

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



Государственная система обеспечения единства измерений

УСТАНОВКИ ПОВЕРОЧНЫЕ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИЕ
ИРВИС-УПГ-М

Методика поверки
МП 1617-13-2024

Зам. начальника
научно-исследовательского отдела
ВНИИР – филиала ФГУП «ВНИИМ
им. Д.И. Менделеева»

Куликов 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 газодинамических ИРВИС-УПГ-М (далее – установки), используемой 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 ее 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 воспроизведения объемного расхода ¹⁾ , м ³ /ч	
ИРВИС-УПГ-М-100	от 0,003 до 100
ИРВИС-УПГ-М-1000	от 0,003 до 1000
ИРВИС-УПГ-М-2500	от 0,003 до 2500
ИРВИС-УПГ-М-5000	от 0,003 до 5000
ИРВИС-УПГ-М-7500	от 0,003 до 7500
ИРВИС-УПГ-М-12000	от 0,003 до 12000
ИРВИС-УПГ-М-16000	от 0,003 до 16000
Пределы допускаемой относительной погрешности при измерении временных интервалов, %	±0,01
Диапазон измерения временных интервалов, с	от 0 до 7200
Пределы допускаемой относительной погрешности при измерении унифицированного электрического сигнала постоянного тока, %	±0,1
Диапазон измерения унифицированного электрического сигнала постоянного тока, мА ²⁾	от 0 до 5 от 4 до 20 от 0 до 20
Доверительные границы относительной погрешности (при доверительной вероятности 0,95) измерения (воспроизведения) объемного расхода и объема рабочей среды при рабочих условиях, %	Исполнение А ±0,2 (при использовании сопел с расширенной неопределенностью 0,15 %) Исполнение Б ±0,25 (при использовании сопел с расширенной неопределенностью 0,17 и/или 0,20 %) Исполнение В ±0,30 (при использовании сопел с расширенной неопределенностью 0,25 %)
Доверительные границы относительной погрешности (при доверительной вероятности 0,95) измерения (воспроизведения) объемного расхода и объема рабочей среды приведенных к стандартным условиям ³⁾ , %	Исполнение А ±0,25 (при использовании сопел с расширенной неопределенностью 0,15 %) Исполнение Б ±0,30 (при использовании сопел с расширенной неопределенностью 0,17 и/или 0,20 %)) Исполнение В ±0,35 (при использовании сопел с расширенной неопределенностью 0,25 %)
Доверительные границы относительной погрешности (при доверительной вероятности 0,95) измерения (воспроизведения) массового расхода и массы рабочей среды ⁴⁾ , %	Исполнение А ±0,2 Исполнение Б ±0,25 Исполнение В ±0,30

Примечания:

- ¹⁾ Указаны предельные диапазоны воспроизводимых установками расходов. Диапазон воспроизводимых расходов конкретного экземпляра установки зависит от применяемых эталонных сопел и указан в Паспорте.
- ²⁾ По заказу диапазоны измерения унифицированного электрического сигнала постоянного тока могут быть: от 0 до 5 мА, от 0 до 20 мА.
- ^{3) 4)} Функции приведения объемного расхода и объема к стандартным условиям, измерения (воспроизведения) массового расхода и массы реализуется по заказу.

Установки поверочные газодинамические ИРВИС-УПГ-М (далее – установки), предназначены для воспроизведения заданного объема и объемного расхода газа.

В ходе реализации данной методики поверки обеспечивается передача единиц объемного и массового расходов 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 и методом прямых измерений.

В ходе реализации данной методики поверки обеспечивается передача единицы времени в соответствии с государственной поверочной схемой, утвержденной Приказом Росстандарта от 26 сентября № 2360 «Об утверждении Государственной поверочной схемы для средств измерений времени и частоты», подтверждающая прослеживаемость к Государственному первичному эталону единиц времени, частоты и национальной шкалы времени методом прямых измерений интервалов времени.

В ходе реализации данной методики поверки обеспечивается передача единицы силы постоянного электрического тока в соответствии с государственной поверочной схемой, утвержденной Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 1 октября 2018 г. № 2091 «Об утверждении Государственной поверочной схемы для средств измерений силы постоянного электрического тока в диапазоне от $1 \cdot 10^{-16}$ до 100 А», подтверждающая прослеживаемость к Государственному первичному эталону единиц силы постоянного электрического тока методом прямых измерений силы постоянного электрического тока.

Настоящая методика устанавливает методику первичной и периодической поверок.

