

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ
«ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ МЕТРОЛОГИИ
им. Д. И. МЕНДЕЛЕЕВА»

ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
РАСХОДОМЕТРИИ – ФИЛИАЛ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
УНИТАРНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ «ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ МЕТРОЛОГИИ
им. Д.И. МЕНДЕЛЕЕВА»

ВНИИР – филиал ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева»

СОГЛАСОВАНО
Заместитель директора филиала
А.С. Тайбинский
« 31 » мая 2024 г.

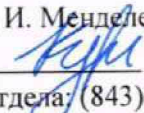


Государственная система обеспечения единства измерений

УСТАНОВКИ ПОВЕРОЧНЫЕ РАСХОДОМЕРНЫЕ ГАЗОВЫЕ УПРГ-01И

Методика поверки
МП 1633-13-2024

Зам. начальника
научно-исследовательского отдела
ВНИИР – филиала ФГУП «ВНИИМ
им. Д. И. Менделеева»
И. Н. Куликов
Тел. отдела: (843) 272-11-24



г. Казань
2024 г.

1 Общие положения

1.1 Настоящая методика применяется для поверки установок поверочных расходомерных газовых УПРГ-01И (далее – установки), используемых в качестве рабочего эталона 1 разряда в соответствии с государственной поверочной схемой для средств измерений объемного и массового расходов газа, утвержденной приказом Росстандарта от 11 мая 2022 г. № 1133 и устанавливает последовательность и методику их первичных и периодических поверок.

В результате поверки должны быть подтверждены следующие метрологические требования, приведенные в таблице 1.

Таблица 1 – Метрологические характеристики

Наименование характеристики	Значение
Диапазон измерений (воспроизведения) объёмного расхода газа, м ³ /ч	от 0,04 до 6,50
Доверительные границы относительной погрешности (при доверительной вероятности 0,95) измерения (воспроизведения) объёмного расхода газа, %	±0,3

Установки поверочные расходомерные газовые УПРГ-01И (далее – установки) предназначены для измерений, воспроизведения, хранения и передачи единицы объемного расхода газа.

В ходе реализации данной методики поверки обеспечивается передача единицы объемного расхода газа в соответствии с государственной поверочной схемой, утвержденной Приказом Росстандарта от 11 мая 2022 г. № 1133 Об утверждении Государственной поверочной схемы для средств измерений объемного и массового расходов газа, подтверждающая прослеживаемость к Государственному первичному эталону единиц объемного и массового расходов газа (ГЭТ 118-2017) методом непосредственного сличения.

2 Перечень операций поверки средства измерений

Для поверки установки должны быть выполнены операции, указанные в таблице 2.

Таблица 2 – Операции поверки

Наименование операции поверки	Обязательность выполнения операций поверки при		Номер раздела (пункта) методики поверки, в соответствии с которым выполняется операция поверки
	первичной поверке	периодической поверке	
Внешний осмотр средства измерений	Да	Да	7
Подготовка к поверке и опробование средства измерений	Да	Да	8
Проверка программного обеспечения средства измерений	Да	Да	9
Определение метрологических характеристик и подтверждение соответствия средств измерений метрологическим требованиям	Да	Да	10
Оформление результатов поверки средства измерений	Да	Да	11
Примечания:			
1 При получении отрицательных результатов поверки по какому-либо пункту методики поверки поверку установки прекращают.			

3 Требования к условиям проведения поверки средства измерений

3.1 При опробовании и определении метрологических характеристик должны соблюдаться следующие условия:

- температура окружающего воздуха, °С от плюс 15 до плюс 25
- относительная влажность воздуха, % от 30 до 80
- атмосферное давление, кПа от 84 до 106,7

3.2 Измеряемая среда – воздух.

4 Требования к специалистам, осуществляющим поверку

4.1 При проведении поверки специалисты должны соответствовать следующим требованиям:

- обладать навыками работы на применяемых средствах поверки;
- знать требования данного документа;
- обладать навыками работы по данному документу.

5 Метрологические и технические требования к средствам поверки

5.1 Метрологические и технические требования к средствам поверки приведены в таблице 3.

