

УДК 681.121.833

Термоанемометрический расходомер газа для аналитических измерений. Д а в ы д о в Н. А., Ф е й г и н о в М. С., Ш е й н и н Д. М. — В кн.: Приборы для научных исследований и автоматизации эксперимента. Л., «Наука», 1982, с. 135—139.

Рассмотрены вопросы измерения расхода газа на основе использования терморезисторов, находящихся в потоке, устройство термоанемометрического расходомера, разработанного в СЖБ аналитического приборостроения, и особенности его характеристик при стационарных и пульсирующих потоках. Лит. — 9 назв., ил. — 4.

ТЕРМОАНЕМОМЕТРИЧЕСКИЙ РАСХОДОМЕР ГАЗА ДЛЯ АНАЛИТИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

Принцип действия термоанемометрических расходомеров основан на зависимости между количеством тепла, теряемым непрерывно нагреваемым телом, помещенным в поток, и массовым расходом вещества [1].

Представления о термоанемометрах связаны главным образом с первичными преобразователями, выполненными в виде металлических нитей и пленок, терморпар или полупроводниковых миниатюрных терморезисторов, используемых в различных измерительных схемах для определения направления и скоростей потока газов. Общий недостаток этих преобразователей — небольшая механическая прочность и нестабильность характеристик [2].

В поисках путей создания приборов, пригодных для аналитических измерений, имеющих высокую воспроизводимость показаний в течение длительного времени, в СКБ аналитического приборостроения НТО АН СССР проведены работы по созданию термоанемометрического расходомера на основе чувствительных элементов, используемых в тепловых газоаналитических приборах [3].

Этот чувствительный элемент представляет собой спираль из платиновой проволоки, вплавленную в тонкостенный стеклянный капилляр. Спираль с металлическими выводами образует терморезистор.

Остеклованные терморезисторы испытывались в течение многих лет в серийных и экспериментальных газоаналитических приборах, имеют необходимую механическую прочность и стабильность характеристик.

На основе проведенных исследований, учитывающих широкий круг технических требований, предъявляемых к расходомерам газа для аналитических измерений, был разработан первичный преобразователь [4], схематическое устройство которого представлено на рис. 1, где показаны два терморезистора, размещенных в сообщающихся между собой каналах металлического блока. Каналы выбраны такими, чтобы при отсутствии расхода газа теплоотдача от терморезисторов происходила преимущественно за счет теплопроводности газовой среды.

Измеряемый поток газа поступает в прибор направленным перпендикулярно к терморезистору (поперечный обдув) и затем направляется вдоль него (продольный обдув). Поступление газа из потока в ячейку второго чувствительного элемента происходит благодаря диффузии.

Схема обдува позволяет наиболее эффективно использовать особенности конструкции терморезистора с целью получения большей чувствительности прибора. Большая чувствительность достигается омытием всей поверхности терморезистора с возможным использованием поперечного обдува [5].

Чувствительные элементы — терморезисторы — являются смежными плечами R_1 и R_2 мостовой схемы (рис. 2), напряжение ΔU в измерительной диагонали которой является функцией величин электрических сопро-

