

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»



Заместитель директора филиала

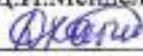
А. С. Тайбинский

« 28 » апреля 2025 г.

Государственная система обеспечения единства измерений

УСТАНОВКИ ПОВЕРОЧНЫЕ СПУ-5

Методика поверки
МП 1734-13-2025

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

г. Казань
2025 г.

1 Общие положения

1.1 Настоящая методика применяется для поверки установок поверочных СПУ-5 (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 11.05.2022 г. № 1133 и устанавливает последовательность и методику их первичных и периодических поверок.

В результате поверки должны быть подтверждены метрологические характеристики установки, представленные в таблице 1.

Таблица 1 – Метрологические характеристики

| Наименование характеристики | Значение |
|--|--|
| Максимальное значение воспроизводимого и измеряемого объёмного расхода воздуха (верхний предел измерений) ^{*1)} , м ³ /ч | 280; 160; 100; 70; 65; 40; 25; 16; 10; 6 |
| Минимальное значение воспроизводимого и измеряемого объёмного расхода воздуха (нижний предел измерений) ^{*1)} , м ³ /ч | 1,0; 0,8; 0,6; 0,5; 0,4; 0,35; 0,25; 0,16; 0,1; 0,05; 0,04; 0,025; 0,016; 0,01; 0,006; 0,003 |
| Доверительные границы относительной погрешности при измерении объема (объёмного расхода) воздуха при доверительной вероятности 0,95%, % - Модификация 1: при использовании микросопел с расширенной неопределенностью калибровки $\pm 0,25$ % - Модификация 2: при использовании микросопел с расширенной неопределенностью калибровки $\pm 0,3$ % | $\pm 0,3$ $\pm 0,35$ |
| Диапазон измерений канала абсолютного давления, кПа | от 80 до 110 |
| Пределы допускаемой абсолютной погрешности канала абсолютного давления, кПа | $\pm 0,240$ |
| Диапазон измерений канала вакуумметрического давления, кПа | от 0 до 100 |
| Пределы допускаемой абсолютной погрешности канала вакуумметрического давления, кПа | $\pm 0,5$ |
| Диапазон измерений каналов перепада давления ^{*2)} , кПа | от 0 до 25 |
| Пределы допускаемой абсолютной погрешности канала перепада давления ^{*2)} , кПа | $\pm 0,025$ |
| Диапазон измерений каналов температуры, °С | от +10 до +30 |
| Пределы допускаемой абсолютной погрешности канала температуры, °С | $\pm 0,3$ |
| Пределы допускаемой относительной погрешности интегрирования объёмного расхода (объема) по времени, % | $\pm 0,025$ |
| Примечание: ^{*1)} Расход зависит от применяемых критических сопел, конкретное значение указывается в паспорте на установку ^{*2)} При наличии в комплектации | |

1.2 Установки поверочные СПУ-5 (далее – установки) предназначены для воспроизведения и измерения единицы объёмного расхода и объема при поверке счетчиков газа и ротаметров.

В ходе реализации данной методики поверки обеспечивается передача единиц объёмного и массового расходов газа в соответствии с государственной поверочной схемой, утвержденной Приказом Росстандарта от 11.05.2022 г. № 1133 Об утверждении Государственной поверочной схемы для средств измерений объёмного 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 установок 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 | |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| 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 средства измерений метрологическим требованиям | Да | Да | 10 |
| Оформление результатов поверки средства измерений | Да | Да | 11 |
| Примечание: При получении отрицательных результатов поверки по какому-либо пункту методики поверки поверку установки прекращают. | | | |

3 Требования к условиям проведения поверки

При опробовании и определении метрологических характеристик должны соблюдаться следующие условия:

- температура окружающего воздуха от плюс 10 до плюс 30 °С;
- относительная влажность окружающего воздуха до 80 %;
- атмосферное давление от 84,0 до 104,6 кПа;

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.

К проведению поверки допускаются лица, изучившие данную методику и эксплуатационную документацию на установки.

Работы по проведению поверки установок допускается проводить одному специалисту.

5 Метрологические и технические требования к средствам поверки

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 и подтверждение соответствия средства измерений метрологически м требованиям | 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), КСО 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 влажности, температуры и атмосферного давления. Диапазон измерений относительной влажности от 0 до 90%; пределы абсолютной погрешности измерений относительной влажности ± 2,0 %. Диапазон измерений температуры от минус 20 до плюс 60 °С; Пределы абсолютной погрешности измерений температуры ± 0,3 °С. Диапазон измерений атмосферного давления от 700 до 1100 гПа. Пределы абсолютной погрешности измерений атмосферного давления ± 2,5 гПа. | Термогигрометр ИВА-6Н, регистрационный № 46434-11 |
| | Рабочий эталон единиц времени и частоты 5-го разряда в соответствии с государственной поверочной схемой для средств измерений времени и частоты, утвержденной Приказом Росстандарта от 26.09.2022 №2360. | Секундомер электронный с таймерным выходом СТИЦ-2М, регистрационный № 65349-16 |
| | Рабочий эталон 3-го разряда в соответствии с государственной поверочной схемой для средств измерений избыточного давления, утвержденной Приказом Росстандарта от 20.10.2022 № 2653 и в соответствии с государственной поверочной схемой для средств измерений абсолютного давления, утвержденной Приказом Росстандарта от 06.12.2019 № 2900. Диапазон измерений давления в соответствии с диапазоном поверяемого канала | Модуль давления эталонный Метран-518, регистрационный № 39152-12 |
| | Рабочий эталон 3-го разряда в соответствии с государственной | Термометр сопротивления эталонный |

| | | |
|---|--|---|
| | поверочной схемой для средств измерений температуры, утвержденной приказом Росстандарта от 19.11.2024 № 2712. Диапазон измерений температуры от 0 °С до плюс 40 °С | ЭТС-100, регистрационный № 19916-00 |
| | Термостат. Диапазон воспроизведения температуры от 0 °С до плюс 50 °С | Термостат жидкостный ТЕРМОТЕСТ, регистрационный номер 39300-08 |
| | Источник задания и регулирования абсолютного давления в диапазоне от 0,005 до 120 кПа | Помпа пневматическая МС-209 |
| <p>Примечания:</p> <p>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;</p> <p>2 Допускается использовать при поверке другие утвержденные и аттестованные эталоны единиц величин, средства измерений утвержденного типа и поверенные, удовлетворяющие метрологическим требованиям, указанным в таблице.</p> | | |

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.