Таблица 3 - Метрологические и технические требования к средствам поверки

Операции поверки, требующие применения средств поверки	Метрологические и технические требования к средствам поверки	Перечень рекомендуемых средств поверки
1	2	3
п.8 Подготовка к поверке и опробование средства измерений	Средство измерения давления. Диапазон измерений давления от 75 до 115 кПа, пределы допускаемой приведенной к диапазону погрешности $\pm 0,02\%$	Прибор цифровой для измерения давления DPI, регистрационный № 16348-03
п. 10 Определение метрологических характеристик средства измерений	Государственный первичный эталон единиц объемного и массового расходов газа ГЭТ 118-2017. Диапазон воспроизведения единиц объемного (массового) расхода газа от 0,0003 до 16000 м ³ /ч (от 0,00036 до 19200 кг/ч), СКО от 0,01 до 0,03 %, НСП от 0,05 до 0,12 %, расширенная неопределенность при коэффициенте охвата $k=2$ от 0,06 до 0,11%	Государственный первичный эталон единиц объемного и массового расходов газа ГЭТ 118-2017 (далее – ГЭТ)

Примечания:

1 Эталоны и средства измерений, используемые в качестве средств поверки, должны быть аттестованы или иметь действующие положительные сведения о поверке, включенные в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений, испытательное оборудование должно быть аттестовано.

2 Допускается использовать при поверке другие утвержденные и аттестованные эталоны единиц величин, средства измерений, испытательное и вспомогательное оборудование, удовлетворяющие метрологическим требованиям, указанным в таблице.

6 Требования (условия) по обеспечению безопасности проведения поверки

6.1 При проведении поверки должны быть соблюдены требования безопасности, установленные ГОСТ 12.2.007.0-75 «Система стандартов безопасности труда. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности», «Правилами технической эксплуатации электроустановок потребителей», «Правилами по охране труда при эксплуатации электроустановок», инструкциями по охране труда, действующими на объекте, а также требования по безопасности на средства поверки и поверяемую установку, изложенные в их эксплуатационных документах.

7 Внешний осмотр средства измерений

7.1 При проведении внешнего осмотра установить соответствие установки следующим требованиям:

- комплектность установки должна соответствовать описанию типа средства измерений;
- надписи и обозначения на установке и маркировочной табличке должны быть четкими и соответствовать требованиям технической документации изготовителя;
- на установке должны отсутствовать механические повреждения, препятствующие ее применению;
- сведения, указанные на маркировочной табличке, должны соответствовать паспорту на установку.

7.2 Проверить наличие сведений о поверке средств измерений разрежения, абсолютного давления, температуры, влажности, времени входящих в состав установки, знаки поверки в паспорте и/или запись в информационном фонде по обеспечению единства измерений.

7.3 Результаты внешнего осмотра считают положительными, если выполняются требования, приведенные в п. 7.1 – п. 7.2 или отрицательным, если указанные требования не выполняются. При отрицательном результате выполнение дальнейших операций поверки прекращают.

8 Подготовка к поверке и опробование средства измерений

8.1 Подготовка к поверке

При подготовке к поверке выполняют следующие работы:

- проверить выполнение условий по п. 3 и п. 6 настоящей методики поверки;
- подготовить установку и средства поверки к работе согласно эксплуатационной документации;
- включить и прогреть установку в течение не менее 40 мин;
- проверить работоспособность установки в соответствии с руководством по эксплуатации;
- проверить герметичность измерительной магистрали установки в соответствии с п. 8.2.

8.2 Проверка герметичности установки

Проверке герметичности подвергается участок от входа в измерительную магистраль установки до выходного сечения сопел критических (далее по тексту – СК). Все клапаны СК должны быть закрыты, неиспользуемые штуцеры и входное сечение измерительной магистрали должны быть заглушены.

При проверке герметичности включают вакуумный насос установки, открывают СК с наименьшим значением расхода и задают разрежение не менее 2,5 кПа в испытываемой части установки, после чего закрывают СК. Производят выдержку в течение 5 минут для выравнивания температуры в испытываемой части установки.

После выдержки проводят однократное измерение атмосферного давления P_a Па, и начального значения разрежения в измерительной магистрали установки dP_n Па, которое

должно составлять не менее 2500 Па. По истечении не менее 10 минут измеряют конечное значение разряжения dP_k , Па.

Результаты проверки герметичности установки считают положительными, если выполняется условие:

$$|P_H - P_K| \leq P_H \cdot t \cdot \frac{Q_{min}}{V_{уч} \cdot 60} \cdot \frac{1}{8} \cdot \frac{\delta_{уст}}{100\%}, \quad (1)$$

где t – время измерений, мин;

Q_{min} – наименьший объемный расход, воспроизводимый установкой (0,04 м³/ч), м³/ч;

$V_{уч}$ – внутренний объем измерительной части эталонной линии, подвергаемой проверке на герметичность (указан в паспорте установки), м³;

$\delta_{уст}$ – доверительные границы относительной погрешности установки (при доверительной вероятности 0,95) измерения (воспроизведения) объемного расхода газа, %.

Результаты проверки герметичности установки считают отрицательными, если условие герметичности (1) не выполняется. При отрицательном результате выполнение дальнейших операций поверки прекращают.