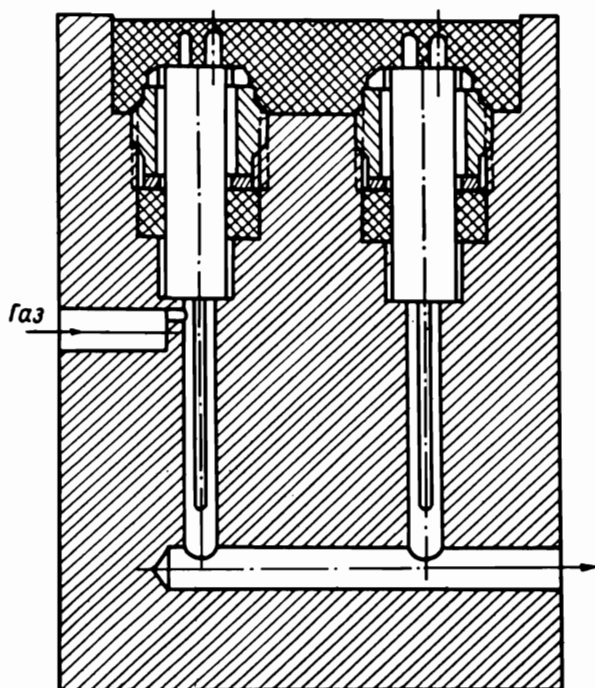


Рис. 1. Схематическое устройство первичного преобразователя термоанемометрического расходомера.

тивлений терморезисторов. Если $R_3 = R_4$ — постоянные резисторы, то

$$\Delta U = \frac{i(R_1 - R_2)}{2},$$

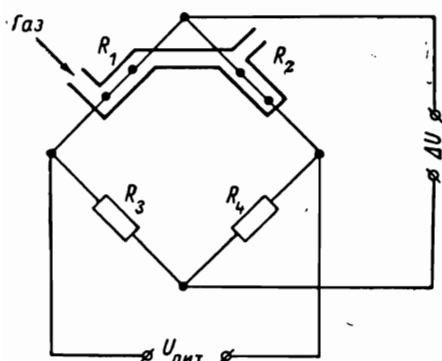


Рис. 2. Принципиальная электрическая схема первичного преобразователя термоанемометрического расходомера.

где i — сила тока, нагревающего чувствительные элементы R_1 и R_2 .

Соответствующие ячейки выполнены так, что при отсутствии потока газа в широких интервалах температуры, давления анализируемого газа и изменения состава измеряемого потока $R_1 = R_2$.

Отверстие для поступления газа благодаря выбранным отношениям конструктивных размеров практически не нарушает идентичности измерительных ячеек, включающих элементы R_1 и R_2 .

Поэтому можно считать, что

$$\Delta U = \frac{i\Delta R}{2},$$

где ΔR — изменение электрического сопротивления R_1 , обусловленное потоком газа.

Учитывая, что $\Delta R = R_0 \alpha_t \Delta t$,

$$\Delta U = \frac{i R_0 \alpha_t \Delta t}{2},$$

где R_0 — сопротивление чувствительного элемента при 0°C ; α_t — температурный коэффициент сопротивления платины; Δt — величина изменения температуры элемента, вызванного потоком газа.

Используя уравнение теплового баланса для нагретого терморезистора, помещенного в поток газа [6], и пренебрегая лучистым теплообменом, можно показать, что

$$\Delta U = \frac{1}{4} i R_0 \alpha_t (t_s - t_o) \frac{2\alpha}{2k + \alpha},$$

где t_s , t_o — средние значения температур чувствительного элемента R_1 и окружающего его газа при отсутствии потока; α — коэффициент тепло-

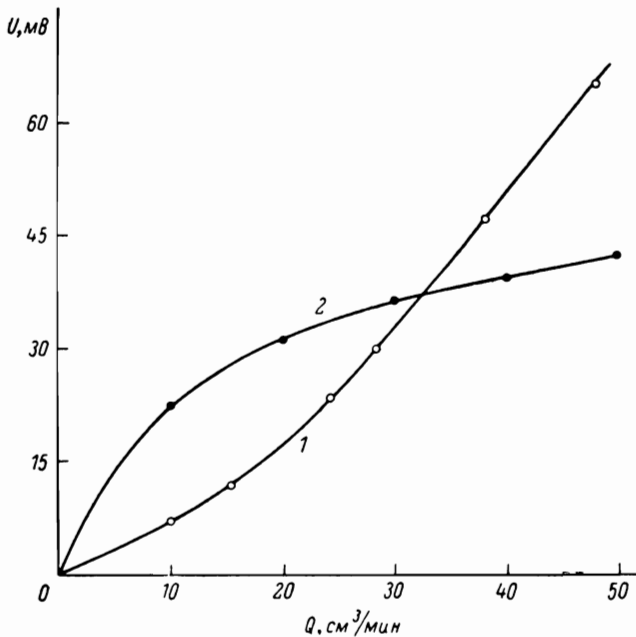


Рис. 3. Зависимость напряжения в измерительной диагонали моста первичного преобразователя от расхода воздуха.