6.5 Источником опасности при проведении поверки является электрический ток, применяемый для работы поверочного оборудования.

7 Внешний осмотр средства измерений

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

- 1) свидетельство о поверке установки (при наличии), запись о проведенной поверке в информационном фонде по обеспечению единства измерений при периодической поверке;
- 2) свидетельства о поверке на измеритель влажности и температуры (при наличии), запись о проведенной поверке в информационном фонде по обеспечению единства измерений;
- 3) паспорт;
- 4) руководство по эксплуатации;

7.1.2 При внешнем осмотре должно быть установлено:

- соответствие внешнего вида установки описанию и изображению, приведенному в описании типа;
- соответствие комплектности установки приведенному в описании типа;

- отсутствие механических повреждений элементов конструкции установки, отсутствию ржавчины на элементах конструкции;
- отсутствие видимых разрушений и сколов на лакокрасочных и гальванических покрытиях деталей и агрегатов установки;
- отсутствие механических повреждений кабелей и соединительных трубопроводов;
- отсутствие визуально обнаруживаемых дефектов (в виде забоин, раковин, уступов) и загрязнений.

При несоответствии установки указанным требованиям дальнейшая поверка не проводится, результат считается отрицательным.

8 Подготовка к поверке и опробование средства измерений

При подготовке к поверке выполняют следующие работы:

- проверку выполнения условий п.3 и п.4 настоящей методики;
- подготовку установки к работе согласно эксплуатационной документации.

8.1 Проверка герметичности установок.

Проверку герметичности установки производят в соответствии с эксплуатационной документацией (раздел «Проверка герметичности») в автоматическом режиме с помощью встроенной утилиты «проверка герметичности».

Перед началом проверки герметичности заглушают проверяемый входной участок установки (к которому подключаются поверяемые средства измерений).

Проверке герметичности подвергается участок от входа в измерительную магистраль до запорной арматуры критических сопел (далее – КС).

При проверке герметичности установки используют показания первичных преобразователей: абсолютного давления, перепада давления и температуры перед КС (установлен в измерительном участке).

В программном обеспечении выбирается входная линия, участвующая в проверке герметичности, включается вакуумный насос и при достижении заданного в программном обеспечении перепада давления, закрывается запорная арматура используемых линий и затем отключается насос. По истечении введенного значения времени термостабилизации (по умолчанию 10 минут) в автоматическом режиме фиксируется начальное значение абсолютного давления перед КС $P_{ан} = P_{атм} - \Delta p$, Па по показаниям канала измерений перепада давления перед КС Δp , Па (должно составлять от 3 до 5 кПа) и атмосферного (абсолютного) давления $P_{атм}$, Па и температуры воздуха в участке (перед КС) t_n , °С. По истечении настроенного значения времени измерений (по умолчанию 10 минут) фиксируется конечное значение абсолютного давления $P_{ак} = P_{атм} - \Delta p$, Па и температуры воздуха в участке t_k , °С.

Установка считается герметичной, если выполняется условие (1).

$$\frac{V_{уч}}{\tau} \cdot \left[\frac{P_{ак}}{P_{ан}} \cdot \frac{(t_n + 273.15)}{(t_k + 273.15)} - 1 \right] \cdot 60 \leq Q_{min} \cdot \frac{\delta_{уст}}{100} \cdot \frac{1}{3}, \quad (1)$$

где τ – время измерений, мин;

Q_{min} – наименьший объемный расход, воспроизводимый установкой на измерительном участке, м³/ч;

$V_{уч}$ – внутренний объем участка, подвергаемого проверки на герметичность, м³;

$\delta_{уст}$ – доверительные границы относительной погрешности воспроизведения объема и объемного расхода при доверительной вероятности 0,95, %.

8.2 Опробование.

При опробовании выполняются:

- проверка выполнения функциональных возможностей установок;
- проверка диапазона воспроизведения объемного;
- проверка выполнения критического режима истечения потока газа на КС.

8.2.1 Проверка выполнения функциональных возможностей установок.

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

- работоспособность установки путем увеличения и последующего уменьшения объемного расхода посредством переключения из программного обеспечения (далее – ПО) запорной арматуры (далее – ЗА) КС минимального и максимального расходов на дисплее (мониторе, экране) персонального компьютера (далее – ПК) из состава установки в пределах рабочего диапазона расходов установки (в соответствии с паспортом на установку);

- наличие показаний в ПО на экране (дисплее) ПК температуры, абсолютного давления, перепада давления на линии КС и отображение их на мониторе персонального компьютера;

Результаты считают положительными, если:

- установка работоспособна, ЗА переключается, значение объемного расхода изменяется, показания температуры, абсолютного давления и перепада давления на линии КС отображаются на мониторе персонального компьютера.

8.2.2 Проверка выполнения критического режима истечения потока газа на КС и диапазона воспроизводимых расходов

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

Для этого, согласно руководству по эксплуатации на установку, поочередно включают минимальный и максимальный расход с последующей регистрацией значений расхода, отображаемых на мониторе ПЭВМ.

В соответствии с руководством по эксплуатации включают установку в режиме воспроизведения объемного расхода и проверяют наличие критического режима истечения потока газа через КС на наименьшем и наибольшем объемных расходах установки путем измерения давления в коллекторе на входе КС $P_{вх}$ и в коллекторе на выходе КС $P_{вых}$ средствами измерений, входящих в состав установки.

Результаты считают положительными, если:

- нижний предел воспроизведения объемного расхода составляет $0,003^{*1}) \text{ м}^3/\text{ч} \pm 5 \%$;

- верхний предел воспроизведения объемного расхода составляет $280^{*1}) \text{ м}^3/\text{ч} \pm 5 \%$;

*Примечание: ^{*1)} Расход зависит от применяемых сопел критических, конкретное значение указывается в паспорте на установку.*

Проверку выполнения критического режима истечения потока газа на КС выполняют на минимальном и максимальном воспроизводимых установкой расходах без установки поверяемого средства измерений.