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

Продолжение таблицы 2

Примечания:

1 При получении отрицательных результатов поверки по какому-либо пункту методики поверки установку прекращают.

3 Требования к условиям проведения поверки средства измерений

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

- температура окружающего воздуха, °C 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

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 применение средств поверки	Метрологические и технические требования к средствам поверки	Перечень рекомендуемых средств поверки
1	2	3
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)
	Средство измерений частоты. Диапазон измерений от 0,001 Гц до 150 МГц, пределы допускаемой относительной погрешности при измерении частоты $\pm(\delta_0 + 1/f_{имп} \cdot \tau_{сч})$	Частотомер электронно-счетный ЧЗ-63/3, регистрационный № 32499-06
	Средство воспроизведения постоянного электрического тока. Диапазон воспроизведения постоянного электрического тока от 0 до 22 мА, погрешность $\pm(0,02 \% \text{ воспроизводимой величины} + 0,001) \text{ мА}$	Калибратор давления портативный Метран-517, регистрационный № 39151-12

*Продолжение таблицы 3***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 техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей», «Правилами технической эксплуатации электроустановок потребителей», «Правилами по охране труда при эксплуатации электроустановок», инструкций по охране труда, действующих на объекте, а также требования по безопасности на средства поверки и поверяемую установку, изложенные в их эксплуатационных документах.

6.2 К средствам поверки и используемому при поверке оборудованию обеспечивают свободный доступ.

6.3 Освещенность должна обеспечивать отчетливую видимость применяемых средств поверки, снятие показаний с приборов.

6.4 Подключение средств поверки к установке проводится в соответствии с эксплуатационными документами средств поверки и установки.

7 Внешний осмотр средства измерений**7.1 Внешний осмотр.**

7.1.1 Перед проведением внешнего осмотра установок должно быть установлено наличие следующей документации:

- 1) сведения о поверке всех средств измерений, входящих в состав установки;
- 2) паспорт;
- 3) руководство по эксплуатации.

7.1.2 При внешнем осмотре должно быть установлено:

- соответствие нанесенной на установку и КИП маркировки данным фирм-изготовителей, указанным в свидетельствах о поверке;
- отсутствие механических повреждений КИП и элементов конструкции установки, отсутствии ржавчины на элементах конструкции;
- отсутствие видимых разрушений и сколов на лакокрасочных и гальванических покрытий деталей и агрегатов установок;
- отсутствие механических повреждений кабелей и соединительных трубопроводов;
- отсутствие визуально обнаруживаемых дефектов (в виде забоин, раковин, уступов) и загрязнений в области дозвуковой части и критического сечения СК.

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 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 Опробование

Устанавливают расход $0,1Q_{\text{наиб}}$, для чего открывая необходимый набор СК, устанавливают перепад давления между ресивером и сопловым блоком, который соответствует критическому режиму течения в СК.

Запускают на ПЭВМ ПО «ИРВИС-ТП» и считывают с экрана абсолютное давление и температуру в ресивере, перепад давления между ресивером и расчетным сечением установки, а также объемный расход, воспроизводимый установкой.

Считанные с экрана ПЭВМ показания не должны существенно отличаться от ожидаемых для условий опробования.

8.3 Проверка герметичности установки

Проверка герметичности установок может выполняться как повышенным, так и пониженным давлениями. При этом используется либо компрессор низкого давления, либо вакуумный насос (в зависимости от комплектации установок). Проверке герметичности подвергается участок от входа в измерительную магистраль до выходного сечения эталонных преобразователей расхода. Все ЭПР закрыты, неиспользуемые штуцеры и входное сечение измерительной магистрали должны быть заглушены. Проверка герметичности проводится для каждого БРБ и БРМ, входящих в состав установки.

Значение абсолютного давления при проверке герметичности должно находиться в диапазоне:

- при испытаниях повышенным давлением: от 130 до 135 кПа;
- при испытаниях пониженным давлением: от 60 до 75 кПа.

После достижения заданной величины абсолютного давления производят выдержку в течение 15 минут для выравнивания температуры в испытуемой части установок.

Проверка герметичности установок выполняется в автоматическом режиме с использованием ПО «ИРВИС-ТП». Физическая суть процесса заключается в сличении отношения градиента давления в проверяемом объеме к начальному давлению в проверяемом объеме с падением давления, определяемым максимально допустимой утечкой. Максимально допустимая утечка задается как $1/3$ относительной расширенной неопределенности калибровки ЭПР с наименьшим объемным расходом.

