ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР ПО СТАНДАРТАМ

ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ РАСХОДОМЕТРИИ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

ГОСУДАРСТВЕННАЯ СИСТЕМА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЕДИНСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

РАСХОДОМЕРЫ ПОСТОЯННОГО ПЕРЕПАДА ДАВЛЕНИЯ. ПЕРЕСЧЕТ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

МИ 1420—86

Москва

ИЗДАТЕЛЬСТВО СТАНДАРТОВ

1987

gost.e-ecolog.ru

РАЗРАБОТАНЫ Всесоюзным научно-исследовательским институтом расходометрии (ВНИИР)

ИСПОЛНИТЕЛИ

Р. Н. Каратаев, канд. техн. наук (руководитель темы); **Ф. Е. Мазо, Т. В. Свиридова**, канд. физ.-мат. наук

РАЗРАБОТАНЫ Всесоюзным научно-исследовательским институтом «Электростандарт»

ИСПОЛНИТЕЛИ

Н. А. Пулина, канд. хим. наук, **В. Б. Лысов**

РАЗРАБОТАНЫ Арзамасским опытно-конструкторским бюро Арзамасского приборостроительного производственного объединения (АОКБ АППО)

ИСПОЛНИТЕЛИ

А. Д. Бухонов, В. П. Жулин

ПОДГОТОВЛЕНЫ К УТВЕРЖДЕНИЮ ВНИИР

Начальник отдела **П. А. Гаршин**

УТВЕРЖДЕНЫ ВНИИР 28 апреля 1986 г. протокол № 5

УДК 681.121.84 Группа Т88

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

ГСИ.РАСХОДОМЕРЫ ПОСТОЯННОГО ПЕРЕПАДА ДАВЛЕНИЯ. ПЕРЕСЧЕТ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

МИ 1420—86

Взамен РДМУ 44—75

Срок введения установлен с 01.01.87

Настоящие методические указания распространяются на расходомеры постоянного перепада давления (ротаметры) и устанавливают единый метод пересчета градуировочных характеристик с градуировочной среды (жидкость, газ) на рабочне.

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Термины, применяемые в методических указаниях, и их определения приведены в справочном приложении 1.

1.2. Основные теоретические положения метода приведены в обязательном приложении 2.

1.3. Пересчет градуировочных характеристик с градуировочной среды следует производить для каждого оцифрованного деления шкалы, указанного в эксплуатационной документации (далее ЭД).

2. ПРИНЦИП И УСЛОВИЯ ПЕРЕСЧЕТА

2.1. Принцип метода пересчета градуировочных характеристик заключается во введении в расчетную формулу определения расхода промышленных жидкостей и газов коэффициентов (или зависимостей), учитывающих изменение физических свойств измеряемой среды и конструктивные особенности ротаметров.

2.2. Пересчет градуировочных характеристик следует производить на основе данных о физических свойствах рабочих сред (плотности, вязкости) при условиях измерения расхода и сведениях, приведенных в паспорте на ротаметр:

градуировочной характеристики по градуировочной среде для конкретного ротаметра;

физических свойств градуировочной среды при условиях градуировки;

массы поплавка;

температуры, давления;

© Издательство стандартов, 1987

коэффициентов сопротивления поплавка C_x для данного типоразмера в зависимости от безразмерных критериев подобия $П_2$ и $П_3$;

безразмерного критерия подобия $П_3$.

3. ПОДГОТОВКА К ПРОВЕДЕНИЮ ПЕРЕСЧЕТА

3.1. При подготовке к проведению пересчета градуировочных характеристик с градуировочной среды на рабочие должны быть определены:

значения безразмерной величины $П_3$;

значения логарифмов безразмерных критериев подобия для градуировочной среды $\lg (П_2)_1$ и рабочей $\lg (П_2)_2$;

значения коэффициентов сопротивления поплавка, соответствующих градуировочным точкам шкалы для градуировочной среды C_{x_1} и рабочей C_{x_2}.

3.2. Значение безразмерного критерия подобия $\lg (П_2)_1$ для градуировочной среды следует вычислить по формуле

$$\lg (П_2)_1 = \lg \left[\frac{\mu_1^2}{gm\rho_1 (1-\rho_1/\rho)} \right], \qquad (1)$$

где μ_1 — динамическая вязкость градуировочной среды при условиях градуировки, Па·с; ρ_1 — плотность градуировочной среды при условиях градуировки, кг/м^3; m — масса поплавка, кг; ρ — средняя плотность поплавка, кг/м^3; g — ускорение свободного падения, м/с^2

или

$$\lg (П_2)_1 = \lg \left[\frac{\nu_1^2 \rho_1}{gm (1-\rho_1/\rho)} \right], \qquad (2)$$

где ν_1 — кинематическая вязкость градуировочной среды, м^2/с.