В соответствии с руководством по эксплуатации включают установку в режиме воспроизведения объемного расхода и проверяют наличие критического режима истечения потока газа через КС на наименьшем и наибольшем объемных расходах установки путем измерения давления в коллекторе на входе КС $P_{вх}$ и в коллекторе на выходе КС $P_{вых}$, средствами измерений, входящих в состав установки.

Результаты считают положительными, если:

- при номинальном расходе КС до $1 \text{ м}^3/\text{ч}$ включительно выполняется условие:
 $P_{вх}/P_{вых} \geq 2,5$;

- при номинальном расходе КС более $1 \text{ м}^3/\text{ч}$ выполняется условие: $P_{вх}/P_{вых} \geq 1,25$;

При отрицательном результате выполнение дальнейших операций прекращают.

9 Проверка программного обеспечения средства измерений

9.1 Проводят проверку идентификационных данных программного обеспечения путем сравнения их с данными, указанными в описании типа. Для индикации идентификационных данных программного обеспечения в основном меню программы нужно выбрать вкладку «помощь», затем пункт «о программе».

9.2 Результат проверки программного обеспечения считают положительным, если идентификационные данные соответствуют данным, указанным в описании типа.

9.3 При отрицательных результатах проверки программного обеспечения установка дальнейшей поверке не подлежит.

10 Определение метрологических характеристик и подтверждение соответствия средства измерений метрологическим требованиям

10.1 Определение абсолютной погрешности каналов измерений абсолютного давления, перепада давления и вакуумметрического давления

Подключают измерительные преобразователи каналов абсолютного давления, вакуумметрического давления или перепада давления к эталону давления. Погрешность при измерении давления определяют не менее чем при пяти значениях измеряемого давления, соответствующих 0 %, 25 %, 50 %, 75 %, 100 % диапазона измерений канала с допуском отклонением не более 5 %. При каждом экспериментальном определении значений погрешности в каждой из проверяемых точек при изменениях входной измеряемой величины от меньших значений к большим (прямой ход) и от больших значений к меньшим (обратный ход) проводят не менее одного измерения.

Перед определением абсолютной погрешности каналов абсолютного давления, вакуумметрического давления, перепада давления при обратном ходе измерительный преобразователь выдерживают в течение 1 минуты при верхнем пределе диапазона измерений.

Погрешность определяют при значении измеряемой величины, полученном при приближении к нему как со стороны меньших значений (при прямом ходе), так и со стороны больших значений (при обратном ходе).

Рассчитывают абсолютную погрешность каналов измерений абсолютного давления Δ_{p_a} и перепада давления перед соплами установки Δ_{Δ_p} , а также канала вакуумметрического давления, кПа, при каждом измерении по формуле

$$\Delta_p = P_{\text{изм}} - P_{\text{эт}}, \quad (2)$$

где $P_{\text{изм}}$ – значение давления, измеренное каналом абсолютного давления, вакуумметрического давления или перепада давления, кПа;

$P_{\text{эт}}$ – значение давления, измеренное эталоном, кПа

При применении нескольких первичных преобразователей на каналах перепада давления, в дальнейшем расчете используется наихудшее значение.

Результаты определения абсолютной погрешности каналов абсолютного давления Δ_{p_a} , перепада давления Δ_{Δ_p} , вакуумметрического давления считают положительными, если значение абсолютной погрешности при каждом измерении не превысило: $\pm 0,240$ кПа для каналов абсолютного давления, $\pm 0,025$ кПа для каналов перепада давления, $\pm 0,5$ кПа для каналов вакуумметрического давления.

10.2 Определение абсолютной погрешности каналов температуры

Проводят демонтаж первичных преобразователей температуры установки и погружают их в термостат. Температуру задают с помощью термостата. Перед каждым измерением выдерживают время, обеспечивающее стабилизацию показаний эталона температуры и установки.

Абсолютную погрешность канала температуры определяют при следующих значениях температуры: $(10+1)$ °С, (20 ± 1) °С, $(30-1)$ °С.

Рассчитывают абсолютную погрешность при измерении температуры Δ_T , °С, при каждом измерении по формуле

$$\Delta_T = T_{\text{изм}} - T_{\text{эт}}, \quad (3)$$

где $T_{\text{изм}}$ – значение температуры, измеренное каналом температуры установки, °С

$T_{\text{эт}}$ – значение температуры, измеренное эталоном температуры, °С

Результаты определения абсолютной погрешности каналов температуры считают положительными, если значение абсолютной погрешности при каждом измерении не превышает $\pm 0,3$ °С

10.3 Определение относительной погрешности интегрирования объемного расхода (объема) по времени

Определяют погрешность интегрирования объемного расхода (объема) по времени в следующей последовательности:

- к импульсному входу установки, в соответствии с руководством по эксплуатации подключают блок синхронизации;

- к блоку синхронизации подключается СТЦ-2М;

- в программное обеспечение управления блоком синхронизации вводят настройки длительности временных интервалов в секундах (100 с и 3600 с);

- с помощью СТЦ-2М определяют время, заданное блоком синхронизации импульсов, τ_{0ij} , с.

- считывают с дисплея компьютера автоматизированного рабочего места время, измеренное установкой, τ_{ij} , с.

Относительную погрешность интегрирования объемного расхода (объема) по времени δ_τ %, вычисляют по формуле

$$\delta_\tau = \frac{\tau_{ij} - \tau_{0ij}}{\tau_{0ij}} \cdot 100\% \quad (4)$$

где τ_{ij} – время, измеренное установкой, с;

τ_{0ij} – время измеренное СТЦ-2М, с.

Результаты определения относительной погрешности интегрирования объемного расхода (объема) по времени считают положительными, если значение относительной погрешности не превышает $\pm 0,025$ %;

10.4 Определение доверительных границ относительной погрешности измерения (воспроизведения) объемного расхода и объема газа

Перед проведением работ по данному пункту проводится определение расходной характеристики КС по п. 10.4.2.

