

**Ильина Ирина Львовна,**

к.т.н., доцент, Ангарский государственный технический университет,

e-mail: llyina\_agta@mail.ru

**Носкова Анна Ивановна,**

магистрант, Ангарский государственный технический университет,

e-mail: anna\_angarsk2010@mail.ru

## **РАСЧЕТНЫЕ МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ РАСХОДОМЕРОВ ПЕРЕМЕННОГО ПЕРЕПАДА ДАВЛЕНИЯ**

**Irina I.L., Noskova A.I.**

## **CALCULATION METHODS OF VARIABLE PRESSURE-DROP FLOWMETERS ACCURACY IMPROVEMENT**

**Аннотация.** На основании данных для расчета расхода продукта в трубопроводе проанализированы неопределенности измерения расхода расходомером переменного перепада давления и предложен метод повышения точности измерения.

**Ключевые слова:** расходомер переменного перепада давления, неопределенность измерения, поправочные коэффициенты.

**Abstract.** Based on the data for calculating the product flow in the pipeline, measurement uncertainties of flow are analyzed with pressure differential flowmeter and a method for measurement accuracy improvement is proposed.

**Keywords:** pressure differential flowmeter, measurement uncertainty, modifying factors.

В настоящее время одним из самых распространенных методов учета расхода жидких и газообразных сред остается метод переменного перепада давления с использованием в качестве сужающего устройства стандартной диафрагмы. Методика расчета расхода и определения неопределенности измерения расхода нормируется ГОСТ 8.586.(1-5)–2005 «Измерение расхода и количества жидкостей и газов с помощью стандартных сужающих устройств». Широкое использование этого метода обусловлено простотой устройства и невысокой стоимостью эксплуатации расходомера. Недостатком расходомеров переменного перепада является сравнительно невысокая точность измерения – так, расчетное значение неопределенности измерения составляет около 3%. Однако замена установленных и находящихся в эксплуатации измерительных комплексов с сужающими устройствами на расходомеры других более точных типов не всегда целесообразна и не всегда возможна. Поэтому повышение точности расходомеров переменного перепада давления остается актуальной задачей. Одним из возможных способов её решения является повышение точности расчета расхода.

Объемный расход газа при рабочих условиях рассчитывается по формуле [1]:

$$q_v = 0,25 \pi d_{20}^2 K_{cy}^2 C E K_{ш} K_{г} \varepsilon \left( \frac{2 \Delta P}{\rho_c} \right)^{0,5}, \quad (1)$$

где  $d_{20}$  – диаметр отверстия сужающего устройства при температуре плюс 20 °С, м;

$K_{cy}$  – коэффициент, учитывающий изменение диаметра отверстия сужающего устройства, вызванное отклонением температуры среды от плюс 20 °С;

$C$  – коэффициент истечения сужающего устройства;

$E$  – коэффициент скорости входа в сужающее устройство;

$K_{ш}$  – поправочный коэффициент, учитывающий шероховатость внутренней поверхности измерительного трубопровода;

$K_{п}$  – поправочный коэффициент, учитывающий притупление входной кромки диафрагмы;

$\varepsilon$  – коэффициент расширения среды;

$\Delta P$  – перепад давления на сужающем устройстве, Па;

$\rho$  – плотность среды, кг/м<sup>3</sup>;

$\rho_c$  – плотность среды в стандартных условиях, кг/м<sup>3</sup>.

Объемный расход газа, приведенный к стандартным условиям, рассчитывают по формуле [1]:

$$q_c = 0,25\pi d_{20}^2 K_{cy}^2 C E K_{ш} K_{п} \varepsilon \frac{(2\Delta P \rho)^{0,5}}{\rho_c}, \quad (2)$$

Плотность среды в рабочих условиях рассчитывают по формуле:

$$\rho = \frac{\rho_c P T_c}{P_c T K}, \quad (3)$$

где  $P$  – давление среды, Па;

$P_c$  – стандартное давление, 0,101325 МПа;

$T_c$  – стандартное значение температуры, 273,15 К;

$T$  – температура среды, К;

$K$  – коэффициент сжимаемости среды.

