

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ՀԱՆՐԱՊԵՏՈՒԹՅԱՆ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ
ԱԶԳԱՅԻՆ ԱԿԱԴԵՄԻԱ
НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК РЕСПУБЛИКИ
АРМЕНИЯ

Հայաստանի քիմիական հանդես 51, №3-4, 1998 Химический журнал Армении

УДК 536.513(088.8)

СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ГАЗА
В СТРУЕВЫХ УСЛОВИЯХ

Г. Н. САРГСЯН и Р. С. ЕСАЯН

Институт химической физики им. А.Б. Налбандяна
НАН Республики Армения, Ереван

Поступило 10 III 1998

Представлена методика измерения температуры газов в струевых условиях, основанная на зависимости коэффициента динамической вязкости от температуры.

Путем теоретического анализа проблемы получена формула, которая описывает зависимость температуры газа в реакторе от его начальной температуры при условии, когда поток газа организуется через капилляры. С помощью представленного метода экспериментально измерена температура газа (воздуха) в струевых условиях.

Рис. 1, табл. 1, библиографических ссылок 3.

В научных исследованиях и в промышленных условиях для поддержания нужной температуры в реакционной зоне химические реакторы, как правило, помещаются в термостат (печку). Однако часто при изучении газофазных процессов прямое определение температуры газа в реакционной зоне затруднено [1, 2], т. к., во-первых, движущийся газ не всегда находится в термодинамическом равновесии со стенками реактора и датчиками температуры, во-вторых, в случае стеклянных реакторов, в зоне реакции существует сильное термическое излучение печки, и в-третьих, происходит рекомбинация активных частиц на поверхности датчика температуры, приводящая к повышению его температуры.

В связи с этим разработка способов определения температуры газов является актуальной задачей.

Целью настоящей работы является создание способа измерения температуры газов в химических реакторах, в струевых условиях, не зависящего от термического излучения и рекомбинации активных частиц на поверхности датчиков. В основу его положена зависимость коэффициента динамической вязкости газов от температуры.

Принципиально важным моментом является установление стационарно-вязкостного режима течения газа через капилляры, связывающие реактор с системами напуска исходного и выходного газов.

Измерение температуры газа проводится на установке, представленной на рисунке.

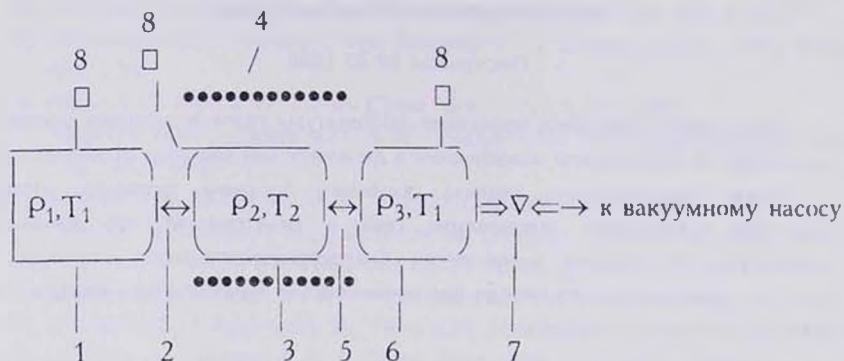


Рис. Схематическое представление системы использованной в данной работе для измерения температуры газа в реакторе в поточных условиях.

Исходный газ из объема 1 , в котором давление P_1 и температура T_1 сохраняются постоянными в течение всего эксперимента, через капилляр 2 (или систему капилляров) поступает в реактор 3 , помещенный в печь 4 . Затем через капилляр 5 , находящийся внутри печи и имеющий температуру, равную температуре реактора T_r , он поступает в буферный объем 6 и через дозирующий вентиль 7 скачивается форвакуумным насосом. Для измерения давления в системе используются ртутные манометры 8 , присоединенные к разным отсекам системы.

При повышении температуры печи давление в реакторе повышается, при этом (т.к. система открытая) скорость выходящего потока через капилляр 5 возрастает и одновременно уменьшается скорость входящего потока через капилляр 2. Однако со временем, когда температура стабилизируется и принимает свое новое постоянное значение, устанавливается определенная величина потока в системе с новым распределением значений давления из-за увеличения его сопротивления трубопроводу (за счет увеличения динамической вязкости газа с ростом температуры). Буферный объем 6 дает возможность уменьшить колебания давления в системе и обеспечивает стационарный режим течения газа через капилляры. Через некоторое время величина массового потока стабилизируется и принимает постоянное значение во всей системе.

Приравнивая значения величин массовых потоков через капилляры 2 и 5, что возможно при стационарном режиме течения газа через систему, получаем формулу, дающую возможность определения температуры газа в реакторе.

