

Направление 552200

МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ И СЕРТИФИКАЦИЯ

Магистерская программа 552200.10

Метрологическое обеспечение контроля качества, свойств и состава веществ, материалов и изделий

Руководитель программы д.т.н., проф. Чуриков А. А.

Баршутина М. Н.

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ ПНЕВМАТИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ КОНТРОЛЯ ПЛОТНОСТИ

Работа выполнена под руководством д.т.н., проф. Мордасова М. М.

ТГТУ, Кафедра «Автоматизированные системы и приборы»

Дифференциальные пневматические методы измерения плотности жидкости $\rho_{ж}$ нашли широкое применение в промышленности благодаря независимости результатов измерения от колебаний уровня жидкости, величины давления над ее поверхностью и расхода газа, подаваемого в измерительный элемент. Существенным недостатком этих методов является их низкая точность, обусловленная влиянием проводимостей

барботажных трубок на результат измерения [1]. Это влияние устранено в дифференциальном пневматическом плотномере с регулятором расхода, принцип действия которого описан в этой статье.

На рис. 1 представлена схема измерительного элемента, реализующего дифференциальный пневматический метод.

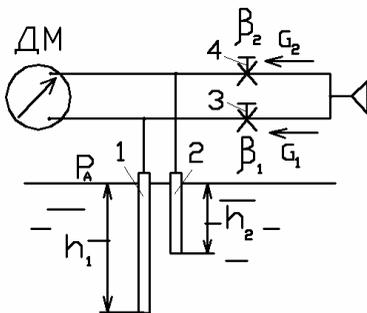


Рис. 1. Дифференциальный первичный измерительный преобразователь барботажного типа

В состав дифференциального измерительного преобразователя входят барботажные (пневмометрические) трубки 1 и 2, погруженные в контролируемую жидкость на глубину h_1 и h_2 , соответственно. В трубки через пневматические сопротивления подают газ с постоянными расходами G_1 и G_2 .

Процессы в емкостях V_1 и V_2 барботажных трубок 1 и 2 описываются дифференциальными уравнениями:

$$\frac{V_1}{RT\alpha_1} \cdot \frac{dP_{V1}}{dt} + P_{V1} = \frac{G_1}{\alpha_1} + P_{\Gamma 1}, \quad (1)$$

$$\frac{V_2}{RT\alpha_2} \cdot \frac{dP_{V2}}{dt} + P_{V2} = \frac{G_2}{\alpha_2} + P_{\Gamma 2}, \quad (2)$$

где α_1, α_2 – проводимости барботажных трубок 1 и 2; β_1, β_2 – проводимости дросселей 3 и 4; R – газовая постоянная; T – температура; P_{V1}, P_{V2} – давления в емкостях V_1 и V_2 ; $P_{\Gamma 1}, P_{\Gamma 2}$ – гидростатические давления на концах трубок; t – время.

Гидростатическое давление в трубках определяется из уравнений:

$$P_{\Gamma 1} = \rho_{ж} g h_1 + P_A, \quad (3)$$

$$(4) \quad P_{A2} = \rho_a g h_2 + P_A,$$

где P_A – давление над поверхностью жидкости; g – ускорение свободного падения.

Проводимости барботажных трубок при ламинарном режиме течения газа по ним:

$$\alpha_1 = \frac{\pi r_1^4 \rho_G}{8 \eta_G l_1}, \quad (5)$$

$$\alpha_2 = \frac{\pi r_2^4 \rho_G}{8 \eta_G l_2}, \quad (6)$$

где l_1, l_2 – длины барботажных трубок, ρ_G – плотность газа, η_G – вязкость газа, r_1, r_2 – радиусы барботажных трубок.

В установившемся режиме при условии $r_1 = r_2$, вычитая (2) из (1), получим:

$$\Delta P = P_{V1} - P_{V2} = \frac{G_1}{\alpha_1} - \frac{G_2}{\alpha_2} + P_{Г1} - P_{Г2}. \quad (7)$$

Так как о контролируемой величине судят по разности давлений $P_{Г1} - P_{Г2}$, то должно соблюдаться равенство $P_{V1} - P_{V2} = P_{Г1} - P_{Г2}$, выполняющееся при условии:

$$G_1 / \alpha_1 = G_2 / \alpha_2. \quad (8)$$

Подставляя α_1 и α_2 из (5) и (6) в (8), с учетом $r_1 = r_2$ получим:

$$(9) \quad G_1 / G_2 = l_2 / l_1.$$

Выполнение равенства (9) возможно при подаче газа на вход барботажных трубок с расходами, пропорциональными длине этих трубок.

