
Газы, приведение к стандартным условиям

Природный газ в настоящее время является основным видом топлива. Он потребляется миллиардами кубометров. И крупнейшая ТЭЦ, потребляющая тысячи кубометров в час, и хозяин частного дома, сжигающий меньше кубометра за сутки должны за этот газ рассчитываться. Цена на газ установлена за тысячу стандартных кубометров. Что же собой представляют стандартные кубометры и каким образом их рассчитывают?

Твердые тела и жидкости очень незначительно меняют свой объем при увеличении давления. Изменение температуры в пределах своего агрегатного состояния тоже не вызывает значительного изменения объема ни у жидкостей, ни у твердых тел. Иначе обстоит дело с газами. При неизменной температуре повышение избыточного давления на одну атмосферу приводит к уменьшению объема газа в два раза, на две — в три, на три — в четыре и так далее. Повышение температуры при неизменном давлении приводит к увеличению объема газа, а ее снижение к уменьшению.

Исторически сложилось, что природный газ отпускается и расчет за него ведется в кубометрах. Это связано с тем, что счетчики объемного типа появились раньше. Счетчики турбинного типа тоже являются объемными. Точнее сказать они измеряют скорость потока, но так как измерение производится в определенном, поддающемся вычислению сечении, то эти методы можно считать объемными. Таким образом, подавляющее большинство счетчиков (можно еще назвать камерные, ротационные, вихревые, струйные, ультразвуковые и т.д.) измеряют объем газа протекающего по трубе. Кориолисовы счетчики, которые измеряют непосредственно массу газа, появились сравнительно недавно и из-за своей высокой стоимости не нашли широкого применения. По-видимому, и в дальнейшем расходы природного газа будут измеряться в основном счетчиками объемного типа.

Одно и тоже количество переданного по газопроводу газа при разных температурах и давлениях занимает разный объем.

Зимой газ, идущий по газопроводу, занимает меньший объем, чем летом. Давление в газопроводах поддерживается компрессорными станциями. Если на компрессорной станции работают два компрессора, то объем газа в трубе будет меньше, чем при работающем одном компрессоре. Хотя по массе это будут одни и те же количества, что зимой, что летом, что при более высоком давлении в газопроводе, что при более низком. Очевидно, что объемы газа необходимо пересчитывать для каких-то единых для всех условий по давлению и по температуре.

Такие единые для всех условия были установлены и, для исполнения этих условий всеми без исключения, они были закреплены в ГОСТ 2939 — абсолютное давление 0,101325 МПа, температура 20 °С (далее — стандартные условия).

В настоящее время устоялась следующая терминология: объем газа измеренный в газопроводе называют «объемом в рабочих условиях» или «рабочим объемом», а объем газа пересчитанный в соответствии с ГОСТом — «объемом, приведенным к стандартным условиям» или «стандартным объемом». Иногда применяют термин «объем, приведенный к нормальным условиям», но этот термин ошибочный, так как нормальные условия отличаются от стандартных температурой равной 0 °С (273,15 К), а не 20°С (293,15 К).

Поведение газа при меняющихся параметрах описывается объединенным газовым законом Менделеева-Клайперона:

$$\frac{p \cdot V}{T} = const, \quad (1)$$

где p — абсолютное давление газа, атм.
 T — абсолютная температура, К
 V — объем газа, м³.

Для расчёта перевода газа из одного состояния в другое удобно пользоваться формулой (1) в форме пропорции:

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2}, \quad (1a)$$

Газ, который полностью подчиняется уравнениям состояния идеального газа (1) и (1a), называется идеальным.

Такой газ в действительности не существует.

Для описания реального газа используется формула:

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} \cdot z_1 = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2} \cdot z_2, \quad (2)$$

где z — фактор сжимаемости газа (для идеального газа $z = 1$ при любых условиях. При высоких давлениях для всех газов $z > 1$, т.е. их труднее сжать, чем идеальный газ, поскольку в этой области преобладают силы межмолекулярного отталкивания, при более низких давлениях для некоторых газов $z < 1$, что объясняется преобладанием межмолекулярного притяжения).

Если левую часть формулы (1a) будем считать состоянием газа в стандартных условиях, а правую состоянием того же газа в рабочих условиях, то формула для вычисления объема в стандартных условиях будет выглядеть следующим образом:

$$V_{CT} = \frac{T_{CT} \cdot p_P \cdot V_P}{T_P \cdot p_{CT}} \cdot k, \quad (3)$$

где k — коэффициент сжимаемости, равный:

$$k = \frac{z_P}{z_{CT}}, \quad (4)$$

где z_P — фактор сжимаемости газа при рабочих условиях;
 z_{CT} — фактор сжимаемости газа при стандартных условиях.

Т. к. значение коэффициента сжимаемости близко к единице и не оказывает влияния на выбор значений верхнего и нижнего пределов измерения расходов при заказе счетчика газа, поэтому далее в статье мы будем пользоваться формулой:

$$V_{CT} = \frac{T_{CT} \cdot p_P \cdot V_P}{T_P \cdot p_{CT}}, \quad (5)$$

Примечание. Коэффициент сжимаемости учитывается при разработке программного обеспечения для измерения расхода и объема газа в стандартных условиях счетчиком газа ТРСГ-ИРГА и другими современными счетчиками.

Подставив известные для стандартных условий значения температуры 293,15°K и давления равного 1 атм. получим формулу для приведения объема газа к стандартным условиям:

$$V_{CT} = \frac{293,15 \cdot p_p \cdot V_p}{T_p}, \quad (6)$$

Объемный расход равен объему, прошедшему через расходомер в единицу времени. Следовательно, формула (6) для приведения к стандартным условиям измеренных расходов примет вид:

$$Q_{CT} = \frac{293,15 \cdot p_p \cdot Q_p}{T_p}, \quad (7)$$

Для наглядности приведем пример расчета. Предположим, что показания объемного расходомера составляют 1000 м³ за 2 часа. Температура газа +60 °C и избыточное давление 8 атм. Определим чему равен измеренный объем газа в стандартных условиях. Для этого подставим значения в формулу (6), учитывая, что температура должна быть в °K, а к избыточному давлению нужно прибавить 1 атм:

$$V_{CT} = \frac{293,15 \cdot 9 \cdot 1000}{333,15} = 7919,4 \text{ ст.м}^3, \quad (8)$$

Продедаем то же самое для расхода, учитывая, что расход в нашем случае составит в рабочих условиях 500 м³/час:

$$Q_{CT} = \frac{293,15 \cdot 9 \cdot 500}{333,15} = 3959,7 \text{ ст.м}^3 / \text{час}, \quad (9)$$

Подведем итог. Объем и расход газа, замеренные в газопроводе, называются рабочим объемом и рабочим расходом. Использовать эти данные для взаиморасчетов нельзя. Их необходимо привести в соответствие с ГОСТ 2939. Объем и расход газа, пересчитанные в соответствие с ГОСТ 2939 называются объем (расход) приведенные к стандартным условиям. Или кратко стандартный объем и стандартный расход.

Еще раз повторимся, что для заполнения опросного листа не требуется проводить расчеты с использованием коэффициента сжимаемости газа, поэтому достаточно формул (6) и (7).