8.3 Опробование

В соответствии с руководством по эксплуатации включают установку в режиме воспроизведения объемного расхода воздуха и проверяют:

- работоспособность установки путем увеличения или уменьшения объемного расхода воздуха посредством открытия соответствующих клапанов СК в пределах рабочего диапазона измерений;

- индикацию показаний объемного расхода, давления, температуры, относительной влажности измеряемой среды, перепада давления;

Результаты проверки считают положительными, если:

- установка обеспечивает воспроизведение объемного расхода воздуха в диапазоне от наименьшего до наибольшего значений расхода;

- установка обеспечивает индикацию показаний объемного расхода, давления, температуры, относительной влажности измеряемой среды, перепада давления.

При отрицательном результате выполнение дальнейших операций поверки прекращают.

8.4 Проверка выполнения критического режима истечения потока воздуха на СК и диапазона воспроизводимых расходов.

Проверку выполнения критического режима истечения потока воздуха на СК и диапазона воспроизводимых расходов выполняют на минимальном и максимальном воспроизводимых установкой расходах без установки поверяемого средства измерений.

Согласно руководству по эксплуатации на установке устанавливают поочередно минимальный и максимальный расход с последующей регистрацией значений расхода, отображаемых на ПЭВМ из состава установки.

После установления стационарного режима течения регистрируют значение разрежения на выходе сопла $P_{вых}$ по показанию вакуумметра, и значение разрежения на входе сопла $P_{вх}$ по показанию датчика разрежения.

Результаты считают положительными, если:

- наименьший и наибольший объемный расход составляют не более наименьшего и не менее наибольшего объемных расходов, указанных в паспорте установки;

- при номинальных расходах до 1 м³/ч включительно выполняется условие: $|P_{вых} - P_{вх}| \geq 65$ кПа;

- при номинальных расходах более 1 м³/ч выполняется условие: $|P_{вых} - P_{вх}| \geq 35$ кПа.

9 Проверка программного обеспечения средства измерений

При проведении поверки выполняют операцию подтверждения соответствия программного обеспечения (далее по тексту – ПО) установки заявленным идентификационным данным.

Процедура подтверждения соответствия ПО установки состоит в следующем:

- включить установку;
- на ПЭВМ из состава установки запустить ПО установки.

Наименование ПО и номер версии отображаются в главном меню в пункте «О программе».

Для проверки контрольной суммы метрологически значимой части ПО установки в командной строке компьютера набрать:

certutil -hashfile “адрес файла .exe” MD5

Результат подтверждения соответствия ПО установки считается положительным, если полученные идентификационные данные (идентификационное наименование, номер версии и цифровой идентификатор ПО (контрольная сумма)) ПО установки соответствуют:

Таблица 4 - Идентификационные данные ПО

Идентификационные данные (признаки)	Значение
1	2
Идентификационное наименование ПО	УПРГ-01И
Номер версии (идентификационный номер) ПО	v.1.1.x.x
Цифровой идентификатор ПО (контрольная сумма)	9dea1b9a0bd032038a8d25ab1aa4279
Алгоритм вычисления цифрового идентификатора ПО	md5
* Третья и четвертые цифры номера версии ПО установки относятся к обозначению метрологически незначимой части ПО	

Результат подтверждения соответствия ПО считают отрицательным, если идентификационные данные (идентификационное наименование и (или) номер версии) ПО установки не соответствует данным, указанным в разделе «Программное обеспечение» описания типа.

10. Определение метрологических характеристик и подтверждение соответствия СИ метрологическим требованиям

10.1 Определение диапазона воспроизведения объемного расхода газа

10.1.1 Определение расходной характеристики СК

Процедура заключается в определении действительной расходной характеристики СК.

При выполнении должны контролироваться условия окружающей среды (температура газа t , влажность газа φ и атмосферное давление $P_{атм}$).

Изменение температуры измеряемой среды в процессе проверки СК не более $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$.

В зависимости от расходной характеристики (объемных расходов) СК определение расходной характеристики осуществляется на эталонных установках (далее ЭУ) из состава ГЭТ 118-2017, в соответствии с таблицей 5.

Таблица 5 Эталонные установки

Расходная характеристика СК, $\text{м}^3/\text{ч}$ ($\text{кг}/\text{ч}$)	Тип ЭУ
от 1 до 20 (от 1,2 до 24)	ЭУ-3
от $3 \cdot 10^{-4}$ до 1 (от $3,6 \cdot 10^{-4}$ до 1,2)	ЭУ-5

10.1.1.1 Проведение определения расходной характеристики СК на эталонной установке ЭУ-3 осуществляется методом сличения с эталонным СК с использованием компараторов расхода газа. Для этого выбирают компаратор для проведения процедуры в соответствии с таблицей 6.