Допускается использование значения относительной расширенной неопределенности из сертификатов калибровки КС (при их наличии).

10.4.1 Уравнение измерений объемного расхода, приведенного к условиям в поверяемом средстве измерений Q_{Vp} , м³/ч (5) в ПО установки упрощено до вида Q_{Vp}' , м³/ч (6). Дополнительная неопределенность, вызванная данным упрощением, учитывается путем добавления условия соблюдения допустимой разницы между температурой в поверяемом счетчике и температурой перед критическими соплами (на программном уровне).

Уравнения измерений объема прошедшего воздуха, приведенного к условиям в поверяемом счетчике V_{pi} , м³ представлено формулой (8).

$$Q_{Vp} = \sqrt{\frac{(t_{кк} + 273,15)}{293,15}} \cdot \left(\frac{z_{сч}}{z_{кк}}\right) \cdot \left(\frac{t_{сч} + 273,15}{t_{кк} + 27,15}\right) \cdot \left(\frac{P_a - \Delta}{P_a}\right) \cdot \frac{1}{K_{T,\phi}} \cdot \sum_{i=1}^n Q_{V20,60}, \quad (5)$$

$$Q_{Vp}' = \sqrt{\frac{(t_{кк} + 273,15)}{293,15}} \cdot \left(\frac{P_a - \Delta p}{P_a}\right) \cdot \frac{1}{K_{T,\phi}} \cdot \sum_{i=1}^n Q_{V2,60}, \quad (6)$$

$$V_{pi} = Q_{Vpi}' \cdot \frac{\tau}{3600}, \quad (7)$$

где $Q_{V2,60i}$ – значение расхода при температуре 20 °С и относительной влажности 60% через i -ое КС, определенное по п. 10.4.2, м³/ч;

n – количество включенных сопел;

t – температура воздуха в установке (измеряется перед поверяемым счетчиком), °С;

$t_{сч}$ – температура воздуха в поверяемом счетчике, °С;

$t_{кк}$ – температура воздуха перед КС, °С;

$z_{сч}$ – фактор сжимаемости воздуха в поверяемом счетчике;

$z_{кк}$ – фактор сжимаемости воздуха перед КС;

P_a – абсолютное (атмосферное) давление, кПа;

Δp – перепад давления между атмосферным давлением (на входе в поверяемый счетчик) и входом в КС, кПа;

$K_{T,\phi}$ – коэффициент, учитывающий влажность воздуха, выбирается из таблицы, приведенной в Приложении А;

τ – время измерений, с.

Относительные суммарные стандартные неопределенности измерений объемного расхода $u_c(Q_{Vp})$, % и объема $u_c(V_p)$, % определяют по формулам:

$$u_c(Q_{Vp}) = \sqrt{\left(\frac{\partial Q_{Vp}}{\partial Q_{V20,60}}\right)^2 \cdot u_c(Q_{V20,60})^2 + \left(\frac{\partial Q_{Vp}}{\partial T_{кc}}\right)^2 \cdot u_c(T_{кc})^2 + \left(\frac{\partial Q_{Vp}}{\partial p_a}\right)^2 \cdot u_c(p_a)^2 + \left(\frac{\partial Q_{Vp}}{\partial \Delta p}\right)^2 \cdot u_c(\Delta p)^2 + \left(\frac{\partial Q_{Vp}}{\partial K_{T,\phi}}\right)^2 \cdot u_c(K_{T,\phi})^2 + \left(\frac{\partial Q_{Vp}}{\partial z}\right)^2 \cdot u_c(z)^2 + \left(\frac{\partial Q_{Vp}}{\partial T_{сч}}\right)^2 \cdot u_c(T_{сч})^2}, \quad (8)$$

$$u_c(V_p) = \sqrt{u_c(Q_{Vp})^2 + u_c(\tau)^2}, \quad (9)$$

где $u_c(Q_{V20,60})$, $\frac{\partial Q_{Vp}}{\partial Q_{V20,60}}$ – относительная стандартная неопределенность КС, и коэффициент чувствительности $Q_{V20,60}$, %;

$u_c(T_{кc})$, $\frac{\partial Q_{Vp}}{\partial T_{кc}}$ – относительная стандартная неопределенность измерения температуры воздуха перед КС и ее коэффициент чувствительности %;

$u_c(p_a)$, $\frac{\partial Q_{Vp}}{\partial p_a}$ – относительная стандартная неопределенность измерения атмосферного давления и его коэффициент чувствительности, %;

$u_c(\Delta p)$, $\frac{\partial Q_{Vp}}{\partial \Delta p}$ – относительная стандартная неопределенность измерения перепада давления между входом в поверяемый счетчик и входом в КС и его коэффициент чувствительности, %;

$u_c(K_{T,\phi})$, $\frac{\partial Q_{Vp}}{\partial K_{T,\phi}}$ – относительная стандартная неопределенность вычисления коэффициента $K_{T,\phi}$ и его коэффициент чувствительности, %;

$u_c(z)$, $\frac{\partial Q_{Vp}}{\partial z}$ – относительная стандартная неопределенность, обусловленная влиянием коэффициента сжимаемости воздуха и его коэффициент чувствительности, %;

$u_c(T_{сч})$, $\frac{\partial Q_{Vp}}{\partial T_{сч}}$ – относительная стандартная неопределенность, измерения температуры воздуха в поверяемом счетчике и ее коэффициент чувствительности %;

$u_c(\tau)$ – относительная стандартная неопределенность интегрирования объемного расхода (объема) по времени, %.

Коэффициенты чувствительности определяются по следующим формулам:

$$\frac{\partial Q_{Vp}}{\partial Q_{V20,60}} = \frac{\partial Q_{Vp}}{\partial K_{T,\phi}} = \frac{\partial Q_{Vp}}{\partial z} = \frac{\partial Q_{Vp}}{\partial T_{сч}} = 1; \quad (10)$$

$$\frac{\partial Q_{Vp}}{\partial T_{кc}} = \frac{1}{2}; \quad (11)$$

$$\frac{\partial Q_{Vp}}{\partial p_a} = \frac{\Delta p}{p_a - \Delta p}; \quad (12)$$

$$\frac{\partial Q_{Vp}}{\partial \Delta p} = \frac{\Delta p}{p_a - \Delta p}. \quad (13)$$

Относительная стандартная неопределенность КС $u_c(Q_{V20,60})$, % определяется по формуле

$$u_c(Q_{V20,60}) = \frac{U_p(Q_{V20,60})}{2}, \quad (14)$$

где $U_p(Q_{V20,60})$ – расширенная неопределенность КС, по сертификату калибровки КС, %.

