

◆ ВИМІРЮВАЛЬНА ТЕХНІКА ◆

УДК 681.128.82

УЛЬТРАЗВУКОВЫЕ УРОВНЕМЕРЫ С КОРРЕКЦИЕЙ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОГРЕШНОСТЕЙ

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

Институт электродинамики НАН Украины,

пр. Победы, 56, Киев-57, 03057 Украина

e-mail: melnik@ied.org.ua

Рассмотрены вопросы коррекции температурной погрешности в ультразвуковых уровнемерах с использованием специальных конструкций датчиков, а также показана возможность коррекции погрешностей от температурного изменения параметров сред по высоте резервуара. Библи. 15, рис. 2, таблица.

Ключевые слова: ультразвук, уровень, температура, погрешность.

Широко распространенные в настоящее время ультразвуковые измерители уровня [1–3, 4, 5, 7, 8, 13–15] имеют недостаточно высокую точность измерений, обусловленную влиянием изменения температуры на физические параметры (скорость распространения звука) контролируемой среды в резервуаре, а также газа над ее поверхностью. В ряде случаев (например, нефтеперерабатывающее производство) необходимо контролировать уровень сред при значительной емкости резервуара, что часто сопровождается не только изменениями температуры контролируемых веществ, но и непостоянством их свойств по высоте (особенно, когда высота резервуара достигает десятков метров). При этом использование обычных ультразвуковых уровнемеров (УЗУ) может приводить к большим погрешностям измерения. Поэтому необходимо повышать точность измерений путем коррекции погрешностей, вызванных изменениями температуры и ее вертикальным градиентом внутри резервуара. Известны конструкции датчиков емкостных самокомпенсированных уровнемеров [6] с коррекцией погрешности от вертикального градиента параметров. Однако они имеют относительно высокую стоимость за счет применения металлических емкостных датчиков большой длины, изготовленных из коррозионностойких материалов.

Целью статьи является исследование возможных путей повышения точности измерений путем разработки и исследования новых конструкций датчиков и схем (УЗУ), которые без использования датчиков температуры позволят уменьшить температурные погрешности измерения уровня, в том числе погрешность от вертикального градиента параметров сред.

Рассмотрено несколько вариантов построения ультразвуковых уровнемеров повышенной точности без использования датчиков температуры.

Зависимость скорости звука в воздухе v от температуры T определяется приближенным выражением [11]:

$$v = 331,5 \cdot (1 + 0,00178 \cdot \Delta T) \text{ (м/с)}, \quad (1)$$

где ΔT – отличие температуры воздуха от 0 °С.

При нулевой температуре скорость звука составляет 331,5 м/с, а при десяти градусах достигает уже 337,3 м/с, что в простейшем УЗУ вызывает появление погрешности измерения около 1,8 % на изменение температуры в 10 °С. Если это перевести в цены, например, на бензин, то такая погрешность приведет к потере потребителем или поставщиком более 500 грн на каждую тонну бензина. При введении температурной поправки в измерительный прибор эту погрешность можно существенно уменьшить.

В ультразвуковых уровнемерах положение уровня определяется по времени t прохождения импульса звуковой волны от источника до приемника после отражения его от поверх-

ности раздела. В качестве источника (излучателя) обычно используются кварцевые пьезоэлектрические преобразователи, обладающие свойством обратимости, т.е. они могут как излучать акустические колебания, так и принимать их. Локация уровня может производиться либо сверху через газовую среду над жидкостью (датчик на вершине бака), либо снизу через слой жидкости (датчик расположен на дне) [1, 3, 5, 13].

