

АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ РАСХОДОМЕРОВ ГАЗА

Пелевин В.Ф.

**Могилевский государственный университет продовольствия
г. Могилев, Беларусь**

Ультразвуковые расходомеры обычно служат для измерения объемного расхода, так как эффекты, возникающие при прохождении акустических колебаний через поток жидкости или газа, связаны со скоростью потока. Установление акустического датчика плотности измеряемого вещества позволяет осуществлять измерение и массового расхода. Приведенная погрешность ультразвуковых расходомеров в среднем составляет 0,5–1%. Ультразвуковые расходомеры жидкости могут измерять расход многофазных или однофазных сред. Последние могут быть как однокомпонентные, так и многокомпонентные: растворы и природные смеси (нефть – вода).

Ультразвуковые расходомеры газа измеряют, в основном, расход однофазных однокомпонентных или многокомпонентных естественных сред, вследствие чего возникает дополнительная погрешность, определяемая составом газовой среды. Это относится, в основном, к измерению расхода природного газа. Сложность измерения газа ультразвуковым расходомером заключается в его малом акустическом сопротивлении и быстром затухании ультразвука в газовой среде, что требует создание высокой интенсивности излучаемого сигнала на высокой частоте (0,1 – 10 МГц) при малых габаритах излучателя, что практически невозможно, либо требует снижения частоты до сотен и десятков килогерц, что приводит к существенному увеличению размеров акустического датчика.

Главное распространение получили ультразвуковые расходомеры использующие время-импульсный метод измерения, основанный на измерении разности времен прохождения акустических колебаний по потоку и против его. В этом случае излучающие и приемные ультразвуковые преобразователи располагают под углом θ к оси трубопровода. Тогда акустические колебания под углом $\alpha = 90^\circ - \theta$ к оси трубы проходят в измеряемом веществе путь длиной L от излучателя к приемнику. Скорость потока, усредненная по длине L будет V_L , а ее проекция на направление L будет $V_L \cos \alpha$. Разность время прохождения акустических колебаний расстояния L по потоку и против потока составит [1]:

$$\Delta\tau = \frac{2L}{c^2} \cdot \frac{V_L \cos \alpha}{1 - (V_L \cos \alpha / c)^2} \approx \frac{2L \cos \alpha}{c^2}, \quad (1)$$

где c – скорость распространения акустических колебаний в неподвижной среде.

По измеренному значению $\Delta\tau$ определяется скорость потока V_L , а значит и объемный расход $Q = V_L s$, где s – площадь сечения трубопровода. Для точного определения расхода необходимо знание значения скорости V_{cp} усреднённой по диаметру трубопровода, так как $V_L \neq V_{cp}$. Это составляет методическую погрешность ультразвукового расходомера данного вида, является причиной нелинейности его статической характеристики и требует индивидуальной градуировки.

Скорость распространения акустических колебаний в неподвижной газовой среде, входящая в выражение (1), может изменяться в зависимости от состава газовой среды. Примерный состав природного газа, скорость звука в его компонентах и их плотность при температуре $t = 0^{\circ}\text{C}$ и атмосферном давлении 760 мм рт.ст. приведена в таблице [2]:

Таблица. Состав природного газа и физические характеристики его компонентов

	Метан, 94%	Этан, 3%	Пропан, 2%	Бутан, 0,2%	Углекислый газ, 0,1%	Сероводород, 0,05%	Гелий, 0,05%	Пары воды, 0,6%
Плотность ρ , кг/м ³	0,7168	1,356	2,004	2,5	1,98	1,54	0,179	0,88
Скорость звука c , м/с	430	308	266	230	260	290	970	401

Скорость звука в газах существенно зависит от температуры (как и их плотность), что сказывается на погрешности измерения расхода.

Вычисление средней геометрической скорости звука $c_{\text{см}}$ по приведенным в таблице скоростям звука c_i , данным для данной газовой смеси, с весовыми коэффициентами k_i , согласно процентному содержанию компонента, выполняется по формуле

$$c_{\text{см}} = \sqrt{\sum_{i=1}^n k_i (c_i)^2} \approx 423 \text{ м/с}, \quad (2)$$

что составляет изменение на 1,6% от скорости в чистом газе-метане.

Изменение состава природного газа, процентного содержания компонентов и скорости звука в них при изменении температуры могут существенно сказываться на точности измерения его расхода до нескольких процентов.

Литература

1. Кремлевский П.П. Расходомеры и счетчики количества вещества : Справочник. Кн.2.Расходомеры обтекания, тепловые, ионизационные, корреляционные, вихревые, электромагнитные, ультразвуковые. - СПб. : Политехника, 2004. – 410 с.
2. <http://weldworld.ru/theory/summary/skorost-zvuka/skorost-zvuka-v-gazah-i-parah.html>