Из уравнения расхода (1) следует, что значение расхода является результатом косвенных измерений. Поэтому неопределенность  $\delta_{Kq}$  вычисления расхода может быть определена по неопределенностям измерения величин, входящих в уравнение (2) в явном и неявном виде. Основными из них являются:

$\delta_c$  – неопределенность коэффициента истечения;

$\delta_{Kш}$  – неопределенность поправочного коэффициента, учитывающего шероховатость внутренней поверхности измерительного трубопровода;

$\delta_{Kп}$  – неопределенность поправочного коэффициента на притупление входной кромки;

$\delta_d$  – неопределенность измерения диаметра отверстия сужающего устройства;

$\delta_\varepsilon$  – неопределенность коэффициента расширения;

$\delta_{\Delta p}$  – неопределенность измерения перепада давления;

$\delta_p$  – неопределенность измерения абсолютного давления;

$\delta_T$  – неопределенность измерения температуры;

$\delta_K$  – неопределенность определения коэффициента сжимаемости газа, учитывается при измерении расхода газа;

$\delta_\rho$  – неопределенность определения плотности среды.

Перечисленные неопределенности можно разделить на две группы, различающиеся способом их получения. К первой группе относятся неопределенности, значения которых найдены в результате обработки большого числа измерений и для которых известны среднеквадратические отклонения. Это коэффициент истечения и коэффициент расширения. Также немаловажными факторами, влияющими на точность измерения расхода, являются закругление входной кромки диафрагмы и влияние шероховатости внутренней поверхности измерительного трубопровода. Данные параметры изменяются в процессе эксплуатации расходомера и являются источниками основных неопределенностей, которые приводят к изменению значения коэффициента истечения. В процессе эксплуатации текущие значения коэффициента истечения отличаются от исходных из-за влияющих факторов (возмущений). Учесть количественно все возмущения невозможно, они не входят в уравнение коэффициента истечения как переменные [3].

Ко второй группе относятся неопределенности, которые определяются по результатам однократных измерений и для которых по метрологическим характеристикам средств измерений могут быть определены только предельные значения. Это неопределенности измерения перепада давления, плотности среды, а также измерения давления и температуры.

Если принять условно постоянными неопределенность вычисления, коэффициента истечения, поправочного коэффициента на шероховатость, поправочного коэффициента на притупление входной кромки, измерения внутреннего диаметра измерительного трубопровода, измерения диаметра диафрагмы, коэффициента расширения, то расход вещества, рассчитанный по формуле (1), будет в значительной мере зависеть от значений неопределенности применяемых средств измерения перепада давлений, измерения абсолютного давления и температуры. При условии, что на позиции используются высокоточные средства измерения, влияние неопределенности средства измерения на неопределенность измерения расхода уменьшается. Однако не всегда существует возможность установки средств измерения температуры и давления на трубопроводе. В этом случае, для наиболее точного расчета расхода среды, предлагается вводить поправочные коэффициенты на измерения давления и температуры [4].

Согласно ГОСТ 2939–63, расход газа вычисляется при стандартных условиях: давление абсолютное 0,101325 МПа, температура среды 273,15 °С [2].

Если плотность среды в рабочих условиях рассчитывают по формуле (3), то формула объемного расхода примет вид:

$$q_c = 0,25\pi d_{20}^2 K_{cy}^2 C E K_{ш} K_{п} \varepsilon \left( 2\Delta P \frac{P_{Tc}}{\rho_c P_c T_K} \right)^{0,5}. \quad (4)$$

Уравнение (4) включает две группы переменных. К первой группе относятся переменные, зависящие от расхода среды, ко второй группе – давление, температура и плотность при стандартных условиях. При определенном значении расхода переменные первой группы не изменяются, то есть произведение  $0,25\pi d_{20}^2 K_{cy}^2 C E K_{ш} K_{п} \varepsilon \Delta P \frac{T_c}{P_c K}$  можно считать константой.

Следовательно, в этом случае расчетное значение расхода среды зависит от значений абсолютного давления среды, плотности среды при стандартных условиях и температуры среды.