Отношение градиента давления в проверяемом объеме к начальному давлению в проверяемом объеме находится путем линейной аппроксимации измеренных значений давления и абсолютной температуры по времени методом наименьших квадратов. Опрос измерителей давления и температуры осуществляется с частотой 1 Гц в течение 180 секунд.

Установка считается герметичной, если выполняется условие:

$$\left| \frac{a}{b} \right| \leq \frac{1}{3} \times \frac{\delta}{100} \times \frac{Q_{\text{наиб}}}{3600 \times V_{\text{рас}}} , \quad (1)$$

где: a и b – коэффициенты аппроксимации изменения отношения Р/Т по времени линейной зависимостью $P/T = a*t + b$;

δ - относительная расширенная неопределенность калибровки ЭПР с наименьшим объемным расходом (для проверяемого блока), %;

$Q_{\text{наиб}}$ – значение наименьшего воспроизводимого объемного расхода для проверяемого блока, $\text{м}^3/\text{ч}$;

$V_{\text{рас}}$ – объем замкнутого пространства проверяемого блока, для которого выполняется проверка герметичности, м^3 .

Коэффициенты аппроксимации a и b определяют по формулам:

$$a = \frac{n \sum_{i=1}^n \tau_i \left(\frac{P_i}{T_i} \right) - \sum_{i=1}^n \tau_i \sum_{i=1}^n \left(\frac{P_i}{T_i} \right)}{n \sum_{i=1}^n \tau_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n \tau_i \right)^2}, \quad (2)$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{P_i}{T_i} \right) - a \sum_{i=1}^n \tau_i}{n}. \quad (3)$$

где: n – количество измеренных значений (точек по времени), участвующих в расчете коэффициентов линейной аппроксимации;

i – порядковый номер измеренной точки;

τ – время, с. $\tau_1=0$;

P – абсолютное давление в проверяемом объеме, Па;

T – абсолютная температура в проверяемом объеме, К.

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

8.4. Проверка выполнения критического режима течения на эталонных преобразователях расхода.

Проверка выполняется на измерительной магистрали, имеющей наибольший диаметр условного прохода, на расходах $Q_{\text{наим}}$ и $Q_{\text{наиб}}$ (значения $Q_{\text{наим}}$ и $Q_{\text{наиб}}$ для соответствующей модификации установки указаны в описании типа и ТД «Установки поверочные газодинамические ИРВИС-УПГ-М. Паспорт. ИРВС 9000.0000.000 ПС1»).

Проверка выполняется следующим образом.

Собирают измерительную магистраль без установки в нее проверяемого средства измерения. Устанавливают заданный объемный расход, для чего, открывают необходимый набор ЭПР.

На ПЭВМ запускают ПО «ИРВИС-ТП» и с экрана считывают абсолютное давление и температуру в ресивере, а также абсолютное давление в сопловом блоке на заданных расходах.

Степень дросселирования установок определяется по формулам:

$$\varepsilon = \frac{P_{c6}}{P_p + 0,5(1,288-0,0041T)\left(\frac{Q}{3600F}\right)^2}, \quad (4)$$

$$Q = \sum_{i=1}^n Q_i, \quad (5)$$

где: P_{c6} – абсолютное давление в сопловом блоке, Па;

P_p – абсолютное давление в ресивере, Па;

T – температура поверочной среды, °C;

F – площадь поперечного сечения ресивера (указывается в НТД «Установки поверочные газодинамические ИРВИС-УПГ-М. Паспорт. ИРВС 9000.0000.000 ПС1»), m^2 ;

Q_i – расход воздуха i -го СК, $m^3/\text{ч}$;

n – количество одновременно открытых СК.

Критический режим выполняется, если значение $\varepsilon \leq \varepsilon_{\max}$ (ε_{\max} указывается в ТД «Установки поверочные газодинамические ИРВИС-УПГ-М. Паспорт. ИРВС 9000.0000.000 ПС1»).

9 Проверка программного обеспечения средства измерений

Для проверки идентификационных данных ПО «ИРВИС-ТП» в главном меню программы выбирают пункт «Помощь» - «О программе» и считывают с экрана следующую информацию:

- наименование программного обеспечения;
- идентификационное наименование ПО;
- номер версии (идентификационный номер) ПО;
- цифровой идентификатор (контрольная сумма) ПО;
- алгоритм вычисления цифрового идентификатора программного обеспечения.