Относительная стандартная неопределенность измерения температуры воздуха перед КС $u_c(T_{кc})$, % определяется по формуле

$$u_c(T_{\text{КС}}) = \frac{\delta T_{\text{КС}}}{\sqrt{3}}, \quad (15)$$

где $\delta T_{\text{КС}}$ – относительная погрешность измерения температуры воздуха перед КС, %.

Относительная стандартная неопределенность измерения атмосферного давления $u_c(p_a)$, % определяется по формуле

$$u_c(p_a) = \frac{\delta p_a}{\sqrt{3}}, \quad (16)$$

где δp_a – относительная погрешность измерения абсолютного (атмосферного) давления, %

Относительная стандартная неопределенность измерения перепада давления между входом в поверяемый счетчик (атмосферным давлением) и входом в КС $u_c(\Delta p)$, % определяется по формуле:

$$u_c(\Delta p) = \frac{\delta \Delta p}{\sqrt{3}}, \quad (17)$$

где $\delta \Delta p$ – относительная погрешность измерения перепада давления между входом в поверяемый счетчик (атмосферное давление) и входом в КС, %.

Относительная стандартная неопределенность вычисления коэффициента $K_{T,\phi}$, % определяется по формуле

$$u_c(K_{T,\phi}) = \sqrt{(0,002)^2 u_c(T_{\text{КС}})^2 + (0,004)^2 u_c(p_a)^2 + (0,002)^2 u_c(\phi)^2}, \quad (18)$$

где $u_c(\phi)$ – относительная стандартная неопределенность измерения относительной влажности воздуха, %.

Относительная стандартная неопределенность измерения относительной влажности воздуха $u_c(\phi)$, % определяется по формуле

$$u_c(\phi) = \frac{\delta \phi}{\sqrt{3}}, \quad (19)$$

где $\delta \phi$ – относительная погрешность измерения относительной влажности воздуха, %.

Относительную стандартную неопределенность, обусловленную влиянием коэффициента сжимаемости воздуха, определяют по формуле

$$u_c(z) = \frac{\delta z}{\sqrt{3}}, \quad (20)$$

где δz – максимальное относительное отклонение коэффициента сжимаемости на участке между соплом и испытуемым счетчиком, %. Принимается равным 0,0029 %, т.к. при максимальной разнице абсолютного давления и температуры в счетчике и перед соплами согласно расчету по ГСССД МР 220-2014 $\Delta z = 0,000029$.

Относительную стандартную неопределенность температуры воздуха в поверяемом счетчике $u_c(T_{\text{сч}})$, %, определяют по формуле

$$u_c(T_{\text{сч}}) = \frac{\delta T_{\text{сч}}}{\sqrt{3}}, \quad (21)$$

где $\delta T_{\text{сч}}$ – относительная погрешность измерения температуры воздуха в поверяемом счетчике, %.

Относительная стандартная неопределенность интегрирования объемного расхода (объема) по времени $u_c(\tau)$, %, определяется по формуле

$$u_c(\tau) = \frac{\delta \tau}{\sqrt{3}}, \quad (22)$$

где $\delta \tau = \pm 0,025$ % – относительная погрешность интегрирования объемного расхода (объема) по времени, %.

Относительную погрешность измерения температуры воздуха перед КС $\delta T_{\text{КС}}$, %, определяют по формуле

$$\delta T_{\text{КС}} = \frac{\sqrt{\Delta_T^2 + \Delta_{t_{\text{сч}}}^2 + \Delta_{t_{\text{доп}}}^2}}{(t+273,15)} \cdot 100, \quad (23)$$

где $\Delta_T = \pm 0,3$ °С – абсолютная погрешность канала измерения температуры, °С;

$\Delta_{t_{\text{сч}}} = \pm 0,2$ °С – пределы допускаемой абсолютной погрешности средства измерений температуры воздуха в поверяемом счетчике (ИВТМ/ИВА), °С;

$\Delta t_{\text{доп}} = \pm 0,5 \text{ }^\circ\text{C}$ – допустимая разница между температурой в поверяемом счетчике и температурой перед критическими соплами;

$t = 10 \text{ }^\circ\text{C}$ – минимальная эксплуатационная температура установки, $^\circ\text{C}$;

Относительную погрешность измерения абсолютного (атмосферного) давления δp_a , %, определяют по формуле

$$\delta p_a = \frac{\Delta p_a}{p_a} \cdot 100, \quad (24)$$

где $\Delta p_a = 0,240 \text{ кПа}$ – максимальная допускаемая абсолютная погрешность канала абсолютного давления, кПа;

$p_a = 84,0 \text{ кПа}$ – минимальное значение абсолютного (атмосферного) давления при эксплуатации, кПа.

Относительная погрешность измерения перепада давления между входом в поверяемый счетчик (атмосферное давление) и входом в КС $\delta \Delta p$, %, определяют по формуле

$$\delta \Delta p = \frac{\Delta_{\Delta p}}{\Delta p} \cdot 100, \quad (25)$$

где $\Delta_{\Delta p} = 0,025 \text{ кПа}$ – допускаемая абсолютная погрешность канала измерения перепада давления, кПа;

где $\Delta p = 0,001 \text{ кПа}$ – минимальное значение перепада давления, кПа;

Относительную погрешность измерения относительной влажности воздуха определяют по формуле

$$\delta \varphi = \frac{\Delta \varphi}{\varphi} \cdot 100, \quad (26)$$

где $\Delta \varphi = 2,0 \text{ } \%$ – допускаемая абсолютная погрешность средства измерений относительной влажности воздуха, %;

$\varphi = 30 \text{ } \%$ – минимальное значение относительной влажности воздуха при эксплуатации установки, %.

