

В.К. ГУСЕЛЬНИКОВ, к.т.н., проф. НТУ «ХПИ»

Е.А. БОРИСЕНКО, ассистент НТУ «ХПИ»

К ВОПРОСУ О ПРИМЕНЕНИИ ТЕСТОВЫХ МЕТОДОВ ПРИ ИЗМЕРЕНИИ УРОВНЯ УЛЬТРАЗВУКОВЫМ СПОСОБОМ

У статті розглянуті ультразвукові вимірники рівня рідких і сипучих середовищ, наведено рівняння виміру з обліком складові погрішності. Розглянуто загальні питання застосування тестових методів підвищення точності вимірів. Показано можливу реалізацію тестового методу для рівнеміра, проведений розрахунок результуючої погрішності.

Ultrasonic level meters of liquid and flow material are observed, measuring equation with consideration to error components is given. Common questions of test methods use are given. test method possible realization for level meter is shown, resulting error calculation is made.

Постановка проблеми. Ультразвуковые уровнемеры широко распространены на промышленных предприятиях Украины различной направленности. Однако точность, обеспечиваемая такими уровнемерами, является недостаточной. Это вызвано тем, что на результат измерений существенное влияние оказывают внешние факторы, такие как температура, влажность, состав газовой среды, которые изменяются в широких пределах.

Анализ литературы. Ранее в публикации [1] были обзорно рассмотрены основы работы ультразвуковых уровнемеров и возможные способы повышения точности путем применения тестовых методов. В [2,3] изложены основы построения систем с применением тестовых методов и показано, что применение тестовых методов способно в значительной степени повысить точность измерения без существенного усложнения прибора.

Цель статьи – показать реализацию тестовых методов при измерении уровня ультразвуковым методом

Рассмотрим работу ультразвукового уровнемера. В нем измеряемое расстояние (уровень) определяется как произведение времени прохождения ультразвуком этого расстояния на скорость распространения ультразвука в среде. При этом величина скорости ультразвука считается известной. Время определяется путем подсчета квантующих импульсов.

Запишем уравнение измерения с учетом погрешностей:

$$L = c_0(1 + \delta_{M\Sigma})T_{и}(N_x + \Delta_{ад\Sigma}),$$

где c_0 – скорость звука при нормальных условиях, ее значение известно из [4] и для 20 °С составляет 343 м/с;

$\delta_{M\Sigma}$ – суммарная мультипликативная погрешность, вызванная влиянием факторов, вызывающих изменение скорости ультразвука;

$\Delta_{\text{ад}\Sigma}$ – суммарная аддитивная погрешность, источником которой является инерционность ультразвукового приемо-передатчика;

$T_{\text{и}}$ – длительность одного квантующего (счетного) импульса генератора стабильной частоты;

N_x – число квантующих импульсов, измеряемое при помощи счетчика импульсов.

Полученное выражение показывает зависимость измеряемого уровня от количества счетных импульсов N_x , однако величина, которую непосредственно измеряет уровнемер, является число импульсов. Исходя из этого, уравнение измерения можно переписать в виде:

$$N_x = \frac{L}{c_0(1 + \delta_{\text{м}\Sigma})T_{\text{и}}} + \Delta_{\text{ад}\Sigma}. \quad (1)$$

В [3] показано, что при наличии обеих составляющих погрешности – аддитивной и мультипликативной – повышение точности результата измерений возможно только при совместном использовании аддитивных и мультипликативных тестов. Поскольку уравнение измерения имеет первый порядок, то для осуществления тестовых методов достаточно проведения одного аддитивного и одного мультипликативного теста.

Тестовое воздействие для аддитивного теста имеет вид $N_x(L) = L + \Delta L$, где ΔL – величина аддитивного теста.

Тестовое воздействие для мультипликативного теста имеет вид $N_x(L) = kL$, где k – величина мультипликативного теста.

Способ формирования аддитивного теста весьма прост – перемещение приемо-передатчика вдоль пути излучения на известное расстояние. Такое перемещение можно реализовать, применив шаговый двигатель, которым можно с высокой точностью задавать перемещение.