Результаты поверки считаются положительными, если полученные идентификационные данные ПО соответствуют значениям в таблице 4

Таблица 4 – Идентификационные данные программного обеспечения

Идентификационные данные (признаки)	Значение	
Идентификационное наименование ПО	ПО «ИРВИС-ТП. ИРВИС-УПГ»	
Номер версии (идентификационный номер) ПО , не ниже	0.2.0.X	0.5.0.X
Цифровой идентификатор ПО	5512e3b96e602afcd 6995ecd5f806f1e	a06c58ca869149f11 137e66595362350
Алгоритм вычисления цифрового идентификатора ПО	MD5	

10 Определение метрологических характеристик и подтверждение соответствия СИ метрологическим требованиям

10.1 Определение диапазона воспроизводимых расходов.

Определение диапазона воспроизводимых расходов проводят следующим образом.

Собирают измерительную магистраль с максимальным диаметром условного прохода без установки в нее поверяемого средства измерения. При определении $Q_{\text{наим}}$ используется измерительная магистраль с наибольшим диаметром условного прохода, при определении $Q_{\text{наим}}$ – любая измерительная магистраль, входящая в состав установок.

Устанавливают расход $Q_{\text{наим}}$, для чего, открывая необходимый набор СК, устанавливают перепад давления между ресивером и сопловым блоком, который соответствует критическому режиму течения в СК. Запускают на ПЭВМ программное обеспечение «ИРВИС-ТП» и после выдержки в 1 минуту 3 раза считывают объемный расход с экрана ПЭВМ.

Результаты считаются положительными, если выполняется условие:

$$Q_{\text{наим.ср}} \leq (Q_{\text{наим}})^{+5\%} \quad (6)$$

$$Q_{\text{наим.ср}} = \frac{\sum_{i=1}^3 Q_{\text{наим.}i}}{3}, \quad (7)$$

где $Q_{\text{наим.}i}$ – объемный расход, считанный с экрана ПЭВМ, $\text{м}^3/\text{ч}$;

$Q_{\text{наим}}$ – наименьший объемный расход воспроизводимый установкой, $\text{м}^3/\text{ч}$ (для соответствующей модификации установки указан в ТД «Установки поверочные газодинамические ИРВИС-УПГ-М. Паспорт. ИРВС 9000.0000.000 ПС1»).

Устанавливают расход $Q_{\text{наиб}}$, для чего, открывая необходимый набор СК, устанавливают перепад давления между ресивером и сопловым блоком, который соответствует критическому режиму течения в СК.

После выдержки в 1 минуту 3 раза считывают объемный расход с экрана ПЭВМ.

Результаты считаются положительными, если выполняется условие:

$$Q_{\text{наиб.ср}} \geq (Q_{\text{наиб}})_{-5\%} \quad (8)$$

$$Q_{\text{наиб.ср}} = \frac{\sum_{i=1}^3 Q_i}{3}, \quad (9)$$

где $Q_{\text{наиб.}i}$ – объемный расход, считанный с экрана ПЭВМ, $\text{м}^3/\text{ч}$;

$Q_{\text{наиб}}$ – наибольший объемный расход воспроизводимый установкой, $\text{м}^3/\text{ч}$ (для соответствующей модификации установки указан в ТД «Установки поверочные газодинамические ИРВИС-УПГ-М. Паспорт. ИРВС 9000.0000.000 ПС1»).

10.2 Определение расходной характеристики сопел критических

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_{atm}).

Изменение температуры измеряемой среды в процессе проверки СК не более 0,1 °C.

Таблица 5 – Эталонная установка

Расходная характеристика СК, м ³ /ч (кг/ч)	Тип ЭУ
от 1 до 20 (от 1,2 до 24)	ЭУ-3

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 5.

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 °C. В противном случае результаты измерения аннулируют и измерения повторяют.

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

$$Q_k = \Delta P \left[\frac{Q_{эт1}}{\Delta P_1} + \frac{\Delta P - \Delta P_1}{\Delta P_2 - \Delta P_1} \left(\frac{Q_{эт2}}{\Delta P_2} - \frac{Q_{эт1}}{\Delta P_1} \right) \right], \quad (10)$$

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

$$C_d = \frac{Q_k \cdot 1000}{A_{nt} \cdot \sqrt{R \cdot T_c} \cdot c_* \cdot 3,6}, \quad (11)$$

$$A_{nt} = \frac{\pi \cdot d^2}{4}, \quad (12)$$

$$c_* = \sqrt{k} \cdot \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k+1}{2 \cdot (k-1)}} \quad (13)$$