3.3. Значение безразмерного критерия подобия для рабочей среды $\lg (П_2)_2$ следует вычислить по формуле

$$\lg (П_2)_2 = \lg \left[\frac{\mu_2^2}{gm\rho_2 (1-\rho_2/\rho)} \right], \qquad (3)$$

где μ_2 — динамическая вязкость рабочей среды при условиях эксплуатации, Па·с; ρ_2 — плотность рабочей среды при условиях эксплуатации, кг/м^3;

или

$$\lg (П_2)_2 = \lg \left[\frac{\nu_2^2 \rho_2}{gm (1-\rho_2/\rho)} \right], \qquad (4)$$

где ν_2 — кинематическая вязкость рабочей среды, м^2/с.

3.4. Значение безразмерного критерия подобия $П_3$ следует находить из таблиц, приведенных в паспорте на ротаметр.

Примеры определения $П_3$ приведены в справочном приложении 3.

3.5. Значения коэффициентов сопротивления поплавка для градуировочной среды C_{x_1} и для рабочей среды C_{x_2} следует находить из пересчетных таблиц, приведенных в ЭД на ротаметр. Входными параметрами в них служат безразмерные критерии подобия $\lg \Pi_2$ и Π_3.

Примеры определения C_x приведены в справочном приложении 4.

4. ПРОВЕДЕНИЕ ПЕРЕСЧЕТА

4.1. Пересчет градуировочных характеристик с градуировочной среды на рабочие следует производить по формуле

$$Q_2 = Q_1 \sqrt{\frac{C_{x_1}\rho_1(\rho - \rho_2)}{C_{x_2}\rho_2(\rho - \rho_1)}}, \qquad (5)$$

где Q_2 — расход рабочей среды; Q_1 — расход градуировочной среды.

4.2. Для газовых ротаметров формула пересчета имеет вид

$$Q_2 = Q_1 \sqrt{\frac{C_{x_1}\rho_1}{C_{x_2}\rho_2}}, \qquad (6)$$

4.3. Объемный расход газа, приведенный к нормальным условиям, вычисляют по формуле

$$Q_{н_2} = Q_{н_1} \sqrt{\frac{C_{x_1}\rho_{н_1}P_2T_1}{C_{x_2}\rho_{н_2}P_1T_2}}, \qquad (7)$$

где P_1, P_2 — абсолютное давление градуировочного и рабочего газа соответственно, Па; T_1, T_2 — температура градуировочного и рабочего газа соответственно, К; «н» — означает приведение к нормальным условиям по ГОСТ 2939—63.

Примеры проведения пересчета приведены в справочном приложении 5.

4.4. Погрешность результата определения расхода рабочей среды методом пересчета следует вычислять по формуле

$$\delta_{Q_2} = 0{,}5\ \delta_{\rho_2} + \delta_T, \qquad (8)$$

где δ_{ρ_2}, δ_T — погрешности результатов измерений ρ_2 и таблиц пересчета (значения δ_T приводятся в паспорте на ротаметр в таблицах пересчета).

5. ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ПЕРЕСЧЕТА

5.1. Результаты пересчета значений расхода с градуировочной среды на рабочую следует представить в виде таблицы (справочное приложение 6) или в графическом виде. Указываются значения динамической (кинематической) вязкости и плотности рабочей среды, температура и давление (при необходимости).

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Справочное

ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Термины	Определения
Ротаметр	По ГОСТ 15528—70
Градуировочная характеристика	По ГОСТ 16263—70
Градуировочная среда	Среда, на которой проведена градуировка ротаметра заводом-изготовителем
Рабочая среда	Среда, на которую производится пересчет значений расхода градуировочной характеристики для каждой оцифрованной отметки шкалы
Коэффициент сопротивления поплавка	Величина, учитывающая влияние физических свойств газов или жидкостей и конструктивные особенности ротаметров (ротаметрических пар)
Безразмерный критерий подобия $\Pi_3 = \frac{2\,h\,\mathrm{tg}\,\alpha}{d}$,	Отношение зазора проходного сечения между поплавком и стенкой измерительной трубки к диаметру поплавка
Безразмерный критерий подобия $\Pi_2 = \frac{\mu^2_i}{mg\,\rho_i\,(1-\rho_i/\rho)}$,	Величина, устанавливающая подобие сил трения и силы тяжести
Обобщенная характеристика	Статистически средняя градуировочная характеристика, полученная для ротаметра данного типа и выражающая зависимость безразмерного критерия подобия Π_3 от расхода градуировочной среды

ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ МЕТОДА ПЕРЕСЧЕТА

1. Измерение расхода жидкостей и газов ротаметрами производится при наличии градуировочной характеристики. К каждому ротаметру прилагается *градуировочная характеристика для* градуировочной среды, которая определяется экспериментально при условиях градуировки.