На рис. 1 представлена обобщенная блок-схема ультразвукового уровнемера. Генератор Г1 формирует импульсы для возбуждения кварцевого излучателя КИ 1, который установлен на вершине бака высотой H и направляет излучение вертикально вниз (генератор Г2 и излучатель КИ 2 в исходном варианте отсутствуют). Отраженный от поверхности жидкости импульс приходит на тот же излучатель КИ 1, возбуждая электрический сигнал, который через формирователь импульсов ФИ 1 поступает на микропроцессор МК. С помощью МК производится фиксация времени t , а с помощью датчика температуры ДТ – и температуры T , затем из таблиц, находящихся в памяти микроконтроллера, вводится температурная поправка в значение скорости звука, вычисление и выдача результата на индикатор ЖКИ: $H-h=v \cdot t/2$, где v – скорость звука в воздухе, вычисленная согласно (1) [4, 12]. Недостатком такого построения УЗУ является необходимость наличия таблиц температурной поправки скорости звука, что ограничивает область применения уровнемера, поскольку такие таблицы существуют далеко не для всех жидкостей и сред и не для всех температур. Кроме того, такой уровнемер позволяет компенсировать температурную погрешность только в зоне расположения температурного датчика.

Для полного устранения или существенного уменьшения температурных погрешностей УЗУ авторами предлагается иной метод: использование вместо датчика температуры второго пьезоэлектрического преобразователя, аналогичного основному, но расположенного в резервуаре особым образом. Далее в статье описываются варианты реализации таких уровнемеров и анализ их работы.

Дополним исходную схему уровнемера вторым кварцевым излучателем КИ 2 со своим генератором Г2 и формирователем импульсов ФИ2 (рис. 1). КИ 2 расположен в нижней части резервуара, при этом ультразвуковое излучение будет идти снизу через слой жидкости до ее поверхности, а затем возвращаться к датчику (рис. 1). Два кварцевых преобразователя КИ 1 и КИ 2, работающие внутри одного резервуара, должны быть выбраны с различной резонансной частотой для устранения взаимных помех, например 33 и 40 кГц (выпускаются серийно). На соответствующие частоты настраиваются при этом генераторы Г1 и Г2, а также избирательные усилители-формирователи импульсов ФИ1 и ФИ2. Для нижнего излучателя КИ 2 можно записать таким образом:

$$2h = V_{ж} t_2 = V_{ж0} (1 + \alpha_{ж} \Delta T) t_2, \quad (2)$$

где $\alpha_{ж}$ – температурный коэффициент скорости звука в жидкости; t_2 – время прохождения импульса от второго (нижнего) излучателя; $V_{ж}$ – скорость звука в нижней жидкой среде; $V_{ж0}$ – скорость звука в нижней жидкой среде при нулевой температуре.

Аналогичное выражение получим и для верхнего излучателя КИ 1:

$$2(H - h) = V_{г} t_1 = V_{г0} (1 + \alpha_{г} \Delta T) t_1, \quad (3)$$

где $\alpha_{г}$ – температурный коэффициент скорости звука в газовой среде; t_1 – время следования

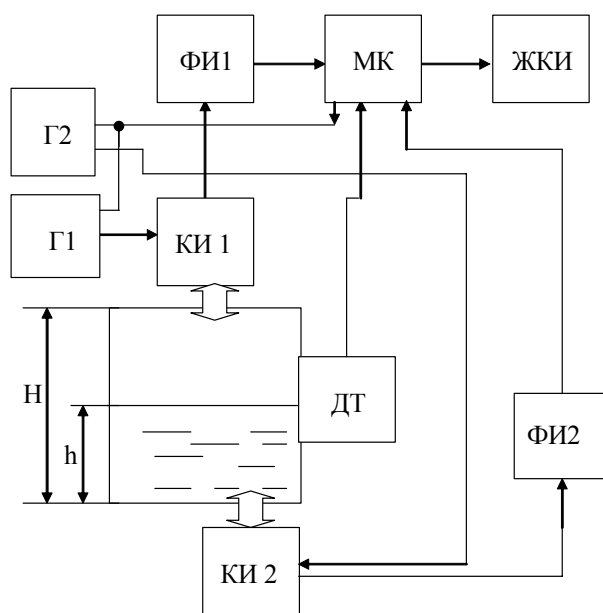


Рис. 1

импульса от первого (верхнего) излучателя; V_r – скорость звука в верхней газовой среде; V_{r0} – скорость звука в верхней газовой среде при нулевой температуре.

