ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ
(ВНИИМС)
ГОССТАНДАРТА РОССИИ

РЕКОМЕНДАЦИЯ

Государственная система обеспечения единства измерений.

РАСХОД И КОЛИЧЕСТВО ЖИДКОСТЕЙ И ГАЗОВ.

МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ С СУЖАЮЩИМИ УСТРОЙСТВАМИ ДЛЯ ЗНАЧЕНИЯ ЭКВИВАЛЕНТНОЙ ШЕРОХОВАТОСТИ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ $R_{Ш}*10^4/D$ СВЫШЕ 30

МИ 2588-2000

Москва
2000 г.

gost.e-ecolog.ru

РАЗРАБОТАНА Всероссийским научно-исследовательским институтом метрологической службы (ВНИИМС), Всероссийским научно-исследовательским институтом расходометрии (ВНИИР)

ИСПОЛНИТЕЛИ: Беляев Б.М. к.т.н. (ВНИИМС),
Патрикеев В.Г. д.т.н. (ВНИИМС) (рук. темы),
Личко А.А. к.т.н. (ВНИИР)

УТВЕРЖДЕНА ВНИИМС 25 апреля 2000 г.

ЗАРЕГИСТРИРОВАНА ВНИИМС 25 апреля 2000 г.

ВВЕДЕНА ВПЕРВЫЕ

Настоящая рекомендация не может быть полностью или частично воспроизведена, тиражирована и распространена без разрешения ВНИИМС или ВНИИР.

Группа 86.3h

Государственная система обеспечения единства измерений. Расход и количество жидкостей и газов. Методика выполнения измерений с помощью измерительных комплексов с сужающими устройствами для значения эквивалентной шероховатости измерительных трубопроводов $R_ш*10^4/D$ свыше 30	**МИ 2588 – 2000**

Настоящая рекомендация в дополнение к ГОСТ 8.563.1,2,3-97 регламентирует методику выполнения измерений расхода и количества жидкостей и газов измерительными комплексами со стандартными диафрагмами и соплами ИСА 1932 (ИК) в следующих диапазонах:

- относительного диаметра диафрагм с угловым способом отбора давления в диапазоне от 0,75 до 0,80, при минимальном значении числа Рейнольдса равном 210^4;
- относительной эквивалентной шероховатости $R_ш*10^4/D$ свыше 30 при относительном диаметре, изменяющимся в допустимых пределах (для диафрагм с угловым отбором перепада давления - $0{,}2 \le \beta \le 0{,}8$ для диафрагм с фланцевым и трехрадиусным способами отбора давления $0{,}2 \le \beta \le 0{,}75$; для сопел ИСА - 1932 $0{,}3 \le \beta \le 0{,}8$);
- эквивалентная шероховатость ИК не соответствует данным таблицы Б1 ГОСТ 8.563.1-97, а принимается по данным таблицы приложения А настоящей рекомендации;
- значение внутреннего диаметра измерительного трубопровода для стандартных диафрагм с угловым способом отбора давления свыше 1000 мм и для сопел ИСА 1932 свыше 500 мм.

Государственный метрологический надзор и контроль за применением и состоянием ИК с сужающими устройствами выполняют в соответствии с ПР 50.2.022-99 с учетом положений настоящей рекомендации.

Настоящая методика предназначена для определения расхода и количества однофазных сред только в составе программных

комплексов Расходомер–СТ и Флоуметрика, рекомендованных к применению НТК Госстандарта РФ по метрологии и измерительной технике.

1. Нормативные ссылки

В настоящей рекомендации использованы ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 8.563.1-97.ГСИ. Измерение расхода и количества жидкостей и газов методом переменного перепада давления. Диафрагмы, сопла ИСА 1932 и трубы Вентури, установленные в заполненных трубопроводах круглого сечения. Технические условия.

ГОСТ 8.563.2-97.ГСИ. Измерение расхода и количества жидкостей и газов методом переменного перепада давления. Методика выполнения измерений с помощью сужающих устройств.

ПР 50.2.022-99.ГСИ. Порядок осуществления Государственного метрологического контроля и надзора за применением и состоянием измерительных комплексов с сужающими устройствами.

ГОСТ 30319.0,1,2,3-96. Газ природный Методы расчета физических свойств.

2. Условные обозначения и термины

В рекомендации использованы обозначения и термины, принятые в ГОСТ 8.563.1-97 и ГОСТ 8.563.2-97.

3. Средства измерений и вспомогательные устройства

3.1. Общие требования к средствам измерений

Измерения расхода и количества жидкостей и газов выполняют с помощью ИК, в состав которых входят основные узлы, перечисленные в разделе 1 ГОСТ 8.563.2-97.

3.2. Сужающие устройства

3.2.1. Конструкция диафрагм должна соответствовать требованиям п.8.1 ГОСТ 8.563.1-97, сопел ИСА 1932- пп. 9.1, 9.2, 9.3 и 9.4 ГОСТ 8.563.1-97.

3.2.2. Конструкция камер отбора давлений и выполнение отверстий для отбора давлений соответствуют требованиям п.8.2 ГОСТ 8.563.1-97 для диафрагм и п.9.5 ГОСТ 8.563.1-97 для сопел ИСА 1932.

Измерения внутреннего диаметра диафрагмы и горловины сопло ИСА 1932 выполняют в соответствии с требованиями п.8.1.7 и п.9.2.5 ГОСТ 8.563.1-97.

3.2.3. Сужающие устройства устанавливают в трубопровод в соответствии с требованиями раздела 7 ГОСТ 8.563.1-97.

3.3. Измерительный трубопровод

3.3.1. Измерительный трубопровод должен соответствовать требованиям п.7.5 ГОСТ 8.563.1-97.

3.3.2. Измерения внутреннего диаметра выполняют в соответствии с требованиями п.7.5.1.2. ГОСТ 8.563.1-97.

3.4. Средства измерений параметров потока

Требования к характеристикам средств измерений параметров потока, их монтажу и эксплуатации должны соответствовать разделам 4 и 6 ГОСТ 8.563.2-97.

4. Метод измерений

4.1. Принцип метода измерений расхода и количества жидкостей и газов с помощью измерительных комплексов с сужающими устройствами изложен в разделе 5 ГОСТ 8.563.1-97.

4.2. Уравнения для вычисления расхода жидкостей и газов представлены в п.5.1 ГОСТ 8.563.2-97, уравнения для расчета количества среды приведены в п.5.2 ГОСТ 8.563.2-97.

В разделе 6 настоящей рекомендации излагаются алгоритмы решения этих уравнений без упрощений по вычислению коэффициента истечения, принятых в п.5.2 ГОСТ 8.563.1-97. При этом учтены следующие положения.

4.3. Уравнения для вычисления коэффициента истечения, поправочных коэффициентов на влияние шероховатости и притупления входной кромки диафрагмы используют в следующем виде.

4.3.1. Уравнение Штольца, используемое для расчета коэффициента истечения диафрагм (п.8.3.2 ГОСТ 8.563.1-97), в настоящих рекомендациях имеет следующую область применения:

для диафрагм с угловым отбором перепада давления

$$d \geq 12{,}5 \text{ мм}; \quad D \geq 50 \text{ мм}; \quad 0{,}2 \leq \beta \leq 0{,}8;$$

$$5000 \leq Re \quad \text{при } 0{,}2 \leq \beta \leq 0{,}45;$$

$$10000 \leq Re \quad \text{при } 0{,}45 < \beta \leq 0{,}75;$$

$$20000 \le Re \quad \text{при } 0{,}75 < \beta \le 0{,}8;$$

для диафрагм с фланцевым и трехрадиусным отбором перепада давления

$$d \ge 12{,}5 \text{ мм}; \; 1000 \ge D \ge 50 \text{ мм}; \; 0{,}2 \le \beta \le 0{,}75;$$

$$1260\beta^2 D \le Re \; .$$

4.3.2. Для диафрагм с угловым, фланцевым и трехрадиусным отбором перепада давления величину поправочного коэффициента на шероховатость внутренней поверхности измерительного трубопровода рассчитывают по следующим формулам:

при $\beta<0{,}3$ и $R_ш \, 10^4/D \le 25$ или при $\beta \ge 0{,}3$ и $R_ш \, 10^4/D \le 10^{\left[8+1/(10\beta^4)\right]/14}$

$$K_ш = 1; \qquad (4.1)$$

при $\beta < 0{,}3$ и $25 < R_ш 10^4/D \le 30$ или при $\beta \ge 0{,}3$ и $30 \ge R_ш 10^4/D > 10^{\left[8+1/(10\beta^4)\right]/14}$, а эквивалентная шероховатость выбрана по данным таблицы Б1 ГОСТ 8.563.1-97 или получена экспериментально по рекомендациям п.В.3.4. ГОСТ 8.563.1-97,

$$K_ш = 1 + \beta^4 r_o A_{Re}, \qquad (4.2)$$

где $r_o = -0{,}04 + 0{,}07 \lg (R_ш 10^4/D)$,

$A_{Re} = 0$ – при $5000 < Re \le 10^4$,

$A_{Re} = 1 - 0{,}25 (\lg Re - 6)^2$ - при $10^4 < Re < 10^6$,

$A_{Re} = 1$ – при $Re \ge 10^6$;

при $R_ш \; 10^4/D > 30$ и условии, что эквивалентная шероховатость выбрана по данным приложения А настоящей рекомендации или получена экспериментально по рекомендациям п.В.3.4.ГОСТ 8.563.1-97,

$$K_ш = 1 + 3{,}5 \, \beta^{3,5} (\lambda - \lambda_c)/C, \qquad (4.3)$$

где C - коэффициент истечения по формуле Штольца;

λ - коэффициент сопротивления трения рассчитываемый по следующей формуле:

$$\lambda = 0{,}11 [(R_ш/D) + (68/Re)]^{0,25}, \qquad (4.3.1)$$

λ_c - коэффициент сопротивления трения трубопроводов, используемых для получения стандартных значений С:

$$\lambda_c = 0{,}11 [4 \, 10^{-4} + (68/Re)]^{0,25}. \qquad (4.3.2)$$

Если $K_{ш}$, полученное в результате расчета, менее единицы, то значение $K_{ш} = 1$. Если $K_{ш}$, полученное в результате расчета, больше 1,03, то принимается, что эквивалентная шероховатость стенок ИТ в данном угле учета превышает допускаемое значение и такой узел бракуется.

