

УДК 621.757

А.П. Васютенко, канд. техн. наук, доцент,**А.И. Балакин, ассистент,****Л.В. Недобой, ассистент,****К.Л. Шутилова, магистрант***Севастопольский национальный технический университет**ул. Университетская, 33, г. Севастополь, Украина, 99053**E-mail: ps@sevgtu14.sebastopol.ua***ИССЛЕДОВАНИЕ ПНЕВМАТИЧЕСКОГО ПРИБОРА РОТАМЕТРИЧЕСКОГО ТИПА ДЛЯ ЛИНЕЙНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ**

Исследуется возможность использования расходомера, реализующего принцип термоанемометрии в пневматических измерительных приборах для контроля линейных размеров деталей. Рассматривается схема расходомера и методика исследования его расходных характеристик. Определена погрешность измерения.

Пневматический принцип измерения широко используется при построении схем приборов автоматического контроля, так как он обеспечивает высокую точность измерения, позволяет выполнять дистанционные измерения. Благодаря малогабаритной измерительной оснастке можно проводить измерения в труднодоступных местах и создавать простые конструкции многомерных устройств для контроля практически любых линейных параметров деталей [1]. В зависимости от вида регистрируемого пневматического параметра пневматические приборы делятся на две основных группы:

- манометрические, реагирующие на изменение давления воздуха;
- ротаметрические, реагирующие на изменение скорости воздушного потока.

Целью данной статьи является исследование возможности использования расходомеров с аналоговым электрическим выходным сигналом в приборах для линейных измерений, в том числе и широкодиапазонных.

В последние годы разработаны конструкции малогабаритных высокоточных расходомеров с аналоговым или цифровым выходным электрическим сигналом. К ним относятся расходомеры, реализующие тепловой принцип измерения, заключающийся в том, что теплота теряемая нагретым телом зависит от скорости потока воздуха. На рисунке 1,а показана схема расходомера, состоящего из термосопротивления 1, источника питания 2 и измерительного прибора 3. Термосопротивление устанавливается по оси трубопровода 4. На рисунке 1,б дана схема теплового расходомера, в котором температура резистора 1 измеряется с помощью термопары 2 и амперметра 3.

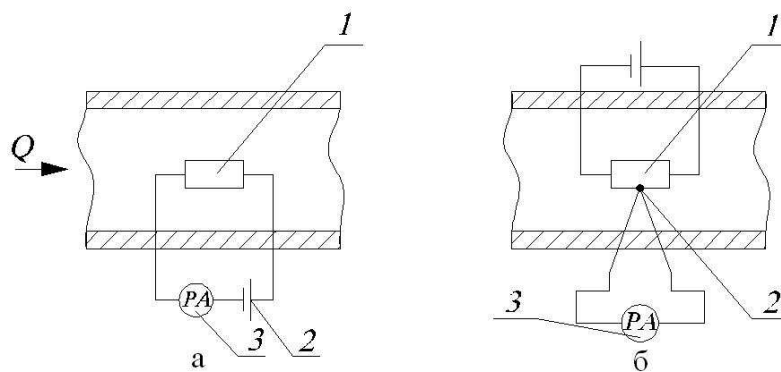


Рисунок 1 – Схемы тепловых расходомеров

Для измерения малых расходов воздуха (0,05...50 дм³/мин) может использоваться расходомер мод. SFE3, в котором используется принцип термоанемометрии, базирующийся на переносе тепловой энергии движущимся потоком воздуха. В ходе измерения оцениваются потери тепла нагретым измерительным элементом (рисунок 2). На поверхности нагревателя 2 (его температура T_2) поддерживается постоянная разность температур между ним и потоком воздуха. Температура потока T_1 контролируется термопреобразователем 1. Таким образом, справедливо выражение

$$T_2 - T_1 = \Delta t = \text{const.}$$

Электрическая энергия $P_{эл}$, используемая для поддержания постоянной разности температур потока и нагревательного элемента прямо характеризует расход воздуха, проходящего через преобразователь. Схема преобразователя включает регулятор температуры 3, пороговое устройство 4, подключающее отсчётное устройство 5 к регулятору температуры когда измеренная разность температур

ΔT будет равна заданной величине $\Delta T_{зад}$. Для этих целей преобразователь содержит вычислительное устройство 6, логический элемент 7 и задатчик 8.