В настоящих методических указаниях для расходомеров постоянного перепада давления различных типов используется общий метод пересчета, учитывающий изменение физических свойств измеряемых сред (вязкость, плотность) и характерные геометрические размеры ротаметров.

2. Промышленностью выпускается более 150 типоразмеров ротаметров, различающихся конструкцией ротаметрических пар. Наиболее распространенными являются ротаметры с ротаметрической парой классического типа, состоящей из конической трубки и помещенного в нее поплавка (ротаметры РМ, РС, ротаметры наркозных аппаратов). В свою очередь измерительные трубки могут различаться по форме, например, иметь плоские ребра (ротаметры РМ-ГС) и др.

Рассмотрим основные уравнения для ротаметров классического типа (рис. 1).

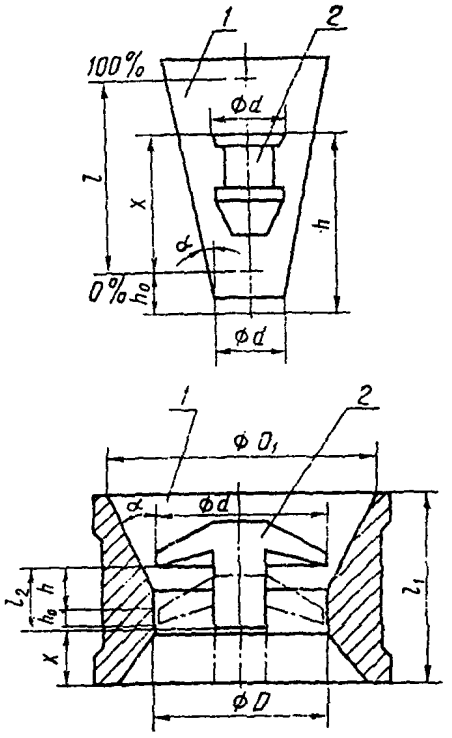

Рис. 1. Ротаметрическая пара классического типа:

1 — конус, 2 — поплавок

Запишем уравнение равновесия поплавка в потоке жидкости

$$G=C_x\cdot\frac{\rho_l V^2}{2}\cdot S_м, \qquad (9)$$

где G — сила тяжести поплавка в среде, кг; C_x — коэффициент сопротивления поплавка; ρ_l — плотность жидкости, кг/м³; V — средняя скорость потока в наиболее узкой части ротаметрической пары, м/с; $S_м$ — площадь миделя поплавка, м².

Подставляя значения средней скорости потока и площади миделя поплавка в уравнение (9), получаем формулу для определения объемного расхода жидкости

$$Q=\frac{dh\,\mathrm{tg}\,\alpha+h^2\mathrm{tg}^2\,\alpha}{d}\sqrt{\frac{8\pi G}{C_x\rho_l}}, \qquad (10)$$

где h — высота подъема поплавка, м; α — угол уклона конуса, градус; d — диаметр поплавка, м.

После преобразований и представления (10) в безразмерных величинах, получим критериальное уравнение

$$C_x^{0,5}\Pi_1\Pi_2^{0,5}=\sqrt{\frac{\pi}{2}\Pi_3(2+\Pi_3)}, \qquad (11)$$

где $\Pi_1=\dfrac{Q}{d\nu}$ — величина, аналогичная числу Рейнольдса; ν — кинематическая вязкость, м²/с;

$\Pi_2=\dfrac{\rho_l v^2}{G}=\dfrac{\rho_l v^2}{gm(1-\rho_l/\rho)}$ — величина, характерная для расходомеров постоянного перепада давления и устанавливающая подобие сил трения и тяжести;

$\Pi_3=\dfrac{D_r}{d}=\dfrac{2h\,\mathrm{tg}\,\alpha}{d}$ — величина, устанавливающая подобие отношений гидравлического диаметра D_r к диаметру поплавка.

Для градуировочной и рабочей сред имеем формулы

$$Q_1=\frac{dh\,\mathrm{tg}\,\alpha+h^2\,\mathrm{tg}^2\,\alpha}{d}\sqrt{\frac{8\pi gm\,(1-\rho_1/\rho)}{C_{x_1}\rho_1}} \qquad (12)$$

$$Q_2=\frac{dh\,\mathrm{tg}\,\alpha+h^2\,\mathrm{tg}^2\,\alpha}{d}\sqrt{\frac{8\pi gm\,(1-\rho_2/\rho)}{C_{x_2}\rho_2}} \qquad (13)$$

Из (12) и (13) получаем соотношение

$$Q_2=Q_1\sqrt{\frac{C_{x_1}\rho_1(\rho-\rho_2)}{C_{x_2}\rho_2(\rho-\rho_1)}} \qquad (14)$$