4.3.3 .Поправочный коэффициент на притупление входной кромки отверстия диафрагмы определяют по следующим формулам:

при $\overline{r_k}/d \le 0{,}0004$ $K_n = 1$, (4.4)

при $\overline{r_k}/d > 0{,}0004$ $K_n = 1{,}0547 - 0{,}0575 \cdot exp(-149 \cdot \overline{r_k}/d)$, (4.5)

где средний радиус закругления входной кромки $\overline{r_k}$ рассчитывают по формуле (В.40) ГОСТ 8.563.1-97 в виде

$$\overline{r_k} = 0{,}195 - (0{,}195 - r_н)[1 - exp(-\tau_{пп}/3)](3/\tau_{пп}) \quad (4.6)$$

при $\tau_{пп} = 0$ $\overline{r_k} = r_н$, (4.7)

при $\tau_{пп} = 1$ году $\overline{r_k} = 0{,}0292 + 0{,}850 \cdot r_н$, (4.8)

где $r_н$ – начальный радиус закругления входной кромки диафрагмы; определяют путем измерений, либо принимают равным 0,05 мм. Диаметр отверстия диафрагмы d подставляют в формулу (4.5) в мм.

Если K_n, полученное в результате расчета, менее единицы, то значение $K_n = 1$.

4.3.4. Уравнение для расчета коэффициента истечения сопел ИСА1932 (п.9.6.2 ГОСТ 8.563.1-97) в настоящей рекомендации имеет следующую область применения:

$$d \ge 12{,}5 \text{ мм}; \; D \ge 50 \text{ мм}; \; 0{,}3 \le \beta \le 0{,}8;$$

$$7 \cdot 10^4 \le Re \le 5 \cdot 10^7 \text{ при } 0{,}3 \le \beta \le 0{,}44;$$

$$2 \cdot 10^4 \le Re \le 5 \cdot 10^7 \text{ при } \beta > 0{,}45.$$

4.3.5. Для сопел ИСА 1932 величину поправочного коэффициента на шероховатость внутренней поверхности измерительного трубопровода рассчитывают по следующим формулам:

при $\beta < 0{,}35$ и $R_ш 10^4/D \le 25$ или при $\beta \ge 0{,}35$ и $R_ш 10^4/D \le 10^{[5+1/(10\beta^4)]/9}$

$K_ш = 1$; (4.9)

при $\beta<0,35$ и $25<R_ш10^4/D\leq30$ или при $\beta\geq0,35$ и $30\geq R_ш 10^4/D>10^{[5+1/(10\beta^4)]/9}$, а эквивалентная шероховатость выбрана по данным таблицы Б1 ГОСТ 8.563.1-97 или получена экспериментально по рекомендациям п.В.3.4.ГОСТ 8.563.1-97

$$K_ш = 1 + \beta^4 r_o A_{Re}, \quad (4.10)$$

где $r_o = -0,025 + 0,045 \lg (R_ш 10^4/D)$,

$A_{Re} = 1-0,25 (\lg Re -6)^2$ - при $210^4< Re <10^6$,

$A_{Re} = 1$ – при $Re \geq 10^6$.

При $R_ш \ 10^4/D>30$ и условии, что эквивалентная шероховатость выбрана по данным приложения А настоящей рекомендации или получена экспериментально по рекомендациям п.В.3.4 ГОСТ 8.563.1-97,

$$K_ш=1+3,5*A\ \beta^{3,5}(\lambda-\lambda_c)/B, \quad (4.11)$$

где $A=[0,0,045\lg(R_ш10^4/D)-0,025]/\ [0,0,07\lg(R_ш10^4/D)-0,04]$ (4.12)

$B=0,5959+0,0312\beta^{2,1}-0,184\beta^8$

Значения λ и λ_c рассчитывают по формулам (4.3.1) и (4.3.2).

Если $K_ш$, полученное в результате расчета, менее единицы, то значение $K_ш = 1$.Если $K_ш$, полученное в результате расчета, больше 1,03, то принимается, что эквивалентная шероховатость стенок ИТ в данном угле учета превышает допускаемое значение и такой узел бракуется.

4.4. Коэффициент расширения ε, при принятых в настоящих рекомендациях условиях измерений, рассчитывают для диафрагм по формуле (8.10) ГОСТ 8.563.1-97

$$\varepsilon=1-(0,41+0,35\cdot\beta^4)\Delta p/(\kappa\cdot p), \quad (4.13)$$

для сопел ИСА 1932 по формуле (9.8) ГОСТ 8.563.1-97

$$\varepsilon=\{[\kappa\cdot\psi^{2\kappa}/(\kappa-1)][(1-\beta^4)/(1-\beta^4\cdot\psi^{2/\kappa})][(1-\psi^{(\kappa-1)\kappa})/(1-\psi)]\}^{0,5}, \quad (4.14)$$

где $\psi = 1-\Delta p/p$.

4.5. Значение эквивалентной шероховатости внутренней поверхности стенок измерительного трубопровода определяют в соответствии с требованиями ГОСТ 8.563.1-97 или по приложению А настоящей рекомендации.

4.6. Значения плотности (в рабочих (ρ) или стандартных (ρ_c) условиях), коэффициент динамической вязкости (μ) и показатель адиабаты (κ), определяют по методикам, установленным в ГОСТ 30319.0..3-96 , по данным Государственной службы стандартных справочных данных (ГСССД) или на основании данных лабораторных анализов, выполненных в соответствии с действующими стандартами.

4.7. Измерения расхода и суточного количества проводят на основании данных информационных каналов по средним значениям за период осреднения ($\Delta\tau$) по разности давления на сужающем устройстве (Δp), по абсолютному давлению на входе в сужающее устройство (p) и по температуре среды (t), которые поступают на вход вычислителя в реальном масштабе времени или находятся по планиметрическим числам и по методикам, установленным в п. 5.2.3 и в приложении Г ГОСТ 8.563.2-97.

5. Подготовка к выполнению измерений

5.1. Перед измерениями проверяют соответствие комплектности технической документации требования ПР 50.2.022-99.

5.2. Перед измерениями проверяют герметичность всех узлов и соединений, в которых находится среда.

5.3. Все средства измерений приводят в рабочее состояние и измеряют действительные значения параметров, по которым определяют количество или (и) расход среды (см. приложение А ГОСТ 8.563.2-97).

6. Методика выполнения измерения массового расхода.

Независимо от области изменения параметров измерительного комплекса с сужающими устройствами, измерения массового расхода являются косвенными измерениями и их выполняют в два этапа.

6.1.*Первый этап*. Формирование расчетных данных

6.1.1. Рассчитывают значение относительной площади β

6.1.1.1. Рассчитывают значение температурного коэффициента линейного расширения для материала сужающего устройства и измерительного трубопровода по формуле (В.5) ГОСТ 8.563.1-97

$$\gamma = 10^{-6}\,(a_c + 10^{-3}\,t\,b_c - 10^{-6}t^2\,c_c),$$

где a_c, b_c и c_c - значения постоянных коэффициентов, которые выбирают по табл.В.1 ГОСТ 8.563.1-97 в зависимости от материала сужающего устройства и измерительного трубопровода.

Если значения температурного коэффициента линейного расширения известны (например, из сертификата на металл завода-изготовителя), то значение "γ" не рассчитывают, а принимают по данным сертификата.

6.1.1.2. Рассчитывают значения диаметра сужающего устройства d и внутреннего диаметра измерительного трубопровода D в рабочих условиях

$$d = d_{20}[1+\gamma(t-20)],$$

$$D = D_{20}[1+\gamma(t-20)].$$

Проверяют выполнение условий $d > d_{mn}$ и $D_{mn} \le D < D_{max}$, где d_{mn} равно 12,5 мм, а D_{mn} и D_{ma} указаны в п.4.3.1 (диафрагмы) и п.4.3.4 (сопла ИСА 1932) (здесь и далее номера пунктов и формул без ссылок на НД соответствуют настоящей рекомендации).

6.1.1.3. Рассчитывают относительный диаметр сужающего устройства $\beta = d/D$ и проверяют выполнение условий $\beta_{mn} \le \beta \le \beta_{max}$. Величины β_{mn} и β_{max} для диафрагм и для сопел ИСА определяют по п. 4.3.1 и п.4.3.4.

6.1.2. Проводится расчет $C(\beta)=C\sim/(1-\beta^4)^{0,5}$,

где $C\sim$ считают по формуле (8.8) ГОСТ 8.563.1-97 для диафрагм в виде

$$C\sim=0,5959+0,0312\beta^{2,1}-0,184\beta^8+[0,090L_1\beta^4/(1-\beta^4)]-0,0337L_2\cdot\beta^3,$$

где $L_1=L_2=0$ (угловой отбор перепада давления);

$L_1=1$; $L_2=0,47$ (трехрадиусный отбор перепада давления);

$L_1=L_2=25,4/D$ (фланцевый отбор перепада давления);

(D выражено в мм, а если $L_1 \ge 0,4333$, $0,09L_1 = 0,039$)

и по формуле (9.6) ГОСТ 8.563.1-97 для сопел ИСА 1932 в виде

$$C\sim=0,9900-0,2262\beta^{4,1}.$$

6.1.3. Проводят расчет

$B(\beta)=0,0029\beta^{2,5}/(1-\beta^4)^{0,5}$ - для диафрагм и

$B(\beta)=(33\beta^{2,15}-17,5)\cdot10^{-4}\cdot\beta^2/(1-\beta^4)^{0,5}$ - для сопел ИСА 1932.

6.1.4. Рассчитывают поправочный коэффициент на притупление входной кромки отверстия диафрагмы по п. 4.3.3.

6.1.5. При течении газа рассчитывают коэффициент расширения ε по п.4.4. При течении жидкости коэффициент расширения равен единице.

6.1.5.1. Измеряют среднее значение разности давления на сужающем устройстве (Δp) и среднее значение абсолютного давления на входе сужающего устройства (p) в соответствии с п.4.7.

6.1.5.2. Определяют показатель адиабаты рекомендациям п.4.6

6.1.5.3. Проверяют выполнение условия (п.6.3.3) ГОСТ 8.563.1-97- $\Delta p/p \leq 0{,}25$. Если условие не выполнено, уменьшают разность давлений или увеличивают давление на входе в сужающее устройство.

Если условие (п.6.3.3) ГОСТ 8.563-97 выполнено, расчет продолжают.

6.1.5.4. Рассчитывают коэффициент расширения ε по формуле (4.13) для диафрагм или по формуле (4.14) для сопел ИСА 1932.