В результате получили систему из двух уравнений (2) и (3), совместное решение которой имеет вид

$$h = \frac{V_{ж0}t_2[2H\alpha_{ж} + V_{r0}t_1(\alpha_r - \alpha_{ж})]}{2(V_{r0}\alpha_r t_1 + V_{ж0}\alpha_{ж}t_2)}. \quad (4)$$

Видно, что вычисленный по формуле (4) уровень h не зависит от температуры T , поэтому в данном случае отпадает необходимость в использовании датчика температуры, а вычисления могут осуществляться с помощью микроконтроллера. При этом для проведения вычислений необходимо с соответствующей точностью вводить в вычислитель значения скоростей звука $V_{ж0}$ и V_{r0} при нулевой температуре и температурных коэффициентов скорости звука в контролируемой жидкости и в газовой среде над ее поверхностью.

При использовании двухдатчиковой системы измерения уровня, подобной описанной выше, существует возможность компенсации влияния на результат измерения не только изменяющейся температуры контролируемых веществ, но и неоднородностей этой температуры в объеме вещества, в частности, вертикального градиента температуры внутри резервуара. Рассмотрим этот вопрос. Если в нижней части резервуара скорость звука составляет V_0 ,

то на высоте z от дна бака она равна $V = V_0 + Gz$, где $G = \frac{\partial V}{\partial z}$ – градиент скорости по высоте резервуара, вызванный неоднородностью температуры.

Время распространения ультразвукового импульса от нижней части бака до поверхности жидкости будем рассматривать как сумму элементарных времен прохождения каждого участка с учетом изменения скорости звука на каждом конкретном участке по мере распространения ультразвуковой волны. При допущении, что температура окружающей среды не изменяется и что существует только градиент температур, запишем

$$t_2 = \sum \Delta t = \int dt = \int_0^h \frac{dz}{V_0 + Gz} = \frac{1}{G} [\ln(V_0 + Gh) - \ln V_0] = \frac{1}{G} \ln\left(1 + G \frac{h}{V_0}\right). \quad (5)$$

Разложив в ряд и ограничившись первыми двумя членами разложения (расчеты для конкретных примеров использования показывают, что погрешность не выше 5%), учитывая, что рабочая среда жидкая ($V_0 = V_{ж}$), получим

$$t_2 = \frac{1}{G} \left(G \frac{h}{V_{ж}} - G^2 \frac{h^2}{2V_{ж}^2} + \dots \right) \approx \frac{h}{V_{ж}} \left(1 - G \frac{h}{2V_{ж}} \right). \quad (6)$$

Предположим для простоты дальнейших преобразований, что температурные градиенты скорости обеих (жидкой и газовой) сред одинаковы и равны G (т.е. изменение температуры на единицу высоты одинаково по всему резервуару). Опустив аналогичные преобразования для верхней газовой среды, приведем полученное соотношение и для этого случая:

$$t_1 = \int_h^H \frac{dz}{V_0 + Gz} = \frac{1}{G} \ln\left(1 + G \frac{z}{V_0}\right) \Big|_h^H \approx \frac{H}{V_r} \left(1 - G \frac{H}{2V_r} \right) - \frac{1}{G} \ln\left(1 + G \frac{h}{V_r}\right) \approx \frac{(H-h)}{V_r} \left(1 - G \frac{(H+h)}{2V_r} \right). \quad (7)$$

Выразив $\frac{G}{2}$ из (6) и подставив его в (7), учитывая, что отраженный от поверхности звук проходит двойное расстояние, будем иметь

$$t_1 = \frac{2(H-h)}{V_r} \left(1 - \frac{(H+h)}{h} \left(1 - \frac{V_{ж}t_2}{2h} \right) \right). \quad (8)$$

После преобразований последнее выражение приводится к кубическому уравнению

$$A_0 h^3 + A_1 h^2 + A_2 h + A_3 = 0, \quad (9)$$

где $A_0 = 4$; $V_0 = V_{ж}$; $A_2 = 2H(H + V_{ж}t_2)$, а $A_3 = -H^2V_{ж}t_2$.

