

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

А.С. Тайбинский

М.П.

«26»

апрель

2024 г.



Государственная система обеспечения единства измерений

УСТАНОВКИ ПОВЕРОЧНЫЕ ТРУБОПОРШНЕВЫЕ ТПУ ИНКОМСИСТЕМ

Методика поверки

МП 1679-1-2024

Начальник научно-
исследовательского отдела
Р.А. Корнеев
Тел. отдела: +7(843) 272-12-02

г. Казань

2024 г.

1 Общие положения

Настоящая методика поверки применяется для поверки установок поверочных трубопоршневых ТПУ ИНКОМСИСТЕМ (далее – установки).

Прослеживаемость системы к Государственному первичному специальному эталону единиц массы и объема жидкости в потоке, массового и объемного расходов жидкости ГЭТ 63-2019 обеспечивается в соответствии с Государственной поверочной схемой для средств измерений массы и объема жидкости в потоке, объема жидкости и вместимости при статических измерениях, массового и объемного расходов жидкости (часть 2), утвержденной приказом Росстандарта от 26.09.2022 № 2356.

В методике поверки реализован следующий метод передачи единиц: метод косвенных измерений.

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

Таблица 1 – Метрологические характеристики

Характеристика	Значение
Диапазон объемного расхода жидкости ¹⁾ , м ³ /ч – исполнение передвижное – исполнение стационарное	от 5 до 850 от 5 до 1200
Пределы допускаемой относительной погрешности (доверительные границы суммарной погрешности) установки при измерении (воспроизведении единицы) объема жидкости в потоке, %	±0,05; ±0,09

¹⁾ – конкретное значение указано в паспорте

2 Перечень операций поверки

2.1 При проведении поверки выполняют следующие операции, указанные в таблице 2.

Таблица 2 – Операции поверки

Наименование операции	Номер раздела	Проведение операции при:	
		первичной поверке	периодической поверке
1	2	3	4
Внешний осмотр средства измерений	7	Да	Да
Подготовка к поверке и опробование средства измерений	8	Да	Да
Определение метрологических характеристик средства измерений	9	Да	Да
Подтверждение соответствия средства измерений метрологическим требованиям:	10	Да	Да
– определение вместимости калиброванного участка установки	10.1 или 10.2	Да	Да
– определение СКО случайной составляющей погрешности установки	10.1.1 или 10.2.1	Да	Да
– определение доверительных границ суммарной систематической составляющей погрешности	10.1.2 или 10.2.2	Да	Да
– определение случайной составляющей погрешности определения среднего значения вместимости установки	10.1.3 или 10.2.3	Да	Да

1	2	3	4
– определение относительной погрешности (доверительных границ суммарной погрешности) установки	10.1.4 или 10.2.4	Да	Да
– проверка отсутствия протечек	10.3	Да	Да
Определение относительного отклонения вместимости калиброванного участка установки от значения, полученного при предыдущей поверке	10.3.1	Нет	Да

3 Требования к условиям проведения поверки

3.1 При проведении поверки соблюдаются следующие условия, если не оговорено особо:

Измеряемая среда – жидкость (вода питьевая, дистиллированная) с параметрами:

– температура измеряемой среды, °С 20 ± 10 ;

– избыточное давление измеряемой среды, МПа, не менее 0,1;

Окружающая среда установки – воздух с параметрами:

– температура окружающей среды, °С 20 ± 10 ;

– относительная влажность окружающей среды, %, не более от 30 до 90;

– атмосферное давление, кПа от 84 до 106,7.

3.2 Средства измерений, применяемые для измерений условий окружающей среды и измеряемой среды, на момент поверки установки должны иметь действующие сведения о положительных результатах поверки средств измерений, включенные в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений.

4 Требования к специалистам, осуществляющим поверку

При проведении поверки специалисты должны соответствовать следующим требованиям:

– знать требования руководства по эксплуатации на установку и на применяемые средства поверки;

– знать требования данного документа.