6.1.6. Рассчитывают обобщенный параметр C_{ϕ}.

6.1.6.1. Измеряют среднее значение разности давлений на сужающем устройстве Δp с учетом рекомендаций п.4.7.

6.1.6.2. Проверяют условие однофазности течения жидкости (п.6.3.2.) ГОСТ 8.563.1-97 (отсутствие вскипания жидкости в сжатом сечении сужающего устройства)

$\Delta p < p - p_{vp}$.

Давление насыщенных паров жидкости при температуре на входе с сужающее устройство p_{vp} определяют по данным ГСССД или по данным лабораторных анализов, выполненных в соответствии с действующими стандартами.

Если условие однофазности не выполнено, уменьшают разность давлений на сужающем устройстве.

6.1.6.3. Определяют значение плотности в рабочих условиях (ρ) и коэффициент динамической вязкости (μ), выраженное в единицах СИ, по рекомендациям п.4.6

6.1.6.4. Рассчитывают обобщенный параметр

$C_{\phi} = (\varepsilon \cdot D/\mu)(2 * \Delta p * \rho)^{0,5}$.

6.1.7. Рассчитывают поправку на влияние шероховатости внутренней поверхности измерительного трубопровода на коэффициент расхода.

6.1.7.1. Проверяют величину относительной эквивалентной шероховатости, при которой поправку на влияние шероховатости не вводят по рекомендациям п. 4.3.2 (диафрагмы) и п.4.3.5 (сопла ИСА 1932).

При выполнении вышеуказанных условий поправка на шероховатость равна единице. В противном случае выбирают формулу по расчету поправки на шероховатость по данным п.4.3.2 (диафрагмы) или 4.3.5 (сопла ИСА 1932).

6.1.7.2. Проверяют величину относительной эквивалентной шероховатости, при которой расчет по ГОСТ 8.563.1-97 не может быть выполнен:

$$R_{ш}10^{4}/D > 30.$$

6.1.7.3. Проводят выбор метода расчета поправки на шероховатость внутренней поверхности измерительного трубопровода и методики выполнения измерений массового расхода.

6.1.7.3.1.Если эквивалентная шероховатость выбрана по данным приложения Б1 ГОСТ 8.563.1-97 и условие п.6.1.7.2 не выполнено и $K_{ш}>1$, расчет поправки на шероховатость выполняют на втором этапе по формулам 4.2 (диафрагмы) и 4.10 (сопла ИСА 1932). Методика выполнения измерения расхода изложена в п. 6.2.1.

6.1.7.3.2. Если эквивалентная шероховатость выбрана по данным приложения А настоящей рекомендации и $K_{ш}>1$, расчет поправки на шероховатость выполняют по формулам 4.3 (диафрагмы) и 4.11 (сопла ИСА 1932). Методика выполнения измерения расхода изложена в п.6.2.2.

6.1.7.3.3. Если $K_{ш}=1$ и величину эквивалентной шероховатости находят по данным приложения А или $\beta>0{,}75$ (диафрагмы), методика выполнения измерения расхода изложена в п.6.2.3.

6.2. *Второй этап*. Измерение массового расхода.

Вычисление массового расхода выполняют в следующей последовательности.

6.2.1.Если поправку на шероховатость рассчитывают по п.6.1.7.3.1,то:

6.2.1.1. Рассчитывают значение поправки на шероховатость по п.4.3.2 (диафрагмы) или п.4.3.5 (сопла ИСА 1932).

6.2.1.1.1. Рассчитывают параметр r_{o} по формулам

для сопел ИСА 1932

$r_o = -0,025 + 0,045 \lg (R_ш 10^4 / D)$;

для диафрагм

$r_o = -0,04 + 0,07 \lg (R_ш 10^4 / D)$.

6.2.1.1.2. Принимают значение A_{Re} =0,5.

6.2.1.1.3. Рассчитывают значение $K_ш 1$

$K_ш 1 = 1 + \beta^4 r_o 0,5$.

6.2.1.2. Рассчитывают параметр

$П_c = \{B(\beta)/[C(\beta)^{a+1}]\}[10^6/(\beta^2 \cdot C_ф \cdot K_ш 1 \cdot K_n)]^a$,

где a=0,75 для диафрагм и a=1,15 для сопел ИСА 1932.

6.2.1.3. Рассчитывают параметр

$K_c = 1 - П_c * U_4^{a+1}$

где $U_4 = 1 - П_c \cdot * U_3^{a+1}$; $U_3 = 1 - П_c \cdot * U_2^{a+1}$; $U_2 = 1 - П_c \cdot * U_1^{a+1}$; $U_1 = 1 - П_c$.

6.2.1.4. Рассчитывают число Рейнольдса

$Re1 = [C(\beta) * \cdot K_ш 1 \cdot * K_n / K_c] * \beta^2 * C_ф$.

6.2.1.5. Рассчитывают значение A_{Re}

$A_{Re} = 0$ - при $5000 < Re1 \leq 10^4$,

$A_{Re} = 1 - 0,25 (\lg Re1 - 6)^2$ - при $10^4 < Re1 < 10^6$,

$A_{Re} = 1$ – при $Re1 \geq 10^6$.

6.2.1.6. Рассчитывают значение $K_ш 2$

$K_ш 2 = 1 + \beta^4 r_o A_{Re}$.

6.2.1.7. Повторяют расчеты с п. 6.2.1.2 по п.6.2.1.4 и находят $Re2$

6.2.1.8. Рассчитывают коэффициент расхода

6.2.1.8.1. Рассчитывают значение A_{Re}

$A_{Re} = 0$ - при $5000 < Re2 \leq 10^4$,

$A_{Re} = 1 - 0,25 (\lg Re2 - 6)^2$ - при $10^4 < Re2 < 10^6$,

$A_{Re} = 1$ – при $Re2 \geq 10^6$.

6.2.1.8.2. Рассчитывают значение $K_ш 3$

$K_ш 3 = 1 + \beta^4 r_o A_{Re}$.

6.2.1.8.3. Рассчитывают поправочный коэффициент на число Рейнольдса

$K_{Re} = 1 + (B/C\sim) * (10^6 / Re2)^a$.

6.2.1.8.4. Рассчитывают значение коэффициента расхода

$\alpha = C(\beta) * K_{Re} * K_ш 3 * K_n$.

6.2.1.9. Рассчитывают предварительное значение массового расхода

$q_{m1}=0,25\cdot\pi\cdot\alpha\cdot\varepsilon\cdot[1+\gamma_d(t-20)]^2\cdot d_{20}^2\cdot(2\cdot\Delta p\cdot\rho)^{0,5}$

6.2.1.10. Рассчитывают окончательное значение числа Рейнольдса

$Re=(4/\pi)*q_{m1}/(D*\mu)$.

6.2.1.11. Рассчитывают коэффициент расхода.

6.2.1.11.1. Рассчитывают значение A_{Re}

$A_{Re} = 0$ - при $5000 < Re \leq 10^4$,

$A_{Re} = 1-0,25(\lg Re - 6)^2$ - при $10^4 < Re < 10^6$,

$A_{Re} = 1$ – при $Re \geq 10^6$.

6.2.1.11.2. Рассчитывают значение $K_ш$

$K_ш = 1 + \beta^4 r_o A_{Re}$.

6.2.1.11.3. Рассчитывают поправочный коэффициент на число Рейнольдса

$K_{Re}= 1+(B/C_\sim)*(10^6/Re)^a$.

6.2.1.11.4. Рассчитывают значение коэффициента расхода

$\alpha=C(\beta)*K_{Re}*K_ш*K_п$.

6.2.1.12. Рассчитывают значение массового расхода

$q_m=0,25\cdot\pi\cdot\alpha\cdot\varepsilon\cdot[1+\gamma_d(t-20)]^2\cdot d_{20}^2\cdot(2\cdot\Delta p\cdot\rho)^{0,5}$.

6.2.2. Если поправка на шероховатость рассчитана по 6.1.7.3.2, то;

6.2.2.1. Рассчитывают значение $K_ш$ *1.*

*6.2.2.1.1.*Рассчитывают значение $\lambda 1 = 0,11[(R_ш/D)+(68/10^6)]^{0,25}$.

6.2.2.1.2. Рассчитывают значение $\lambda_c 1 = 0,11[4\ 10^{-4}+(68/10^6)]^{0,25}$.

6.2.2.1.3. Рассчитывают значение $C1 = C_\sim + B$.

6.2.2.1.4. Рассчитывают значение $K_ш 1 = 1+3,5\ \beta^{3,5}(\lambda 1-\lambda_c 1)/C1$.

6.2.2.2. Рассчитывают параметр

$\Pi_c =\{B(\beta)/[C(\beta)^{a+1}]\}[10^6/(\beta^2\cdot C_ф\cdot K_ш 1\cdot K_п)]^a$,

где a=0,75 для диафрагм и a=1,15 для сопел ИСА 1932.

6.2.2.3. Рассчитывают параметр

$K_c = 1-\Pi_c * U_4^{a+1}$

где $U_1 = 1-\Pi_c\cdot * U_3^{a+1}$; $U_3 = 1-\Pi_c\cdot * U_2^{a+1}$; $U_2 = 1-\Pi_c\cdot * U_1^{a+1}$; $U_1 = 1-\Pi_c$.

6.2.2.4. Рассчитывают число Рейнольдса

$Re1 = [C(\beta)*\cdot K_ш 1\cdot * K_п / K_c]*\beta^2 * C_ф$.

6.2.2.5 Рассчитывают значение $K_ш$ *2*

6.2.2.5.1. Рассчитывают значение $\lambda 2 = 0,11[(R_ш/D)+(68/Re1)]^{0,25}$.

6.2.2.5.2. Рассчитывают значение $\lambda_c 2 = 0,11[4\ 10^{-4}+(68/Re1)]^{0,25}$.

6.2.2.5.3 Рассчитывают значение $C2 = C_{\sim} + B\,(10^6/Re1)^a$.

6.2.2.5.4 Рассчитывают значение $K_ш2 = 1 + 3{,}5\,\beta^{3{,}5}(\lambda 2 - \lambda_c 2)/C2$.

6.2.2.6. Рассчитывают число Рейнольдса.

6.2.2.6.1 Рассчитывают значение параметра

$$П_c = \{B(\beta)/[C(\beta)^{a+1}]\}[10^6/(\beta^2 \cdot C_ф \cdot K_ш 2 \cdot K_п)]^a,$$

где a=0,75 для диафрагм и a=1,15 для сопел ИСА 1932.