Точное формирование мультипликативного теста сложнее. Изменение L на величину теста k может быть осуществлено либо за счет изменения скорости распространения звука c_0 , либо за счет изменения длительности импульса $T_{\text{и}}$. Однако последний способ приведет к изменению значения аддитивной погрешности, что недопустимо.

Задача изменения скорости звука в известное количество раз k может быть решено за счет изменения одного из факторов, существенно влияющих на скорость ультразвука. В [5] показано, что температура оказывает наибольшее влияние на скорость распространения ультразвука. Следовательно, меняя температуру в k раз, мы во столько же раз меняем скорость ультразвука. Для того, чтобы обеспечить точно известное k следует предусмотреть дополнительный канал измерения температуры. На рис. 1 показано устройство, способное реализовать тестовый метод.

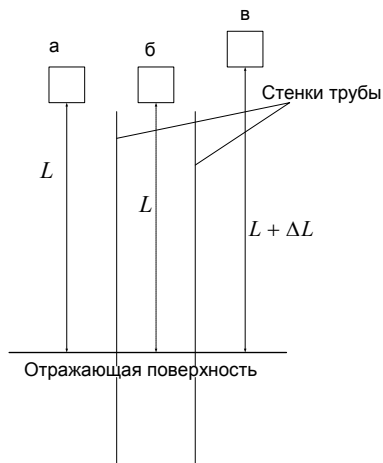


Рисунок 1 – Устройство для реализации тестового метода

Процедуру измерений, реализующую тестовые методы, следует разбить на этапы. На первом этапе осуществляется измерение искомого уровня, в результате которого получается выражение:

$$N_1 = \frac{L}{c_0(1 + \delta_{м\Sigma})T_{и}} + \Delta_{ал\Sigma} .$$

На втором этапе приемопередатчик помещают на верхнем конце открытой трубы.

Внутри трубы созданы условия, при которых по всему пути следования ультразвука поддерживается определенная температура, отличная от температуры газовой среды вне трубы.

Разность этих температур измеряется дополнительным температурным каналом уровнемера. По этой разности можно рассчитать скорость звука в трубе и вне ее:

$$c = c_0 + 0,59t ,$$

где c_0 – скорость звука при температуре $0\text{ }^{\circ}\text{C}$;

t – температура, $^{\circ}\text{C}$;

$$\text{Откуда } k = \frac{c_2}{c_1} = \frac{c_0 + 0,59t_1}{c_0 + 0,59t_2} .$$

При этом предполагается, что присутствуют прочие факторы, влияющие на скорость ультразвука (влажность, состав газовой среды). По окончании второго этапа измерений получаем уравнение измерения с мультипликативным тестом:

$$N_2 = \frac{L}{kc_0(1 + \delta_{м\Sigma})T_{и}} + \Delta_{ал\Sigma} .$$

На третьем этапе измерений приемо-передатчик перемещают на известное расстояние ΔL , в результате чего получаем третье уравнение измерений:

$$N_3 + \Delta L = \frac{L}{c_0(1 + \delta_{m\Sigma})T_{и}} + \Delta_{ал\Sigma}.$$

В итоге получаем систему из 3х уравнений:

$$\begin{cases} N_1 = \frac{L}{c_0(1 + \delta_{m\Sigma})T_{и}} + \Delta_{ал\Sigma}; \\ N_2 = \frac{L + \Delta L}{c_0(1 + \delta_{m\Sigma})T_{и}} + \Delta_{ал\Sigma}; \\ N_3 = \frac{L}{kc_0(1 + \delta_{m\Sigma})T_{и}} + \Delta_{ал\Sigma}. \end{cases} \quad (2)$$

Такая система решается разностным методом:

$$\begin{aligned} N_2 - N_1 &= \frac{\Delta L}{c_0(1 + \delta_{m\Sigma})T_{и}}; \\ N_3 - N_1 &= \frac{L(k-1)}{kc_0(1 + \delta_{m\Sigma})T_{и}}; \\ \frac{N_2 - N_1}{N_3 - N_1} &= \frac{k\Delta L}{L(k-1)}, \end{aligned}$$

откуда

$$L = \frac{k\Delta L(N_3 - N_1)}{(N_2 - N_1)(k-1)}. \quad (3)$$

Из выражения (3) очевидно, что точность результата измерений зависит лишь от точности тестовых воздействий и от частоты квантования, при этом ни аддитивная, ни мультипликативная составляющая влияния не оказывают. На рис. 2 показаны графики, иллюстрирующие зависимость погрешности от величины мультипликативного теста при значениях частоты квантования 10^6 и 10^5 Гц. По оси абсцисс расположено $\Delta\theta$ – изменение температуры по отношению к 0°C .