Решить данное уравнение можно, например, методом Кардано [7]. Для этого находим значения

$$B_1 = \frac{A_1}{A_0}; B_2 = \frac{A_2}{A_0}; B_3 = \frac{A_3}{A_0}. \quad (10)$$

Далее, вводим переменные p и q : $p = \frac{B_1}{3} + B_2$; $q = \frac{2B_1^3}{27} - \frac{B_1B_2}{3} + B_3$ и подставляем их выражения в формулу Кардано:

$$y = \sqrt[3]{\left(-\frac{q}{2}\right) + \sqrt{\frac{q^2}{4} + \frac{p^3}{27}}} + \sqrt[3]{\left(-\frac{q}{2}\right) - \sqrt{\frac{q^2}{4} + \frac{p^3}{27}}}. \quad (11)$$

Значения кубических корней должны быть действительными, не должны выходить за пределы диапазона измерения уровня, а их произведение должно быть равно $\left(-\frac{p}{3}\right)$. В итоге находим решение исходного уравнения по формуле $h = y - \frac{B_1}{3}$.

Видно, что в соотношении (8) не входит градиент скорости G . Можно предположить, что для рассмотренного устройства и конструкции датчиков возможна не только коррекция температурной погрешности, но также и компенсация неоднородностей температурных свойств контролируемой среды по высоте резервуара. При этом в выражение (8) входят значения скоростей звука верхней V_{Γ} и нижней сред $V_{\text{ж}}$, что является недостатком, связанным с необходимостью использования табличных данных (можно использовать V_{Γ} и $V_{\text{ж}}$ при некоторой средней температуре в центре резервуара). Поэтому для оценки эффективности коррекции погрешности от градиента сравним погрешности для двух случаев: использования всего одного датчика (излучателя) и применения системы из двух датчиков. Из соотношения (6) для первого случая получим $V_{\text{ж}}t_2 \approx h(1 - G \frac{h}{2V_{\text{ж}}}) = h_{\text{ИЗМ1}}$, где $h_{\text{ИЗМ1}}$ – измеренное значение уровня.

Измеренное значение уровня $h_{\text{ИЗМ2}}$ для второго случая можно получить, если подставить в выражение (4) значения t_2 и t_1 из соотношений (6) и (7). Однако приводить это громоздкое выражение не будем, так как последующие расчеты показали, что в этом случае компенсация погрешности от градиента не происходит. Таким образом, для данной конструкции датчиков возможна только температурная коррекция без использования датчика температуры.

Для устранения недостатков, свойственных описанной конструкции, была предложена другая конструкция УЗУ датчика (рис. 2). Здесь используются два кварцевых излучателя КИ 1 и КИ 2, разнесенные по высоте друг от друга на некоторое расстояние l и расположенные в газовой среде в верхней части резервуара.

Для данного случая по аналогии с полученными соотношениями (2) и (3) можно записать

$$2h' = V_{\Gamma}t_1 = V_{\Gamma 0}(1 + \alpha_{\Gamma}\Delta T)t_1; \quad (12)$$

$$2(h' - l) = V_{\Gamma}t_2 = V_{\Gamma 0}(1 + \alpha_{\Gamma}\Delta T)t_2, \quad (13)$$

где t_1 и t_2 – времена прохождения импульсов от излучателей КИ 1 и КИ 2 соответственно до поверхности жидкости и обратно.