1 — экспериментальные данные; 2 — расчетные данные.

обмена терморезистора в условиях вынужденной конвекции, обусловленной потоком газа; k — коэффициент теплопередачи терморезистора при отсутствии потока (обусловлен свободной конвекцией и теплопроводностью) [7].

Проблема определения коэффициента α в условиях потока газа через канал с нагретым терморезистором конечных размеров относится к недостаточно изученным. Трудности ее решения для рассматриваемого расходомера усугубляются сложностью обтекания чувствительного элемента. Имеющиеся аналитические выражения для определения α [8], используемые для расчета на участках стабилизации скоростного и температурных полей, дают правильное представление, как оказалось, только о порядке величины чувствительности прибора при расходах до $50 \text{ см}^3/\text{мин}$ ($\text{Re} < 25$). На рис. 3 приведены графики зависимости напряжения в измерительной диагонали моста первичного преобразователя от расхода воздуха на основе экспериментальных и расчетных данных.

Для расчета найдена величина α из критериального уравнения [8]

$$Nu = 0.15 Re^{0.33} Pr^{0.43} Gr^{0.1} \left(\frac{Pr}{Pr_n} \right)^{0.25},$$

где Nu , Re , Gr , Pr — соответственно критерии Нуссельта, Рейнольдса, Грасгофа и Прандтля при средней температуре газа в канале; индексом «п» обозначен Pr при температуре поверхности чувствительного элемента.

Величина k найдена из уравнения

$$k = \frac{2\lambda}{D^2 \ln \frac{d}{D}},$$

где λ — теплопроводность газа; d , D — диаметры чувствительного элемента и канала.

В случае измерения переменных (пульсирующих) расходов газа сказывается тепловая инерция чувствительных элементов. При этом возникает задача, аналогичные тем, которые имеют место при определении связи между истинной и измеренной температурами при произвольном изменении температуры среды [9].

Динамические характеристики рассматриваемого первичного преобразователя расхода обусловлены переходным экспоненциальным процессом. Для этого случая постоянная времени чувствительного элемента, размещенного в канале, рассчитанная по формуле [6]

$$T = \frac{mc(t_s - t_c)}{i^2 R_0},$$

учитывая, что $t_s = 160^\circ \text{C}$, $t_c = 90^\circ \text{C}$, $i = 100 \text{ мА}$, $R_0 = 42 \text{ Ом}$, масса стекла $m = 0.016 \text{ г}$, удельная теплоемкость стекла $c = 0.62 \text{ кДж/кг} \cdot \text{град}$, пренебрегая теплоемкостью платины, оказывается равной $\sim 2 \text{ с}$.

Такая постоянная времени чувствительного элемента не препятствует использованию расходомера для исследования многих различных переменных потоков, например для определения массы газа, вдыхаемого и выдыхаемого человеком в определенные промежутки времени. Введение необходимых поправок, постоянных для данной конструкции прибора и скоростей потока, обеспечивает, как показал опыт, получение усредненных величин с относительной погрешностью, не превышающей нескольких процентов.

На основе результатов проведенных в СКБ аналитического приборостроения исследований термоанемометрических первичных преобразователей расхода с остеклованными чувствительными элементами можно предопределить следующие возможные основные технические характеристики приборов:

1) нижний предел диапазона показаний расхода различных газов — от 1—2 см³/мин в пересчете на объем газа, приведенный к атмосферному давлению;

2) воспроизводимость показаний расхода — не хуже 0.1% от измеряемой величины;

3) минимальное давление измеряемого газа — от 1 кПа (5—10 мм рт. ст.);

4) перепад давления на первичном преобразователе при расходе воздуха 50 см³/мин и атмосферном давлении 10—15 Па (1—1.5 мм вод. ст.);

5) показания прибора не зависят от его положения в пространстве и от величины ускорения силы тяжести;

6) прибор пригоден для измерения расходов любых газов, химически не взаимодействующих со стеклом и металлом;

7) термоанемометрический преобразователь расхода может выполняться в виде автономного малогабаритного прибора и монтироваться в трубе для парциальных измерений.

