

УДК 621.317.088

ТЕСТОВЫЙ МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ПЛОТНОСТИ ПРОТОЧНЫМ ПЛОТНОМЕРОМ

В.А. Кузнецов

Самарский государственный технический университет
Россия, 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

Рассмотрен способ измерения плотности жидкости с высокой точностью непосредственно в потоке. Дан анализ известных методов измерения плотности жидкости и отмечены их недостатки при измерении плотности глинистого раствора в процессе бурения глубоких скважин. Рассмотрен способ повышения точности весового плотномера на основе применения тестовых методов. Приведены методы формирования двух тестов. Аддитивный тест создается с помощью образцовой массы, а мультипликативный тест формируется посредством изменения жесткости измерительной пружины. Обработка измерительной информации производится микроконтроллером.

Ключевые слова: *проточный плотномер, высокая точность измерения, тестовые методы.*

В настоящее время во многих технологических процессах возникает необходимость измерения плотности жидкости в потоке. Такие измерения встречаются в нефтяной, пищевой, парфюмерной, химической и других областях промышленности.

Наиболее распространены ручные и автоматические плотномеры для жидкостей. По принципу действия они делятся на следующие основные группы: поплавковые, весовые, гидростатические, радиоизотопные, вибрационные, ультразвуковые [1].

Каждый из этих методов имеет свои достоинства и недостатки и применяется с учетом специфики потока измеряемой жидкости и условий эксплуатации плотномера.

Например, работа ультразвукового плотномера нарушается при наличии в потоке пузырьков воздуха или твердых частиц, что требует специальной предварительной подготовки жидкости. Кроме того, для каждой жидкости необходима индивидуальная калибровка плотномера. Скорость звука сильно зависит от температуры жидкости, поэтому при эксплуатации ультразвукового плотномера в широком диапазоне температур необходимо вводить коррекцию температурной погрешности.

В целом ультразвуковые плотномеры не позволяют проводить измерения с высокой точностью, обладая погрешностью порядка $2\div 3\%$ [2].

При бурении глубоких скважин в качестве рабочей жидкости используется глинистый раствор, закачиваемый в скважину. Для измерения плотности глинистого раствора чаще всего применяются весовые и вибрационные плотномеры.

Весовой непрерывный метод измерения плотности основан на непрерывном взвешивании протекающей через сосуд постоянного объема контролируемой среды. Таким образом, конструкция прибора должна обеспечить свободное пе-

Владимир Андреевич Кузнецов (к.т.н., доц.), доцент кафедры «Информационно-измерительная техника».

ремещение сосуда при непрерывном поступлении и вытекании контролируемой среды и одновременно его подвижность для непрерывного взвешивания.

Возможны варианты с U-образной трубкой, концы которой гибко соединены с источником и приемником контролируемой среды. В средней части (центре тяжести) трубка подвешена к весоизмерительному устройству с пневматическим или индуктивным преобразователем в зависимости от требований к взрывоопасности прибора. Так как часть веса трубки передается на линии провода и отвода среды, то необходима эмпирическая градуировка. Вместо U-образной трубки можно использовать непрерывно взвешиваемый прямой участок трубопровода. Для подвода и отвода среды могут применяться гибкие гофрированные шланги (сильфоны), обеспечивающие подвижность измерительного участка в вертикальном направлении.

При повышенных требованиях к точности измерения для непрерывного взвешивания применяют силовую компенсационную систему. Однако существенно повысить точность измерения можно, используя определенные методы повышения точности. Одним из таких методов является тестовый метод повышения точности [3].

Тестовые методы повышения точности измерений применяют в различных измерительных системах для измерений как электрических, так и неэлектрических величин.

Сущность тестовых методов повышения точности измерений заключается в определении параметров статической функции преобразования (СФП) с помощью дополнительных преобразований тестов, каждый из которых функционально связан с измеряемой величиной.

В реальных условиях эксплуатации средства измерений значения параметров СФП отличаются от их номинальных значений вследствие воздействия различных внешних факторов, старения элементов и т. п.

Тестовые методы повышения точности измерений позволяют снизить систематические и квазисистематические погрешности.