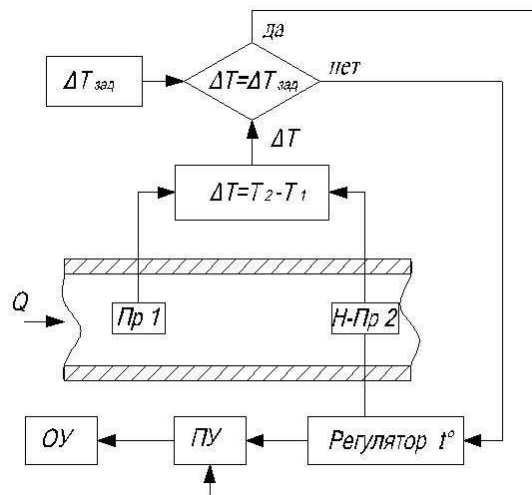


Рисунок 2 – Схема термоанемометрического преобразователя

Схема лабораторной установки для исследования пневматического измерительного прибора с термоанемометрическим преобразователем (рисунок 3) включает в себя пневматическую измерительную скобу 1, состоящую из подвижной каретки 2 с измерительным соплом 3, подвижной каретки 4 с настроечным винтом 5, выполняющим функцию заслонки. Каретки 2 и 4 крепятся на пружинных параллелограммах 6. С настроечным винтом контактирует индикаторная головка 7. Пневматическая схема измерительной ветви состоит из измерительного сопла 3 с заслонкой 5, расходомера 8 и блока подготовки воздуха 9.

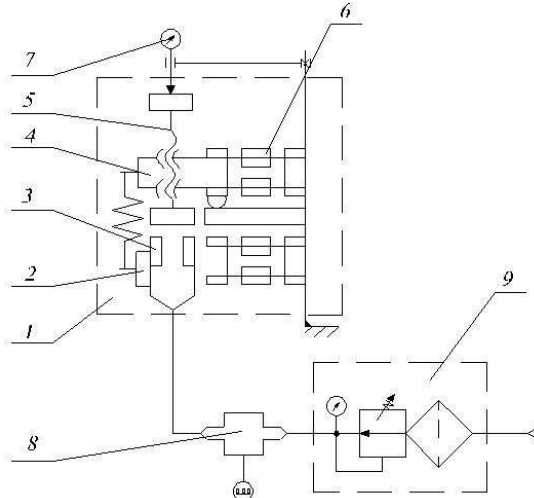


Рисунок 3 – Схема лабораторной установки

Суммарное сопротивление измерительного сопла и заслонки складывается из сопротивления на входе сопла, сопротивления возникающего в результате поворота струи на 90° при выходе из сопла и сопротивления при течении воздуха в кольцевом зазоре между торцом сопла и заслонкой.

При малых перепадах давлений можно вести расчёт расхода по формуле [2]

$$G = \mu F \sqrt{2\rho \cdot \sqrt{P_1 - P_2}}, \quad (1)$$

где μ – коэффициент расхода воздуха, определяемый по графикам рисунка 4; $F = \pi \cdot d_2 \cdot Z$ – площадь кольцевого зазора; d_2 – диаметр измерительного сопла; Z – зазор между соплом и заслонкой; $\rho = \frac{P_1}{RT}$ –

плотность воздуха; $R = 287 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$ – газовая постоянная; $T = 297\text{К}$ – температура воздуха; P_1 – абсолютное давление воздуха.

Переходя к избыточным давлениям, имеем

$$P_1 - P_2 = H. \quad (2)$$

Тогда формула (1) перепишется в виде

$$G = \mu \pi d_2 z \sqrt{2\rho H}. \quad (3)$$

Объёмный расход воздуха Q связан с массовым расходом зависимостью $Q = \frac{G}{\rho}$, тогда

$$Q = \mu \pi d_2 z \sqrt{\frac{2H}{\rho}}. \quad (4)$$

Исследование статических характеристик измерительного прибора проводилось при рабочих давлениях воздуха $H = 0,1; 0,15; 0,2$ МПа. Плотность воздуха при этих значениях давлений принималась равной $\rho_{0,1} = 2,41 \text{ кг/м}^3$, $\rho_{0,15} = 3,01 \text{ кг/м}^3$, $\rho_{0,2} = 3,62 \text{ кг/м}^3$. Рабочий диапазон изменения зазора Z определяется из условия равенства площадей кольцевого зазора между измерительным соплом и заслонкой и поперечного сечения измерительного сопла и составляет при диаметре сопла.