Относительную погрешность измерения температуры воздуха в поверяемом счетчике, $\delta T_{\text{сч}}$, %, определяют по формуле

$$\delta T_{\text{сч}} = \frac{\Delta t_{\text{сч}}}{(t+273,15)} \cdot 100, \quad (27)$$

$\Delta t_{\text{сч}}$ – пределы допускаемой абсолютной погрешности средства измерений температуры воздуха в поверяемом счетчике (ИВТМ/ИВА), $^\circ\text{C}$

$t = 10 \text{ }^\circ\text{C}$ – минимальная температура эксплуатации установки, $^\circ\text{C}$;

Относительную расширенную неопределенность измерения объемного расхода и объема определяют по формулам

$$U_p(Q_{Vp}) = k \cdot u_c(Q_{Vp}), \quad (28)$$

$$U_p(V_p) = k \cdot u_c(V_p), \quad (29)$$

где k – коэффициент охвата ($k = 2$ при доверительной вероятности 95%).

На основании рекомендации СОOMET R/GM/32:2017 «Рекомендация КОOMET. Калибровка средств измерений. Алгоритмы обработки результатов измерений и оценивания неопределённости» при определении доверительных границ относительной погрешности (с доверительной вероятностью $P=0,95$) $\pm \delta_0$, %, при измерении объемного расхода и объема газа принимается, соответственно

$$\delta_0(Q_{Vp}) = U_p(Q_{Vp}), \quad (30)$$

$$\delta_0(V_p) = U_p(V_p), \quad (31)$$

10.4.2 Определение расходной характеристики КС

Процедура заключается в определении действительной расходной характеристики КС.

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

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

В зависимости от расходной характеристики (объемных расходов) КС определение расходной характеристики осуществляется с применением эталонных установок в составе ГЭТ 118-2017 в соответствии с таблицей 4.

Таблица 4

| Расходная характеристика КС, м ³ /ч | Тип ЭУ |
|--|--------|
| от 20 до 2000 | ЭУ-2 |
| от 1 до 20 | ЭУ-3 |
| от 3·10 ⁻⁴ до 1 | ЭУ-5 |

Проведение определения расходной характеристики КС на эталонных установках ЭУ-2 и ЭУ-3.

Осуществляется методом сличения с эталонным КС с использованием компараторов расхода газа.

Для этого выбирают компаратор(ы) в зависимости от номинала расхода КС в соответствии с таблицей 5. На ЭУ-2 используются только показания компаратора №4. Для расширения диапазона расхода компаратора №4 выбирают дополнительные компараторы в соответствии с таблицей 5.

Таблица 5

| Расходная характеристика КС, м ³ /ч | № компаратора/ов |
|--|----------------------------|
| ЭУ-2 | |
| от 20 до 60 | №4 |
| от 60 до 200 | №4 ⁺ №5 |
| от 200 до 400 | №4 ⁺ №5,6 |
| от 400 до 600 | №4 ⁺ №5,6,7 |
| от 600 до 800 | №4 ⁺ №5,6,7,8 |
| от 800 до 2000 | №4 ⁺ №5,6,7,8,9 |
| ЭУ-3 | |
| от 0,4 до 6 | №1 |
| от 6 до 20 | №2 |

Выбирают два эталонных КС или два комплекта эталонных КС из состава установки с действительными значениями расхода ниже и выше номинала расхода проверяемого КС, т.е. $Q_{эт1} < Q_{v20,60} < Q_{эт2}$. Отклонение величин $Q_{эт1}$ и $Q_{эт2}$ от номинала расхода проверяемого КС $Q_{v20,60}$ не должно превышать 10 %.

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

Проводят цикл измерений, включающий три этапа.

Этап 1: закрывают клапана эталонных КС, оставляя открытыми клапана компаратора и проверяемого КС. Ожидают не менее 60 секунд 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 течение не менее 30 секунд с последующим определением среднего значения перепада давлений ΔP .

Этап 2: закрывают клапан проверяемого КС и открывают клапан(ы) эталонного(ых) КС с суммарным номинальным расходом $Q_{эт1}$. Ожидают не менее 30 секунд для стабилизации показаний компаратора и запускают установку в режиме измерения. Проводят не менее 11 измерений перепада давлений на компараторе в течение не менее 30 секунд с последующим определением среднего значения перепада давлений ΔP_1 .

Этап 3: закрывают клапан (клапаны) эталонного/ых КС с номинальным расходом $Q_{эт1}$ и открывают клапан (клапаны) эталонного/ых КС суммарным номинальным расходом $Q_{эт2}$. Ожидают не менее 30 секунд для стабилизации показаний компаратора и запускают установку в режиме измерений. Проводят не менее 11 измерений перепада давлений на компараторе в течение

не менее 30 секунд с последующим определением среднего значения перепада давлений ΔP_2 . 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 КС, приведенного к стандартным условиям (температуре 20 °С и относительной влажности 60 %) по формуле

$$Q_{v20,60} = \Delta P \left[\frac{Q_{эт1}}{\Delta P_1} + \frac{\Delta P - \Delta P_1}{\Delta P_2 - \Delta P_1} \left(\frac{Q_{эт2}}{\Delta P_2} - \frac{Q_{эт1}}{\Delta P_1} \right) \right], \quad (32)$$

где $Q_{v20,60}$ – расходная характеристика проверяемого КС, м³/ч;

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

$Q_{эт2}$ – значение расхода эталонного КС с расходом выше, чем у проверяемого КС, 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;

Проводят усреднение значений объемного расхода КС по формуле:

$$\bar{Q}_{v20,60} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n Q_{v20,60_i}, \quad (33)$$

где $Q_{v20,60_i}$ – значение объемного расхода калибруемого КС, приведенного к стандартным условиям, определенное при i -ом цикле измерений;

n – количество измерений.

Проведение определения расходной характеристики КС на эталонной установке ЭУ-5.

Проверка КС на ЭУ-5 осуществляется методом непосредственного сличения.

Собирают схему подключений, указанную на рисунке 2.



Рисунок 2. Схема подключений КС к ЭУ-5

Выбирают измерительную ячейку для проведения проверки в соответствии с таблицей 6.

