

АКУСТИЧЕСКИЙ ГАЗОВЫЙ АНАЛИЗАТОР С ДВУМЯ ТРУБКАМИ

О. И. Кучмин, Л. В. Малкова, Л. А. Соколова

Описывается двухтрубный газоанализатор, в основе действия которого лежит метод настройки на совпадение (или противоположность) фаз колебаний излучателя звука и звукоприемника в каждой трубке. Искомая концентрация находится по величине разности частот настройки трубок с эталонным газом и испытуемой газовой смесью.

При распространении звука вдоль трубки, заполненной газом, от излучателя до приемника, возникает разность фаз колебаний этих преобразователей, которая, как известно, зависит от состава газа. На измерении этой разности фаз основано действие фазометрических газоанализаторов [1—4].

Однако эта же разность фаз зависит и от частоты звука, и всегда можно подобрать такую величину частоты, при которой излучатель и звукоприемник будут совершать колебания либо в одинаковых фазах, либо в противофазе. Легко показать, что в этом случае частота («частота настройки») является функцией концентраций компонентов газовой смеси, наполняющей трубку. На определении частоты настройки основано действие фазонастроечного газоанализатора [5].

Измерительные операции сводятся к нахождению частоты настройки f по шкале звукового генератора, а также температуры T газа при помощи мостового термометра. По значениям f и T графически определяется концентрация кислорода в техническом азоте. Для упрощения измерительных операций и повышения надежности работы установки целесообразно перейти от однострубной системы к двухтрубной — с сохранением прежнего принципа фазовой настройки.

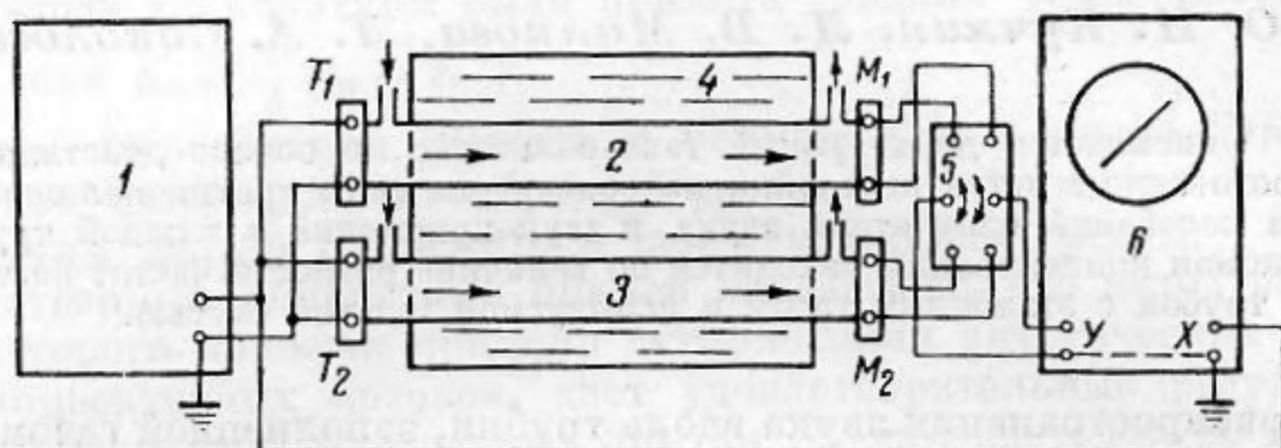
Схема описываемого двухтрубного газоанализатора изображена на фигуре, где 1 — звуковой генератор, 2 и 3 — дюралевые трубки (2 — со смесью, 3 — с эталонным газом-воздухом) длиной около 30 см, диаметром около 5 см, снабженные измерителями звука T_1 и T_2 и звукоприемниками M_1 и M_2 , 4 — кожух с водой, служащий для уравнивания температур газов в трубках, 5 — переключатель для поочередной подачи напряжения со звукоприемником на осциллоскоп 6, служащий индикатором фазовой настройки. Напряжение, подаваемое на излучители звука, подается одновременно на горизонтальную пару отклоняющих пластин осциллоскопа; напряжение со звукоприемников — на вертикальную пару отклоняющих пластин. При этом луч описывает эллипс, который в момент фазовой настройки обращается в отрезок прямой. Такая настройка производится поочередно для каждой трубки. Отсчета частот настройки не требуется, так как наличие у генератора (нами использовался генератор типа ЗГ-2а) двух лимбов точной установки частоты дает возможность сразу отсчитать разность Δf частот настройки трубок. Величина Δf , в свою очередь, линейно и однозначно (в принятых на производстве пределах температур) зависит от концентрации ξ определяемого компонента в бинарной (или «приблизительно бинарной») системе. Таким образом, по величине Δf сразу же графически определяется концентрация.

Показать, что величина Δf линейно связана с ξ , можно следующим образом. Частота настройки f трубки с испытуемой смесью выражена сле-

дующей формулой [5]:

$$f = \frac{\left(n - \frac{\psi}{2\pi}\right) \left(1 - \frac{\chi}{r}\right)}{l_0 (1 + \alpha t^0)} \sqrt{\frac{\gamma}{\mu} RT}, \quad (1)$$

где n — число звуковых волн, укладываемых между излучателем и приемником, χ — коэффициент, зависящий от вязкости газа и частоты, r — радиус трубки, l_0 — ее длина при 0° , α — коэффициент теплового



расширения материала трубки, ψ — небольшой дополнительный сдвиг фаз, вносимый излучателем, γ — отношение теплоемкостей газовой смеси, R — универсальная газовая постоянная, μ — средний молекулярный вес смеси, T — абсолютная температура газа.