Суммарная погрешность средства измерений при реализации тестовых методов повышения точности измерений имеет следующие составляющие:

- погрешность вычислительного устройства;
- погрешность квантования аналого-цифрового преобразователя;
- погрешность, обусловленная высокочастотными шумами в схеме средства измерений;
- погрешность преобразования тестов;
- динамическая погрешность, обусловленная возможным изменением измеряемой величины в процессе реализации тестов.

Приведем расчеты для проточного плотномера с использованием тестовых методов.

Вес U-образной вставки в трубопровод с жидкостью

$$G_B = m_B g + \rho_{Ж} V_B g = g(m_B + \rho_{Ж} V_B),$$

где m_B – масса вставки;

$\rho_{Ж}$ – плотность жидкости;

V_B – объем вставки;

g – ускорение свободного падения.

Измерительной пружиной вес вставки преобразуется в линейное перемещение:

$$l = K_{\Pi} G_B = K_{\Pi} g (m_B + \rho_{\text{ж}} V_B),$$

где K_{Π} – коэффициент преобразования пружины.

Линейное перемещение l вставки датчиком преобразуется в код

$$N = K_{\text{д}} l = K_{\text{д}} K_{\Pi} g (m_B + \rho_{\text{ж}} V_B),$$

где $K_{\text{д}}$ – коэффициент преобразования датчика.

Отсюда

$$\rho_{\text{ж}} = \frac{N}{K_{\text{д}} K_{\Pi} g V_B} - \frac{m_B}{V_B}.$$

Формирование тестов производится следующим образом. Сначала измеряется плотность обычным методом, затем формируются аддитивный и мультипликативный тесты.

Аддитивный тест создается установкой образцовой массы m_O на обычную U-образную вставку. При этом вес вставки с образцовой массой становится равным

$$G_{BA} = m_B g + \rho_{\text{ж}} V_B g + m_O g.$$

Мультипликативный тест создается изменением жесткости измерительной пружины посредством ее укорочения с помощью упорной пластины и специального ее привода. При этом коэффициент преобразования пружины изменяется:

$$K_{\Pi M} = K_{\Pi} K_{\text{И}},$$

где $K_{\text{И}}$ – коэффициент изменения длины пружины.

Алгоритм измерения. При настройке прибора датчик устанавливается так, чтобы при начальном весе и отсутствии жидкости в трубке выходной сигнал был равен нулю:

$$N_{\text{нач}} = K_{\text{д}} K_{\Pi} g m_B = 0.$$

Измерения проводятся в три такта.

При первом такте тесты отсутствуют. На выходе датчика формируется код

$$N_1 = K_{\text{д}} K_{\Pi} g \rho_{\text{ж}} V_B + \Delta_A,$$

где Δ_A – аддитивная погрешность.

При втором такте вводится аддитивный тест. На выходе датчика формируется второй код:

$$N_2 = K_{\text{д}} K_{\Pi} g (\rho_{\text{ж}} V_B + m_O) + \Delta_A,$$

где m_O – масса образцового груза.

При третьем такте вводится мультипликативный тест.

На выходе датчика формируется третий код:

$$N_3 = K_{\text{д}} K_{\Pi} K_{\text{И}} g \rho_{\text{ж}} V_B + \Delta_A.$$

Контроллер производит вычисления по алгоритму:

$$N_2 - N_1 = K_{\text{д}} K_{\Pi} g m_O ;$$

$$N_3 - N_1 = K_{\text{д}} K_{\Pi} g \rho_{\text{ж}} V_B (K_{\text{И}} - 1) ;$$

$$\frac{N_3 - N_1}{N_2 - N_1} = \frac{\rho_{ж} V_B (K_{II} - 1)}{m_O}$$

Отсюда

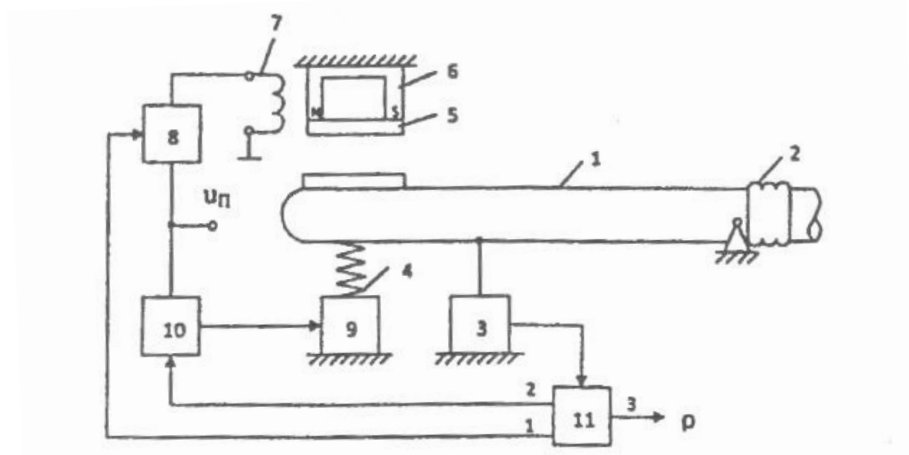
$$\rho_{ж} = \frac{N_3 - N_1}{N_2 - N_1} \cdot \frac{m_O}{V_B (K_{II} - 1)} \quad (1)$$