Таблица 6

| Расходная характеристика КС, м ³ /ч | Измерительная ячейка ЭУ-5 |
|--|---------------------------|
| от $3 \cdot 10^{-4}$ до $3 \cdot 10^{-2}$ | SL-800-10 |
| от $3 \cdot 10^{-2}$ до 1 | SL-800-44 |

Кран после КС устанавливают в положение «Закрыто», включают вакуумный насос и создают в системе вакуумметрическое давление (разрежение) не менее 65 кПа, которое контролируют по показаниям вакуумметра.

Калибратор SL-800 настраивают в непрерывный режим измерений. Кран после КС устанавливают в положение «Открыто» и производят включение установки в режим измерений. 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 при каждом измерении определяют значение объемного расхода КС, приведенного к стандартным условиям, по уравнению формуле:

$$Q_{v2,60} = Q_v \cdot \sqrt{\frac{293,15}{273,15+t_k}} \cdot \frac{P_k}{P_{ск}} \cdot K_{t,\phi}, \text{ м}^3/\text{ч} \quad (34)$$

где $Q_{v2,60}$ – значение объёмного расхода КС, 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_k – температура воздуха по показаниям калибратора SL-800, °С;

P_k – абсолютное давление по показаниям калибратора SL-800, Па;

$P_{ск}$ – абсолютное давление по показаниям СИ абсолютного давления перед КС, Па;

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

Проводят усреднение значений объёмного расхода КС по формуле:

$$\bar{Q}_{v2,60} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n Q_{v2,60_i}, \quad (35)$$

где $Q_{v2,60_i}$ – значение объёмного расхода КС, приведенного к температуре 20 °С и относительной влажности 60 %, определенное при i -ом измерении;

n – количество измерений.

Обработка результатов измерений и вычисление расширенной неопределенности измерений определения расходной характеристики КС.

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

Стандартную неопределенность по типу А $u_A(Q_{v2,60})$, %, определяют по формуле

$$u_A(Q_{v2,60}) = m \cdot \frac{100}{\bar{Q}_{v2,60}} \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Q_{v2,60_i} - \bar{Q}_{v2,60})^2}{n \cdot (n-1)}}, \% \quad (36)$$

где $m = \sqrt{\frac{n-1}{n-3}}$ при количестве циклов измерений $n < 10$ и $m = 1$ при $n \geq 10$.

Стандартную неопределенность по типу В $u_B(Q_{v2,60})$, %, определяют по формуле

$$u_B(Q_{v2,60}) = \frac{U_p(\text{ЭУ})}{2}, \% \quad (37)$$

где $U_p(\text{ЭУ})$ – расширенная неопределенность применяемой эталонной установки при измерении объёмного расхода газа, %;

Значения суммарной стандартной неопределенности определения расходной характеристики КС, $u_C(Q_{v2,60})$, %, рассчитывают по формуле

$$u_C(Q_{v2,60}) = \sqrt{[u_A(Q_{v2,60})]^2 + [u_B(Q_{v2,60})]^2}, \% \quad (38)$$

Значения расширенной неопределенности определения расходной характеристики КС $U_p(Q_{v2,60})$, % рассчитывают по формуле:

$$U_p(Q_{v2,60}) = k \cdot u_C(Q_{v2,60}), \% \quad (39)$$

где k – коэффициент охвата ($k = 2$ при доверительной вероятности 95 %).

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

Значение стандартной неопределенности по типу А $u_A(Q_{v2,60})$ определяют по формуле

$$u_A(Q_{v2,60}) = \frac{100}{\bar{Q}_{v2,60}} \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Q_{v2,60_i} - \bar{Q}_{v2,60})^2}{n \cdot (n-1)}}, \% \quad (40)$$

Значение стандартной неопределенности по типу В, $u_B(Q_{v2,60})$, %, определяют по формуле (37).

Значения суммарной стандартной неопределенности определения расходной характеристики КС, $u_C(Q_{v2,60})$, %, рассчитывают по формуле (38).

Значения расширенной неопределенности определения расходной характеристики КС $U_p(Q_{v20,60})$, %, рассчитывают по формуле (39).

10.4.3 Результат считается положительным, если значение доверительных границ относительной погрешности воспроизведения объемного расхода $\delta_0(Q_{Vp})$, % и объема газа $\delta_0(V_p)$, рассчитанные по формулам (30) и (31) не превышает:

±0,3 % для установок Модификации 1 – при использовании микросопел с расширенной неопределенностью калибровки 0,25 %

±0,35 % для установок Модификации 2 – при использовании микросопел с расширенной неопределенностью калибровки 0,3 %

10.5 Подтверждение соответствия средства измерений метрологическим требованиям

При положительных результатах поверки по пунктам 10.1-10.4 установки считаются соответствующими установленным метрологическим требованиям.

При проведении поверки производится проверка соответствия установки требованиям, предъявляемым к эталонам 1 разряда в соответствии с Приказом Росстандарта от 11 мая 2022 №1133 Об утверждении Государственной поверочной схемы для средств измерений объемного и массового расходов газа.

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

11 Оформление результатов поверки

11.1 Результаты поверки оформляются протоколами произвольной формы.

11.2 Знак поверки ставится в свидетельство о поверке (при заявлении).

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. При оформлении свидетельства о поверке и передаче сведений в информационный фонд указывают, что установка соответствует эталону 1 разряда в соответствии с Приказом Росстандарта от 11 мая 2022 г. № 1133.

11.4 Если установка по результатам поверки признана непригодной к применению выписывают извещение о непригодности к применению (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.