Совместное решение обоих уравнений имеет вид

$$h' = \frac{lt_1}{t_1 - t_2}. \quad (14)$$

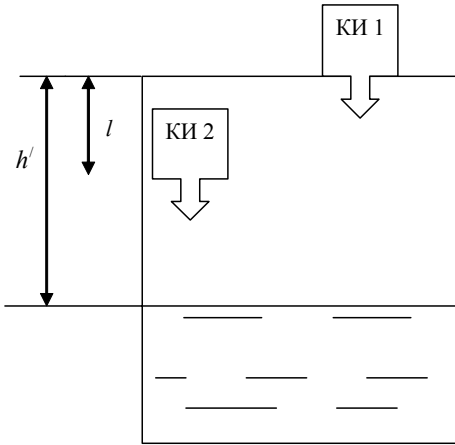


Рис. 2

Сравнивая соотношение (4) для первой конструкции датчиков с последним выражением, видим, что вычисляемый уровень не зависит от скоростей звука верхней V_r и нижней сред $V_{ж}$ при нулевой температуре, а также и от их температур.

Рассмотрим, как влияет погрешность измерения параметров t_1 и t_2 на точность определения уровня. Обозначим отношение $\frac{l}{H}$ как некоторый коэффициент укорочения $K_{ук}$: $\frac{l}{H} = K_{ук}$, где H – высота резервуара.

Тогда, перейдя к относительному уровню

$h_{омн} = \frac{h'}{H}$, из соотношения (14) получим

$$h_{омн} = \frac{lt_1}{H(t_1 - t_2)} = \frac{K_{ук}t_1}{t_1 - t_2}.$$

Найдем частные производные по параметрам t_1 и t_2 :

$$\frac{\partial h_{омн}}{\partial t_1} = -\frac{K_{ук}t_2}{(t_1 - t_2)^2}; \quad \frac{\partial h_{омн}}{\partial t_2} = \frac{K_{ук}t_1}{(t_1 - t_2)^2}.$$

Частная производная по параметру $K_{ук}$ $\frac{\partial h_{омн}}{\partial K_{ук}} = \frac{t_1}{t_1 - t_2}$.

Согласно правилу суммирования погрешностей, общая погрешность составляет

$$\Delta h_{омн} = \frac{\partial h_{омн}}{\partial t_1} \Delta t_1 + \frac{\partial h_{омн}}{\partial t_2} \Delta t_2 + \frac{\partial h_{омн}}{\partial K_{ук}} \Delta K_{ук} = -\frac{K_{ук}t_2 \Delta t_1}{(t_1 - t_2)^2} + \frac{K_{ук}t_1 \Delta t_2}{(t_1 - t_2)^2} + \frac{t_1 \Delta K_{ук}}{t_1 - t_2},$$

где Δt_1 , Δt_2 и $\Delta K_{ук}$ – погрешности измерения параметров.

Принимая во внимание, что времена следования импульсов t_1 и t_2 от датчиков измеряются одним и тем же микроконтроллером, положив $\Delta t_1 = \Delta t_2 = \Delta t$, получаем

$$\Delta h_{омн} = \frac{K_{ук} \Delta t + t_1 \Delta K_{ук}}{t_1 - t_2}.$$

Из последнего соотношения видно, что общая погрешность будет возрастать при уменьшении знаменателя, то есть когда $t_1 \rightarrow t_2$. Очевидно, что это будет происходить при уменьшении разности датчиков по вертикали. С другой стороны, при увеличении этого расстояния будет уменьшаться диапазон измерений. Поэтому для каждого конкретного случая выбор необходимо делать из компромиссных соображений.