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, необходимые для проведения поверки	Перечень рекомендуемых средств поверки
1	2	3
п. 9 Определение метрологических характеристик средства измерений	Вторичный эталон (на базе весовых устройств) согласно ГПС (часть 2), утвержденной приказом Росстандарта от 26.09.2022 № 2356 с необходимым диапазоном расхода Или Вторичный эталон (на базе весовых устройств и переключателей потока) согласно ГПС (часть 2), утвержденной приказом Росстандарта от 26.09.2022 № 2356 с необходимым диапазоном расхода Или Вторичный эталон (на базе весовых устройств и мерников) согласно ГПС (часть 2), утвержденной приказом Росстандарта от 26.09.2022 № 2356 с необходимым диапазоном расхода	Установки поверочные автоматизированные УПА, регистрационный номер 67397-17 (далее – эталон)
п. 9 Определение метрологических характеристик средства измерений	Рабочий эталон 1-го разряда единицы объема жидкости в потоке согласно ГПС (часть 3), утвержденной приказом Росстандарта от 26.09.2022 № 2356	Мерники металлические эталонные М, регистрационный номер 70516-18 (далее – эталон, мерник)
п. 9 Определение метрологических характеристик средства измерений	Средство измерений времени в соответствии с Государственной поверочной схемой для средств измерений времени и частоты, утвержденной приказом Росстандарта от 26.09.2022 № 2360, с пределом допускаемой абсолютной погрешности измерений времени $\pm 1,0$	Секундомер электронный с таймерным выходом СТЦ-2М (регистрационный номер 65349-16)

1	2	3
п. 9 Определение метрологических характеристик средства измерений	Средство измерений плотности в соответствии с Государственной поверочной схемой для средств измерений плотности, утвержденной приказом Росстандарта от 01.11.2019 № 2603 с пределами допускаемой абсолютной погрешности измерений плотности $\pm 0,1 \text{ кг/м}^3$	Измеритель плотности жидкостей вибрационный ВИП-2МР (регистрационный номер 27163-09)
п. 9 Определение метрологических характеристик средства измерений	Средство измерений избыточного давления в соответствии с Государственной поверочной схемой для средств измерений избыточного давления, утвержденной приказом Росстандарта от 20.10.2022 № 2653 с погрешностью измерений давления в пределах $\pm 0,5 \%$	Преобразователь давления эталонный ПДЭ-020
п. 9 Определение метрологических характеристик средства измерений	Средство измерений температуры с пределом допускаемой абсолютной погрешности измерений температуры $\pm 0,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ в соответствии с ГОСТ 8.558	Термометр лабораторный электронный ЛТ-300 (регистрационный номер 61806-15)
<p>Примечания:</p> <p>1 Допускается применение аналогичных средств поверки, обеспечивающих определение метрологических характеристик установки с требуемой точностью;</p> <p>2 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>		

6 Требования (условия) по обеспечению безопасности проведения поверки

6.1 При проведении поверки соблюдают следующие требования (условия):

- правил техники безопасности, действующих на месте проведения поверки;
- правил безопасности при эксплуатации средств поверки и установки, приведенных в их эксплуатационных документах;

- правил по охране труда, действующих на месте проведения поверки.

6.2 К средствам поверки и установке обеспечивают свободный доступ.

6.3 Освещенность должна обеспечивать отчетливую видимость средств поверки и установки, а также снятие показаний с них.

6.4 При появлении течи жидкости и других ситуаций, нарушающих процесс проведения поверки, поверка должна быть прекращена или приостановлена до устранения неисправностей.

7 Внешний осмотр средства измерений

При внешнем осмотре устанавливают соответствие установки следующим требованиям:

- внешний вид установки должен соответствовать описанию и изображению, приведенному в описании типа;
- комплектность установки соответствует указанной в эксплуатационном документе;

- на установке отсутствуют механические повреждения и дефекты, препятствующие проведению поверки;
- надписи и обозначения на элементах установки нанесены четко и соответствуют требованиям эксплуатационных документов;
- отсутствие нарушений герметичности кабельных вводов, видимых механических повреждений кабелей.