6.2.2.6.2. Рассчитывают параметр

$$K_c = 1 - П_c * U_4^{a+1}$$

где $U_4 = 1 - П_c \cdot * U_3^{a+1}$; $U_3 = 1 - П_c \cdot * U_2^{a+1}$; $U_2 = 1 - П_c \cdot * U_1^{a+1}$; $U_1 = 1 - П_c$.

6.2.2.6.3. Рассчитывают число Рейнольдса

$$Re2 = [C(\beta) * \cdot K_ш 2 \cdot * K_п / K_c] * \beta^2 * C_ф .$$

6.2.2.7 Рассчитывают значение $K_ш$ 3.

6.2.2.7.1. Рассчитывают значение $\lambda 3 = 0{,}11[(R_ш/D) + (68/Re2)]^{0{,}25}$.

6.2.2.7.2. Рассчитывают значение $\lambda_c 3 = 0{,}11[4\ 10^{-4} + (68/Re2)]^{0{,}25}$.

6.2.2.7.3 Рассчитывают значение $C3 = C_{\sim} + B\,(10^6/Re2)^a$.

6.2.2.7.4 Рассчитывают значение $K_ш 3 = 1 + 3{,}5\,\beta^{3{,}5}(\lambda 3 - \lambda_c 3)/C3$.

6.2.2.8. Рассчитывают коэффициент расхода.

6.2.2.8.1.Рассчитывают поправочный коэффициент на число Рейнольдса

$$K_{Re} = 1 + (B/C_{\sim}) * (10^6/Re2)^a .$$

6.2.2.8.2. Рассчитывают значение коэффициента расхода

$$\alpha = C(\beta) * K_{Re} * K_ш 3 * K_п .$$

6.2.2.9. Рассчитывают предварительное значение массового расхода

$$q_{m1} = 0{,}25 \cdot \pi \cdot \alpha \cdot \varepsilon \cdot [1 + \gamma_d (t - 20)]^2 \cdot d_{20}^2 \cdot (2 \cdot \Delta p \cdot \rho)^{0{,}5} .$$

6.2.2.10.Рассчитывают окончательное значение числа Рейнольдса

$$Re = (4/\pi) * q_{m1} / (D * \mu).$$

6.2.2.11. Рассчитывают коэффициент расхода.

6.2.2.11.1. Рассчитывают значение $K_ш$.

6.2.2.11.1.1. Рассчитывают значение $\lambda = 0{,}11[(R_ш/D) + (68/Re)]^{0{,}25}$.

6.2.2.11.1.2. Рассчитывают значение $\lambda_c = 0{,}11[4\ 10^{-4} + (68/Re)]^{0{,}25}$.

6.2.2.11.1.3. Рассчитывают значение $C = C_{\sim} + B\,(10^6/Re)^a$.

6.2.2.11.1.4.Рассчитывают значение $K_ш = 1 + 3{,}5\,\beta^{3{,}5}(\lambda - \lambda_c)/C$.

6.2.2.11.1.5. Проверяют выполнение условия $K_ш \le 1{,}03$.

6.2.2.12. Рассчитывают поправочный коэффициент на число Рейнольдса

$$K_{Re} = 1 + (B/C_{\sim}) * (10^6/Re)^a .$$

6.2.2.13. Рассчитывают значение коэффициента расхода

$\alpha=C(\beta)*K_{Re}*K_{ш}*K_{n}$.

6.2.2.14. Рассчитывают значение массового расхода

$q_m=0,25\cdot\pi\cdot\alpha\cdot\varepsilon\cdot[1+\gamma_d(t-20)]^2\cdot d_{20}^2\cdot(2\cdot\Delta p\cdot\rho)^{0,5}$.

6.2.3. Если поправка на шероховатость рассчитана по 6.1.7.3.3, то:

6.2.3.1 Рассчитывают параметр

$\Pi_c=\{B(\beta)/[C(\beta)^{a+1}]\}[10^6/(\beta^2\cdot C_\phi\cdot K_n)]^a$,

где a=0,75 для диафрагм и a=1,15 для сопел ИСА 1932.

6.2.3.2. Рассчитывают параметр

$K_c=1-\Pi_c\cdot U_4^{a+1}$

где $U_4=1-\Pi_c\cdot U_3^{a+1}$; $U_3=1-\Pi_c\cdot U_2^{a+1}$; $U_2=1-\Pi_c\cdot U_1^{a+1}$; $U_1=1-\Pi_c$.

6.2.3.3. Рассчитывают число Рейнольдса

$Re=[C(\beta)\cdot K_n/K_c]\,\beta^2 C_\phi$.

6.2.3.4. Рассчитывают коэффициент расхода.

6.2.3.4.1. Рассчитывают поправочный коэффициент на число Рейнольдса

$K_{Re}=1+(B/C\sim)*(10^6/Re)^a$

6.2.3.4.2. Рассчитывают значение коэффициента расхода

$\alpha=C(\beta)*K_{Re}*K_n$.

6.2.3.5. Рассчитывают массовый расход

$q_m=0,25\cdot\pi\cdot\alpha\cdot\varepsilon\cdot[1+\gamma_d(t-20)]^2\cdot d_{20}^2\cdot(2\cdot\Delta p\cdot\rho)^{0,5}$.

7. Измерения количества

7.1. Измерения количества проводят по средним значениям (условно-постоянные величины) разности давления, абсолютного давления, температуры и состава среды за период осреднения ($\Delta\tau$) в соответствии с рекомендациями, изложенными в п.5.2.3 ГОСТ 8.563.2-97.

7.2. Массу за установленное время или сектор (τ_i) , в пределах которого одновременно и разность давлений, и абсолютное давление, и температура, и состав среды остаются условно-постоянными, определяют как произведение массового расхода на время τ_i. Объем в стандартных условиях за установленное время определяется как отношение массы к плотности в стандартных условиях.

7.3. Суточную массу или объем определяют суммированием массы (объема), полученных в п.7.2., с учетом, что сумма установленного времени по секторам, где разность давлений, абсолютное давление, температура и состав остается условно-постоянным, составляет 24 часа.

8. Расчет погрешности измерений расхода и количества

8.1. Рассчитывают погрешность измерений расхода по формулам раздела 9 ГОСТ 8.563.2-97 с учетом того, что погрешность расчета корректирующего коэффициента на шероховатость внутренних стенок измерительного трубопровода для диафрагм и сопел ИСА 1932 проводят по формулам: В.35 и В.43 ГОСТ 8.563.1-97

$\delta_{K_ш}=(K_ш-1)*100\%$

Если величины рассчитанных погрешностей меньше нуля или $D>0,3$ или $K_ш=1$, то $\delta_{K_ш}=0$.

8.2. Рассчитывают погрешность измерений количества с учетом дополнительной систематической погрешности, вызванной осреднением при формировании условно-постоянной величины (по формулам п. 5.2.3. ГОСТ 8.563.2-97).

8.2.1. Рассчитывают дополнительную систематическую погрешность по формуле (5.26) ГОСТ 8.563.2-97

$$\overline{\delta_V} = [(y_в - y_н)/(y_в + y_н)]^2 \, \vartheta \, 100,$$

где $\vartheta = 0,125 \, (\partial q/\partial y^2) \, (y_в + y_н)^2 \, /q$, $y_в$ *и* $y_н$ – верхнее и нижнее значение в диапазоне измерения параметров за период осреднения, q – общее обозначение, принятое для массового и объемного расхода при рабочих или стандартных условиях; $\partial q/\partial y^2=4(q_1+q_3-2q_2)/(y_в - y_н)^2$, *где* q_1 – расход при $y = y_в$, q_2 – расход при $y = (y_в + y_н)/2$, q_3 – расход при $y = y_н$.

Если дополнительная систематическая погрешность составляет менее 1/3 результирующей систематической погрешности количества, рассчитанной по п.9.4.5 ГОСТ 8.563.2-97, ею пренебрегают.

Если полученная дополнительная погрешность превышает допускаемую для учета погрешность, уменьшают период осреднения ($\Delta\tau$) того параметра, который вносит максимальный вклад в дополнительную погрешность.

8.2.2. Рассчитывают погрешность измерения количества по формуле (9.27) с учетом п.5.2.3. ГОСТ 8.563.2-97

$$\delta_V = (\bar{\delta}_\partial^2 + \bar{\delta}_V^2 + \delta_\tau^2)^{0,5},$$

где $\bar{\delta}_\partial$ и $\bar{\delta}_V$ – систематическая составляющая соответственно погрешности расхода, рассчитанная при средних параметрах потока за время измерений, и дополнительная погрешность, вызванная осреднением при расчете расхода по условно-постоянной величинам,

δ_τ – инструментальная погрешность измерений интервала времени.

Случайную составляющую из погрешности измерений количества исключают, как пренебрежимо малую.

В Приложении Б даны примеры расчетов массового расхода в соответствии с рекомендациями настоящих МИ.

Приложение А

Значения эквивалентной шероховатости $R_ш$ внутренней поверхности измерительных трубопроводов

Материал	Вид, состояние поверхности стенки трубы и условия её эксплуатации	$R_ш$, мм	Вид нормативного документа
Сталь	Новая бесшовная:- холоднодеформированная	<0,03	ГОСТ
	- горячеформованная	<0,1	8.563.1-97
	- прокатная	<0,1	
	Цельнотянутая: - паропроводы, работающие периодически, и конденсатопроводы с открытой системой сбора конденсата	0,5	
	-газопроводы после нескольких лет эксплуатации в различных условиях (корродированные или с небольшими отложениями)	0,6	МИ 2588-2000
	- воздуховоды сжатого воздуха	0,8	
	- конденсатопроводы, работающие периодически, и водяные теплопроводы	1,0	
	Цельносварная: - магистральные газопроводы после нескольких лет эксплуатации	0,5	
	- магистральные газопроводы после 20 лет эксплуатации	1,1	
	- трубы, загрязненные в процессе эксплуатации на воде, не корродированные	<1	
	Новая спирально-навитая сварная	0,1	
	Новая, сваренная продольно: - с незначительным налетом ржавчины	<0,2	ГОСТ
	- ржавая	<0,3	8.563.1-97

Продолжение таблицы

Материал	Вид, состояние поверхности стенки трубы и условия её эксплуатации	$R_{ш}$, мм	Вид нормативного документа
	-с накипью	< 1,5	МИ
	- с большим отложением накипи	2	2588-2000
	Битуминизированная:		
	- новая	< 0,05	
	-в обычном состоянии	< 0,2	ГОСТ
	Оцинкованная:		8.563.1-97
	- новая	< 0,15	
	- бывшая в употреблении	0,18	
Чугун	Новая	0,25	
	Ржавая	<1,2	ГОСТ
	С накипью	<1,5	8.563.1-97
	Битуминизированная, новая	<0,05	
Асбоцемент	Облицованная и необлицованная, новая	<0,03	ГОСТ
	Необлицованная, в обычном состоянии	0,05	8.563.1-97
Цветной металл, стекло	Ровная, без осадков	<0,03	

Приложение Б

Примеры расчетов

Пример 1

1.Исходные данные:

1.1.Технологическая среда..... вода

1.2. Температура, t , °С..... 10

1.3. Абсолютное давление на входе в диафрагму, p, Па . 400000

1.4. Давление насыщенных паров при t, p_{vp}, Па.....1227

1.5. Плотность в рабочих условиях, ρ, кг/м^3..... 999,85

1.6. Динамическая вязкость в рабочих условиях, μ, Па·с 0,0013067

1.7. Внутренний диаметр трубопровода при 20 °С, D_{20}, мм....100,00

1.8. Внутренний диаметр отверстия диафрагмы при 20 °С, d_{20}, мм.....76,504

1.9. Труба стальная, сваренная продольно с незначительным налетом ржавчины.