Рассмотрим далее компенсационные свойства подавления влияния градиента скорости для этой конструкции датчиков. Приведем полученные выражения для времен t_1 и t_2 прохождения импульсов от излучателей КИ 1 и КИ 2:

$$t_1 = \int_0^{h'} \frac{dz}{V_0 + Gz} = \frac{1}{G} [\ln(V_0 + Gh') - \ln V_0] \approx \frac{2h'}{V_r} \left(1 - G \frac{h'}{2V_r}\right). \quad (15)$$

$$t_2 = \int_0^{h'-l} \frac{dz}{V_0 + Gz} = \frac{1}{G} [\ln(V_0 + G(h'-l)) - \ln V_0] = \frac{1}{G} \ln\left(1 + G \frac{(h'-l)}{V_0}\right) \approx \frac{2(h'-l)}{V_r} \left(1 - G \frac{(h'-l)}{2V_r}\right). \quad (16)$$

Выразив $\frac{G}{2V_r}$ из (15) и подставив его в последнее выражение, получим

$$t_2 = \frac{2(h' - l)}{V_r} \left(1 - \frac{(h' - l)}{h'} \left(1 - \frac{V_r t_1}{2h'} \right) \right). \quad (17)$$

После несложных преобразований последнее выражение может быть приведено к виду

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

Откуда $2h'^2 \left[\frac{V_r t_2}{2} - l \right] + 2h'l^2 = V_r (h'^2 - 2h'l + l^2) t_1$.

Получим уравнение

$$h'^2 [V_r (t_2 - t_1) - 2l] + h' [2l(l + V_r t_1)] - l^2 V_r t_1 = 0. \quad (18)$$

Решение квадратного уравнения

$$h' = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}, \quad (19)$$

где $a = V_r (t_2 - t_1) - 2l$; $b = 2l(l + V_r t_1)$; $c = -l^2 V_r t_1$.

Из последнего соотношения (19) 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.

Для решения вопроса об эффективности коррекции погрешности от градиента необходимо сравнить погрешности для двух случаев: использования всего одного датчика (излучателя) и применения системы из двух датчиков. Из соотношения (15) для первого случая получим $V_r t_1 \approx 2h' \left(1 - G \frac{h'}{2V_r} \right)$; $h_{ИЗМ1} = h' \left(1 - G \frac{h'}{2V_r} \right)$, где $h_{ИЗМ1}$ – измеренное значение уровня.

Подставив (15) и (16) в (14), получим аналогичное соотношение для второго случая:

$$h_{ИЗМ2} = \frac{lt_1}{t_1 - t_2} = \frac{2V_r}{2V_r - G(2h' - l)} h' \left(1 - G \frac{h'}{2V_r} \right). \quad (20)$$

Расчеты погрешностей, произведенные согласно приведенным соотношениям при $V_r = 331$ м/с (0°C , воздух); $l = 0,05$ – $0,4$ м; $h' = 0$ – 6 м; $G = 0,01$ с, приведены в таблице (вычисляем отношение отклонений $\mathcal{E} = (h_{ИЗМ1} - h') / (h_{ИЗМ2} - h')$). Из данных таблицы видно, что эффективность компенсации погрешности \mathcal{E} от влияния градиента скорости возрастает к началу диапазона измерений уровня, оставаясь незначительной к концу диапазона; она также увеличивается с увеличением расстояния l между датчиками.

	$h=0,06$ м	$h=0,11$ м	$h=0,12$ 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
$l=0,05$ м	6	1,8	1,7	1,3	1,2	1,1	1,06	1,03	1,013	1,01
$l=0,1$ м		11	6	2	1,51	1,25	1,14	1,05	1,03	1,02
$l=0,2$ м					3	1,7	1,3	1,1	1,05	1,03
$l=0,4$ м						5	1,8	1,25	1,11	1,07

Выводы. 1. Использование разработанной конструкции датчиков в составе УЗУ позволяет корректировать температурную погрешность, а также уменьшить погрешность от температурного изменения параметров сред (вертикального градиента) по высоте бака. Результат измерения уровня принципиально не будет зависеть от параметров нижней среды, так как она не «участвует» в процессе измерения.

2. Основным преимуществом этой конструкции датчиков является также принципиальная возможность работы с любыми жидкостями и средами и не нужны табличные данные, что существенно расширяет область применения устройств такого типа.