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 ГОСТ Р ИСО 220 – 2014 для воздуха при температуре 20 °С, абсолютном давлении 101,325 кПа и относительной влажности 60 % k принимается равным 1,4);

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

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

$$u_A(\Delta P) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta P_i - \bar{\Delta P})^2}{n(n-1)}}, \text{ Па} \quad (14)$$

$$u_A(\Delta P_1) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta P_{1i} - \bar{\Delta P}_1)^2}{n(n-1)}}, \text{ Па} \quad (15)$$

$$u_A(\Delta P_2) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta P_{2i} - \bar{\Delta P}_2)^2}{n(n-1)}}, \text{ Па} \quad (16)$$

где:

$$\bar{\Delta P} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \Delta P_i, \text{ Па} \quad (17)$$

$$\bar{\Delta P}_1 = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \Delta P_{1i}, \text{ Па} \quad (18)$$

$$\bar{\Delta P}_2 = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \Delta P_{2i}, \text{ Па} \quad (19)$$

где ΔP_i – i-ый результат измерений перепада давления 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:

$$\tilde{u}_A(\Delta P) = \frac{u_A(\Delta P)}{\Delta P} \cdot 100, \% \quad (20)$$

$$\tilde{u}_A(\Delta P_1) = \frac{u_A(\Delta P_1)}{\Delta P_1} \cdot 100, \% \quad (21)$$

$$\tilde{u}_A(\Delta P_2) = \frac{u_A(\Delta P_2)}{\Delta P_2} \cdot 100, \% \quad (22)$$

Стандартную неопределенность по типу А расходной характеристики СК определяют по формуле

$$\begin{aligned} \tilde{u}_A(Q_K) = & (\partial Q_{\text{эт1}}) \cdot \tilde{u}_A(Q_{\text{эт1}}) + (\partial Q_{\text{эт2}}) \cdot \tilde{u}_A(Q_{\text{эт2}}) + \\ & \sqrt{(\partial \Delta P)^2 \cdot \tilde{u}_A(\Delta P)^2 + (\partial \Delta P_1)^2 \cdot \tilde{u}_A(\Delta P_1)^2 + } \\ & + (\partial \Delta P_2)^2 \cdot \tilde{u}_A(\Delta P_2)^2, \end{aligned} \quad (23)$$

где $\tilde{u}_A(Q_{\text{эт1}})$ и $\tilde{u}_A(Q_{\text{эт2}})$ – стандартные неопределенности по типу А воспроизведения расхода 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

$$\tilde{u}_B(Q_K) = (\partial Q_{\text{эт1}}) \cdot \tilde{u}_B(Q_{\text{эт1}}) + (\partial Q_{\text{эт2}}) \cdot \tilde{u}_B(Q_{\text{эт2}}) \quad (24)$$

где $\tilde{u}_B(Q_{\text{эт1}})$ и $\tilde{u}_B(Q_{\text{эт2}})$ – стандартные неопределенности по типу В воспроизведения расхода 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

$$\tilde{u}_c = \sqrt{\tilde{u}_A(Q_K)^2 + \tilde{u}_B(Q_K)^2} \quad (25)$$

Расширенную неопределенность определения расходной характеристики СК определяют по формуле

$$U_p = k \cdot \tilde{u}_c \quad (26)$$

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

10.3 Определение относительной погрешности установок при измерении временных интервалов.

Определение относительной погрешности установок при измерении временных интервалов проводят следующим образом.

На вход ИРВИС-ВИ подключают генератор сигналов и последовательно задают частоту импульсов равную 1, 100 и 10000 Гц. Временной интервал измеряют частотометром в режиме измерения периодов частоты импульсов.

Запускают ПО «ИРВИС-ТП». В главном меню программы выбирают пункт «Сервис» – «Измерение временных интервалов», задают количество импульсов, по которому определяется период входной частоты, и на каждом режиме 3 раза считывают показания с монитора ПЭВМ. Количество импульсов, по которому определяется период входной частоты, с помощью ИРВИС-ВИ должно быть не менее 10, 1000 и 10000 при значениях входной частоты 1, 100 и 10000 Гц соответственно.

Погрешность установки при измерении временных интервалов вычисляется по формуле:

$$\delta_\tau = \frac{\tau_{\text{ви.ср}} - \tau_q}{\tau_q} \cdot 100\% \quad (27)$$

$$\tau_{\text{ви.ср}} = \frac{\sum_{i=1}^3 \tau_{\text{ви.и}}}{3}, \quad (28)$$

где $\tau_{\text{ви.и}}$ – период входной частоты, считанный с экрана ПЭВМ, с.;

τ_q – период входной частоты, измеренный частотометром, с.