Величина массового потока Q в вязкостном режиме течения газа при условии $l/d > 100$ задается формулой [2]:

$$Q = (\pi d)^4 (P_1^2 - P_2^2) / (960 \cdot l \cdot \eta \cdot 2), \text{ л·Торр/с}, \quad (1)$$

где η — коэффициент динамической вязкости, Па·с; d — диаметр трубопровода (капилляра), см; l — длина трубопровода (капилляра), см; P_1, P_2 — значения давлений на концах трубопровода (капилляра), Торр.

Коэффициент динамической вязкости η задается формулой [2,3]:

$$\eta = 4,99 \cdot 10^{-2} \rho \lambda \nu, \text{ Па·с}, \quad (2)$$

где ρ — плотность газа; λ — длина свободного пробега частиц газа; ν — средняя арифметическая скорость частиц газа.

Зависимость η от температуры возникает из-за зависимости входящих в его состав параметров ρ, λ, ν от температуры и дается выражением:

$$\eta = 4,99 \cdot 10^{-2} \alpha \frac{\sqrt{T}}{\left(1 + \frac{C}{T}\right)}, \quad (3)$$

где α — коэффициент, не зависящий от температуры; C — коэффициент Сюзерленда.

Множитель $\left(1 + \frac{C}{T}\right)$ учитывает уменьшение эффективного диаметра частиц при повышении температуры и его величина зависит от типа газа.

Следовательно, поток исходного газа при температуре T_1 через капилляр 2 в реактор будет выражаться формулой:

$$Q = A_1 \frac{(P_1^2 - P_2^2) \left(1 + \frac{C}{T_1}\right)}{\sqrt{T_1}}, \quad (4)$$

где

$$A_1 = \frac{\pi d_1^4}{2 \cdot 960 \cdot l_1 \cdot 4.99 \cdot 10^{-2} \cdot \alpha}.$$

Величина массового потока через капилляр 5 из реактора при температуре газа T_2 выражается формулой:

$$Q_2 = A_2 \frac{(P_2^2 - P_3^2) \left(1 + \frac{C}{T_2}\right)}{\sqrt{T_2}}, \quad (5)$$

где

$$A_2 = \frac{\pi \cdot d_2^4}{2 \cdot 960 \cdot l_2 \cdot 4.99 \cdot 10^{-2} \cdot \alpha},$$

если состав газа мало меняется за время его прохождения через реактор.

В случае, когда состав газа сильно меняется, надо подобрать соответствующее значение P и внести поправку в α .

При подаче смеси газов под величинами C и α будут пониматься их средние величины, учитывающие вклад каждого газа в общий поток.

Как известно из кинетической теории газов [3], коэффициент динамической вязкости смеси газов не всегда равняется среднему арифметическому значению коэффициентов вязкости отдельных газов. Однако во многих случаях, когда коэффициенты динамической вязкости отдельных компонентов смеси не сильно отличаются или состав газа не сильно меняется, данный способ дает малую погрешность при измерении.

Приравнивая величины потоков Q_1 и Q_2 , что возможно при стационарном режиме течения газа через систему, будем иметь

$$\frac{T_2}{\left(1 + \frac{C}{T_2}\right)^2} = \frac{T_1}{\left(1 + \frac{C}{T_1}\right)^2} \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2 \left(\frac{P_2^2 - P_3^2}{P_1^2 - P_2^2}\right)^2. \quad (6)$$

Таким образом получается формула (6), по которой можно вычислить температуру газа в реакторе при известных значениях T_1, P_1, P_2, P_3 , решая кубическое уравнение

$$T_2^3 - \beta T_2^2 - 2\beta C T_2 - \beta C^2 = 0, \quad (7)$$

$$\beta = \frac{T_1}{\left(1 + \frac{C}{T_1}\right)^2} \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2 \left(\frac{P_2^2 - P_3^2}{P_1^2 - P_2^2}\right)^2.$$

где

Требованиями к данному способу измерения температуры газов являются: а) стационарный и вязкостный режим течения газа через систему, б) значения давлений P_1, P_2, P_3 не превышают атмосферное.

Таблица

Данные измерения температуры воздуха с помощью вышеизложенного метода

$P_1, \text{ торр}$	$P_2, \text{ торр}$	$P_3, \text{ торр}$	T_1, K	T_p, K	T_2, K
664	399	310	287	373	370

В таблице приведено значение температуры газа ("Воздух"), определенное вышеизложенным методом на основании многократных измерений с использованием капилляров с диаметром $d=0,2$ мм, в реакторе, представляющем собой стеклянный шар объемом 0,5 л. Реактор помещен в печьку с воздушным подогревом. Скорость массового потока через систему ($Q=222,5 \text{ см}^3 \cdot \text{Торр/с}$) и отношение $A_2 / A_1 = 5,4$ измерялись экспериментально, в начале эксперимента, когда по всей системе одинаковая температура $T_1=T_2$, то $\frac{A_2}{A_1} = \frac{P_1^2 - P_2^2}{P_2^2 - P_3^2}$.