Эквивалентная шероховатость, $R_ш$, мм 0,2

1.10. Сужающее устройство – диафрагма с угловым отбором перепада давления

1.11. Перепад давления на диафрагме, Δp, Па 25000

1.12. Материал трубопровода..... Сталь35

Материал диафрагмы ..... Сталь 12Х18Н10Т

1.13. Радиус закругления острой кромки, $r_н$, мм 0,05

1.14. Межповерочный интервал, $\tau_{пп}$, лет 1

1.15. Проверяют условие отсутствия кипения в диафрагме

$\Delta p < p - p_{vp}$ = 400000-1227 = 398770 – кипения нет.

2. Расчет расхода

2.1 Первый этап

2.1.1 Расчет относительного диаметра

2.1.1.1 Температурный коэффициент линейного расширения, γ_t(°С)$^{-1}$:

- для стали 35 (γ_D) .....1,03034410^{-5},

- для стали 12Х18Н10Т (γ_d) .....1,56823510^{-5}.

2.1.1.2. Внутренний диаметр трубопровода в рабочих условиях, мм

$D=D_{20}\cdot[1+\gamma_D(t-20)]$=100·[1+1,03034410^{-5}·(10-20)]=99,989697.

Внутренний диаметр отверстия диафрагмы в рабочих условиях, мм

$d=d_{20}\cdot[1+\gamma_d(t-20)]=76{,}504\cdot[1+1{,}56823510^{-5}\cdot(10-20)]=76{,}492002.$

2.1.1.3. Относительный диаметр

$\beta=d/D=76{,}492002/99{,}9896977=0{,}764998845<0{,}8$ и более 0,2

2.1.2. Расчет $C(\beta)=(0{,}5959+0{,}0312\beta^{2.1}-0{,}184\beta^8)/$

$/(1-\beta^4)^{0.5}=0{,}730193613.$

2.1.3. Расчет $B(\beta)=0{,}0029\beta^{2.5}/(1-\beta^4)^{0.5}=0{,}001830617.$

2.1.4. Проводят расчет K_n.

2.1.4.1.Так как $\tau_{пп}=1$ году, $\overline{r_k}=0{,}0292+0{,}850\cdot r_n=0{,}0717.$

2.1.4.2 $\overline{r_k}/d=0{,}000937353>0{,}0004.$

2.1.4.3 $K_n=1{,}0547-0{,}0575\cdot exp(-149\cdot\overline{r_k}/d)=1{,}004695182.$

2.1.5. Так как среда несжимаема, коэффициент расширения $\varepsilon=1$.

2.1.6. Расчет $C_\phi=(\varepsilon\cdot D/\mu)(2\cdot\Delta p\cdot\rho)^{0.5}=541043{,}0055.$

2.1.7. Расчет относительной эквивалентной шероховатости

$(R_ш10^4/D)=(0{,}2\cdot10^4/99{,}9897)=20,\ 0020609.$

Проверяют выполнения условия (8.6) ГОСТ 8.563.1-97. При $\beta>0{,}3$ имеем

$10^{\{8+[1/(10\beta^4)]\}/14}=3{,}910969843,\ K_ш>1$

Так как выполняется п.6.1.7.3.1, выбирают методику расчета. Кш и массового расхода по п.6.2.1.

2.2.Второй этап

2.2.1.Проводят расчет $K_ш$ при $A_{Re}=0{,}5.$

Расчет $r_o=-0{,}04+0{,}07\cdot lg(R_ш10^4/D)=0{,}051075232.$

2.2.2. Расчет $K_ш=1+\beta^4\cdot r_o\cdot A_{Re}=1{,}008746282.$

2.2.3. Расчет $П_c=\{B(\beta)/[C(\beta)^{1.75}]\}[10^6/(\beta^2C_\phi K_ш K_n)]^{0.75}=0{,}007443955.$

2.2.4. Расчет $K_c=0{,}992651509.$

2.2.5. Расчет $Re1=[C(\beta)K_nK_ш/K_c]\,\beta^2C_\phi=236053.7123.$

2.2.6. Расчет $K_ш$ при уточненном A_{Re}

Так как $10^4<Re1=236053.7123<10^6,$

$A_{Re}=1-0{,}25\cdot(lgRe1-6)^2=0{,}901721147.$

2.2.7. Расчет $K_ш=1+\beta^4\cdot r_o\cdot A_{Re}=1{,}015773415.$

2.2.8 Расчет $П_c=\{B(\beta)/[C(\beta)^{a+1}]\}[10^6/(\beta^2 C_\phi K_ш K_n)]^a$.
При a=0,75: $П_c$=0,007405299.
2.2.9 Расчет K_c=0,992689184.

2.2.10. Расчет $Re2 = [C(\beta)K_n K_ш/K_c]\ \beta^2 C_\phi$ = 237689,0895.
2.2.11. Расчет $K_ш$ при уточненном A_{Re}

Так как $10^4<Re2=237689,0895<10^6$,

$A_{Re}=1-0,25\cdot(lgRe2-6)^2$=0,902658885.

2.2.12 Расчет $K_ш=1+\beta^4\cdot r_o\cdot A_{Re}$=1,015789818.

2.2.13. Расчет $K_{Re}=1+(B/C\sim)*(10^6/Re2)^{0,75}$ = 1,007364658.
2.2.14. Расчет коэффициента расхода

$\alpha=C(\beta)*K_{Re}K_n K_ш$=0,750169995.
2.2.15. Расчет расхода

$q_{m1}=0,25\pi\alpha\varepsilon[1+\gamma_d(t-20)]^2 d_{20}^2(2\Delta p\rho)^{0,5}$=24,39143116 кг/с.
2.2.16. Расчет окончательного значения числа Рейнольдса

$Re = (4/\pi)*q_{m1}/(D*\mu)$= 237692,9278378.
2.2.17. Расчет $K_ш$ при уточненном A_{Re}

Так как $10^4<Re=237692,9278<10^6$, $A_{Re}=1-0,25\cdot(lgRe-6)^2$=0,902661073.

2.2.18 Расчет $K_ш=1+\beta^4\cdot r_o\cdot A_{Re}$=1,015789856.

2.2.19 Расчет $K_{Re}=1+(B/C\sim)*(10^6/Re)^{0,75}$ = 1,007364568.
2.2.20. Расчет коэффициента расхода

$\alpha=C(\beta)*K_{Re}*K_n*K_ш$=0,750693909.
2.2.21. Расчет результата измерений массового расхода

$q_m=0,25\pi\alpha\varepsilon[1+\gamma_d(t-20)]^2 d_{20}^2(2\Delta p\rho)^{0,5}$=24,39142991546 кг/с.

Примечание. Расход, рассчитанный по алгоритмам ИСО, дает $(q_m)_{iso}$ =24,391429919359,кг/с. Результат в п.2.2.21 совпадает с $(q_m)_{iso}$ с точностью до 10 значащих цифр. Число Рейнольдса по алгоритмам ИСО Re_{iso} = 237692,9157858.

Пример 2

1. Исходные данные.
1.1. Измеряемая среда ..... вода
1.2. Температура, t, °С 10
1.3. Абсолютное давление на входе в диафрагму, p, Па ... 400000
1.4. Давление насыщенных паров при t, p_{vp}, Па.....1227
1.5. Плотность в рабочих условиях, ρ, кг/м^3 999,85
1.6. Динамическая вязкость в рабочих условиях, μ, Па·с ... 0,001307
1.7. Внутренний диаметр трубопровода при 20 °С,
D_{20}, мм 100,00
1.8. Внутренний диаметр отверстия диафрагмы при 20 °С,
d_{20}, мм 56,500
1.9. Труба стальная, конденсатопроводы с открытой системой сбора конденсата. Эквивалентная шероховатость, $R_{ш}$, мм 0,5
1.10.Сужающее устройство: диафрагма с угловым отбором перепада давления
1.11. Перепад давления на диафрагме, Δp, Па 25000
1.12. Материал трубопровода Сталь35
Материал диафрагмы .... Сталь 12Х18Н10Т
1.13. Радиус закругления острой кромки, $r_{н}$, мм 0,05
1.14. Межповерочный интервал, τ_{m}, лет 1
1.15 Проверяют условие отсутствия кипения в диафрагме
$\Delta p < p - p_{vp} = 400000\text{-}1227 = 398770$ – кипения нет.
2. Расчет расхода
2.1 Первый этап
2.1.1 Расчет относительного диаметра.
2.1.1.1 Температурный коэффициент линейного расширения, γ, (°С)$^{-1}$:
- для стали 35 (γ_D) ..... 1,03034410^{-5},
-для стали 12Х18Н10Т (γ_d) ..... 1,56823510^{-5}.
2.1.1.2. Внутренний диаметр трубопровода в рабочих условиях, мм
$D=D_{20}\cdot[1+\gamma_D(t\text{-}20)]=100\cdot[1+1,03034410^{-5}*(10\text{-}20)]=99,989697$.
Внутренний диаметр отверстия диафрагмы в рабочих условиях, мм
$d=d_{20}\cdot[1+\gamma_d(t\text{-}20)]=56,500\cdot[1+1,56823510^{-5}*(10\text{-}20)]=56,491139$.
2.1.1.3. Относительный диаметр

$\beta = d/D = 56{,}491139/99{,}989697 = 0{,}564969606 < 0{,}8$ и более 0,2.

