

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

М. М. ФАЙНБЕРГ

ИЗМЕРЕНИЕ ПЕРЕПАДОВ ДАВЛЕНИЯ МЕТОДОМ ТЕПЛОВОЙ КОМПЕНСАЦИИ

(Представлено академиком С. И. Вольфковичем 6 VIII 1949)

Принцип измерения. Разработанный метод измерения перепадов давления основан на применении газов вместо манометрической жидкости. Это принципиально допускает увеличение чувствительности приборов на три порядка по сравнению с жидкостными манометрами.

Высота столба газа в манометре сохраняется постоянной, а для создания нужных разностей давления меняется вес газового столба путем изменения его температуры. Установившаяся компенсация измеряемого перепада определяется нуль-анемометром 3 (рис. 1), с помощью которого фиксируется возникновение потока газа в линии, соединяющей измеряемую среду с компенсационной трубкой, и производится управление нагревом газа в последней. Перепад давления определяется либо путем эмпирической градуировки устройства по силе тока в нагревательной обмотке 4 компенсационной трубки, либо, что более целесообразно, расчетным методом по разности температур в двух коленах компенсационной трубки, замеряемых термометрами сопротивления 5.

В последнем случае перепад давления может быть вычислен по формуле:

$$p = H\gamma_0 \frac{273 \Delta T}{T_1 T_2} \quad (1)$$

При измерении разности температур ΔT с точностью $\pm 0,1^\circ$, температуре газа $T = 293^\circ \text{K}$ и высоте компенсационной трубки $H = 100 \text{ мм}$ абсолютная погрешность определения перепада составит

$$p = 0,1 \cdot 1,293 \frac{273 \cdot 0,1}{293 \cdot 293,1} = 41 \cdot 10^{-6} \text{ мм водн. ст. или } 0,0041 \text{ мб.}$$

Из уравнения (1) следует, что погрешность может быть уменьшена путем увеличения точности измерения ΔT или уменьшения эффективной высоты компенсационной трубки H .

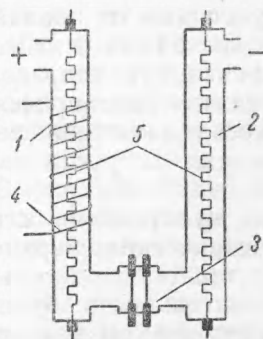


Рис. 1

Предел чувствительности прибора устанавливается чувствительностью нуль-анемометра, т. е. минимальным перепадом давления, управляющим нагревом компенсационной трубки.

Нуль-анемометр. Два электрических сопротивления, нагреваемые током, являющиеся плечами моста и расположенные одно за другим по оси движения газа, могут служить термоанемометром, фиксирующим величину и направление газового потока. Основным недостатком термоанемометров — зависимость показаний от физических свойств и параметров состояния газа — не имеет значения, так как прибор работает как нуль-инструмент и расхождения показаний при небалансе моста не влияют на работу схемы.

На рис. 2 изображены три основных конструктивных варианта нуль-анемометра: *а* — термоанемометр с двумя нагретыми платиновыми

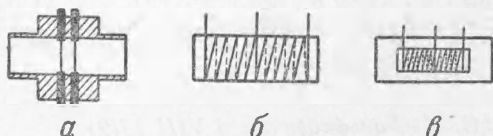


Рис. 2

нитью, расположенными на близком расстоянии друг от друга перпендикулярно направлению потока газа; *б* — разделенная на две симметрических секции нагревательная обмотка на внешней поверхности тонкостенной стек-

лянной или фарфоровой трубки, внутри которой проходит поток газа; *в* — такая же нагревательная обмотка на каркасе, помещенная внутри трубки, в которой наблюдается движение газа.

Для первоначальных работ была применена конструкция нуль-анемометра с двумя нитями, обладающая наименьшей инерцией по сравнению с другими вариантами. В этой конструкции первая по ходу газа нить охлаждается, вторая нагревается теплом, уносимым от первой нити, вследствие чего прибор, включенный в диагональ моста постоянного тока, фиксирует направление газового потока. После достижения определенной скорости влияние переноса тепла уменьшается, а при дальнейшем увеличении скорости вторая нить также начинает охлаждаться (рис. 3).

Чувствительность прибора определяется геометрическими параметрами системы, теплоемкостью и теплопроводностью газа и накалом нити. Чувствительность будет возрастать с увеличением температуры накала, улучшением условий теплопередачи и уменьшаться с увеличением массы и теплоемкости нити.

Мы применяли платиновую проволоку диаметром 0,03 мм; для проволоки этого диаметра экспериментально установлены оптимальные геометрические параметры прибора и разработана конструкция для серийного изготовления.

При нагреве нитей до 300° прибор потребляет мощность 0,55 вт, и минимальное давление, вызывающее поток воздуха, при котором наблюдалось отклонение гальванометра в диагонали моста, составляло 0,0008 мб ($8 \cdot 10^{-6}$ мм водн. столба), минимальный фиксируемый поток воздуха был 3 мл/час.

Дальнейшее повышение чувствительности нуль-анемометра может быть достигнуто уменьшением диаметра нити.

Вариант *б* нуль-анемометра имеет преимущества при работе с загрязненными и агрессивными средами и является более простым для исполнения. Недостатком его является значительно большая инерция.

Компенсационная трубка. В компенсационной трубке

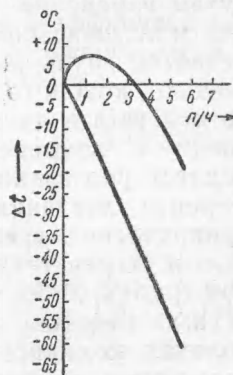


Рис. 3

создается давление, разрежение или перепад давления путем нагрева находящегося в ней столба газа до соответствующей температуры.