Таблица 6 - Компараторы

Расходная характеристика СК, м ³ /ч (кг/ч)	№ компаратора/ов
ЭУ-3	
от 0,4 до 6 (от 0,5 до 7)	№1
от 6 до 20 (от 7 до 24)	№2

Выбирают два эталонных СК или два комплекта эталонных СК из состава установки с действительными значениями расхода ниже и выше номинала расхода проверяемого СК, т.е. $Q_{эт1} < Q_k < Q_{эт2}$. Отклонение номиналов расхода эталонных СК от номинала расхода проверяемого СК не должно превышать 10%.

Открывают клапан компаратора. Открывают поочередно клапаны эталонных и проверяемого СК в течении 5 минут для выравнивания и стабилизации температуры в измерительном тракте установки.

Этап 1: закрывают клапана эталонных СК, оставляя открытыми клапана компаратора и проверяемого СК. Ожидают не менее 1 минуты для стабилизации показаний компаратора, фиксируют значение температуры измеряемой среды и запускают установку в режим измерения. Проводят не менее 11 измерений перепада давлений на компараторе в течении 100 секунд с последующим усреднением полученных результатов.

Этап 2: закрывают клапан проверяемого СК и открывают клапан (клапаны) эталонного/ых СК $Q_{эт1}$. Ожидают не менее 1 минуты для стабилизации показаний компаратора и запускают установку в режим измерения. Проводят не менее 11 измерений перепада давлений на компараторе в течении 100 секунд с последующим усреднением полученных результатов.

Этап 3: закрывают клапан (клапаны) эталонного/ых СК $Q_{эт1}$ и открывают клапан (клапаны) эталонного/ых СК $Q_{эт2}$. Ожидают не менее 1 минуты для стабилизации показаний компаратора и запускают установку в режим измерения. Проводят не менее 11 измерений перепада давлений на компараторе в течении 100 секунд с последующим усреднением полученных результатов. Повторно фиксируют значение температуры измеряемой среды.

Температура измеряемой среды в процессе выполнения измерений не должна изменяться более чем на 0,1 °С. В противном случае результаты измерения аннулируют и измерения повторяют.

Определяют значение расхода проверяемого СК, приведенного к стандартным условиям по формуле

$$Q_k = \Delta P \left[\frac{Q_{эт1}}{\Delta P_1} + \frac{\Delta P - \Delta P_1}{\Delta P_2 - \Delta P_1} \left(\frac{Q_{эт2}}{\Delta P_2} - \frac{Q_{эт1}}{\Delta P_1} \right) \right], \quad (2)$$

где Q_k – расходная характеристика проверяемого СК, м³/ч (кг/ч);

$Q_{эт1}$ – значение расхода эталонного СК с расходом ниже, чем у проверяемого СК, м³/ч (кг/ч);

$Q_{эт2}$ – значение расхода эталонного СК с расходом выше, чем у проверяемого СК, м³/ч (кг/ч);

ΔP – перепад давления на компараторе на этапе 1, Па;

ΔP_1 – перепад давления на компараторе на этапе 2, Па;

ΔP_2 – перепад давления на компараторе на этапе 3, Па;

Определяют значение коэффициента C_d проверяемого СК по формуле

$$C_d = \frac{Q_k \cdot 1000}{A_{nt} \cdot \sqrt{R \cdot T_c} \cdot c_* \cdot 3,6}, \quad (3)$$

$$A_{nt} = \frac{\pi \cdot d^2}{4}, \quad (4)$$

$$c_* = \sqrt{k} \cdot \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k+1}{2 \cdot (k-1)}}, \quad (5)$$

где A_{nt} – площадь поперечного сечения горловины проверяемого СК, мм²;
 R – удельная газовая постоянная воздуха, Дж/кг·К (для воздуха при температуре 20 °С, абсолютном давлении 101,325 кПа и относительной влажности 60 % R принимается равной 288,5 Дж/кг·К);

T_c – термодинамическая температура при стандартных условиях, К;

c_* – функция критического расхода газа;

d – диаметр горловины проверяемого СК при температуре 20 °С (указан на СК или в паспорте на СК), мм;

k – показатель адиабаты (в соответствии с ГСССД МР 220 – 2014 для воздуха при температуре 20 °С, абсолютном давлении 101,325 кПа и относительной влажности 60 % k принимается равным 1,4).

10.1.2 Определение расходной характеристики СК на эталонной установке ЭУ-5.

Проверка СК на ЭУ-5 осуществляется методом непосредственного сличения.

Собирают схему подключений, указанную на рисунке 1.