2.1.2. Расчет $C(\beta) = (0{,}5959 + 0{,}0312\beta^{2{,}1} - 0{,}184\beta^{8})/(1-\beta^{4})^{0{,}5} = 0{,}636701646$.

2.1.3. Расчет $B(\beta) = 0{,}0029\beta^{2{,}5}/(1-\beta^{4})^{0{,}5} = 0{,}000734166$.

2.1.4. Проводят расчет K_n.

2.1.4.1.Так как $\tau_{nn} = 1$ году, $\overline{r_k} = 0{,}0292 + 0{,}850 \cdot r_н = 0{,}0717$.

2.1.4.2. $\overline{r_k}/d = 0{,}001269226 > 0{,}0004$.

2.1.4.3. $K_n = 1{,}0547 - 0{,}0575 \cdot \exp(-149 \cdot \overline{r_k}/d) = 1{,}007107731$.

2.1.5. Так как среда несжимаема, коэффициент расширения $\varepsilon = 1$.

2.1.6. Расчет $C_ф = (\varepsilon \cdot D/\mu)(2 \cdot \Delta p \cdot \rho)^{0{,}5} = 540918{,}818$.

2.1.7. Расчет относительной эквивалентной шероховатости

$(R_ш 10^4/D) = (0{,}5 \cdot 10^4/99{,}9897) = 50{,}00515225 > 30$,

Проверяют выполнение условия (8.6) ГОСТ 8.563.1-97. При $\beta > 0{,}3$ имеем

$10^{\{8+[1/(10\beta^4)]\}/14} = 4{,}380636576$, $K_ш > 1$

Так как выполняется п.6.1.7.3.2., выбирают методику расчета $K_ш$ и массового расхода по п.6.2.2

2.2. Второй этап

2.2.1 Рассчитывают значение $K_ш$ *1*

2.2.1.1. $\lambda 1 = 0{,}11[(R_ш/D) + (68/10^6)]^{0{,}25} = 2{,}93503\ 10^{-2}$;

2.2.1.2. $\lambda_c 1 = 0{,}11[4\ 10^{-4} + (68/10^6)]^{0{,}25} = 1{,}61791\ 10^{-2}$;

2.2.1.3. $C1 = C_{\sim} + B = 0{,}6940919$;

2.2.1.4. $K_ш 1 = 1 + 3{,}5\ \beta^{3{,}5}(\lambda 1 - \lambda_c 1)/C1 = 1{,}0130438$.

2.2.2. Рассчитывают параметр

$П_c = \{B(\beta)/[C(\beta)^{1{,}75}]\}[10^6/(\beta^2 \cdot C_ф \cdot K_ш 1 \cdot K_n)]^{0{,}75} = 5{,}96157\ 10^{-3}$.

2.2.3. Рассчитывают параметр

$K_{\sim} = 1 - П_{\sim} * U_t^{1{,}75} = 0{,}9940998$.

2.2.4. Рассчитывают число Рейнольдса

$Re1 = [C(\beta) * \cdot K_ш 1 \cdot * K_n/K_c] * \beta^2 * C_ф = 1{,}125209\ 10^5$.

2.2.5. Рассчитывают значение $K_ш$ *2*.

2.2.5.1. $\lambda 2 = 0{,}11[(R_ш/D) + (68/Re1)]^{0{,}25} = 3{,}009772\ 10^{-2}$;

2.2.5.2. $\lambda_c 2 = 0{,}11[4\ 10^{-4} + (68/Re1)]^{0{,}25} = 1{,}958222\ 10^{-2}$;

2.2.5.3 $C2 = C_{\sim} + B\ (10^6/Re1)^{0{,}75} = 0{,}6069774$;

2.2.5.4. $K_ш2=1+3,5\ \beta^{3,5}(\lambda2-\lambda_c2)/C2$ =1,008219.

2.2.6. Рассчитывают число Рейнольдса.

2.2.6.1. $П_c=\{B(\beta)/[C(\beta)^{1,75}]\}[10^6/(\beta^2\cdot C_ф\cdot K_ш2\cdot K_n)]^{0,75}$=5,970992 10^{-3}.

2.2.6.2. Рассчитывают параметр

$K_c=1-П_c*U_4^{1,75}$= 0,9940906.

2.2.6.3. Рассчитывают число Рейнольдса

$Re2=[C(\beta)*\cdot K_ш2\cdot*K_n/K_c]*\beta^2*C_ф$= 1,122853 10^5.

2.2.7 Рассчитывают значение $K_ш$ 3

2.2.7.1. $\lambda3=0,11[(R_ш/D)+(68/Re2)]^{0,25}$=3,009942 10^{-2};

2.2.7.2. $\lambda_c3=0,11[4\ 10^{-4}+(68/Re2)]^{0,25}$=1,95884 10^{-2};

2.2.7.3. $C3=C_{\sim}+B\ (10^6/Re2)^{0,75}$= 0,606983;

2.2.7.4. $K_ш3=1+3,5\ \beta^{3,5}(\lambda3-\lambda_c3)/C3$=1,008215.

2.2.8. Рассчитывают коэффициент расхода

2.2.8.1.Рассчитывают поправочный коэффициент на число Рейнольдса

$K_{Re}=1+(B/C\sim)*(10^6/Re2)^{0,75}$=1,005945.

2.2.8.2. Рассчитывают значение коэффициента расхода

$\alpha=C(\beta)*K_{Re}*K_ш3*K_n$ = 0,6503381.

2.2.9.Рассчитывают предварительное значение массового расхода

$q_{m1}=0,25\cdot\pi\cdot\alpha\cdot\varepsilon\cdot[1+\gamma_d(t-20)]^2\cdot d_{20}^2\cdot(2\cdot\Delta p\cdot\rho)^{0,5}$=11,5250335 кг/с.

2.2.10. Рассчитывают окончательное значение числа Рейнольдса

$Re=(4/\pi)*q_{m1}/(D*\mu)$=112284,93.

2.2.11. Рассчитывают коэффициент расхода

2.2.11.1. Рассчитывают значение $K_ш$

2.2.11.1.1. $\lambda=0,11[(R_ш/D)+(68/Re)]^{0,25}$= 3,009943 10^{-2};

2.2.11.1.2. $\lambda_c=0,11[4\ 10^{-4}+(68/Re)]^{0,25}$= 1,958841 10^{-2};

2.2.11.1.3. $C=C_{\sim}+B\ (10^6/Re)^{0,75}$= 0,606983;

2.2.11.1.4. $K_ш=1+3,5\ \beta^{3,5}(\lambda-\lambda_c)/C$=1,008215.

2.2.11.1.5. Проверяют выполнение условия $K_ш \le 1,03$.

2.2.12. Рассчитывают поправочный коэффициент на число Рейнольдса

$K_{Re}=1+(B/C\sim)*(10^6/Re)^{0,75}$=1,00594452.

2.2.13. Рассчитывают значение коэффициента расхода

$\alpha=C(\beta)*K_{Re}*K_ш*K_n$=0,6503381.

2.2.14. Рассчитывают значение массового расхода

$q_m=0,25\cdot\pi\cdot\alpha\cdot\varepsilon\cdot[1+\gamma_d(t-20)]^2\cdot d_{20}^2\cdot(2\cdot\Delta p\cdot\rho)^{0,5}$= 11,52503359 кг/с.

Примечание. Расход, рассчитанный по алгоритмам ИСО, дает $(q_m)_{iso}$ =11,52503359 кг/с. Результат полностью совпадает с результатом, полученным в п.2.2.14. Число Рейнольдса по алгоритмам ИСО Re_{iso}=112284, 93

Пример 3

1. Исходные данные:

1.1.Технологическая среда..... природный газ

1.2. Температура, t, °С..... 10

1.3. Абсолютное давление на входе в диафрагму, p, Па .. 400000

1.4. Показатель адиабаты в рабочих условиях, κ..... 1,305

1.5. Плотность в рабочих условиях, ρ, кг/м^3..... 2, 82685

Плотность в стандартных условиях, ρ_c, кг/м^3 0,68710738

1.6. Динамическая вязкость в рабочих условиях, μ,

Па·с..... 1,0723*10^{-5}

1.7. Внутренний диаметр трубопровода при 20 °С,

D_{20}, мм..... 100,00

1.8. Внутренний диаметр отверстия диафрагмы при 20 °С,

d_{20},мм. 76,504

1.9. Труба стальная, сваренная продольно с незначительным налетом ржавчины.

Эквивалентная шероховатость, $R_{ш}$, мм 0,2

1.10. Сужающее устройство – диафрагма с угловым отбором перепада давления

1.11. Перепад давления на диафрагме, Δp, Па 1000

1.12. Материал трубопровода Сталь35

Материал диафрагмы ..... Сталь 12Х18Н10Т

1.13. Радиус закругления острой кромки, $r_{и}$, мм 0,05

1.14. Межповерочный интервал, $\tau_{пп}$, лет 1

1.15. Проверяют выполнение условия

$\Delta p/p$.=1000/400000=0,0025< 0,25.

2. Расчет расхода

2.1. Первый этап

2.1.1. Расчет относительного диаметра.

2.1.1.1. Температурный коэффициент линейного расширения, γ, $(°C)^{-1}$:

- для стали 35 (γ_D) ..... $1{,}03034410^{-5}$,

-для стали 12Х18Н10Т (γ_d) ..... $1{,}56823510^{-5}$.

2.1.1.2. Внутренний диаметр трубопровода в рабочих условиях, мм

$D=D_{20}\cdot[1+\gamma_D(t-20)]=100\cdot[1+1{,}03034410^{-5}\cdot(10-20)]=99{,}989697.$

Внутренний диаметр отверстия диафрагмы в рабочих условиях, мм

$d=d_{20}\cdot[1+\gamma_d(t-20)]=76{,}504\cdot[1+1{,}56823510^{-5}\cdot(10-20)]=76{,}492002.$

2.1.1.3. Относительный диаметр

$\beta=d/D=76{,}492002/99{,}989697=0{,}764998845<0{,}8$ и более 0,2.

2.1.2. Расчет $C(\beta)=(0{,}5959+0{,}0312\beta^{2.1}-0{,}184\beta^8)/(1-\beta^4)^{0.5}=0{,}730193613.$

2.1.3. Расчет $B(\beta)=0{,}0029\beta^{2.5}/(1-\beta^4)^{0.5}=0{,}001830617.$

2.1.4. Проводят расчет K_n.