В процессе проведенных исследований давление газовой смеси изменялось до ~ 300 кПа (3 кгс/см^2), расход газа — до 400 л/мин.

Для использования в лабораторной практике в СКБ аналитического приборостроения разработан термоанемометрический измеритель расхода, внешний вид которого показан на рис. 4. В этом приборе предусмотрено четыре предела показаний расхода воздуха: 0—50; 0—200; 0—500; 0—1000 $\text{см}^3/\text{мин}$, приведенных к атмосферному давлению. В приборе пре-

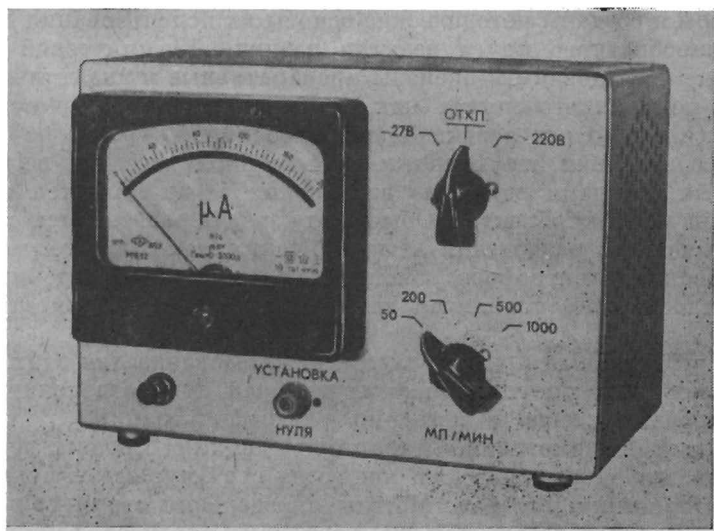


Рис. 4. Внешний вид лабораторного термоанемометрического измерителя расхода.

дусмотрена возможность индивидуальной градуировки в зависимости от рода газа. Питание осуществляется от сети переменного тока напряжением 220 В или постоянного тока 27 В. В качестве отсчетного устройства использован микроамперметр М1692 класса 1,0.

Воспроизводимость показаний прибора определяется классом точности отсчетного устройства, включенного в измерительную диагональ моста первичного преобразователя. Простая электрическая измерительная схема прибора обеспечивает его высокую надежность.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 15528—70. Приборы для измерения расхода и количества жидкости, газа и пара. Термины и определения. М., 1970.
2. Коротков П. А., Беляев Д. В., Азимов Р. К. Тепловые расходомеры. Л., 1969.
3. Павленко В. А. Газоанализаторы. М.—Л., 1965.
4. Вайнер Ю. И., Ершов Б. Б., Мочалкин А. И., Павленко В. А., Шейнин Д. М., Шинкоренко А. А., Шутов М. Д. Датчик термоанемометрического измерителя расхода. Авт. свид. № 467231. — Бюл. изобр., 1975, № 14.
5. Исаченко В. П., Осипова В. А., Сукомел А. С. Теплопередача. М., 1969.
6. Кремлевский П. П. Расходомеры и счетчики количества. Л., 1975.
7. Дульнев Г. А., Семяшкин Э. М. Теплообмен в радиоэлектронных аппаратах. Л., 1968.
8. Михеев М. А., Михеева И. М. Краткий курс теплопередачи. М.—Л., 1961.
9. Ярышев Н. А. Теоретические основы измерения нестационарных температур. Л., 1967.