Следует отметить, что из-за различных длин барботажных трубок в них может возникнуть разность давлений порядка 20-30 Па. Эта разность обуславливает ошибку в измерении плотности, которая в диапазоне измерения 1000-1020 кг/м³ при разности глубин погружения пневмометрических трубок в контролируемую жидкость 0,5 м и диаметре этих трубок 4-8 мм может достигнуть 20-30 % [2].

На рис. 2 изображена принципиальная пневматическая схема дифференциального пневмометрического плотнмера барботажного типа, в котором выполняется условие (9) за счет применения блока, обеспечивающего определенное соотношение расходов [3].

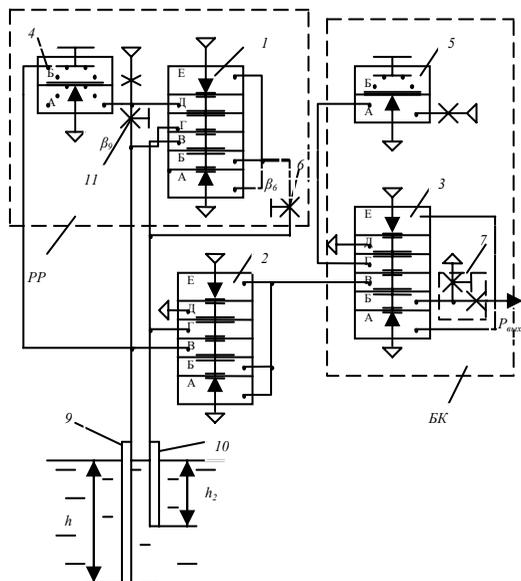


Рис. 2. Принципиальная пневматическая схема Дифференциального пневмометрического плотнмера

Дифференциальный пневмометрический плотномер состоит из двух барботажных трубок 9 и 10, погруженных в контролируемую жидкость, регулятора расхода PP, элемента сравнения 2 и блока компенсации балластного давления БК.

Регулятор соотношения расходов содержит два регулируемых дросселя б и 11, элемент сравнения 1 и повторитель со сдвигом 4. Газовый поток, поступающий с повторителя со сдвигом 4, с расходом G_0 создает на дросселе 11 перепад давления ΔP_{ex} , определяемый соотношением.

$$\Delta P_{\text{а\ddot{o}}} = G_0 / \beta_0, \quad (10)$$

где β_0 – проводимость дросселя 11.

В соответствии со схемой включения элемента сравнения 1 равновесие обеспечивается лишь в том случае, когда перепад давлений на дросселе б равен входному перепаду ΔP_{ex} . Соответственно, расход G_0

в выходную линию регулятора, соединенную со входом барботажной трубки l_0 , пропорционален входному расходу G_9 .

$$G_6 = \frac{\beta_6}{\beta_9} G_9, \quad (11)$$

где β_6 – проводимость дросселя 6.

Таким образом, в регуляторе расхода определенное соотношение проводимостей регулируемых дросселей обеспечивает такое соотношение расходов, при котором выполняется условие (9). При этом подставляя (11) в (9) и считая, что $G_1=G_9$ и $G_2=G_6$, получаем соотношение:

$$\beta_9 / \beta_6 = l_1 / l_2, \quad (12)$$

на основании которого можно сделать вывод, что проводимости регулируемых дросселей должны подбираться пропорционально длинам соответствующих барботажных трубок. При выполнении условия (12) на выходе дифференциального пневматического плотномера с регулятором расхода формируется выходной сигнал $P_{\text{вых}}$, значение которого не зависит от проводимостей барботажных трубок.

Список литературы

1. Мордасов М.М., Мищенко С.В., Мордасов Д.М. Физические основы измерения плотности и поверхностного натяжения пневматическими методами. –Тамбов: ТГТУ, 1999. 76 с.
2. Глыбин И.П. Автоматические плотномеры и концентратомеры в пищевой промышленности. - М.: Пищевая промышленность, 1975.-270 с.
3. А. с. № 446036 СССР, кл. G 05 D 7/03, Пневматический регулятор расхода / Мордасов М.М., Трофимов А.В., - № 3893615/24-24; Заявл. 05.05.85; Опул. 23.04.87. Бюл. № 15.