Так как плотность поплавка ρ значительно больше плотности газа, то для газовых ротаметров формула (14) примет вид

$$Q_2=Q_1\sqrt{\frac{C_{x_1}\rho_1}{C_{x_2}\rho_2}} \qquad (15)$$

Расход газа, приведенный к нормальным условиям, вычисляют по формуле

$$Q_{н_2}=Q_{н_1}\sqrt{\frac{C_{x_1}\rho_{н_1}P_2T_1}{C_{x_2}\rho_{н_2}P_1T_2}} \qquad (16)$$

Формула (14) верна для всех типов ротаметров. Конструктивные отличия сказываются только при записи формулы расхода и критериального уравнения. Например, для ротаметров типа РМ-ГС, имеющих плоские ребра в измерительной трубке (рис. 2).

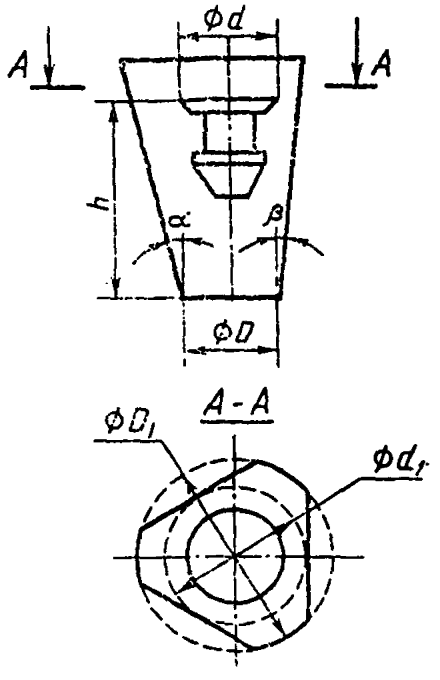

Рис. 2. Ротаметр типа РМ-ГС

$$Q=\frac{1}{d}\sqrt{\frac{8G}{\pi C_x \rho_i}}\left\{\frac{\pi}{4}(D-d+2h\operatorname{tg}\alpha)(D+d+2h\operatorname{tg}\alpha)-\right.$$

$$-0{,}75\,(D+2h\operatorname{tg}\alpha)^2\arccos\left(\frac{D+2h\operatorname{tg}\frac{\beta}{2}}{D+2h\operatorname{tg}\alpha}\right)+ \qquad (17)$$

$$\left.+1{,}5\,(D+2h\operatorname{tg}\beta)\sqrt{h(\operatorname{tg}\alpha-\operatorname{tg}\beta)(D+h\operatorname{tg}\alpha+h\operatorname{tg}\beta)}\right\},$$

$$C_x=\frac{9}{2\pi}\Pi_1^{-2}\Pi_2^{-1}\left\{\frac{\pi}{4}(\Pi_3+K_1)(2+K_1+\Pi_3)-(1-K_1+\Pi_3)^2\times\right.$$

$$\times\arccos\left(\frac{1+K_1+\Pi_3K}{1+K_1+\Pi_3}\right)+(1+K_1+\Pi_3K)\times \qquad (18)$$

$$\left.\times\sqrt{\Pi_3(1-K)[1+K_1+\Pi_3(1+K)]}\right\}^2,$$

где β — угол уклона вписанного конуса; D — наименьший диаметр измерительной трубки;

$K_1=\frac{D-d}{d}$ — отношение минимальной величины кольцевого зазора проходного сечения к диаметру поплавка;

$K=\frac{\operatorname{tg}\beta}{\operatorname{tg}\alpha}$ — отношение тангенсов уклона вписанного и описанного конусов.

Формулы расхода (10), (17) и критериальные уравнения (11), (18) используются только при составлении пересчетных таблиц для определения коэффициента сопротивления поплавка C_x по безразмерным критериям $\lg \Pi_2$ и Π_3.

Для вычисления Q_2 определяют C_{x_1} и C_{x_2}; по градуировочной характеристике определяют Q_1 и по основной пересчетной формуле вычисляют расход.

Примечание. Расход Q_2 можно было бы определять, подставляя в формулу расхода (например (10)), однако, анализ показывает, что технологические допуски меньше сказываются на отношении $C_{x_1}:C_{x_2}$, чем на величинах C_{x_1} и C_{x_2}, вследствие чего пересчет по формулам (14) или (15) оказывается точнее расчета по формуле (10).

3. Часто на практике возникает необходимость пересчета расхода одного газа при различных физических условиях (давление, температура). В этом случае удобно использовать пересчетную формулу

$$Q_{н_2}=K_{\text{газа}}\cdot K_{\text{прив}}\cdot Q_{н_1} \qquad (19)$$

$K_{\text{газа}}$ — составляющая пересчетного коэффициента, учитывающая физические свойства газа;

$K_{\text{прив}}$ — коэффициент приведения, учитывающий физические условия измерения.