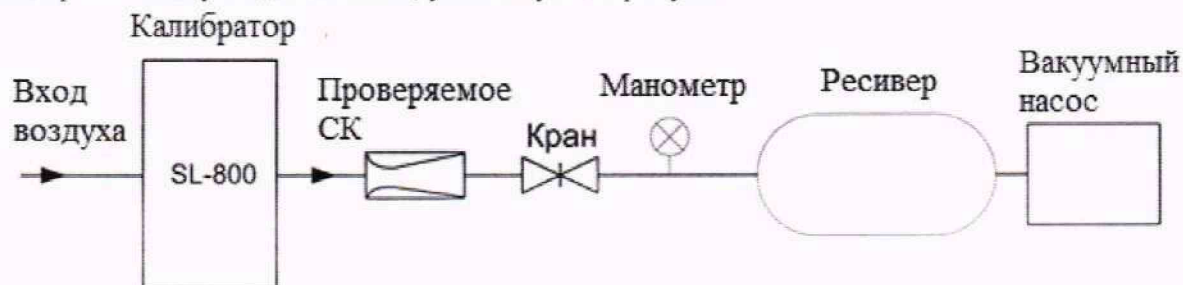


Рисунок 1 – Схема подключений СК к ЭУ-5

Выбирают измерительную ячейку для проведения проверки в соответствии с таблицей 7.

Таблица 7 – Измерительные ячейки

Расходная характеристика СК, м ³ /ч (кг/ч)	Измерительная ячейка ЭУ-5
от 3·10 ⁻⁴ до 3·10 ⁻² (от 3,6·10 ⁻⁴ до 3,6·10 ⁻²)	SL-800-10
от 3·10 ⁻² до 1 (от 3,6·10 ⁻² до 1,2)	SL-800-44

Кран после СК устанавливают в положение «Закрыто», включают вакуумный насос и создают в системе вакуумметрическое давление (разрежение) не менее 50 кПа, которое контролируют по показаниям манометра.

Калибратор SL-800 настраивают в непрерывный режим измерений. Кран после СК устанавливают в положение «Открыто» и производят включение установки в режим измерения. Производят непрерывные измерения до момента стабилизации показаний калибратора SL-800 по расходу, температуре и давлению, при этом результаты измерений в протокол не заносят.

Калибратор SL-800 настраивают в режим многократных измерений (не менее 11 измерений) и определяют значение расхода СК, приведенного к стандартным условиям, по формулам:

$$Q_{v20,60} = Q_v \cdot \sqrt{\frac{293,15}{273,15+t_B}} \cdot \frac{P_1}{P_{\Delta P}} \cdot K_{t,\phi}, \text{ м}^3/\text{ч} \quad (6)$$

где $Q_{v20,60}$ – значение объёмного расхода СК, приведенного к температуре 20 °С и относительной влажности 60 %, м³/ч;

Q_v – значение объёмного расхода в рабочих условиях по показаниям калибратора SL-800, м³/ч;

t_B – температура воздуха по показаниям калибратора SL-800, °С;

P_1 – абсолютное давление по показаниям калибратора SL-800, кПа;

$P_{\Delta P}$ – абсолютное давление по показаниям калибратора SL-800 с учетом перепада давлений между калибратором и СК, кПа;

$K_{t,\phi}$ – коэффициент, учитывающий влажность воздуха;

ρ_B – плотность воздуха, кг/м³.

Определение плотности воздуха ρ_B осуществляется автоматически программным комплексом эталона в соответствии с ГСССД МР 220 – 2014.

Определяют значение коэффициента C_d проверяемого СК по формулам (3)-(5).

10.1.3 Обработка результатов измерения и вычисление расширенной неопределенности измерений определения расходной характеристики СК.

Расчет неопределенности измерений при определении расходной характеристики СК на эталонных установках ЭУ-2 и ЭУ-3.

Стандартную неопределенность по типу А, обусловленную источниками неопределенности, имеющими случайный характер при измерении перепада давления на компараторе, определяют по формулам:

$$u_A(\Delta P) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta P_i - \overline{\Delta P})^2}{n(n-1)}}, \text{ Па} \quad (7)$$

$$u_A(\Delta P_1) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta P_{1i} - \overline{\Delta P_1})^2}{n(n-1)}}, \text{ Па} \quad (8)$$

$$u_A(\Delta P_2) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta P_{2i} - \overline{\Delta P_2})^2}{n(n-1)}}, \text{ Па} \quad (9)$$

где:

$$\overline{\Delta P} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \Delta P_i, \text{ Па} \quad (10)$$

$$\overline{\Delta P_1} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \Delta P_{1i}, \text{ Па} \quad (11)$$

$$\overline{\Delta P_2} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \Delta P_{2i}, \text{ Па} \quad (12)$$

где ΔP_i – i-ый результат измерений перепада давления на компараторе на этапе 1, Па;

ΔP_{1i} – i-ый результат измерений перепада давления на компараторе на этапе 2, Па;

ΔP_{2i} – i-ый результат измерений перепада давления на компараторе на этапе 3, Па;

n – число измерений.