Приложение А

Таблица значений поправочного коэффициента на влажность $K_{T,\varphi}$

| | | Температура, °С | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------|---------|-----------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|---------|---------|---------|
| | | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 |
| Относительная влажность, % | 10 | 1,00219 | 1,00217 | 1,00215 | 1,00214 | 1,00213 | 1,00211 | 1,00207 | 1,00206 | 1,00204 | 1,00202 | 1,00200 | 1,00199 | 1,00197 | 1,00191 | 1,00185 | 1,00184 | 1,00182 | 1,00177 | 1,00172 | 1,00158 | 1,00144 |
| | 15 | 1,00209 | 1,00206 | 1,00203 | 1,00201 | 1,00199 | 1,00196 | 1,00192 | 1,00189 | 1,00187 | 1,00184 | 1,00180 | 1,00178 | 1,00175 | 1,00168 | 1,00160 | 1,00157 | 1,00153 | 1,00151 | 1,00148 | 1,00128 | 1,00107 |
| | 20 | 1,00198 | 1,00195 | 1,00191 | 1,00188 | 1,00185 | 1,00181 | 1,00176 | 1,00173 | 1,00169 | 1,00165 | 1,00160 | 1,00156 | 1,00152 | 1,00144 | 1,00135 | 1,00130 | 1,00124 | 1,00116 | 1,00108 | 1,00090 | 1,00072 |
| | 25 | 1,00187 | 1,00183 | 1,00179 | 1,00175 | 1,00171 | 1,00166 | 1,00161 | 1,00156 | 1,00151 | 1,00146 | 1,00140 | 1,00133 | 1,00126 | 1,00118 | 1,00110 | 1,00098 | 1,00095 | 1,000855 | 1,00076 | 1,00062 | 1,00047 |
| | 30 | 1,00177 | 1,00172 | 1,00167 | 1,00162 | 1,00157 | 1,00152 | 1,00146 | 1,00140 | 1,00133 | 1,00127 | 1,00120 | 1,00111 | 1,00103 | 1,00094 | 1,00085 | 1,00075 | 1,00066 | 1,00055 | 1,00044 | 1,00033 | 1,00022 |
| | 35 | 1,00166 | 1,00161 | 1,00155 | 1,00150 | 1,00144 | 1,00137 | 1,00130 | 1,00123 | 1,00115 | 1,00108 | 1,00100 | 1,00090 | 1,00080 | 1,00070 | 1,00059 | 1,00048 | 1,00037 | 1,00025 | 1,00012 | 0,99999 | 0,99986 |
| | 40 | 1,00156 | 1,00150 | 1,00143 | 1,00137 | 1,00130 | 1,00122 | 1,00114 | 1,00106 | 1,00097 | 1,00087 | 1,00080 | 1,00069 | 1,00057 | 1,00046 | 1,00034 | 1,00029 | 1,00008 | 0,99994 | 0,9998 | 0,99965 | 0,9995 |
| | 45 | 1,00146 | 1,00138 | 1,00130 | 1,00123 | 1,00116 | 1,00105 | 1,00093 | 1,00083 | 1,00074 | 1,00067 | 1,00060 | 1,00050 | 1,00039 | 1,00023 | 1,00007 | 0,99994 | 0,9998 | 0,99965 | 0,9995 | 0,9993 | 0,99915 |
| | 50 | 1,00135 | 1,00127 | 1,00118 | 1,00110 | 1,00102 | 1,00087 | 1,00072 | 1,00062 | 1,00051 | 1,00045 | 1,00040 | 1,00031 | 1,00012 | 0,99996 | 0,9998 | 0,9997 | 0,9995 | 0,99935 | 0,9992 | 0,9990 | 0,9988 |
| | 55 | 1,00125 | 1,00116 | 1,00106 | 1,00097 | 1,00089 | 1,00076 | 1,00062 | 1,00051 | 1,00039 | 1,00030 | 1,00020 | 1,00003 | 0,99986 | 0,9991 | 0,9996 | 0,9994 | 0,9992 | 0,9990 | 0,9988 | 0,9986 | 0,9984 |
| | 60 | 1,00114 | 1,00104 | 1,00094 | 1,00085 | 1,00075 | 1,00064 | 1,00052 | 1,00039 | 1,00026 | 1,00013 | 1,00000 | 0,9998 | 0,9996 | 0,99945 | 0,9993 | 0,9991 | 0,9989 | 0,99865 | 0,9984 | 0,9982 | 0,9980 |
| | 65 | 1,00103 | 1,00093 | 1,00082 | 1,00072 | 1,00061 | 1,00049 | 1,00036 | 1,00022 | 1,00008 | 0,99994 | 0,9998 | 0,9996 | 0,9994 | 0,9993 | 0,9991 | 0,9989 | 0,9986 | 0,9984 | 0,9981 | 0,9978 | 0,99755 |
| | 70 | 1,00093 | 1,00082 | 1,00070 | 1,00059 | 1,00047 | 1,00034 | 1,00021 | 1,00006 | 0,9999 | 0,99975 | 0,9996 | 0,9994 | 0,9992 | 0,9990 | 0,9988 | 0,9986 | 0,9983 | 0,9981 | 0,9978 | 0,99755 | 0,9973 |
| | 75 | 1,00083 | 1,00070 | 1,00057 | 1,00046 | 1,00033 | 1,00020 | 1,00006 | 0,9999 | 0,9997 | 0,99955 | 0,9994 | 0,9992 | 0,9990 | 0,9988 | 0,99855 | 0,9983 | 0,9981 | 0,9978 | 0,9975 | 0,9972 | 0,9969 |
| | 80 | 1,00072 | 1,00058 | 1,00045 | 1,00032 | 1,00019 | 1,00005 | 0,9999 | 0,99975 | 0,9995 | 0,99935 | 0,9992 | 0,9990 | 0,9988 | 0,99855 | 0,9983 | 0,9981 | 0,9978 | 0,9975 | 0,9972 | 0,99685 | 0,9965 |
| | 85 | 1,00062 | 1,00048 | 1,00034 | 1,00019 | 1,00005 | 0,9999 | 0,99975 | 0,99955 | 0,99935 | 0,99918 | 0,9990 | 0,9988 | 0,9986 | 0,9983 | 0,9980 | 0,9978 | 0,9975 | 0,9972 | 0,99685 | 0,9965 | 0,9962 |
| 90 | 1,00051 | 1,00037 | 1,00023 | 1,00007 | 0,9999 | 0,99975 | 0,9996 | 0,9994 | 0,9992 | 0,9990 | 0,9988 | 0,99855 | 0,9983 | 0,9981 | 0,9978 | 0,9975 | 0,9972 | 0,9968 | 0,9965 | 0,9962 | 0,9959 | |