

ИЗМЕРЕНИЕ РАСХОДА И КОЛИЧЕСТВА ЭНЕРГОНОСИТЕЛЕЙ В ТРУБОПРОВОДАХ БОЛЬШОГО ДИАМЕТРА

Е. П. Пистун, Л. В. Лесовой, Ф. Д. Матико

Во многих отраслях промышленности, особенно в энергетической промышленности, необходимо измерять расход и количество среды в трубопроводах большого диаметра. При этом, как правило, применяют метод переменного перепада давления, то есть расходомеры переменного перепада давления со стандартными сужающими устройствами. Однако, вводимые в действие новые межгосударственные стандарты [1] – [5], нормирующие измерение расхода и количества среды по этому методу, ограничивают внутренний диаметр трубопроводов: не более 1 м для сужающих устройств типа диафрагма и не более 0,5 м для сужающих устройств типа сопло ИСА 1932 и сопло Вентури. Ниже рассмотрены причины введения указанных выше ограничений по данному методу измерения и условия, при которых такие измерения могут быть разрешены.

Основной характеристикой сужающего устройства является его коэффициент истечения C . Формально коэффициент истечения сужающего устройства характеризует коэффициент передачи сужающего устройства, то есть устанавливает связь расхода среды с перепадом давления на сужающем устройстве.

Коэффициент истечения C сужающего устройства находится через отношение действительного значения массового расхода q_m^d жидкости (несжимаемой среды), протекающей через сужающее устройство, к соответствующему ему значению q_m^r , которое рассчитывают согласно теоретическому уравнению расхода жидкости для этого же типа сужающего устройства:

$$C = \frac{q_m^d}{q_m^r} = \frac{4 \cdot q_m^d}{\pi \cdot \beta^2 \cdot D^2 \cdot E \cdot \sqrt{2 \cdot \Delta p \cdot \rho}}, \quad (1)$$

где β – относительный диаметр сужающего устройства, равный

$$\beta = \frac{d}{D}; \quad (2)$$

D – внутренний диаметр трубопровода при рабочей температуре среды; E – коэффициент скорости входа, который рассчитывают как

$$E = \frac{1}{\sqrt{1 - \beta^4}}; \quad (3)$$

Δp – перепад давления на сужающем устройстве; ρ – плотность среды в рабочих условиях (при абсолютном давлении p и термодинамической температуре T); d – диаметр отверстия или горловины сужающего устройства.

Действительное значение массового расхода q_m^d жидкости при нахождении коэффициента истечения C для данного типа сужающего устройства определяют экспериментальным путем.

Числовые значения коэффициента истечения C являются одинаковыми для разных по размерам сужающих устройств, если сохраняется геометрическое подобие сужающего устройства и гидродинамическое подобие потока жидкости. Геометрическое подобие разных за размерами сужающих устройств одного типа характеризуется равенством отношений одних и тех же геометрических размеров сужающего устройства (диаметр отверстия или горловины сужающего устройства) к внутреннему диаметру трубопровода. Это отношение называют относительным диаметром β сужающего устройства и его значение рассчитывают по уравнению (2). Гидродинамическое подобие потоков среды обеспечивается равенством значений числа Рейнольдса Re .

Рассмотрим ограничения по внутреннему диаметру трубопровода, которые имеют место в различных нормативных документах, нормирующих измерение расхода и количества среды по методу переменного перепада давления.

Согласно нормативному документу РД50-213–80 [6] для некоторых сужающих устройств разрешалось выполнять измерение расхода и количества энергоносителей в трубопроводах большого диаметра. При этом максимальное значение внутреннего диаметра трубопровода принималось равное:

- для диафрагмы с угловым способом отбора давления $D_{\max} = 1000$ мм. В случае применения трубопроводов с внутренним диаметром $D > 1000$ мм рекомендовалось принимать значения коэффициента расхода

$$\alpha = C \cdot E, \quad (4)$$

которое соответствует внутреннему диаметру $D = 1000$ мм ;

- для диафрагмы с фланцевым способом отбора давления $D_{\max} = 760$ мм ;

- для сопла максимальное значение внутреннего диаметра трубопровода не регламентировано;

- для сопла Вентури $D_{\max} = 500$ мм. В Изменениях №1 к РД50-213–80 [7] уже был дополнен п.1.5 [6] следующим абзацем: "При применении сопел Вентури диаметром свыше 500 мм рекомендуется использовать расчетные соотношения, которые соответствуют диаметру 500 мм";

- для трубы Вентури внутренний диаметр трубопровода не рекомендовалось принимать более $D_{\max} = 1400$ мм в связи с увеличением длины трубы Вентури.