Стандартные неопределенности, выраженные в %, вычисляют по формулам:

$$\tilde{u}_A(\Delta P) = \frac{u_A(\Delta P)}{\Delta P} 100, \% \quad (13)$$

$$\tilde{u}_A(\Delta P_1) = \frac{u_A(\Delta P_1)}{\Delta P_1} 100, \% \quad (14)$$

$$\tilde{u}_A(\Delta P_2) = \frac{u_A(\Delta P_2)}{\Delta P_2} 100, \% \quad (15)$$

Стандартную неопределенность по типу А расходной характеристики СК определяют по формуле

$$\tilde{u}_A(Q_K) = (\partial Q_{\text{эт1}}) \cdot \tilde{u}_A(Q_{\text{эт1}}) + (\partial Q_{\text{эт2}}) \cdot \tilde{u}_A(Q_{\text{эт2}}) + \sqrt{(\partial \Delta P)^2 \cdot \tilde{u}_A(\Delta P)^2 + (\partial \Delta P_1)^2 \cdot \tilde{u}_A(\Delta P_1)^2 + (\partial \Delta P_2)^2 \cdot \tilde{u}_A(\Delta P_2)^2}, \quad (16)$$

где $\tilde{u}_A(Q_{\text{эт1}})$ и $\tilde{u}_A(Q_{\text{эт2}})$ – стандартные неопределенности по типу А воспроизведения расхода ЭУ-2 и ЭУ-3, %;

$\partial Q_{\text{эт1}}, \partial Q_{\text{эт2}}, \partial \Delta P, \partial \Delta P_1, \partial \Delta P_2$ – коэффициенты влияния, значения которых составляют: $\partial Q_{\text{эт1}} = \partial Q_{\text{эт2}} = \partial \Delta P = \partial \Delta P_1 = \partial \Delta P_2 = 0,5$.

Стандартную неопределенность по типу В определения расходной характеристики СК, обусловленную источниками неопределенности, имеющими систематический характер, определяют по формуле

$$\tilde{u}_B(Q_K) = (\partial Q_{\text{эт1}}) \cdot \tilde{u}_B(Q_{\text{эт1}}) + (\partial Q_{\text{эт2}}) \cdot \tilde{u}_B(Q_{\text{эт2}}) \quad (17)$$

где $\tilde{u}_B(Q_{\text{эт1}})$ и $\tilde{u}_B(Q_{\text{эт2}})$ – стандартные неопределенности по типу В воспроизведения расхода ЭУ-2 и ЭУ-3, %;

$\partial Q_{\text{эт1}}, \partial Q_{\text{эт2}}$ – коэффициенты влияния, значения которых составляют:

$$\partial Q_{\text{эт1}} = \partial Q_{\text{эт2}} = 0,5$$

Суммарную стандартную неопределенность проверки СК определяют по формуле

$$\tilde{u}_c = \sqrt{\tilde{u}_A(Q_K)^2 + \tilde{u}_B(Q_K)^2} \quad (18)$$

Расширенную неопределенность определения расходной характеристики СК определяют по формуле

$$U_p = k \cdot \tilde{u}_c \quad (19)$$

где k – коэффициент охвата, принимают значение $k = 2$ для доверительной вероятности $P=0,95$.

Расчет неопределенности измерений определения расходной характеристики СК на эталонной установке ЭУ-5.

Стандартную неопределенность по типу А, обусловленную источниками неопределенности, имеющими случайный характер при измерении температуры измеряемой среды t_B , абсолютного давления P_1 и P_2 , относительно й влажности воздуха φ_B определяют по формулам:

$$u_A(t_B) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (t_{B_i} - \overline{t_B})^2}{n(n-1)}}, ^\circ\text{C} \quad (20)$$

$$u_A(P_1) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_{1_i} - \overline{P_1})^2}{n(n-1)}}, \text{кПа} \quad (21)$$

$$u_A(P_{\Delta P}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_{\Delta P_i} - \overline{P_{\Delta P}})^2}{n(n-1)}}, \text{кПа} \quad (22)$$

$$u_A(\varphi_B) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\varphi_{B_i} - \overline{\varphi_B})^2}{n(n-1)}}, \% \quad (23)$$

где:

$$\overline{t_B} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n t_{B_i}, ^\circ\text{C} \quad (24)$$

$$\overline{P_1} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n P_{1_i}, \text{кПа} \quad (25)$$

$$\overline{P_{\Delta P}} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n P_{\Delta P_i}, \text{кПа} \quad (26)$$

$$\overline{\varphi_B} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \varphi_{B_i}, \% \quad (27)$$

где t_{B_i} – i -ый результат измерений температуры, $^\circ\text{C}$;

P_{1_i} и $P_{\Delta P_i}$ – i -ый результат измерений давления, кПа;

φ_{B_i} – i -ый результат измерений относительной влажности воздуха, %;

n – число измерений.

