

**УДК 543.271.08**

**О некоторых критериях идентичности измерительных ячеек тепловых газоаналитических приборов.**  
**Шейнин Д. М.** — В кн.: Приборы для научных исследований и автоматизации эксперимента.  
Л., «Наука», 1982, с. 75—78.

Рассматривается ряд критериев для оценки идентичности измерительных ячеек тепловых газоаналитических приборов, являющейся одним из важнейших факторов, обуславливающих точность приборов. Дается критический анализ этих критериев. Рассматриваются вопросы практического применения различных способов проверки идентичности измерительных ячеек тепловых газоаналитических приборов. Лит. — 4 назв.

## О НЕКОТОРЫХ КРИТЕРИЯХ ИДЕНТИЧНОСТИ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ЯЧЕЕК ТЕПЛОВЫХ ГАЗОАНАЛИТИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ

Тепловые газоаналитические приборы (приборы, основанные на зависимости теплопередачи от различных физических параметров газа), чувствительными элементами в которых являются терморезисторы, нагреваемые проходящим по ним электрическим током, выполнены преимущественно по дифференциальной измерительной схеме электрического моста или по схеме, состоящей из дифференциальных чувствительных элементов:

К числу тепловых приборов, выполненных по дифференциальной схеме, относятся газоанализаторы по теплопроводности, термомагнитные газоанализаторы термоанемометрические расходомеры и другие приборы [1].

В мостовую схему газоаналитического теплового прибора включены по крайней мере в два смежных плеча  $R_1$  и  $R_2$  терморезисторы (чувствительные элементы). При этом один чувствительный элемент является рабочим, второй — сравнительным. В случае равенства других плеч моста, т. е.  $R_3=R_4$ , напряжение в измерительной диагонали моста, являющееся

функцией от измеряемого параметра,  $\Delta U = \frac{R_1 - R_2}{2} i$ , где  $i$  — сила электрического тока, нагревающего чувствительные элементы.

Рабочее плечо моста сообщается с анализируемой средой. Сравнительное плечо должно реагировать одинаково с рабочим на все факторы, кроме тех, которые обуславливают измеряемый эффект. Для этого необходимо, чтобы рабочий чувствительный элемент и соответствующий сравнительный элемент находились в одинаковых условиях теплопередачи, что в свою очередь требует идентичности измерительных ячеек по конструкции, размерам, материалам и соответствующего пространственного расположения.

При идентичности смежных измерительных ячеек дифференциальной схемы можно рассчитывать, что в случае заполнения их одной газовой средой, т. е. в условиях, соответствующих нулю прибора, по крайней мере влияние различных факторов (изменения температуры, давления, тока питания и др.) на показания будет минимальным.

На практике степень идентичности ячеек определяется не только реальными допусками на точность их изготовления, но и различиями конструкций, необходимыми для измерения. Например, в термомагнитных газоанализаторах рабочая ячейка в отличие от сравнительной содержит магниты, создающие поле, влияющее на теплопередачу даже при отсутствии измеряемого компонента; во многих газоанализаторах по теплопроводности физический параметр анализируемого проточного газа сравнивается с соответствующим параметром газа, находящегося в герметичной ячейке; в термоанемометрических расходомерах рабочая ячейка в отличие от сравнительной имеет на боковой стенке отверстие для поступления газа и т. д.

Все это обуславливает на стадии изготовления тепловых приборов необходимость подбора чувствительных элементов и их относительного расположения в соответствующих ячейках с тем, чтобы обеспечить одинаковое или соответствующее влияние дестабилизирующих факторов на изменение теплопередачи. К числу дестабилизирующих факторов могут быть отнесены изменения давления, температуры газа и окружающего воздуха, тока питания, расхода газа, магнитного поля, ускорения силы тяжести и др. в зависимости от принципа действия прибора и предъявляемых к нему требований.

В процессе изготовления тепловых приборов нередко приходится подбирать не только отдельные идентичные ячейки, но и идентичные между собой группы ячеек. В частности, это приходится делать при изготовлении приборов с логометрическими схемами, а также некоторых приборов со сложными дифференциальными схемами.

Степень идентичности измерительных ячеек тепловых газоаналитических приборов в значительной мере предопределяет точность приборов, и ее проверка является неизбежной технологической операцией. Критерием идентичности может быть величина изменения напряжения на выходе дифференциальной схемы при одновременном изменении в проверяемых ячейках какого-либо фактора, влияющего на теплопередачу.

Рассматривая в общем случае теплопередачу в измерительной ячейке, можно воспользоваться следующим аппроксимирующим уравнением, отражающим процессы, происходящие в цилиндрической ячейке [2]:

$$H = A\lambda \left( \frac{C_p \rho}{\nu \lambda} \right)^m + B\lambda(t_2 - t_1) + D,$$

где  $H$  — теплопередача от единицы длины терморезистора в единицу времени;  $\lambda$ ,  $\rho$ ,  $\nu$  — теплопроводность, плотность и вязкость газовой смеси соответственно;  $C_p$  — теплоемкость при постоянном давлении;  $t_2 - t_1$  — разность температур терморезистора и смеси газов;  $A$ ,  $B$  — постоянные, зависящие от размеров ячейки;  $D$  — постоянная, учитывающая потери на

излучение и концевое охлаждение;  $m$  — постоянная, учитывающая геометрию ячейки (коэффициент формы), может изменяться в пределах от нуля, когда теплообмен обусловлен явлениями теплопроводности, до величины  $m=1/3$ , соответствующей вихревому движению газа [3].

