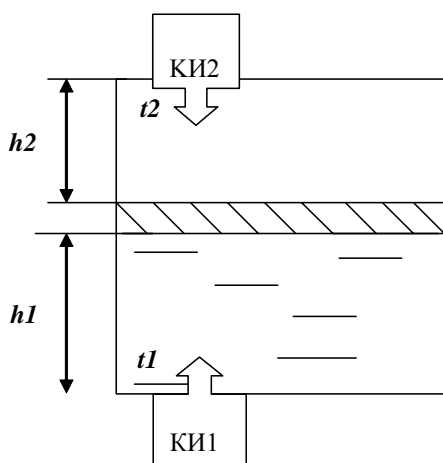


Рис. 3

Выводы. 1. Использование в УЗУ двух пьезоэлектрических преобразователей (датчиков) позволяет корректировать температурные погрешности измерения уровня без применения датчиков температуры и без введения температурных поправок. Результат измерения уровня принципиально не будет зависеть от параметров верхней среды, так как она не «участвует» в процессе измерения.

2. Расчеты показали, что использование разработанной конструкции датчиков в составе ультразвукового измерителя уровня позволяет также уменьшить погрешность от влияния вертикального градиента скорости звука (при его наличии, когда высота резервуара более десяти метров). Особенно перспективными представляются УЗУ с расположением двух датчиков по одну сторону

от поверхности уровня (либо оба сверху, либо оба снизу) со смещением по вертикали на фиксированную высоту.

1. Бражников Н.И. Ультразвуковые методы. – М. – Л.: Энергия, 1965. – 248 с.
2. Бриндли К. Измерительные преобразователи: Справочное пособие / Пер. с англ. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 144 с.
3. Бабиков О.И. Контроль уровня с помощью ультразвука. – Л.: Энергия, 1971. – 79 с.
4. Бобровников Г.Н., Катков А.Г. Методы измерения уровня. – М.: Машиностроение, 1977. – 168 с.
5. Ершов М.Н. Методы измерения уровня жидких продуктов: теория и практика // Изв. Тульского гос. ун-та. Технические науки. Вып. №4-1/2010. – С. 9–14.
6. Кошкин Н.И., Ширкевич М.Г. Справочник по элементарной физике: Под ред. Д.И. Сахарова. – М.: Гос. изд-во физ.-мат. лит-ры, 1960. – С. 82–84.
7. Карандеев К.Б., Гриневич Ф.Б., Новик А.И. Емкостные самокомпенсированные уровнемеры. – М. – Л.: Энергия, 1966. – 135 с.
8. Гриневич Ф.Б., Монастырский З.Я., Саволук А.М. Коррекция погрешности от вертикального градиента диэлектрической проницаемости среды в емкостных самокомпенсированных уровнемерах // Техн. электродинамика. – 1990. – № 5. – С. 93–99.
9. Вильнина А.В., Вильнин А.Д., Ефремов Е.В. Современные методы и средства измерения уровня в химической промышленности. – Томск: Изд-во Томского политехн. ун-та. – 2011. – 84 с.
10. Саволук А.М., Новик А.И. Ультразвуковые уровнемеры с коррекцией температурных погрешностей // Пр. ІЕД НАН України: Зб. наук. пр. – К.: ІЕД НАНУ, 2017. – Вип. 46. – С. 134–140.

УДК 681.128.82

О.М. Саволук, канд. техн. наук, **А.І. Новік**, докт. техн. наук

Інститут електродинаміки НАН України,

пр. Перемоги, 56, Київ-57, 03057, Україна

Ультразвукові рівнеміри з корекцією температурних похибок з нижнім розміщенням випромінювачів

Розглянуто питання корекції температурної похибки в ультразвукових рівнемірах з використанням спеціальних конструкцій датчиків, розміщених у нижній частині резервуарів, а також показано можливість корекції похибок від температурної зміни параметрів середовища за висотою резервуара. Бібл. 10, рис. 3, таблиця.

Ключові слова: ультразвук, рівень, температура, похибка.

O.M. Savolyuk, A.I. Novik

Institute of Electrodynamics of the National Academy of Sciences of Ukraine,

Peremohy, 56, Kyiv-57, 03057, Ukraine

Ultrasonic level gauges with temperature error correction and with lower emitters

This article deals with the temperature error correction in ultrasonic level gauges using special sensor designs located in the lower part of the tanks. It is shown that there is a possibility of temperature error correction depending on temperature variation of the environment throughout the tank height. References 10, figures 3, table.

Key words: transient, discharge current, capacitor capacitance, rate of current rise.

Надійшла 15.07.2016

Received 15.07.2016