Результаты испытаний считаются положительными, если относительная погрешность установок при измерении временных интервалов не превышает $\pm 0,01\%$.

10.4 Определение относительной погрешности установки при измерении унифицированного электрического сигнала постоянного тока

Определение относительной погрешности установки при измерении унифицированного электрического сигнала постоянного тока проводят следующим образом.

К входу преобразователя токовых сигналов подключают средство воспроизведения постоянного тока. С помощью средства воспроизведения последовательно задают постоянный ток равный:

- для преобразователей с диапазоном 4...20 мА - 4, 8, 12, 16 и 20 мА;

- для преобразователей с диапазоном 0...5 мА - 1, 2, 3, 4 и 5 мА;

- для преобразователей с диапазоном 0...20 мА - 1, 4, 8, 12, 16 и 20 мА;

Запускают ПО «ИРВИС-ТП». В главном меню программы выбирают пункт «Сервис» – «Измерение тока» и на каждом режиме считывают 3 раза показания с экрана ПЭВМ.

Относительную погрешность установки при измерении унифицированного электрического сигнала постоянного тока определяют по формуле:

$$\delta_I = \frac{I_{\text{упр.ср}} - I_K}{I_K} \cdot 100\% \quad (29)$$

$$I_{\text{упр.ср}} = \frac{\sum_{i=1}^3 I_{\text{упр.}i}}{3} \quad (30)$$

где $I_{\text{упр.}i}$ – значение унифицированного электрического сигнала постоянного тока, считанные с экрана ПЭВМ, мА;

I_K – значение унифицированного электрического сигнала постоянного тока, задаваемое калибратором, мА.

Результаты считаются положительными, если относительная погрешность установки при измерении унифицированного электрического сигнала постоянного тока не превышает $\pm 0,1\%$.

10.5 Определение доверительных границ относительной погрешности измерения (воспроизведения) объемного расхода и объема рабочей среды при рабочих условиях и приведенных к стандартным условиям, массового расхода и массы рабочей среды.

Доверительные границы относительной погрешности (при доверительной вероятности 0,95) измерения (воспроизведения) объемного расхода рабочей среды при рабочих и стандартных условиях определяют по формулам:

- при измерении атмосферного давления и избыточных давлений в ресивере и расчетном сечении (счетчике)

$$\Delta_{\Sigma Q_{\text{сч р.у.}}} = \pm 2 \sqrt{\frac{\delta_{CK}^2 + \left(\frac{P_a (P_{\text{изб.сопла}} - P_{\text{изб.счетчик}})}{(P_a - P_{\text{изб.сопла}})(P_a - P_{\text{изб.счетчик}})} \right)^2 \delta_{Pa}^2 + \left(\frac{P_{\text{изб.сопла}}}{P_a - P_{\text{изб.сопла}}} \right)^2 \delta_{P_{\text{изб.сопло}}}^2}{4} + \frac{\left(\frac{P_{\text{изб.счетчик}}}{P_a - P_{\text{изб.счетчик}}} \right)^2 \delta_{P_{\text{изб.счетчик}}}^2 + 0,25 \delta_{T_{\text{сопло}}}^2 + \delta_{T_{\text{счетчик}}}^2 + \delta_{f_\phi}^2}{4} + \frac{1}{3}} \quad (31)$$

$$\Delta_{\Sigma Q_{\text{сч ст.у.}}} = \pm 2 \sqrt{\frac{\delta_{CK}^2 + \left(\frac{P_a}{(P_a - P_{\text{изб.счетчик}})} \right)^2 \delta_{Pa}^2 + \left(\frac{P_{\text{изб.сопло}}}{P_a - P_{\text{изб.сопло}}} \right)^2 \delta_{P_{\text{изб.сопло}}}^2}{4} + \frac{0,25 \delta_{T_{\text{сопло}}}^2 + \delta_{f_\phi}^2}{4} + \frac{1}{3}} \quad (32)$$