Из этого уравнения видно, что на изменение теплопередачи влияют и давление, и температура терморезистора или окружающего воздуха, и свойства газовой среды (вязкость, теплопроводность). В принципе любой способ воздействия на теплопередачу может быть использован для выявления идентичности измерительных ячеек, однако эффективность разных способов различна.

Наиболее широко для проверки идентичности измерительных ячеек тепловых газоаналитических приборов используется способ, предусматривающий сравнение величин напряжения на выходе дифференциальной схемы при различных напряжениях питания схемы, обуславливающих различную теплопередачу в ячейках вследствие разной температуры  $t_2$  чувствительных элементов. Очевидно, что при этом величина измеряемого параметра должна быть ниже порогового значения. Этот способ оказывается достаточно эффективным для газоаналитических приборов невысокой точности или для приборов, предназначенных для измерения в широких диапазонах, так как чувствительность его ограничена (уменьшение температуры  $t_2$ , осуществляемое снижением напряжения, приводит к потере чувствительности схемы, а увеличению  $t_2$  препятствует ограниченная стойкость схемы и ее элементов к соответствующим воздействиям).

Рассмотрим возможность имитации наиболее существенного для любого теплового прибора дестабилизирующего фактора, каким является температура окружающей среды. К промышленным газоаналитическим приборам предъявляется требование, чтобы они нормально работали при температуре 5—50° С [4]. Повышение температуры окружающей среды на 30° С приводит к соответствующему нагреванию прибора, включая чувствительные элементы и анализируемый газ.

Из приведенного выше уравнения можно заметить важнейшее значение теплопроводности  $\lambda$  газовой среды для величины теплопередачи. Изменение температуры существенно влияет на  $\lambda$ . Так, например, [1] температурный коэффициент теплопроводности наиболее распространенных газов (водород, кислород, азот, двуокись углерода, метан) лежит в пределах  $(27-48) \cdot 10^{-4}$  град<sup>-1</sup>. Следовательно, нагревание этих газов на 30° С изменяет величину  $\lambda$  на 8—15%.

Для того чтобы при неизменной температуре окружающей среды нагреть газ в измерительной ячейке газоаналитического прибора в среднем на 30°, необходимо, очевидно, температуру  $t_2$  чувствительного элемента повысить ориентировочно на 60°, что для тепловых приборов с высокой чувствительностью чаще всего недопустимо, так как рабочая температура  $t_2$  у этих приборов максимальна и дальнейшее ее повышение приведет к разрушению чувствительных элементов и, следовательно, к нарушению их работоспособности.

Существенным недостатком является также и то, что при аномальном нагреве чувствительных элементов относительно большими токами весьма сложно учесть погрешность, обусловленную изменением температуры других элементов схемы, например токоподводов.

Наиболее эффективным представляется способ проверки идентичности измерительных ячеек тепловых приборов [4], предусматривающий сравнение сигналов, полученных на выходе дифференциальной схемы при замене в сопоставляемых ячейках одного газа другим, отличающимся от первого по теплопроводности, при значении измеряемого параметра ниже порогового значения. Критерием идентичности измерительных ячеек в этом случае является величина изменения сигнала на выходе схемы.

Приготовление газовых смесей различной теплопроводности с целью имитации величины заданного температурного воздействия, как правило,

не вызывает затруднений. Так, например, теплопроводность азота отличается от теплопроводности смеси, состоящей из 5 % по объему гелия и 95 % по объему азота, приблизительно на 25 %. Это в 2—3 раза превышает различие по теплопроводности, обусловленное нагреванием газа от 20 до 50° С. Следует заметить, что азот и смесь гелия с азотом успешно используются для проверки идентичности измерительных ячеек термомагнитных газоанализаторов и других тепловых приборов, предопределяя величину возможных изменений показаний при изменении температуры окружающей среды. При этом имеется в виду, что все элементы конструкции проходят предварительно старение воздействием температуры, что исключает необратимые температурные изменения показаний.

Использование газовых смесей различной теплопроводности для проверки идентичности измерительных ячеек во многих случаях обуславливает существенно меньший объем температурных испытаний при изготовлении газоаналитических приборов, чем использование других способов проверки.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Павленко В. А. Газоанализаторы. М.—Л., 1965.
2. Strong J. P., Instruments and Control Systems, 1962, v. 35, N 11.
3. Дульнев Г. Н., Семяшкин Э. М. Теплообмен в радиоэлектронных аппаратах. Л., 1968.
4. Шейнин Д. М. Способ проверки сбалансированности терморезисторных анализаторов. Авт. свид. № 765716. — Бюл. изобр., 1980, № 5.