С введением в действие стандартов ГОСТ8.563.1,2–97 [8] и [9] изменились и максимальные значения внутреннего диаметра трубопровода:

- для диафрагм $D_{\max} = 1000$ мм ;

- для сопла ИСА 1932 $D_{\max} = 500$ мм ;

- для сопла Вентури $D_{\max} = 500$ мм ;

- для классической трубы Вентури с литой (без обработки) входной конической частью $D_{\max} = 800$ мм ;

- для классической трубы Вентури с обработанной входной конической частью $D_{\max} = 250$ мм ;

- для трубы Вентури со сварной (без обработки) входной конической частью из листовой стали $D_{\max} = 1200$ мм .

В связи с этим ограничилась и возможность применения расходомеров переменного перепада давления для измерения расхода и количества среды в трубопроводах большого диаметра. Некоторые из указанных ограничений по максимальным значениям внутреннего диаметра трубопровода были сняты с помощью МИ 2588–2000 [10]. В этом документе были введены максимальные значения внутреннего диаметра трубопровода для диафрагмы с угловым способом отбора перепада давления ($D > 1000$ мм), для сопла ИСА 1932 ($D_{\max} = 1000$ мм) и для сопла Вентури ($D_{\max} = 1000$ мм).

Сегодня, в качестве национальных стандартов вводятся новые межгосударственные стандарты ГОСТ8.586.1,2,3,4,5–2005 [1]–[5], которые существенно отличаются от ранее применявшихся стандартов. Рассмотрим главные из этих отличий:

1) введены новые формулы для расчета коэффициентов истечения для диафрагм – вместо уравнений Штольца введены уравнения Reader-Harris/Gallager (РХГ);

2) введены новые формулы для расчета коэффициентов расширения среды на сужающем устройстве для диафрагм;

3) установлены новые значения неопределенностей коэффициентов истечения и расширения;

4) введены новые требования к области применения диафрагм по числу Рейнольдса и шероховатости внутренней поверхности измерительных трубопроводов;

5) установлены новые требования к длинам прямолинейных участков измерительных трубопроводов для сужающих устройств.

При этом в этих стандартах также имеются ограничения на максимальные значения внутреннего диаметра трубопровода.

Как указывалось выше, значения коэффициентов истечения C сужающих устройств установлены экспериментальным путем на базе многочисленных экспериментальных исследований. Из полученных экспериментальных данных следует, что для любого типа сужающих устройств, кроме диафрагм с фланцевым и трехрадиусным способами отбора давления, коэффициент истечения не зависит от внутреннего диаметра трубопровода. Из этого можно сделать вывод о принципиальной возможности применения любого типа сужающих устройств, кроме диафрагм с фланцевым и трехрадиусным способами отбора давления, и для трубопроводов с большими диаметрами. При этом, однако, надо помнить, что увеличение внутренних диаметров трубопровода для сопла Вентури и труб Вентури любого типа приводит к увеличению их размеров и создает трудности в их изготовлении.

На базе выполненного анализа было предложено расширить область применения сужающих устройств на трубопроводы большого диаметра. Это нашло отражение в разработанном документе МИ 3152–2008 [11], который дополняет ГОСТ 8.586.2,3–2005 [2] и [3] и дает рекомендации по расчету расхода и количества энергоносителей в трубопроводах большого диаметра.

Согласно МИ 3152–2008 изменен диапазон внутреннего диаметра трубопровода для диафрагмы с угловым способом отбора давления и для сопла ИСА 1932, который принимает следующие значения:

$$\begin{aligned} & \text{- для диафрагмы с угловым способом отбора давления} \\ & \quad 0,05 \leq D \leq 1,00 \quad \text{для } 0,1 \leq \beta \leq 0,75 \\ & \quad 1,00 < D \leq 3,00 \quad \text{для } 0,2 \leq \beta \leq 0,75 \end{aligned} \quad ; \quad (5)$$

$$\begin{aligned} & \text{- для сопла ИСА 1932} \\ & \quad 0,05 \leq D \leq 1,00 \quad \text{для } 0,3 \leq \beta \leq 0,8. \end{aligned} \quad (6)$$

Кроме того, в МИ 3152–2008 расширен диапазон значений числа Рейнольдса для сопла ИСА 1932, который принимает следующие значения

$$7 \cdot 10^4 \leq Re \leq 5 \cdot 10^7 \text{ для } 0,30 \leq \beta < 0,44$$

$$5 \cdot 10^4 \leq Re \leq 5 \cdot 10^7 \text{ для } 0,44 \leq \beta \leq 0,80 \quad (7)$$

Если значение числа Рейнольдса находится в пределах $1 \cdot 10^7 < Re \leq 5 \cdot 10^7$, то происходит отрыв струи среды от стенок горловины сопла ИСА 1932, что влияет на коэффициент истечения и создает дополнительную относительную расширенную неопределенность коэффициента истечения равную $\pm 0,2\%$, которая арифметически прибавляется к относительной расширенной неопределенности коэффициента истечения.