Коэффициенты $K_{\text{газа}}$, $K_{\text{прив}}$ вычисляются последующим формулам:

$$K_{\text{газа}}=\sqrt{\frac{C_{x_1}\rho_{н_1}}{C_{x_2}\rho_{н_2}}}, \qquad (20)$$

$$K_{\text{прив}}=\sqrt{\frac{T_{н}P_2}{T_2P_{н}}}. \qquad (21)$$

Действительный объемный расход рабочего газа, прошедшего через ротаметр, выражается формулой

$$Q_2=\frac{K_{\text{газа}}}{K_{\text{прив}}}\cdot Q_1. \qquad (22)$$

Массовый расход рабочего газа $Q_{м_2}$ определяется по формуле

$$Q_{м_2}=\rho_{н_2}\cdot Q_{н_2}. \qquad (23)$$

4. Погрешность результата определения расхода рабочего газа методом пересчета вычисляют по формуле

$$\delta_{Q_2}=0{,}5\ \delta_{\rho_2}+\delta_{т}, \qquad (24)$$

где δ_{ρ_2}, $\delta_{т}$ — погрешности результатов измерений ρ_2 и таблиц пересчета.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ БЕЗРАЗМЕРНОГО КРИТЕРИЯ ПОДОБИЯ

Безразмерный критерий подобия Π_3 определяют из таблиц, приведенных в паспорте для каждого типа ротаметра.

1. Определение Π_3 при измерении расхода газов.

Например, в табл. 1 приведены значения расхода градуировочного газа, взятые из обобщенной характеристики. В табл. 2 приведен пример градуировочной характеристики ротаметра.

Таблица 1

Обобщенная характеристика для градуировочного газа

Безразмерный критерий подобия Π_3	Расход аргона $Q \times 10^3$ м³/ч, при P=99570 Па; T=295,06 К
0,045	6,7087
0,050	9,5442
0,060	15,1970
0,070	20,8189
0,080	26,4017
0,090	31,9372
0,100	37,4174
0,110	42,8341
0,120	48,1791
0,130	53,4443
0,140	58,6214
0,150	63,7025
0,160	68,6792
0,170	73,5435
0,180	78,2872

Таблица 2

Градуировочная характеристика ротаметра

Деления шкалы ротаметра, %	Расход аргона $Q_1 \times 10^3$ м³/ч, при P_1=99802 Па; T_1=295,69 К
20	8,8827
40	27,1730
60	44,9508
80	61,9347
100	77,8437

Для использования данных табл. 1 необходимо значения расхода, взятые из градуировочной характеристики ротаметра (табл. 2), привести к условиям, при которых получены значения расхода в табл. 1.

Приведенный расход газа вычисляют по формуле

$$Q_{пр}=Q_1\sqrt{\frac{P_1T_т}{P_тT_1}},$$

где Q_1 — значение расхода по градуировочной характеристике; P_1 — абсолютное давление газа при градуировке, Па; T_1 — температура измеренного газа при градуировке, К; $P_т$ — абсолютное давление газа, при котором определялась обобщенная характеристика, Па; $T_т$ — температура газа, при которой определялась обобщенная характеристика, К.

Вычислив приведенный расход и произведя интерполяцию по табл. 1, находят значение $П_3$. Результаты записывают по форме табл. 3.

Таблица 3

Форма записи результатов

Деления шкалы ротаметра, %	Расход аргона $Q_1\times10^3$ м³/ч при P=99802 Па; T=295,69 К	Приведенный расход аргона $Q_{пр}\times10^3$ м³/ч при P=99570 Па; T=295,06 К	Безразмерный критерий подобия $П_3$
20	8,8827	8,8836	0,0488
40	27,1730	27,1756	0,0814
60	44,9508	44,9552	0,1139
80	61,9347	61,9407	0,1465
100	77,8437	77,8513	0,1791

Пример. В паспорте на ротаметр приведены обобщенная характеристика для аргона (табл. 1) и градуировочная характеристика для аргона (табл. 2). Необходимо вычислить безразмерные критерии подобия для каждого оцифрованного деления шкалы ротаметра.

Значение расхода, взятое из табл. 2, например, для деления шкалы, соответствующего значению 20 %, приводят по формуле к условиям, при которых составлена табл. 1.

$$Q_{пр}=Q_1\sqrt{\frac{P_1T_т}{P_тT_1}}=8{,}8829\cdot10^{-3}\sqrt{\frac{99802\cdot295{,}06}{295{,}69\cdot99570}}=8{,}8836\cdot10^{-3}\ м^3/ч.$$

По табл. 1 интерполяцией находят искомое значение $П_3$=0,0488. Аналогичные расчеты производят для всех оцифрованных делений шкалы ротаметра (40, 60, 80, 100 %). Результаты записываются по форме табл. 3.