Результат внешнего осмотра считают положительным, если внешний вид установки соответствует описанию и изображению, приведенному в описании типа, комплектность установки соответствует эксплуатационным документам, на установке отсутствуют внешние механические повреждения и дефекты, препятствующие ее применению, надписи и обозначения на элементах установки нанесены четко и соответствуют требованиям эксплуатационного документа, на установке отсутствуют нарушения герметичности кабельных вводов и видимые механические повреждения кабелей или отрицательным, если внешний вид установки не соответствует описанию и изображению, приведенному в описании типа и/или комплектность и маркировка установки не соответствуют эксплуатационным документам, на установке присутствуют внешние механические повреждения и/или дефекты, препятствующие ее применению, и/или надписи и обозначения на элементах установки нанесены не четко и не соответствуют требованиям эксплуатационного документа, и/или присутствуют нарушения герметичности кабельных вводов и видимых механических повреждений кабелей. При отрицательном результате выполнение дальнейших испытаний прекращают

8 Подготовка к поверке и опробование средства измерений

8.1 Подготовка к поверке

8.1.2 Проверяют у средств поверки наличие действующих свидетельств об аттестации эталонов и/или наличие сведений о результатах поверки СИ, включенных в ФИФ ОЕИ, и/или знаков поверки, нанесенных на СИ, и (или) свидетельств поверки, и (или) записей о проведенной поверке в паспортах (формулярах) СИ, заверенных подписью поверителя и знаком поверки с указанием даты поверки

8.1.3 Выполняют монтаж технологической схемы поверки в зависимости от применяемого метода поверки. Монтаж проводят в соответствии с требованиями эксплуатационных документов на установку, средства поверки и вспомогательное оборудование. Рекомендуемые схемы монтажа приведены в приложении А ГОСТ Р 8.1027-2023.

Примечание – Для поверяемой установки с шаровым поршнем, в соответствии с эксплуатационным документом на установку, проводят выемку шарового поршня. Проверяют состояние поверхности шарового поршня на отсутствие повреждений. Согласно рекомендациям изготовителя проводят измерение размера (диаметра) шарового поршня. При несоответствии диаметра шарового поршня требованиям, установленным изготовителями шарового поршня и установки, доводят его до нужного размера.

8.1.4 Заполняют технологическую схему поверки поверочной жидкостью. Проверяют герметичность технологической схемы поверки. Проверку проводят внешним осмотром. Схему считают герметичной, если спустя 10 мин после установления расхода и давления не наблюдается течи и капель через фланцевые, резьбовые, сварные соединения и сальники.

8.1.5 При применении в качестве поверочной жидкости воды проверяют степень очистки внутренней поверхности установки. Чистоту внутренней поверхности установки после промывки считают удовлетворительной, если в пробе поверочной жидкости (вода), отобранной из установки в стеклянный сосуд, отсутствуют следы нефти, нефтепродуктов, химикатов, промышленных жидкостей.

8.1.6 При использовании метода поверки, предусматривающего применение емкости-хранилища должны быть предусмотрены меры, исключающие всасывания воздуха в насос при наименьшем уровне поверочной жидкости в емкости-хранилище.

При подготовке к поверке выполняют следующие работы:

- проверка выполнения условий разделов 3, 4, 5 и 6 настоящего документа;
- подготовка к работе установки и средств поверки согласно их эксплуатационным документам;
- проверка герметичности соединений и узлов гидравлической системы рабочим давлением.
- удаление воздуха из трубопроводов установки после заполнения жидкостью согласно руководству по эксплуатации установки.

8.2 Контролируют стабилизацию температуры поверочной жидкости в поверяемой установке и средствах поверки (поверочная установка, мерник(и), установки 1-го разряда). Устанавливают расход через установку и технологическую схему поверки, соответствующий расходу, необходимому для определения метрологических характеристики установки, и выполняют пуск поршня установки.