Стандартные неопределенности, выраженные в %, вычисляют по формулам:

$$\tilde{u}_A(t_B) = \frac{u_A(t_B)}{t_B} 100, \% \quad (28)$$

$$\tilde{u}_A(P_1) = \frac{u_A(P_1)}{P_1} 100, \% \quad (29)$$

$$\tilde{u}_A(P_{\Delta P}) = \frac{u_A(P_{\Delta P})}{P_{\Delta P}} 100, \% \quad (30)$$

$$\tilde{u}_A(\varphi_B) = \frac{u_A(\varphi_B)}{\varphi_B} 100, \% \quad (31)$$

Стандартную неопределенность по типу А определения коэффициента, учитывающего влажность воздуха $K_{t,\varphi}$, вычисляют по формуле

$$\tilde{u}_A(K_{t,\varphi}) = \sqrt{(\psi\varphi_B)^2 \cdot \tilde{u}_A(\varphi_B)^2 + (\psi t_B)^2 \cdot \tilde{u}_A(t_B)^2 + (\psi P_1)^2 \cdot \tilde{u}_A(P_1)^2}, \% \quad (32)$$

где $\psi\varphi_B$, ψt_B , ψP_1 – коэффициенты влияния, значения которых составляют: $\psi\varphi_B = 0,002$; $\psi t_B = 0,002$; $\psi P_1 = 0,004$.

Стандартную неопределенность по типу А определения плотности воздуха ρ_B вычисляют по формуле

Стандартную неопределенность по типу А определения расходной характеристики СК по объемному расходу газа определяют по формуле

$$\tilde{u}_A(Q_K) = \sqrt{\tilde{u}_A(Q_v)^2 + (\partial t_B)^2 \cdot \tilde{u}_A(t_B)^2 + \left(\frac{P_1}{P_{\Delta P}}\right)^2 \cdot \tilde{u}_A(P_1)^2 + \left(\frac{P_1}{P_{\Delta P}}\right)^2 \cdot \tilde{u}_A(P_{\Delta P})^2 + \tilde{u}_A(K_{t,\varphi})^2} \quad (33)$$

где $\tilde{u}_A(Q_v)$ – стандартная неопределенность по типу А воспроизведения расхода ЭУ-5, %;

∂t_B – коэффициент влияния температуры ($\partial t_B = 0,5$).

Стандартную неопределенность по типу В, обусловленную источниками неопределенности, имеющими систематический характер (закон распределения величин внутри границ считают равномерным) при измерении температуры измеряемой среды t_B , абсолютного давления P_1 и P_2 , относительной влажности воздуха φ_B , коэффициента, учитывающего влажность воздуха $K_{t,\varphi}$ определяют по формулам:

$$\tilde{u}_B(t_B) = \frac{\theta_{t_B}}{2}, \quad (34)$$

$$\tilde{u}_B(P_1) = \frac{\theta_{P_1}}{2}, \quad (35)$$

$$\tilde{u}_B(P_{\Delta P}) = \frac{\theta_{P_{\Delta P}}}{2}, \quad (36)$$

$$\tilde{u}_B(\varphi_B) = \frac{\theta_{\varphi_B}}{2}, \quad (37)$$

$$\tilde{u}_B(K_{t,\varphi}) = \frac{\theta_{K_{t,\varphi}}}{\sqrt{3}}, \quad (38)$$

где θ_y – границы систематического смещения при измерении соответствующего параметра, %.

Стандартную неопределенность по типу В определения расходной характеристики СК по объемному расходу газа определяют по формуле

$$\tilde{u}_B(Q_K) = \sqrt{\tilde{u}_B(Q_v)^2 + (\partial t_B)^2 \cdot \tilde{u}_B(t_B)^2 + \left(\frac{P_1}{P_{\Delta P}}\right)^2 \cdot \tilde{u}_B(P_1)^2 + \left(\frac{P_1}{P_{\Delta P}}\right)^2 \cdot \tilde{u}_B(P_{\Delta P})^2 + \tilde{u}_B(K_{t,\varphi})^2}, \quad (39)$$

где $\tilde{u}_B(Q_v)$ – стандартная неопределенность по типу В воспроизведения расхода ЭУ-5, %.