2.1.4.1.Так как $\tau_{nn}=1$ году, $\overline{r_k}=0{,}0292+0{,}850\cdot r_n=0{,}0717.$

2.1.4.2. $\overline{r_k}/d=0{,}000937353>0{,}0004.$

2.1.4.3. $K_n=1{,}0547-0{,}0575\cdot exp(-149\cdot\overline{r_k}/d)=1{,}004695182.$

2.1.5. Так как среда – газ, коэффициент расширения

$\varepsilon=1-(0{,}41+0{,}35\beta^4)\Delta p/(p\kappa)=0{,}998984923.$

2.1.6. Расчет $C_\phi=(\varepsilon\cdot D/\mu)(2\cdot\Delta p\cdot\rho)^{0.5}=700429{,}7201.$

2.1.7. Расчет относительной эквивалентной шероховатости

$(R_ш10^4/D)=(0{,}2\cdot10^4/99{,}989697)=20{,}0020609.$

Проверка выполнения условия (8.6) ГОСТ 8.563.1-97. При $\beta>0{,}3$ имеем

$10^{\{8+[1/(10\beta^4)]\}/14}=3{,}910969843,\ K_ш>1$

Так как выполняется п.6.1.7.3.1., выбираем методику расчета $K_ш$ и массового расхода по п.6.2.1.

2.2. Второй этап

2.2.1.Производим расчет $K_ш$ при A_{Re} =0,5.

Расчет r_o=-0,04+0,07·lg($R_ш 10^4$/D)= 0,051075232.

2.2.2. Расчет $K_ш$ =1+$\beta^4 \cdot r_o \cdot A_{Re}$=1,008746282.

2.2.3. Расчет $П_c$={B(β)/[C(β)$^{a+1}$]}[10^6/($\beta^2 C_\phi K_ш K_n$)]^a.
При a=0,75: $П_c$=0,006133444.
2.2.4. Расчет K_c =0,993931544.

2.2.5. Расчет $Re1$ = [C(β)$K_n K_ш / K_c$] $\beta^2 C_\phi$ = 305199,5896 .
2.2.6. Производим расчет $K_ш$ при уточненном A_{Re}

Так как $10^4 < Re1 = 305199,3747 < 10^6$,

A_{Re}=1-0,25·(lg$Re1$-6)^2= 0,933586573.

2.2.7. Расчет $K_ш$=1+$\beta^4 \cdot r_o \cdot A_{Re}$=1,016330823.

2.2.8. Расчет $П_c$={B(β)/[C(β)$^{a+1}$]}[10^6/($\beta^2 C_\phi K_ш K_n$)]^a.
При a=0,75 имеем $П_c$=0,00609908.
2.2.9. Расчет K_c=0,993965186.

2.2.10. Расчет $Re2$ = [C(β)$K_n K_ш / K_c$] $\beta^2 C_\phi$ = 307483,9113 .
2.2.11. Проводят расчет $K_ш$ при уточненном A_{Re}

Так как $10^4 < Re2 = 308483,6943 < 10^6$,

A_{Re}=1-0,25·(lg$Re2$-6)^2=0,934418526.

2.2.12. Расчет $K_ш$=1+$\beta^4 \cdot r_o \cdot A_{Re}$=1,016345376.

2.2.13. Расчет K_{Re} =1+(B/C~)*(10^6 /$Re2$)^{0,75}= 1,006071454.
2.2.14. Расчет коэффициента расхода

α=C(β)*K_{Re}*K_n*$K_ш$ =0,75014029.
2.2.15. Расчет расхода

q_{m1}=0,25$\pi\alpha\varepsilon$[1+γ_d(t-20)]$^2 d_{20}^2$(2$\Delta p \rho$)^{0,5}=0,25893458 кг/с.
2.2.16. Расчет окончательного значения числа Рейнольдса

Re = (4/π)*q_{m1}/(D*μ)= 307488,3142.
2.2.17. Расчет $K_ш$ при уточненном A_{Re}

Так как $10^4 < Re = 307488,0972 < 10^6$,A_{Re}=1-0,25·(lgRe-6)^2=0,93442012

2.2.18. Расчет $K_ш$=1+$\beta^4 \cdot r_o \cdot A_{Re}$=1,016345404.

2.2.19. Расчет K_{Re} =1+(B/C~)*(10^6 /Re)^{0,75}= 1,006071389.
2.2.20. Расчет коэффициента расхода

α=C(β)*K_{Re}*K_n*$K_ш$ =0,750140260.

2.2.21. Расчет результата измерений массового расхода

$q_m=0,25\pi\alpha\varepsilon[1+\gamma_d(t-20)]^2 d_{20}^2(2\Delta p\rho)^{0.5}$=0,258934570357609 кг/с.

2.2.22. Расчет объемного расхода, приведенного к стандартным условиям

$q_c = q_m 3600/\rho_c$ = 1356,649372 м^3/ч в ст.усл.

Примечание. Расход, рассчитанный по алгоритмам ИСО, дает $(q_m)_{iso}$ =0,258934570382837 кг/с. Результат в п.2.2.21 совпадает с $(q_m)_{iso}$ с точностью до 14 значащих цифр. Число Рейнольдса по алгоритмам ИСО Re_{iso} = =307488,3927.

Пример 4

1. Исходные данные.

1.1. Технологическая среда..... природный газ

1.2. Температура, t, ... 10

1.3. Абсолютное давление на входе в диафрагму, p, Па 400000

1.4. Показатель адиабаты в рабочих условиях, κ..... 1,305

1.5. Плотность в рабочих условиях, ρ, кг/м^3..... 2,82685

Плотность в стандартных условиях, ρ_c, кг/м^3 0,68711

1.6. Динамическая вязкость в рабочих условиях, μ,

Па·с..... 1,0723*10^{-5}

1.7. Внутренний диаметр трубопровода при 20 °С,

D_{20}, мм 100,00

1.8. Внутренний диаметр отверстия диафрагмы при 20 °С,

d_{20}, мм 56,500

1.9. Труба стальная, газопроводы после нескольких лет эксплуатации.

Эквивалентная шероховатость, $R_ш$, мм 0,6

1.10. Сужающее устройство: диафрагма с угловым отбором перепада давления

1.11. Перепад давления на диафрагме, Δp, Па 25000

1.12. Материал трубопровода Сталь35

Материал диафрагмы ..... Сталь 12Х18Н10Т

1.13. Радиус закругления острой кромки, $r_и$, мм 0,05

1.14. Межповерочный интервал, $\tau_{пп}$, лет 1

1.15. Проверяют выполнение условия

$\Delta p/P$=1000/400000=0,0025< 0,25.

2. Расчет расхода

2.1. Первый этап

2.1.1. Расчет относительного диаметра.

2.1.1.1. Температурный коэффициент линейного расширения, γ, $(°C)^{-1}$:

- для стали 35 (γ_D) ..... 1,03034410^{-5},

-для стали 12Х18Н10Т (γ_d) ..... 1,56823510^{-5}.

2.1.1.2. Внутренний диаметр трубопровода в рабочих условиях, мм

$D=D_{20}\cdot[1+\gamma_D(t-20)]$=100·[1+1,03034410^{-5}·(10-20)]=99,989697.

Внутренний диаметр отверстия диафрагмы в рабочих условиях, мм

$d=d_{20}\cdot[1+\gamma_d(t-20)]$=56,500·[1+1,56823510^{-5}·(10-20)]=56,491139.

2.1.1.3. Относительный диаметр

$\beta=d/D$=56,491139/99,989697=0,564969606< 0,8 и более 0,2.

2.1.2.Расчет $C(\beta)=(0,5959+0,0312\beta^{2,1}-0,184\beta^8)/(1-\beta^4)^{0,5}$=0,636701646.

2.1.3. Расчет $B(\beta)=0,0029\beta^{2,5}/(1-\beta^4)^{0,5}$= 0,000734166.

2.1.4. Проводят расчет K_n.

2.1.4.1.Так как $\tau_{пп}=1$ году, $\overline{r_k}=0,0292+0,850\cdot r_n=0,0717$.

2.1.4.2. $\overline{r_k}/d$ = 0,001269226>0,0004.

2.1.4.3.$K_n=1,0547-0,0575\cdot exp(-149\cdot\overline{r_k}/d)$=1,007107731.

2.1.5. Так как среда – газ, коэффициент расширения

$\varepsilon=1-(0,41+0,35\beta^4)\Delta p/(pK)$ =0,978656181.

2.1.6. Расчет $C_\phi=(\varepsilon\cdot D/\mu)(2\cdot\Delta p\cdot\rho)^{0,5}$= 3430879,553.

2.1.7. Расчет относительной эквивалентной шероховатости

$(R_ш10^4/D)$=(0,6·10^4/99,9897)=60,0061827>30,

Проверка выполнения условия (8.6) ГОСТ 8.563.1-97. При β>0,3 имеем

$10^{\{8+[1/(10\beta^4)]\}/14}$ = 4,380636576, $K_ш>1$

Так как выполняется п.6.1.7.3.2., выбирают методику расчета $K_ш$ и массового расхода по п.6.2.2.

2.2.Второй этап

2.2.1. Рассчитывают значение $K_ш$ *1*

2.2.1.1. $\lambda 1 = 0,11[(R_ш/D)+(68/10^6)]^{0,25}$=3,0701892 10^{-2};

2.2.1.2. $\lambda_c 1 = 0,11[4\ 10^{-4}+(68/10^6)]^{0,25}$=1,6179092 10^{-2};

2.2.1.3. $C1 = C_{\sim} + B$ = 0,6040919;

2.2.1.4. $K_ш 1 = 1+3,5\ \beta^{3,5}(\lambda 1-\lambda_c 1)/C1$=1,0114052.

2.2.2. Рассчитывают параметр

$\Pi_c = \{B(\beta)/[C(\beta)^{a+1}]\}[10^6/(\beta^2 \cdot C_ф \cdot K_ш 1 \cdot K_п)]^a$,

При a=0,75 Π_c = 1,490437 10^{-3}.

2.2.3. Рассчитывают параметр

$K_c = 1-\Pi_c * U_4^{1,75}$=0,9985134.

2.2.4. Рассчитывают число Рейнольдса

$Re1 = [C(\beta) * \cdot K_ш 1 \cdot * K_п / K_c] * \beta^2 * C_ф$=7,112771 10^5.