При применении в качестве средства поверки поверочной установки (далее – ПУ) с мерником(ми) или мерник(и), обеспечивают циркуляцию поверочной жидкости через мерник(и), поддерживая уровень поверочной жидкости в районе номинальной отметки на горловине мерника(ов) приоткрывая или прикрывая сливной кран.

Стабилизацию температуры контролируют по показаниям СИ температуры, установленных на входе и выходе установки, на выходе мерника(ов) и на мернике(ах).

Температуру считают стабильной, если ее изменение за время, необходимое для одного измерения (один проход поршня от одного детектора до другого или от одного детектора до другого и обратно или за одно заполнение мерника), по абсолютной величине не превышает 0,2 °С.

Примечание – Операции по стабилизации температуры поверочной жидкости в установке проводят после каждого перерыва в работе с остановкой насоса.

8.3 Опробование

При опробовании проверяют работоспособность установки путем увеличения или уменьшения расхода жидкости в пределах рабочего диапазона измерений.

При подаче расхода жидкости на эталоне в пределах диапазона измерений установки фиксируют изменения показаний установки.

С помощью регулятора расхода устанавливают через технологическую схему поверки расход поверочной жидкости Q_1 . Установленное значение расхода контролируют по показаниям расходомера. Допускается значение расхода определять по формуле

$$Q = \frac{V_0^{п.п} \cdot 3600}{T_{пу}}, \quad (1)$$

где $V_0^{п.п}$ – вместимость калиброванного участка поверяемой установки, определенная по результатам предыдущей поверки (из протокола предыдущей поверки), м³;

$T_{пу}$ – время прохождения поршнем установки калиброванного участка, с.

Примечание – При первичной поверке установки в формуле (1) вместо $V_0^{п.п}$ используют значение номинальной вместимости калиброванного участка установки из эксплуатационного документа на установку.

Результат опробования установки считают положительным, если при увеличении или уменьшении расхода жидкости соответствующим образом меняются показания установки или отрицательным, если при увеличении или уменьшении расхода жидкости соответствующим образом не меняются показания установки. При отрицательном результате выполнение дальнейших операций поверки прекращают.

9 Определение метрологических характеристик средства измерений

9.1 Определение вместимости калиброванного участка установки методом с применением ПУ с весовым устройством или весовое устройство, переключателя потока без накопительной емкости.

Вместимость калиброванного участка установки определяют в следующей последовательности.

При помощи регулятора устанавливают значение расхода поверочной жидкости Q_1 . При этом переключатель потока должен быть переведен в положение «пролет».

Устанавливают нулевое показание весового устройства (далее – ВУ).

В соответствии с эксплуатационным документом производят пуск поршня установки. При прохождении поршня через первый детектор жидкость посредством переключателя потока направляется в бак ВУ. При прохождении поршня через второй детектор поток жидкости посредством переключателя потока направляется в емкость-хранилище.

Примечание — Если измерения производят после длительного перерыва (не менее 1 ч), то перед взвешиванием и пуском поршня установки бак ВУ предварительно смачивают. Для этого наливают в бак ВУ жидкость в количестве, не превышающем предел взвешивания ВУ, но превышающем вместимость калиброванного участка установки. После чего сливают жидкость и выдерживают сливной кран бака ВУ открытым в течение 2 мин.

Фиксируют значения температуры жидкости и давления на входе и выходе установки (в начале и конце движения поршня по калиброванному участку), время прохождения поршня между детекторами (Д1-Д2, Д3-Д4) и интервал времени между импульсами выходного сигнала датчика положения переключателя потока при переключении его в положения «измерение» и «пролет».

Температуру жидкости и давление в установке принимают равными среднему значению двух измерений, произведенных при переключении переключателя потока на «измерение» и «пролет». Разность температур жидкости в начале и конце измерения не должна превышать 0,2 °С.