Суммарную стандартную неопределенность определения расходной характеристики СК определяют по формуле

$$\tilde{u}_c = \sqrt{\tilde{u}_A(Q_K)^2 + \tilde{u}_B(Q_K)^2} \quad (40)$$

Расширенную неопределенность определения расходной характеристики СК определяют по формуле

$$U_p = k \cdot \tilde{u}_c \quad (41)$$

где k – коэффициент охвата, принимают значение $k = 2$ для доверительной вероятности $P=0,95$.

10.2 Определение доверительных границ относительной погрешности (при доверительной вероятности 0,95) измерения (воспроизведения) объемного расхода газа

Доверительные границы относительной погрешности (при доверительной вероятности 0,95) измерения (воспроизведения) объемного расхода газа δ_{3y} , %, определяют по формуле:

$$\delta_{\Sigma} = \pm 2 \sqrt{\frac{\delta_{СК}^2}{4} + \frac{0,25\delta_T^2 + \left(\frac{P_{СК}}{P_a}\right)^2 \delta_{Pa}^2 + \left(\frac{P_{СК}}{P_a}\right)^2 \delta_{P_{СК}}^2 + \delta_T^2 + \delta_{f\varphi}^2}{3}}, \quad (42)$$

где $\delta_{СК}$ – относительная погрешность (при доверительной вероятности 0,95) воспроизведения объемного расхода СК, % (в соответствии с п. 6.1.3 Рекомендации СООМЕТ R/GM/32:2017 принимают равной расширенной неопределенности U_p (по формулам (19) и (41)) с коэффициентом охвата $k=2$);

δ_T – относительная погрешность измерения температуры на входе СК, %;

$P_{СК}$ – разрежение на входе СК (принимается равным 0,1 кПа), кПа;

P_a – атмосферное (барометрическое) давление воздуха (принимается равному минимальному атмосферному давлению воздуха при эксплуатации установки и составляет 84 кПа), кПа;

δ_{Pa} – относительная погрешность измерения атмосферного (барометрического) давления, %;

$\delta_{P_{СК}}$ – относительная погрешность измерения вакуумметрического давления (разрежения) на входе СК, %;

δ_T – относительная погрешность измерения времени, %;

$\delta_{f\varphi}$ – относительная погрешность определения поправочного коэффициента на влажность воздуха, %.

Относительную погрешность определения поправочного коэффициента на влажность воздуха $\delta_{f\varphi}$, %, определяют по формуле

$$\delta_{f\varphi} = \sqrt{(0,002)^2 \cdot \left(\frac{\Delta T_{СК}}{273,15+t} \cdot 100 \%\right)^2 + (0,004)^2 \cdot \left(\frac{\gamma P_a \cdot P_{Ba}}{P_a} \cdot 100 \%\right)^2 + (0,002)^2 \cdot \left(\frac{\Delta \varphi}{\varphi} \cdot 100 \%\right)^2}, \quad (43)$$

где $\Delta \varphi$ – абсолютная погрешность СИ относительной влажности из состава установки, %;

φ – относительная влажность воздуха, % (принимается равной минимальной относительной влажности воздуха при эксплуатации установок и составляет 30 %).

Результат поверки считают положительным, если Доверительные границы относительной погрешности (при доверительной вероятности 0,95) измерения (воспроизведения) объемного расхода газа не превышают $\pm 0,3$ %.

10.3 Производится проверка соответствия метрологических характеристик, определенных в разделе 10, метрологическим характеристикам, приведенными в описании типа. При положительных результатах поверки установки считаются соответствующими установленным метрологическим требованиям

В случае положительного результата поверки, установка соответствует требованиям, предъявляемым к эталонам 1 разряда в соответствии с Приказом Росстандарта от 11 мая 2022 №1133.

Результат считают положительным, если установка соответствует вышеуказанным требованиям.

11 ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОВЕРКИ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

11.1 Результаты поверки оформляют протоколом произвольной формы.

11.2 Знак поверки наносится на свидетельство о поверке (при его наличии).

11.3 При положительных результатах поверки установку признают годной к применению, оформляют свидетельство о поверке (при заявлении) в соответствии с Приказом Министерства промышленности и торговли РФ от 31 июля 2020 г. № 2510 «Об утверждении Порядка проведения поверки средств измерений, требования к знаку поверки

и содержанию свидетельства о поверке» и передают сведения в информационный фонд по обеспечению единства измерений. При оформлении свидетельства о поверке и передаче сведений в информационный фонд по обеспечению единства измерений указывают, что установка соответствует эталону 1 разряда в соответствии с Приказом Росстандарта от 11 мая 2022 №1133.

11.4 При отрицательных результатах поверки установку к применению не допускают, по заявлению заказчика выдают извещение о непригодности с указанием причин в соответствии с действующим законодательством Российской Федерации.