Для трубки с эталонным газом частота настройки f запишется аналогично:

$$f' = \frac{\left(n - \frac{\psi}{2\pi}\right) \left(1 - \frac{\chi'}{r}\right)}{l_0 (1 + \alpha t^0)} \sqrt{\frac{\gamma'}{\mu'} RT}, \quad (2)$$

причем величины n , ψ , r , T и t^0 можно считать у обеих трубок одинаковыми по конструктивным соображениям. Величины, отмеченные штрихом в формуле (2), имеют применительно к эталонному газу тот же смысл, что и в формуле (1).

Выбор воздуха в качестве эталонного газа и смеси кислород — технический азот в качестве анализируемой, позволяет считать справедливыми равенства: $\chi = \chi'$ и $\gamma = \gamma'$.

Деление (2) на (1) дает

$$\frac{f'}{f} = \frac{l_0}{l'_0} \sqrt{\frac{\mu}{\mu'}}. \quad (3)$$

Средний молекулярный вес μ смеси выражается через μ_1 — молекулярный вес 1-го компонента (технического азота) — и μ_2 — молекулярный вес 2-го компонента (кислорода) — следующим образом [6]:

$$\mu = \mu_1 + \xi (\mu_2 - \mu_1), \quad (4)$$

где ξ — объемная концентрация 2-го компонента.

Из равенств (3) и (4) получается

$$\xi = M \frac{f'^2}{f^2} - N, \quad (5)$$

причем M и N — постоянные $\left(M = \frac{\mu'}{\mu_2 - \mu_1} \frac{l_0^2}{l'^2_0} \text{ и } N = \frac{\mu_1}{\mu_2 - \mu_1}\right)$. При введении величины Δf — разности частот настройки трубок — и разложе-

нии отношения f'/f^2 в ряд, получим

$$\frac{f_1^2}{f^2} = 1 + 2 \frac{\Delta f}{f}. \quad (6)$$

Поскольку Δf много меньше, нежели f , отношениями $\Delta f/f$ более высоких порядков можно пренебречь.

Из формул (5) и (6), принимая $M - N = L$ и $2M/v = K$, найдем

$$\xi = L + k\Delta f, \quad (7)$$

чем и доказывается линейная зависимость между ξ и Δf .

Величина k в формуле (7) может считаться практически постоянной, если интервал концентраций не превышает 20%, а температура изменяется в пределах до 30°. Тогда изменение частоты f (около значения 3800 гц) незначительно сказывается на величине Δf и зависимость (7) может считаться линейной.

В заводских условиях кислород — при помощи описанного двухтрубного газоанализатора — определялся в двух случаях: а) примесь его в техническом азоте (от 1 до 5%); б) содержание его в техническом кислороде (97—99%).

Рабочая частота генератора изменялась в пределах 3800—3900 гц. Случайный уход ее несуществен. Несущественно и абсолютное значение температуры газов в трубках.

Подача смеси и воздуха в трубки осуществлялась непрерывно из линий. Перед поступлением в трубки газы проходили осушительные колонки с окисью алюминия. Периодически (два раза в сутки) велся контроль прибора путем продувки воздухом обеих трубок. Смена осушительных ступеней требовалась через пять суток непрерывной работы газоанализатора.

Абсолютная погрешность в обоих случаях составила 0,3% концентрации кислорода. Длительность анализа 20—30 сек. Газоанализатор использован в производстве и в условиях цеха работает надежно.

Как показал опыт последующей работы, есть все основания считать, что фазонастроечный акустический метод газового анализа применим и к другим газовым смесям — и не только бинарным, но и многокомпонентным. Важно только, чтобы такую многокомпонентную смесь можно было представить в виде двухкомпонентной (определяемый газ — остальные газы). Это возможно хотя и не всегда, но во многих практических случаях. Лишним подтверждением такой возможности является описанный выше анализ многокомпонентной смеси кислород — технический азот.

В заключение приносим глубокую благодарность Л. А. Чернову за ценные советы и указания, А. Ф. Огневскому, Ю. И. Лебедевой, П. А. Виногоградову за помощь в работе.

ЛИТЕРАТУРА

1. L. E. Lawley. Acoustic methods for gas analysis. Chem. Ind., 1954, 20, 200.
2. M. Kniarik, R. Prediger. Ultrasonic gas analyser. Instrum. Automat., 1955, 29, 11, 1916—1917, 21, 11.
3. Gas analyser features exceptional range. Control engineering, 1957, 3, 138.
4. A. E. Martin. The sonic gas analyser. Nature, 1956, 178, 4530, 407—408.
5. О. И. Кучмин. Об одном акустическом методе газового анализа. Акуст. ж., 1958, 4, 3, 263.
6. Х ю т т е. Справочник, т. 1, изд. 16-е, М., ОНТИ, 1936, стр. 584.

г. Ярославль

Поступила в редакцию
20 апреля 1960 г.