Рекомендации МИ 3152–2008 позволяют расширить область применения метода переменного перепада давления и рассчитывать значения расхода и количества энергоносителей в трубопроводах большого диаметра.

Реализовать рекомендации МИ 3152–2008 при проектировании расходомеров переменного перепада давления можно с помощью системы автоматизированного расчета и проектирования САПР «Расход-РУ» [12], а именно - второй версии этой компьютерной программы (www.ieoe.com.ua). Данная САПР специально была расширена под требования МИ 3152–2008 с момента внедрения МИ 3152–2008. Это первое изменение в САПР «Расход-РУ» после ее официальной стандартизации в Межрегиональном испытательном центре ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологической службы» (ВНИИМС) и в Испытательной лаборатории ООО «Отраслевой метрологический центр Газметрология» в октябре 2007 г.

Разработка МИ 3152–2008 и вышеуказанное расширение САПР «Расход-РУ» обеспечивает возможность измерения расхода и количества энергоносителей в трубопроводах большого диаметра.

Литература

1. ГОСТ 8.586.1—2005 (ИСО 5167-1:2003). Государственная система обеспечения единства измерений. Измерение расхода и количества жидкостей и газов с помощью стандартных сужающих устройств. Часть 1. Принцип метода измерений и общие требования.

2. ГОСТ 8.586.2—2005 (ИСО 5167-2:2003). Государственная система обеспечения единства измерений. Измерение расхода и количества жидкостей и газов с помощью стандартных сужающих устройств. Часть 2. Диафрагмы. Технические требования.

3. ГОСТ 8.586.3—2005 (ИСО 5167-3:2003). Государственная система обеспечения единства измерений. Измерение расхода и количества жидкостей и газов с помощью стандартных сужающих устройств. Часть 3. Сопла и сопла Вентури. Технические требования.

4. ГОСТ 8.586.4—2005 (ИСО 5167-4:2003). Государственная система обеспечения единства измерений. Измерение расхода и количества жидкостей и газов с помощью стандартных сужающих устройств. Часть 4. Трубы Вентури. Технические требования.

5. ГОСТ 8.586.5—2005 (ИСО 5167). Государственная система обеспечения единства измерений. Измерение расхода и количества жидкостей и газов с помощью стандартных сужающих устройств. Часть 5. Методика выполнения измерений.

6. РД 50-213-80. Правила измерения расхода газов и жидкостей стандартными сужающими устройствами. – М.: Изд-во стандартов, 1982.

7. Изменение № 1 к РД 50-213–80. Правила измерения расхода газов и жидкостей стандартными сужающими устройствами. – М.: Изд-во стандартов, 1985.

8. ГОСТ 8.563.1–97. Измерение расхода и количества жидкостей и газов методом переменного перепада давления. Диафрагмы, сопла ИСА 1932 и трубы Вентури, установленные в заполненных трубопроводах круглого сечения. ИПК Изд-во стандартов, 1998.

9. ГОСТ 8.563.2–97. Измерение расхода и количества жидкостей и газов методом переменного перепада давления. Методика выполнения измерений с помощью сужающих устройств. ИПК Изд-во стандартов, 1998.

10. МИ 2588–2000. Государственная система обеспечения единства измерений. Расход и количество жидкостей и газов. Методика выполнения с помощью измерительных комплексов с сужающими устройствами для значения эквивалентной шероховатости измерительных трубопроводов $R_{ш} \cdot 10^4 / D$ свыше 30. – М.: Изд-во стандартов, 1985.

11. МИ 3152–2008 Государственная система обеспечения единства измерений. Расход и количество жидкостей и газов в трубопроводах большого диаметра. Методика выполнения измерений с помощью сужающих устройств. – М.: ВНИИМС, 2008.

12. Пистун Е. П., Лесовой Л. В., Матико Ф. Д., Марковский Д. И., Лесовой Р. Л. Компьютерная программа «САПР «Расход-РУ». Руководство пользователя. – Львов: Издательство ЗАО «Институт энергоаудита и учета энергоносителей», 2007. - 128 с.

Сведения об авторах:

Пистун Евгений Павлович, проф., д.т.н., заведующий кафедрой
Государственного университета «Львовская политехника»,
Адрес: 290646, Украина, г. Львов, ул. Ст. Бандеры, 12.
тел./факс - (38 0322) 727761; тел. - (38 0322) 398516.
E- mail - epistun@polynet.lviv.ua

Лесовой Леонид Васильевич, к.т.н., доцент этой же кафедры.
E- mail - acit@polynet.lviv.ua

Матико Федор Дмитриевич, к.т.н., доцент этой же кафедры.
E-mail - acit@polynet.lviv.ua