Из рисунка видно, что частота квантования 10^6 Гц способна обеспечить достаточную точность, при этом тестовое воздействие мультипликативного теста должно быть более 10°C .

Высокую точность аддитивного теста можно обеспечить путем применения современных шаговых двигателей, точность позиционирования которых может достигать десятых долей миллиметра. Примем погрешность формирования аддитивного теста приемопередатчика равной 5 мм.

Обеспечить точность выполнения мультипликативного теста сложнее. Связано это с тем, что будут иметь место неоднородности и

градиенты температуры по высоте, по пути следования ультразвукового сигнала внутри трубы. Предположим, что при мультипликативном тесте температура в трубе будет устанавливаться с точностью 10 градусов.

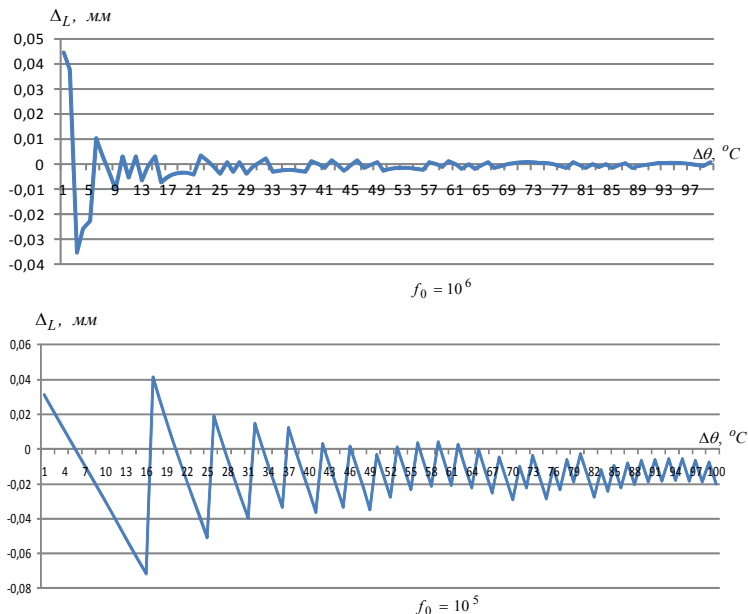


Рис. 2

Расчетное значение относительной погрешности измерений с использованием тестовых методов при указанных значениях погрешности формирования тестовых воздействий при измерении уровня 4 м составит менее 1%.

В дальнейших публикациях планируется рассмотреть другие способы повышения точности измерений

Список литературы: 1. *Борисенко Е.А.* Использование тестовых методов при измерении уровня ультразвуковым методом // Вісник Національного Технічного Університету «Харківський Політехнічний Інститут». Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Автоматика та приладобудування. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2010. – № 20 – с. 3–7. 2. *Кондрашов С.І.* Методи підвищення точності систем тестових випробувань електричних вимірвальних перетворювачів у робочих режимах / монографія – Харків: НТУ «ХПІ», 2004. –224 с. 3. *Бромберг Э. М., Куликовский К.Л.* Тестовые методы повышения точности измерений. – М.: Энергия, 1978 – 176 с. 4. *В.К. Иофе, А.А. Янпольский.* Расчетные графики и таблицы по электроакустике. – М.: Госэнергоиздат, 1954 – 527 с. 5. *Гусельников В.К., Борисенко С.А.* Исследование ультразвуковых методов определения расходных характеристик жидких и сыпучих сред. // Наукові праці VI МНТК «Метрологія та вимірвальна техніка» у 2-х томах. Т.2.- Харків: ХДНДІМ, 2008 – с. 187 – 190.

Поступила в редакцію 10.03.2010