- при измерении абсолютного давления в ресивере и избыточных давлений в ресивере и расчетном сечении (счетчике)

$$\Delta_{\Sigma Q_{\text{сч р.у.}}} = \pm 2 \sqrt{\frac{\delta_{CK}^2 + \left(\frac{P_{\text{изб.сопло}} - P_{\text{изб.счетчик}}}{P_{\text{абс.сопло}} + P_{\text{изб.сопло}} - P_{\text{изб.счетчик}}} \right)^2 \delta_{Pa}^2 + \left(\frac{P_{\text{изб.сопло}}}{P_{\text{абс.сопло}} + P_{\text{изб.сопло}} - P_{\text{изб.счетчик}}} \right)^2 \delta_{P_{\text{изб.сопло}}}^2}{4} + \frac{\left(\frac{P_{\text{изб.счетчик}}}{P_{\text{абс.сопло}} + P_{\text{изб.сопло}} - P_{\text{изб.счетчик}}} \right)^2 \delta_{P_{\text{изб.счетчик}}}^2 + 0,25 \delta_{T_{\text{сопло}}}^2 + \delta_{T_{\text{счетчик}}}^2 + \delta_{f_\phi}^2}{4} + \frac{1}{3}} \quad (33)$$

$$\Delta_{\Sigma Q_{\text{сч ст.у.}}} = \pm 2 \sqrt{\frac{\delta_{CK}^2 + \delta_{P_{\text{абс.сопло}}}^2 + 0,25 \delta_{T_{\text{сопло}}}^2 + \delta_{f_\phi}^2}{4} + \frac{1}{3}} \quad (34)$$

где δ_{CK} – расширенная неопределенность (при доверительной вероятности 0,95) калибровки СК, %;

$\delta_{T_{\text{сопло}}}$ – относительная погрешность измерения температуры на входе СК, %;

$\delta_{T_{\text{счетчик}}}$ – относительная погрешность измерения температуры на счетчике, %;

$P_{\text{изб.счетчик.}}$ – избыточное давление в расчетном сечении, Па;

$P_{\text{изб.сопла}}$ – избыточное давление в ресивере, Па;

P_a – атмосферное давление, Па;

$P_{\text{абс.сопла}}$ – абсолютное давление в ресивере, Па;

δ_{P_a} – относительная погрешность измерения атмосферного давления, %;

$\delta_{P_{\text{изб.счетчик}}}$ – относительная погрешность измерения избыточное давление в ресивере, %;

$\delta_{P_{\text{изб.сопла}}}$ – относительная погрешность измерения избыточное давление в расчетном сечении, %;

δ_{f_φ} – относительная погрешность определения поправочного коэффициента на влажность воздуха, %.

Доверительные границы относительной погрешности (при доверительной вероятности 0,95) измерения (воспроизведения) объема при рабочих условиях рабочей среды, %

$$\Delta_{\Sigma V_{p,y}} = \pm \sqrt{\Delta_{\Sigma Q_{\text{сеч.р.у}}}^2 + \delta_r^2} \quad (35)$$

Доверительные границы относительной погрешности (при доверительной вероятности 0,95) измерения (воспроизведения) массового расхода рабочей среды определяют по формуле

$$\Delta_{\Sigma Q_M} = \pm 2 \sqrt{\frac{\Delta_{\Sigma Q_{\text{сеч.р.у}}}^2}{4} + \frac{\delta_\rho^2}{3}} \quad (36)$$

где δ_ρ – расширенная неопределенность (с вероятностью 95 %) расчетных значений плотности, % (в соответствии с ГСССД МР 220-2014 $\delta_\rho = 0,02\%$);

Доверительные границы относительной погрешности (при доверительной вероятности 0,95) измерения (воспроизведения) массы рабочей среды определяют по формуле

$$\Delta_{\Sigma Q_M} = \pm \sqrt{\Delta_{\Sigma Q_M}^2 + \delta_r^2} \quad (37)$$

Относительную погрешность измерения температуры на входе в сопло $\delta_{T_{\text{сопло}}}$, %, определяют по формуле

$$\delta_{T_{\text{сопло}}} = \frac{\Delta t_{\text{сопло}}}{T_{\text{сопло}}} \cdot 100\% \quad (38)$$

где $\Delta t_{\text{сопло}}$ – абсолютная погрешность СИ температуры на входе в сопло, °C;

$T_{\text{сопло}}$ – термодинамическая температура воздуха на входе в сопло, K.

Относительную погрешность измерения температуры в месте установки счетчика $\delta_{T_{\text{счетчика}}}$, %, определяют по формуле

$$\delta_{T_{\text{счетчик}}} = \frac{\Delta t_{\text{счетчик}}}{T_{\text{счетчик}}} \cdot 100\% \quad (39)$$

где $\Delta t_{\text{счетчик}}$ – абсолютная погрешность СИ температуры на счетчике, °C;

$T_{\text{счетчик}}$ – термодинамическая температура воздуха на счетчике, K.