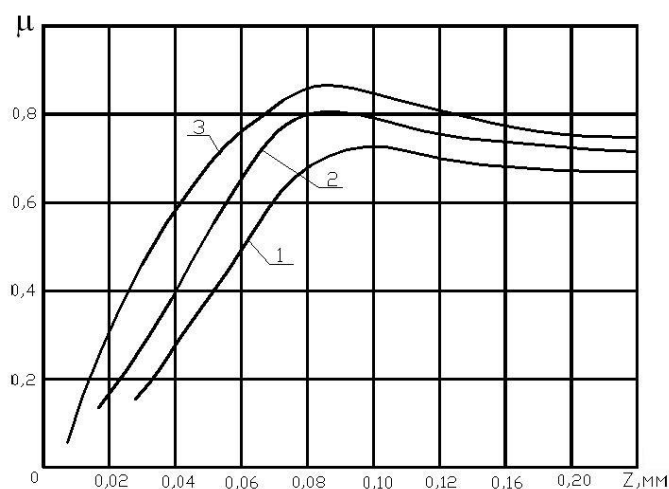


Рисунок 4 – Зависимость коэффициента расхода μ от зазора Z :
1 – при $H = 0,1$ МПа; 2 – при $H = 0,15$ МПа; 3 – при $H = 0,2$ МПа

Методика проведения исследований включает расчёт статических расходных характеристик измерительной ветви при рабочих давлениях воздуха и экспериментальное определение расходных характеристик с помощью термо-пневмометрического расходомера. Для этого с помощью настроечного винта 5 (рисунок 3) по индикатору 7 устанавливается определённое значение зазоров Z между соплом и заслонкой и снимаются показания расходомера 8. Рабочее давление воздуха регулируется блоком подготовки воздуха 9. Расчётные и экспериментальные расходные характеристики показаны на рисунке 5.

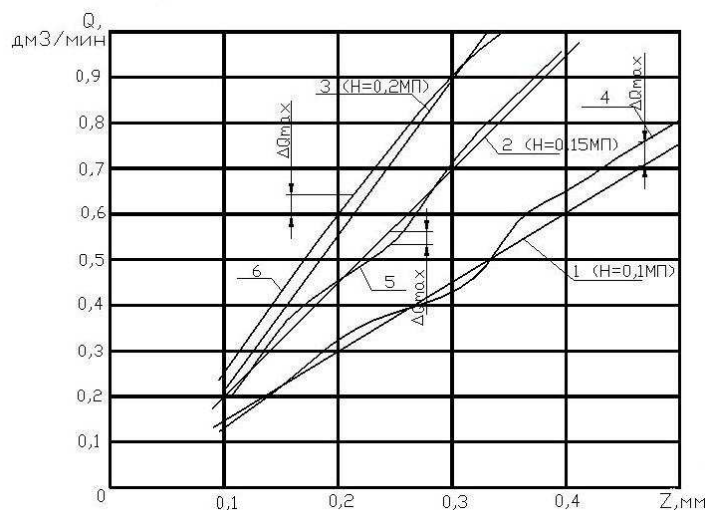


Рисунок 5 – Расходные характеристики: 1,2,3 – расчетные характеристики;
4,5,6 – экспериментальные характеристики

Погрешность пневматического измерительного прибора на базе термо-пневмометрического расходомера определялась как наибольшая разность значений $Q_{\text{расч.}}$ и $Q_{\text{экс.}}$ во всём диапазоне зазоров $Z = 0 \dots 0,5$ мм. Значение относительной погрешности составляет $\delta = \frac{\Delta Q}{Q_{\text{расч.}}} \cdot 100 = 7,8\%$ при $H = 0,1$ МПа;

$\delta = 3,8\%$ при $H = 0,15$ МПа; $\delta = 2,8\%$ при $H = 0,2$ МПа.

Для исключения погрешности, связанной с определением коэффициентов расхода воздуха и целесообразно в дальнейшем провести исследование характеристик термо-пневмометрического расходомера по образцовому расходомеру, включенному последовательно в измерительную ветвь.

Библиографический список

1. Педь Е.И. Активный контроль в машиностроении / Е.А. Педь. — М.: Машиностроение, 1982. — 192 с.
2. Кремлёвский П.П. Измерение расхода и количества жидкости, пара и газа / П.П. Кремлёвский. — М.: Изд-во стандартов, 1980. — 192 с.

Поступила в редакцию 23.07.2007 г.