2. Определение $П_3$ при измерении расхода жидкостей.

Например, в табл. 4 приведена обобщенная характеристика ротаметра; в табл. 5 — градуировочная характеристика ротаметра по воде.

Таблица 4

Безразмерный критерий подобия $П_3$	Q, л/ч
0,01	7,824
0,02	15,543
0,03	23,279
0,04	31,018

Продолжение табл. 4

Безразмерный критерий подобия $П_3$	Q, л/ч
0,05	38,762
0,06	46,525
0,07	54,329
0,08	62,202
0,09	70,179
0,10	78,292
0,11	86,575
0,12	95,061
0,13	103,772
0,14	112,727
0,15	121,93

Таблица 5

Деления шкалы ротаметра, %	Q, л/ч
20	8,787
40	28,193
60	51,037
80	74,914
100	102,723

Производя интерполяцию, находят значения $П_3$. Вычисление приведенного расхода жидкостей не производят. Результаты записывают по форме табл. 6.

Таблица 6

Деления шкалы ротаметра, %	Q, л/ч	Безразмерный критерий подобия $П_3$
20	8,787	0,01125
40	28,193	0,03635
60	51,037	0,08579
80	74,917	0,09585
100	102,733	0,12881

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА СОПРОТИВЛЕНИЯ ПОПЛАВКА

Коэффициент сопротивления поплавка C_x определяют из таблиц пересчета, полученных в результате обработки опытных данных на ЭВМ и приведенных в паспорте на ротаметр.

Входными параметрами в таблице для определения C_x служат безразмерные критерии подобия $\lg \Pi_2$ и Π_3. Ниже приведен пример заполнения таблицы.

$\lg \Pi_2$	C_x при Π_3		
	0.10	0.12	0.14
—7,04	0,5485	0,5235	0,5418
—7,02	0,5507	0,5598	0,5749
—7,00	0,5874	0,5983	0,6150
—6,98	0,6195	0,6318	0,6449
—6,96	0,6450	0,6520	0,6725
—6,94	0,6735	0,6783	0,6930

Если значение безразмерных критериев подобия $\lg \Pi_2$ и Π_3 соответствуют значениям, которые указаны в таблице, то искомое значение C_x находят на пересечении строки, соответствующей данному значению $\lg \Pi_2$, и графы, соответствующей данному значению Π_3.

Пример. Известно, что $\lg \Pi_2 = -7{,}00$ и $\Pi_3 = 0{,}12$, из таблицы находят $C_x = 0{,}5983$.

Однако на практике довольно редко совпадают расчетные значения $\lg \Pi_2$ и Π_3 с табличными значениями.

Если расчетные значения безразмерных критериев $\lg \Pi_2$ и Π_3 отличаются от значений, указанных в таблице пересчета, то промежуточные значения критериев определяют по интерполяционным формулам. При этом возможны три варианта.

Вариант 1. При совпадении расчетного значения $\lg \Pi_2$ с табличными коэффициент сопротивления поплавка определяют по формуле

$$C_x = (C_x)_1 \frac{(\Pi_2)^*_2 - \Pi_3}{(\Pi_3)_2 - (\Pi_3)_1} + (C_x)_2 \frac{\Pi_3 - (\Pi_3)_1}{(\Pi_3)_2 - (\Pi_3)_1}. \qquad (25)$$

Пример. Известно, что $\lg \Pi_2 = -7{,}00$ и $\Pi_3 = 0{,}11$. Используя формулу (1), находят искомое значение C_x

$$C_x = 0{,}5874 \frac{0{,}12 - 0{,}11}{0{,}12 - 0{,}10} + 0{,}5983 \frac{0{,}11 - 0{,}10}{0{,}12 - 0{,}10} = 0{,}5928.$$

Вариант 2. При совпадении расчетного значения Π_3 с табличным коэффициент сопротивления поплавка определяют по формуле

$$C_x = (C_x)_1 \frac{\lg (\Pi_2)_2 - \lg \Pi_2}{(\lg \Pi_2)_2 - (\lg \Pi_2)_1} + (C_x)_2 \frac{\lg \Pi_2 - (\lg \Pi_2)_1}{(\lg \Pi_2)_2 - (\lg \Pi_2)_1}. \qquad (26)$$

* В скобках даны табличные значения, а без скобок — расчетные значения величин.