Примечание: при отсутствии датчика температуры в месте установки счетчика погрешность измерения температуры в месте установки счетчика $\delta_{T_{\text{счетчик}}}$ принимается равной 0,05%.

Относительную погрешность измерения атмосферного давления δ_{P_a} , %, определяют по формуле

$$\delta_{P_a} = \frac{P_{\max} \cdot \gamma_{P_a}}{P_a} \quad (40)$$

где P_{\max} – верхний предел измерений (ВПИ) измерения атмосферного давления, кПа;

γ_{P_a} – приведенная к ВПИ погрешность измерений атмосферного давления, %;

P_a – абсолютное давление рабочей среды перед СК, кПа.

Относительную погрешность измерения избыточного давления в месте установки сопла $\delta_{P_{\text{изб.сопла}}}$, %, определяют по формуле

$$\delta_{P_{\text{изб.сопла}}} = \frac{P_{\text{изб.сопла, max}} \cdot \gamma_{P_{\text{изб.сопла}}}}{P_{\text{изб.сопла}}} \quad (41)$$

где $P_{изб.сопла\ max}$ – верхний предел измерений (ВПИ) измерения избыточного давления в месте установки сопла, кПа;

$\gamma_{P_{изб.сопла}}$ – приведенная к ВПИ погрешность измерений избыточного давления в месте установки сопла, %;

$P_{изб.сопла}$ – избыточное давление в месте установки сопла, кПа.

Относительную погрешность измерения избыточного давления в месте установки счетчика, %, определяют по формуле

$$\delta_{P_{изб.счетчик}} = \frac{P_{изб.счетчик\ max} \cdot \gamma_{P_{изб.счетчик}}}{P_{изб.счетчик}} \quad (42)$$

где $P_{изб.счетчик\ max}$ – верхний предел измерений (ВПИ) измерения избыточного давления в месте установки счетчика, кПа;

$\gamma_{изб.счетчик}$ – приведенная к ВПИ погрешность измерений избыточного давления в месте установки счетчика, %;

$P_{изб.счетчик}$ – избыточное давление в месте установки счетчика, кПа.

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

$$\delta_{f\varphi} = \sqrt{(0,002)^2 \delta_T^2 (0,004)^2 \delta_{Pa}^2 + (0,002)^2 \delta_\varphi^2} \quad (43)$$

$$\delta_\varphi = \frac{\Delta_\varphi}{\varphi} \cdot 100\%, \quad (44)$$

где δ_φ – относительная погрешность при измерении относительной влажности, %;

Δ_φ – абсолютная погрешность СИ относительной влажности (принимается равной 3%), %;

φ – относительная влажность воздуха, %.

Результат поверки считается положительными, если доверительные границы относительной погрешности (при доверительной вероятности 0,95) измерения (воспроизведения) объемного расхода и объема рабочей среды при рабочих условиях и приведенных к стандартным условиям, массового расхода и массы % не превышают указанных в таблице 1.

10.6 Подтверждение соответствия средства измерений метрологическим требованиям

Производится проверка соответствия метрологических характеристик, определенных в разделе 10 с метрологическими характеристиками, приведенными в таблице 1.

Результаты проверки считаются положительными, если метрологические характеристики, полученные в разделе 10 соответствуют приведенным в таблице 1.

При проведении поверки в полном объеме производится проверка соответствия установки требованиям, предъявляемым к эталонам 1 разряда в соответствии с Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт) от 11.05.2022 № 1133 «Об утверждении государственной поверочной схемы для средств измерений объемного и массового расходов газа», средствам измерений времени и частоты в соответствии с Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 26.09.2022 №2360 «Об утверждении государственной поверочной схемы для средств измерений времени и частоты», средствам измерений силы постоянного электрического тока в соответствии с Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 01.10.20218 № 2091 «Об утверждении Государственной поверочной схемы для средств измерений силы постоянного электрического тока в диапазоне от $1 \cdot 10^{-16}$ до 100 А».

В случае положительного результата поверки, установка признается соответствующей рабочему эталону 1 разряда в соответствии с Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 11.05.2022 г. № 1133 и средствам измерений в соответствии с Приказами Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 26.09.2022 №2360 и 01.10.20218 № 2091.

11 Оформление результатов поверки средства измерений

11.1. Результаты поверки оформляют протоколом произвольной формы.

11.2 Знак поверки наносится в паспорт и/или 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.