Для определения расхода газа необходимо измерить все переменные параметры формулы (3).

Поправочные коэффициенты вводятся в формулу расхода тогда, когда измерение расхода ведется в условиях, при которых параметры измеряемой среды отличаются от расчетных, но есть возможность измерить температуру, давление и плотность по месту, непосредственно возле сужающего устройства.

Если шкала расхода измеряется в м<sup>3</sup>/ч, то с корректировкой шкала расхода определяется по формуле:

$$q_{o \text{ факт.}} = k_k q_c. \quad (5)$$

Формула поправочного коэффициента при среднем атмосферном давлении для города Ангарска 0,09666 МПа примет вид:

– для однокомпонентных газов:

$$k_k = \sqrt{\frac{(P_{\text{факт.}} + 0,09666)(t_{\text{расч.}} + 273,15)}{(P_{\text{расч.}} + 0,09666)(t_{\text{факт.}} + 273,15)}}. \quad (6)$$

– для многокомпонентных газов:

$$k_k = \sqrt{\frac{(P_{\text{факт.}} + 0,09666)(t_{\text{расч.}} + 273,15)\rho_{\text{ст. усл. расч.}}}{(P_{\text{расч.}} + 0,09666)(t_{\text{факт.}} + 273,15)\rho_{\text{ст. усл. факт.}}}}. \quad (7)$$

где  $P_{\text{расч.}}$  – избыточное давление, принятое при расчете сужающего устройства (расчетное), МПа;

$P_{\text{факт.}}$  – избыточное давление в рабочих условиях (фактическое), МПа;

$t_{\text{расч.}}$  – температура, принятая при расчете сужающего устройства (расчетная), °С;

$t_{\text{факт.}}$  – температура в рабочих условиях (фактическая), °С;

$\rho_{\text{ст. усл. расч.}}$  – плотность при стандартных условиях (расчетная) для газов,

кг/м<sup>3</sup>;

$\rho_{ст. усл. факт.}$  – плотность при нормальных условиях (фактическая) для газов, кг/м<sup>3</sup>.

В качестве примера рассмотрим расчет расхода азота на одной из установок нефтеперерабатывающего производства при условии, что:

- температура азота минус 35 °С;
- давление избыточное 2,5 МПа.

Расчет проводился в программном комплексе «Расходомер ИСО», разработанном в ООО «Центр метрологии «СТП».

В результате расчета объемный расход азота в стандартных условиях получился равным 2235,48 м<sup>3</sup>/ч.

При условии, что на позиции с сужающим устройством не установлены датчики температуры и давления, а получение этих данных производится путем непосредственного замера оператором текущих значений, при перерасчете расхода с неизменной температурой минус 35 °С и понижением давления до 1,9 МПа, объемный расход в стандартных условиях уменьшился и стал равен 1955,00 м<sup>3</sup>/ч. А при повышении давления до 3,1 МПа – 2486,61 м<sup>3</sup>/ч.

Если же избыточное давление остается неизменным, а значения температуры меняются, то получатся следующие результаты. При температуре минус 37 °С объемный расход составит 2246,06 м<sup>3</sup>/ч, при температуре минус 40 °С – 2262,26 м<sup>3</sup>/ч.

Следовательно, при возможных изменениях давления и температуры в процессе эксплуатации, показания объемного расхода среды значительно разнятся с рассчитанными значениями. Введение корректировочных коэффициентов позволит устранить этот недостаток.

## ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 8.586.(1-5)–2005 (ИСО 5167-2:2003). Измерение расхода и количества жидкостей и газов с помощью стандартных сужающих устройств. М.: Издательство стандартов, 2007.
2. ГОСТ 2939–63. Газы. Условия для определения объема. М.: Издательство стандартов, 1998.
3. Кремлевский П.П. Расходомеры и счетчики количества веществ: справочник. СПб.: Политехника, 2002. Кн. 1. 409 с.
4. Лепявко А. П. Неопределенность теплотехнических измерений: конспект лекций. М.: АСМС, 2008. 42 с.