Пример. Известно, что $\lg \Pi_2=-7{,}005$ и $\Pi_3=0{,}12$. Используя формулу (2), находят искомое значение

$$C_x=0{,}5598\frac{(-7{,}00)+7{,}005}{(-7{,}00)+7{,}02}+0{,}5983\ \frac{(-7{,}005)+7{,}02}{(-7{,}00)+7{,}02}=0{,}5886.$$

Вариант 3. В общем случае, когда расчетное значение безразмерных величин $\lg \Pi_2$ и Π_3 не совпадает с табличными значениями, коэффициент сопротивления поплавка C_x определяют по формуле

$$C_x=(C_x)_{11}\frac{(\Pi_3)_2-\Pi_3}{(\Pi_3)_2-(\Pi_3)_1}\cdot\frac{(\lg \Pi_2)_2-\lg \Pi_2}{(\lg \Pi_2)_2-(\lg \Pi_2)_1}+(C_x)_{12}\ \frac{\Pi_3-(\Pi_3)_1}{(\Pi_3)_2-(\Pi_3)_1}\times$$
$$\times\frac{(\lg \Pi_2)_2-\lg \Pi_2}{(\lg \Pi_2)_2-(\lg \Pi_2)_1}+(C_x)_{21}\ \frac{(\Pi_3)_2-\Pi_3}{(\Pi_3)_2-(\Pi_3)_1}\cdot\frac{\lg \Pi_2-(\lg \Pi_2)_1}{(\lg \Pi_2)_2-(\lg \Pi_2)_1}+ \quad (27)$$
$$+(C_x)_{22}\frac{\Pi_3-(\Pi_3)_1}{(\Pi_3)_2-(\Pi_3)_1}\cdot\frac{\lg \Pi_2-(\lg \Pi_2)_1}{(\lg \Pi_2)_2-(\lg \Pi_2)_1}.$$

Пример. При $\Pi_3=0{,}125$; $\lg \Pi_2=-7{,}01$

$$C_x=0{,}5598\frac{0{,}14-0{,}125}{0{,}14-0{,}12}\cdot\frac{(-7{,}00)+7{,}01}{(-7{,}00)+7{,}02}+0{,}5749\ \frac{0{,}125-0{,}12}{0{,}14-0{,}12}\times$$
$$\times\frac{(-7{,}00)+7{,}01}{(-7{,}00)+7{,}02}+0{,}5598\ \frac{0{,}14-0{,}125}{0{,}14-0{,}12}\cdot\frac{(-7{,}00)+7{,}02}{(-7{,}00)+7{,}02}+$$
$$+0{,}6150\frac{0{,}125-0{,}12}{0{,}14-0{,}12}\cdot\frac{(-7{,}01)+7{,}02}{(-7{,}00)+7{,}02}=0{,}5631.$$

ПРИМЕРЫ ПЕРЕСЧЕТА ГРАДУИРОВОЧНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ РОТАМЕТРА

1. Пересчет градуировочной характеристики газовых ротаметров.

Для ротаметра № 23 с массой поплавка $m=0{,}0001305$ кг (указана в паспорте) даны градуировочная и обобщенная характеристики, определенные для воздуха со следующими физическими свойствами: динамическая вязкость $\mu_1=1{,}81\cdot10^{-5}$ Па·с; $\rho_1=1{,}1885$ кг/м³.

Расход воздуха для деления шкалы, соответствующего 100 %, составляет $Q=2{,}41\cdot10^{-5}$ м³/с, а безразмерная величина $\Pi_3=0{,}1757$ (приложение 3). Требуется определить расход гелия для указанного деления шкалы при давлении $P_2=100462$ Па и температуре $T_2=294{,}80$ К. Ускорение силы тяжести $g=9{,}8155$ м/с².

Динамическая вязкость и плотность гелия определяются из таблиц и для наших условий измерения они равны: $\mu_2=1{,}95\cdot10^{-5}$ Па·с; $\rho_2=0{,}1623$ кг/м³.

Используя формулы (1) и (3) (пп. 3.2 и 3.3 основного текста), вычисляют значения десятичных логарифмов:

для воздуха

$$\lg(\Pi_2)_1=\lg\left[\frac{\mu^2_1}{\rho_1 g m}\right]=\lg\left[\frac{(18{,}10)^2\cdot10^{-12}}{1{,}1885\cdot9{,}8155\cdot0{,}1305\cdot10^{-3}}\right]=-6{,}66,$$

для гелия

$$\lg(\Pi_2)_2=\lg\left[\frac{\mu^2_2}{\rho_2 g m}\right]=\lg\left[\frac{(19{,}50)^2\cdot10^{-12}}{0{,}1623\cdot9{,}8155\cdot0{,}1305\cdot10^{-3}}\right]=-5{,}73.$$

В соответствии с п. 3.5 основного текста и приложением 5 определяют коэффициенты сопротивления поплавков C_{x_1} и C_{x_2}, которые, например, равны: $C_{x_1}=9{,}6861$; $C_{x_2}=1{,}4860$.