3. Показано, что помимо коррекции температурной погрешности, двухдатчиковые УЗУ менее чувствительны к влиянию на результат измерения неоднородности температуры контролируемой среды по высоте резервуара.

4. Недостатком конструкции является незначительное ограничение диапазона измерений в области максимальных значений уровня, связанное с расположением второго датчика на некотором удалении от верхней части резервуара.

1. *Бабиков О.И.* Контроль уровня с помощью ультразвука. – Л.: Энергия, 1971. – 79 с.
2. *Бобровников Г.Н., Катков А.Г.* Методы измерения уровня. – М.: Машиностроение, 1977. – 168 с.
3. *Бражников Н.И.* Ультразвуковые методы. – М.Л.: Энергия, 1965. – 248 с.
4. *Взлет УР - 2.* Ультразвуковой уровнемер – Sv-engine.com.ua./p109-73385-vzlet-2hh-ultra-zvukovoj.html.
5. *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.
6. *Гриневиц Ф.Б., Монастырский З.Я., Саволюк А.М.* Коррекция погрешности от вертикального градиента диэлектрической проницаемости среды в емкостных самокомпенсированных уровнемерах // Техн. электродинамика. – 1990. – № 5. – С. 93–99.
7. *Дорошко В.В.* Передовая технология бесконтактного измерения уровня / Промышленные АСУ и контроллеры. Ежемесячник. – 2006. – № 3. – С. 46–48.
8. *Ершов М.Н.* Методы измерения уровня жидких продуктов: теория и практика / Изв. Тульского гос. ун-та. Технические науки. – 1/2010. – Вып. № 4. – С. 9–14.
9. *Карандеев К.Б., Гриневиц Ф.Б., Новик А.И.* Емкостные самокомпенсированные уровнемеры. – М.-Л.: Энергия, 1966. – 135 с.
10. *Корн Т., Корн Г.* Справочник по математике для научных работников и инженеров. Определение, теоремы, формулы: Пер. с англ. / Под ред. И.Г. Арамановича. – М.: Наука, 1974. – 832 с.
11. *Кошкин Н.И., Ширкевич М.Г.* Справочник по элементарной физике / Под ред. Д.И. Сахарова. – М.: Гос. изд-во физ.-мат. лит., 1960. – С. 82–84.
12. *Саволюк А.М.* Ультразвуковой уровнемер повышенной точности // Электрик. – 2013. – № 12. – С. 57–58.
13. *Фрайден Дж.* Современные датчики: Справочник. – М.: Техносфера. – 2006. – 588 с.
14. *Хансуваров К.И., Цейтлин В.Г.* Техника измерения давления, расхода, количества и уровня жидкости, газа и пара. – М.: Изд-во стандартов, 1990. – 287 с.
15. *Шерман В.С.* Уровнемеры все повышают и повышают свой уровень / Промышленные АСУ и контроллеры. Ежемесячник. – 2003. – № 12. – С. 53–58.

УДК 681.128.22

О.М. Саволюк, 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

Розглянуто питання підвищення точності вимірювання рівня в ультразвукових рівнемірах з використанням спеціальних конструкцій датчиків, а також показано можливість корекції похибок від температурної зміни параметрів середовищ за висотою резервуара. Бібл. 15, рис. 2, таблиця.

Ключові слова: ультразвук, рівень, температура, похибка.

A.M. Savoluik, A.I. Novik

Institute of Electrodynamics of the National Academy of Sciences of Ukraine,
Peremohy, 56, Kyiv-57, 03057, Ukraine

Ultrasonic levelmeaters with the temperatures correction

The questions of increasing accuracy measurement of level in ultrasonic method with using special construction of transducers, and also the questions of corrections errors for temperatures variables of parameters environment for the high are considered. References 15, figures 2, table.

Key words: ultrasonic, level, temperature, inaccuracy.

Надійшла 15.07.2016

Received 15.07.2016