Из этого выражения видно, что из результата измерения полностью исключены аддитивная погрешность Δ_A и мультипликативные погрешности, связанные с нестабильностью коэффициентов преобразования измерительной пружины K_{II} и датчика K_D . Точность измерения плотности жидкости определяется только точностью задания массы образцового груза m_O , коэффициента изменения жесткости измерительной пружины K_{II} и точностью выполнения вычислительных операций.

Практика показывает, что тестовые методы позволяют на порядок повысить точность измерения неэлектрических величин в условиях воздействия возмущающих факторов.

В Самарском государственном техническом университете разработан метод повышения точности измерения плотности проточным плотномером [4].

На рисунке представлена структурная схема разработанного весового плотномера.



Структурная схема весового плотномера:

1 – петлевая U-образная вставка в трубопровод, закрепленная консольно; 2 – гибкие манжеты; 3 – датчик перемещений; 4 – пружина; 5 – образцовый груз; 6 – постоянный магнит; 7 – обмотка; 8 – первый ключ; 9 – электропривод; 10 – второй ключ; 11 – микроконтроллер

Аддитивный тест формируется добавлением к весу U-образной вставки веса образцового груза 5, а мультипликативный тест формируется изменением жесткости пружины 4.

Измерения плотности проводятся в три такта. В первом такте ключи 8 и 10 закрыты. Образцовая масса притянута к магниту 6. Пружина 4 имеет коэффициент преобразования K_{II} .

Во втором такте ключ 8 открыт, а ключ 10 закрыт. Образцовый груз 5 массой m_O добавляется к весу U-образной вставки, чем формируется аддитивный тест.

В третьем такте ключ 8 закрыт, а ключ 10 открыт, при этом жесткость пружины 4 изменяется на коэффициент K_{II} и формируется мультипликативный тест.

Обработка результатов трех измерений проводится по алгоритму (1).

Преимущество плотномера заключается также в том, что он не требует предварительной калибровки. Калибровка при каждом измерении осуществляется автоматически при опускании образцового груза на петлевую вставку.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Измерения в промышленности: Справ. изд. В 3 кн. Кн 2. Способы измерения и аппаратура / Пер. с нем. Под ред. П. Профоса. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1990. – 384 с.
2. Кивилис С.С. Плотномеры. – М.: Энергия, 1980. – 279 с.
3. Бромберг Э.М., Куликовский К.Л. Тестовые методы повышения точности измерений. – М.: Энергия, 1978. – 176 с.
4. Патент № 2381482RU МПК G01N9/06. Весовой плотномер / В.А. Кузнецов, В.В. Кузнецов; опубл. 10.02.2010. Бюл. № 4.

Статья поступила в редакцию 26 марта 2013 г.

THE TEST METHOD TO IMPROVE THE ACCURACY OF MEASUREMENT OF DENSITY FLOWING DENSITOMETER

V.A. Kuznetsov

Samara State Technical University
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100, Russia

A measurement method of a liquid's density with high precision directly in the stream was considered. There is an analysis of known methods of measuring the density of the liquid. Also their disadvantages in the density measurement of the mud during the drilling of deep wells are marked. The way of improving the accuracy of the weight densitometer based on the application of test methods was considered. There are formation methods of the two tests. Additive test is created by using the exemplary mass and multiplier one is formed by changing the stiffness of the measuring spring. Processing of measuring information is produced by a microcontroller.

Keywords: *Flow-density meter, high accuracy measurement, test methods.*

Vladimir A. Kuznetsov (Ph.D. (Techn.)), Associate Professor.