По формуле (6) находят расход гелия

$$Q_2=Q_1\sqrt{\frac{C_{x_1}\rho_1}{C_{x_2}\rho_2}}=2{,}41\cdot10^{-5}\sqrt{\frac{0{,}6861\cdot1{,}1885}{1{,}4810\cdot0{,}1623}}=4{,}44\cdot10^{-5}\ \text{м}^3/\text{с}.$$

Определяют погрешность пересчета по формуле (4), если погрешность таблиц пересчета $\delta_T=3{,}9$ %, а погрешность определения плотности гелия $\delta_{\rho_2}=0{,}2$ %.

$$\delta_{Q_2}=0{,}5\,\delta_{\rho_2}+\delta_1=4\%.$$

2. Пересчет градуировочной характеристики жидкостных ротаметров.

Для ротаметра с массой поплавка $m=0{,}15791$ кг; $\rho=6316{,}4$ кг/м³ даны градуировочная и обобщенная характеристики для жидкости со следующими физическими свойствами: кинематическая вязкость $\nu_1=0{,}9889\cdot10^{-6}$ м²/с, $\rho_1=996{,}33$ кг/м³.

Расход градуировочной жидкости для деления шкалы, соответствующего 80 %, составляет $Q=1{,}82368\cdot10^{-4}$ м³/с, а безразмерная величина $\Pi_2=0{,}132801$ (приложение 3).

Требуется определить расход рабочей жидкости с физическими свойствами

$$\nu_2=31{,}80\cdot10^{-6}\ \text{м}^2/\text{с}$$

$$\rho_2=1150{,}00\ \text{кг}/\text{м}^3.$$

Используя формулы (2) и (4) (пп. 3.2 и 3.3) определяют:

$$\lg(\Pi_2)_1=\lg\left[\frac{\nu^2{}_1\rho_1}{gm(1-\rho_1/\rho)}\right]=\lg\left[\frac{0{,}9889^2\cdot10^{-12}\cdot996{,}33}{9{,}81557\cdot0{,}15791\left(1-\frac{996{,}33}{6316{,}4}\right)}\right]=-9{,}127065$$

$$\lg(\Pi_2)_2=\lg\left[\frac{\nu^2{}_2\rho_2}{gm(1-\rho_2/\rho)}\right]=\lg\left[\frac{31{,}8^2\cdot10^{-12}\cdot1150{,}00}{9{,}81557\cdot0{,}15791\left(1-\frac{1150{,}00}{6316{,}4}\right)}\right]=-6{,}037491.$$

В соответствии с п. 3.5 основного текста и приложением 4 определяют C_{x_1} и C_{x_2}, которые, например, равны: $C_{x_1}=2{,}000418$, $C_{x_2}=2{,}100632$.

По формуле (5) основного текста находят расход рабочей жидкости

$$Q=Q_1\sqrt{\frac{C_{x_1}(\rho-\rho_2)\rho_1}{C_{x_1}(\rho-\rho_1)\rho_2}}=1{,}82368\cdot10^{-4}\sqrt{\frac{2{,}000418(6316{,}4-1150)\cdot996{,}33}{2{,}100632(6316{,}4-996{,}33)\cdot1150}}=$$

$$=1{,}632383\cdot10^{-4}\ \text{м}^2/\text{с}.$$

Определяют погрешность пересчета по формуле (8) основного текста.

ПРИЛОЖЕНИЕ 6

Справочное

РЕЗУЛЬТАТЫ ПЕРЕСЧЕТА ГРАДУИРОВОЧНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ

для рабочей среды _____
наименование среды

при $\rho=$ кг/м³, $\mu=$ Па·с
$P=$ Па $T=$ К

Деления шкалы ротаметра, %	Расход рабочей среды, м³/с
0	
10	
20	
30	
40	
50	
60	
70	
80	
90	
100	

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Государственная система обеспечения единства измерений

**Расходомеры постоянного перепада давления.
Пересчет метрологических характеристик**

МИ 1420—86

Редактор *Н. А. Аргунова*
Технический редактор *М. И. Максимова*
Корректор *В. С. Черная*

Н/К

Сдано в наб. 19.01.87 Подп. в печ. 21.05.87 Т—14602 Формат 60×90¹/₁₆ Бумага типографская № 1 Гарнитура литературная Печать высокая 1,0 усл. п. л. 1,25 усл. кр.-отт. 0,91 уч.-изд. л. Тираж 6500 Изд. № 9388/4

Ордена «Знак Почета» Издательство стандартов, 123840, Москва, ГСП, Новопресненский пер., 3
Тип. «Московский печатник». Москва, Лялин пер., 6. Зак. 219

gost.e-ecolog.ru