Трубка, компенсирующая перепад давления, представляет обмотную или опрокинутую U-образную трубку, с нагревательной обмоткой в первом случае — в положительном колене, во втором — в отрицательном. В компенсационной трубке производится измерения силы тока, или мощности, потребляемой нагревательной обмоткой, или разности температур в двух коленах компенсационной трубки. Для точных измерений необходимо определять температуры, средние по сечению и высоте компенсационной трубки.

Устранение температурного градиента по сечению практически достигается наружным обогревом трубки, а среднее по высоте значение обеспечивается равномерным расположением обмотки термометра сопротивления по всей высоте компенсационной трубки.

Микроманостат. Разновидностью компенсационной трубки является разработанный нами микроманостат. Дело в том, что при проверке метода не оказалось подходящих эталонов, так как чувствительность и точность существующих приборов (например миниметра „Аскания“) оказались совершенно недостаточными. Поэтому нами были разработаны микроманостаты, основанные также на принципе

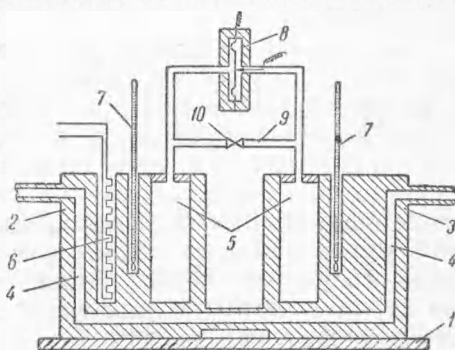


Рис 4

тепловой компенсации, где создавались требуемые давления, величина которых определялась расчетным путем из уравнения (1).

На рис. 4 приведена схема одной из конструкций микроманостата с автоматической установкой перепада давления с помощью дифференциального газового терморегулятора. Микроманостат состоит из двух металлических блоков 2 и 3, помещенных на основании 1 из теплоизолирующего материала. В каждом блоке имеются гнезда для стеклянных термометров 7 и термобаллонов 5 дифференциального газового термометра.

Термобаллоны связаны краном 10 и присоединены к контактному дифференциальному манометру 8. В блоке 2 помещены электронные нагреватели 6. Включая последние при открытом кране 10, поднимают температуру блока 2 до достижения расчетной ΔT . Затем кран 10 перекрывается и дифференциальный терморегулятор в дальнейшем автоматически поддерживает заданную разность температур. В блоках 2 и 3 высверлены сообщающиеся друг с другом вертикальные трубки 4, в которых создается расчетный перепад давления.

Экспериментальная проверка погрешности измерения. Измерение производилось присоединением описанного микроманостата к компенсационной трубке измерительного устройства.

Результаты представлены в табл. 1, где ΔT_1 и Δp_1 — разность температур и перепад давления в блоках микроманостата, ΔT_2 и Δp_2 — то же в измерительном устройстве, f_a и f_r — соответственно абсолютная и относительная погрешности измерения.

Максимальная погрешность при сравнительно больших перепадах составляла 0,043 микробара. Последующие работы показали, что точность измерения может быть значительно выше. Например, при измерении гидродинамического перепада на прямом участке трубки при неизменной скорости воздуха в течение 3 дней получены сле-

Таблица 1

ΔT_1 °C	Δp_1 μ б	ΔT_2 °C	Δp_2 μ б	f_a μ б	f_r %
11,7	0,585	18,5	0,594	+0,009	+1,54
13,05	0,653	20,4	0,655	+0,002	+0,31
27,15	1,385	41,8	1,342	-0,043	-3,10
28,00	1,400	43,2	1,388	-0,012	-0,86

дующие результаты: 0,00602, 0,00587 0,00588 μ б. Максимальное расхождение составило 0,00015 μ б. Это соответствует относительной погрешности 2,55%.

Автоматическое измерение. Измерение перепадов давления путем тепловой компенсации может вестись автоматически. Импульсом, воздействующим на любую схему автоматического компенсатора, является небаланс в мостике, плечами которого являются нити или секции обмотки нуль-анемометра.

Было проверено несколько схем автоматической компенсации с пропорциональным и позиционным регулированием. Наиболее целесообразным оказалось применение электронного реле в схеме позиционного регулирования нагрева обмотки компенсационной трубки и регистрация разности температур в коленах последней автоматическим равновесным мостом.

Применения метода. С увеличением чувствительности измерения перепада давления на несколько порядков создается ряд новых возможностей в измерительной технике и в технике физического эксперимента.

Некоторые из этих возможностей были нами использованы в проведенных до сих пор работах. К ним относятся:

1. Измерение скоростей газовых потоков по потере напора на коротком прямолинейном участке без его дросселирования.

2. Измерение гидродинамических сопротивлений в газопроводах при малых скоростях потоков.

3. Измерение плотности газов путем нагрева столба более тяжелого (например анализируемого) газа до температуры, при которой происходит выравнивание с плотностью более легкого сравнительного газа. Разность приведенных плотностей при этом:

$$\Delta\gamma = \gamma_0 \frac{\Delta T}{T},$$

где γ_0 — приведенная плотность сравнительного газа.

Разработанный на этом принципе автоматический прибор измеряет плотность газов с точностью 0,1%.

4. Измерение содержания кислорода путем измерения перепада давления в зоне с переменными магнитным и температурным полями.

В отличие от существующих динамических методов, это позволяет определять содержание кислорода независимо от состава остальных компонентов газовой смеси.

Поступило
4 VIII 1949