2.2.5. Рассчитывают значение $K_ш$ 2

2.2.5.1. $\lambda 2 = 0,11[(R_ш/D)+(68/Re1)]^{0,25}$=3,073674 10^{-2};

2.2.5.2. $\lambda_c 2 = 0,11[4\ 10^{-4}+(68/Re1)]^{0,25}$=1,641255 10^{-2};

2.2.5.3. $C2 = C_{\sim} + B\ (10^6/Re1)^{0,35}$= 0,6042944;

2.2.5.4. $K_ш 2 = 1+3,5\ \beta^{3,5}(\lambda 2-\lambda_c 2)/C2$=1,011245.

2.2.6. Рассчитывают число Рейнольдса

2.2.6.1 $\Pi_c = \{B(\beta)/[C(\beta)^{a+1}]\}[10^6/(\beta^2 \cdot C_ф \cdot K_ш 2 \cdot K_п)]^a$,

При a=0,75 Π_c=1,490614 10^{-3}.

2.2.6.2. Рассчитывают параметр

$K_c = 1-\Pi_c * U_4^{1,75}$=0,9985133.

2.2.6.3. Рассчитывают число Рейнольдса

$Re2 = [C(\beta) * \cdot K_ш 2 \cdot * K_п / K_c] * \beta^2 * C_ф$=7,111649 10^5.

2.2.7. Рассчитывают значение $K_ш$ 3

2.2.7.1. $\lambda 3 = 0,11[(R_ш/D)+(68/Re2)]^{0,25}$= 3,073676 10^{-2};

2.2.7.2. $\lambda_c 3 = 0,11[4\ 10^{-4}+(68/Re2)]^{0,25}$=1,641268 10^{-2};

2.2.7.3. $C3 = C_{\sim} + B\ (10^6/Re2)^{0,35}$=0,6042945;

2.2.7.4. $K_ш 3 = 1+3,5\ \beta^{3,5}(\lambda 3-\lambda_c 3)/C3$= 1,011245.

2.2.8. Рассчитывают коэффициент расхода

2.2.8.1.Рассчитывают поправочный коэффициент на число Рейнольдса

K_{Re}= $1+(B/C_{\sim}) * (10^6/Re2)^{0,35}$= 1,001489.

2.2.8.2. Рассчитывают значение коэффициента расхода

$\alpha = C(\beta) * K_{Re} * K_ш 3 * K_п$=0,6494035.

2.2.9. Рассчитывают предварительное значение массового расхода $q_{m1} = 0,25 \cdot \pi \cdot \alpha \cdot \varepsilon \cdot [1+\gamma_d(t-20)]^2 \cdot d_{20}^2 \cdot (2 \cdot \Delta p \cdot \rho)^{0,5}$=0,5988688 кг/с.

2.2.10. Рассчитывают окончательное значение числа Рейнольдса

$Re=(4/\pi)*q_{m1}/(D*\mu)$=711164,81.

2.2.11. Рассчитывают коэффициент расхода

2.2.11.1. Рассчитывают значение $K_ш$

2.2.11.1.1. $\lambda = 0,11[(R_ш/D)+(68/Re)]^{0,25}$= 3,073676 10^{-2};

2.2.11.1.2. $\lambda_c = 0,11[4\ 10^{-4}+(68/Re)]^{0,25}$= 1,641268 10^{-2};

2.2.11.1.3. $C= C_{\sim} +B\ (10^6/Re)^{0,\sim 5}$= 0,6042945;

2.2.11.1.4. $K_ш=1+3,5\ \beta^{3,5}(\lambda-\lambda_c)/C$= 1,011245.

2.2.11.1.5. Проверяют выполнение условия $K_ш \le 1,03$.

2.2.12. Рассчитывают поправочный коэффициент на число Рейнольдса

$K_{Re}= 1+(B/C\sim)*(10^6/Re)^{0,75}$=1,00148895.

2.2.13. Рассчитывают значение коэффициента расхода

$\alpha=C(\beta)*K_{Re}*K_ш*K_n$=0,6494035.

2.2.14. Рассчитывают значение массового расхода

$q_m=0,25\cdot\pi\cdot\alpha\cdot\varepsilon\cdot[1+\gamma_d(t-20)]^2\cdot d_{20}^2\cdot(2\cdot\Delta p\cdot\rho)^{0,5}$=0,598868809 кг/с.

2.2.15. Расчет объемного расхода, приведенного к стандартным условиям

$q_c = q_m 3600/\rho_c$ = 3137,674772 м^3/ч в ст.усл.

Примечание. Расход, рассчитанный по алгоритмам ИСО, дает $(q_m)_{iso}$=0,598868809, кг/с. Результат полностью совпадает с расходом, полученным в п.2.2.14. Число Рейнольдса по алгоритмам ИСО Re_{iso} = =711164,81.

Пример 5

1. Исходные данные:

1.1.Технологическая среда..... природный газ

1.2. Температура, t, °С..... 10

1.3. Абсолютное давление на входе в диафрагму, p, Па 400000

1.4. Показатель адиабаты в рабочих условиях, κ..... 1,305

1.5. Плотность в рабочих условиях, ρ, кг/м^3..... 2, 82685

Плотность в стандартных условиях, ρ_c, кг/м^3.....0,68710738

1.6. Динамическая вязкость в рабочих условиях, μ, Па·с . 1,0723 10^{-5}

1.7. Внутренний диаметр трубопровода при 20 °С,

D_{20}, мм..... 100,00

1.8. Внутренний диаметр отверстия диафрагмы при 20 °С,

d_{20}, мм 76,504

1.9. Труба стальная, новая бесшовная холоднодеформированная.

Эквивалентная шероховатость, $R_ш$, мм 0,03

1.10. Сужающее устройство ... диафрагма с угловым отбором перепада давления

1.11. Перепад давления на диафрагме, Δp, Па 1000

1.12. Материал трубопровода Сталь35

Материал диафрагмы ..... Сталь 12Х18Н10Т

1.13. Радиус закругления острой кромки, $r_и$, мм 0,05

1.14. Межповерочный интервал, $\tau_{пп}$, лет 1

1.15. Проверяют выполнение условия

$\Delta p/p.$=1000/400000=0,0025< 0,25.

2. Расчет расхода

2.1. Первый этап.

2.1.1. Расчет относительного диаметра.

2.1.1.1 Температурный коэффициент линейного расширения, γ, $(°C)^{-1}$:

- для стали 35 (γ_D) ..... 1,03034410^{-5},

-для стали 12Х18Н10Т (γ_d) ..... 1,56823510^{-5}.

2.1.1.2. Внутренний диаметр трубопровода в рабочих условиях, мм

$D=D_{20}\cdot[1+\gamma_D(t-20)]$=100·[1+1,03034410^{-5}·(10-20)]=99,989697.

Внутренний диаметр отверстия диафрагмы в рабочих условиях, мм

$d=d_{20}\cdot[1+\gamma_d(t-20)]$=76,504·[1+1,56823510^{-5}·(10-20)]=76,492002.

2.1.1.3. Относительный диаметр

$\beta=d/D$=76,492002/99,989697=0,764998845< 0,8 и более 0,2.

2.1.2. Расчет $C(\beta)=(0,5959+0,0312\beta^{2,1}-0,184\beta^8)/$

$/(1-\beta^4)^{0,5}$=0,730193613.

2.1.3. Расчет $B(\beta)=0,0029\beta^{2,5}/(1-\beta^4)^{0,5}$=0,001830617

2.1.4. Производим расчет K_n.

2.1.4.1.Так как $\tau_{пп}=1$ году, $\overline{r_k}$ =0,0292+0,850·$r_и$=0,0717.

2.1.4.2. $\overline{r_k}$ /d = 0,000937353>0,0004.

2.1.4.3. $K_n=1,0547-0,0575\cdot exp(-149\cdot\overline{r_k}/d)$=1,004695182.

2.1.5. Так как среда – газ, коэффициент расширения

$\varepsilon = 1 - (0{,}41 + 0{,}35\beta^4)\,\Delta p/(p\kappa) = 0{,}998984923$.

2.1.6. Расчет $C_\phi = (\varepsilon \cdot D/\mu)(2 \cdot \Delta p \cdot \rho)^{0{,}5} = 700429{,}7201$.

2.1.7. Расчет относительной эквивалентной шероховатости

$(R_ш 10^4/D) = (0{,}03 \cdot 10^4/99{,}989697) = 3{,}000309135$.

Проверка выполнения условия (8.6) ГОСТ 8.563.1-97.

При $\beta > 0{,}3$ имеем

$10^{\{8+[1/(10\beta^4)]\}/14} = 3{,}910969843$, $K_ш = 1$.

Так как выполняется п.6.1.7.3.3., выбирают методику расчета. $K_ш$ и массового расхода по п.6.2.3.

2.2. Второй этап

2.2.3. Расчет $П_c = \{B(\beta)/[C(\beta)^{a+1}]\}[10^6/(\beta^2 C_\phi K_n)]^a$.

При $a = 0{,}75$: $П_c = 0{,}006173634$.

2.2.4. Расчет $K_c = 0{,}993892203$.

2.2.5. Расчет $Re = [C(\beta)K_n/K_c]\,\beta^2 C_\phi = 302565{,}3484$.

2.2.6. Расчет $K_{Re} = 1 + (B/C\sim) * (10^6/Re)^{0{,}5} = 1{,}006145328$.

2.2.7. Расчет коэффициента расхода $\alpha = C(\beta) * K_{Re} * K_n = 0{,}738130352$.

2.2.8. Расчет результата измерений массового расхода

$q_m = 0{,}25\pi\alpha\varepsilon[1 + \gamma_d(t-20)]^2 d_{20}^2 (2\Delta p\rho)^{0{,}5} = 0{,}254788792$ кг/с.

2.2.9. Расчет объемного расхода, приведенного к стандартным условиям

$q_c = q_m 3600/\rho_c = 1334{,}929122$ м^3/ч в ст.усл.

Примечание. Расход, рассчитанный по алгоритмам ИСО, дает $(q_m)_{iso} = 0{,}254788792$ кг/с. Результат полностью совпадает с расходом, полученным в п.2.2.8. Число Рейнольдса по алгоритмам ИСО $Re_{iso} = 302565{,}3488$.

Примечание. Количество значащих цифр в примерах расчета выбрано из возможности их использования для оценки соответствия программных комплексов настоящим рекомендациям.

gost.e-ecolog.ru