Из таблицы видно, что при температуре стенок реактора $T_p = 100^\circ\text{C}$ ошибка в определении температуры газа в реакторе составляет 3° .

Следует отметить, что при данном способе измерения температуры, когда состав газа меняется незначительно, используется не абсолютная величина коэффициента динамической вязкости, а его относительная величина (отношение при разных температурах), и погрешности, связанные с определением его абсолютной величины могут возникнуть лишь при определении величин исходной температуры газа и давлений в системе. Точность определения давления должно бы не превышать $\Delta P \approx 0,1 \text{ Торр}$.

При наличии химической реакции, т.е. при сильном изменении состава газа в реакторе, необходим подбор соответствующих значений коэффициента Сюзерленда (С) и постоянной α , фигурирующей в формуле (3).

Использование предложенного способа измерения температуры особенно актуально при протекании химической реакции с тепловыделением, когда температура газовой среды не равняется температуре стенок реактора (термодинамическое равновесие между средой и стенками реактора не успевает устанавливаться).

Авторы выражают благодарность акад. И. А. Вардапян за полезные обсуждения результатов данной работы.

ՀԹԱՅԻՆ ՊԱՅՄԱՆՆԵՐՈՒՄ ԳԱՋԵՐԻ ՋԵՐՍԱՍՏԻՃԱՆԻ ՈՐՈՇՄԱՆ ԵՂԱՆԱԿ

Գ. Ն. ՍԱՐԳՍՅԱՆ և Ռ. Ս. ԵՍԱՅԱՆ

Մշակված է եղանակ, որը հնարավորություն է տալիս չափելու գազերի ջերմաստիճանը, օգտվելով նրանց մածուցիկության դինամիկական գործակցի կախվածությունից ջերմաստիճանից:

Գազերի հոսքը դեպի ռեակտոր ել նրանից դուրս իրականացվել է մագնսոթների միջոցով: Հոսքի ստացիոնար ու մածուցիկ ռեժիմի պայմաններում հավասարացնելով գազերի զանգվածային շիթերի արագությունները առաջին ել երկրորդ մագնսոթներում ստացված է մի բանաձևով, որը նկարագրում է ռեակտորում գազի ջերմաստիճանի կախվածությունը ներհոսող գազի սկզբնական ջերմաստիճանից:

METHOD OF MEASUREMENT OF GAS TEMPERATURE IN FLOW CONDITIONS

G. N. SARGSYAN and R. S. YESSAYAN

Under flow conditions the gas in the reaction vessel isn't always in the thermal equilibrium with its walls. The temperature sensor often can be ineffective for temperature determination if there is the thermal radiation, which is adsorbed also by the temperature sensor, or the gas medium is aggressive to the material of the sensor. The methods of the gas temperature measurement in flow conditions independent on thermal radiation and active particles recombinations have been developed.

This method is based on the dependence of the gas dynamic viscosity coefficient on temperature.

The gas flow into and out of the reactor takes place through a capillary. Making equal the values of mass flow rates through the capillaries, which is possible in the case of the stationary regime of the flow through the system, we have the formula for the determination of the gas temperature in the reactor.

The requirements on the use of this method are:

1. Stationary regime of flow through the system.
2. The maximal permissible value of pressure in system is $P \sim 1 \text{ atm}$.

As it is known from the gas kinetic theory, the coefficient of the dynamic viscosity of the gas mixture is not always equal to the average arithmetical value of dynamic viscosity's coefficients of gases. But in many cases when these coefficients do not strongly differ, this method doesn't give a great mistake of measurements.

It is necessary to mention also, that when the composition of gases is varied insignificantly, the relative value of coefficient of dynamic viscosity of gas (the attitude by the different temperatures) is used. The mistakes connected with the determination of the absolute value in this case are absent.

By this method we have measured the air temperature when reactors wall temperature was 373K.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] *Ленеберг Ф.* Измерение температур в технике. М., Металлургия, 1980 г.
- [2] *Королев Б.И., Кузнецов В.И., Пипко А.И., Полянский В.Я.* Основы вакуумной техники. М., Энергия, 1975 г.
- [3] *Ферцигер Д., Колер Г.* Математическая теория процессов переноса в газах. М., Мир, 1976 г.