Заполняют бак ВУ жидкостью. В бак ВУ наливают жидкость массой, не превышающей наибольший предел взвешивания ВУ.

После полного слива жидкости из переключателя потока проверяют герметичность сливного крана бака ВУ и взвешивают бак ВУ с жидкостью.

Измеряют плотность и температуру жидкости в баке ВУ. Для этого после взвешивания из бака ВУ отбирают пробу стеклянным цилиндром. Для этого цилиндр погружают в жидкость до заполнения, выдерживают в жидкости в течение 3 мин и вынимают. Погружают (вертикально) в цилиндр с жидкостью термометр.

Температуру жидкости измеряют термометром. После применения термометр необходимо насухо протереть чистой ветошью. Таким же образом протирают цилиндр. Допускается измерять температуру жидкости термометром непосредственно в баке ВУ.

Отобранную пробу жидкости передают в лабораторию где определяют ее плотность. Полученное значение плотности жидкости приводят к условиям в баке ВУ.

Допускается определять плотность жидкости по таблице, содержащей информацию о плотности жидкости в зависимости от температуры, предоставленной лабораторией. Для дистиллированной воды допускается вычислять по формуле (7). Значения температуры и плотности жидкости фиксируют в протоколе поверки.

Открыв сливной кран, сливают жидкость из ВУ. После полного прекращения истечения жидкости из бака ВУ через сливной патрубкок закрывают сливной кран.

Измерения выполняют не менее семи раз ($n = 7$).

9.2 Определение вместимости калиброванного участка установки методом с применением установки с мерником или мерника, накопительной емкости и переключателя потока

Вместимость калиброванного участка установки определяют в следующей последовательности.

Выбирают вместимость мерника исходя из вместимости установки. Если мерник имеет шкалу на горловине, то предварительно определяют объем жидкости (порция), который нужно наливать, чтобы при всех измерениях уровень жидкости находился в пределах шкалы.

При помощи регулятора расхода устанавливают значение расхода поверочной жидкости Q_1 . При этом переключатель потока должен быть переведен в положение «пролет».

Производят пуск поршня установки. При прохождении поршня через первый детектор жидкость посредством переключателя потока направляется в накопительную емкость. При прохождении поршня через второй детектор поток жидкости посредством переключателя потока направляется в емкость-хранилище.

Примечание — Если измерения выполняют после длительного перерыва (не менее 1 ч), то перед пуском поршня накопительную емкость предварительно смачивают. Для этого наливают в емкость жидкость в количестве, равном или превышающем вместимость калиброванного участка установки, сливают жидкость и выдерживают емкость в течение 2 мин.

Фиксируют значения температуры жидкости и давления на входе и выходе установки (в начале и конце движения поршня по калиброванному участку), время прохождения поршня между детекторами (Д1-Д3, Д2-Д4).

Температуру жидкости и давление в установке принимают равными среднему значению двух измерений при переключении перекидного устройства в положения «измерение» и «пролет». Разность температур жидкости в начале и конце одного измерения не должна превышать 0,2 °С.

Наливают в мерник из накопительной емкости определенный ранее объем жидкости. Если мерник не имеет шкалы, то его заполняют до отметки номинальной вместимости.

Выдерживают заполненный мерник 30 с, проверяют герметичность сливного крана и определяют объем жидкости в мернике (по шкале или отметке номинальной вместимости) и ее температуру. Если уровень жидкости в мернике окажется выше отметки номинальной вместимости, то допускается слить излишек жидкости, измерить ее объем (колбой 1-го класса, цилиндром) и прибавить его к номинальной вместимости мерника или вылить излишек обратно в накопительную емкость.

Открывают сливной кран мерника и сливают жидкость из мерника. При помощи термометра, который погружают в струю жидкости при опорожнении мерника, измеряют температуру жидкости.

Примечания

1 При отсутствии возможности измерить температуру жидкости в мернике при сливе допускается измерять температуру жидкости путем погружения в мерник термометра. Термометр выдерживают в жидкости не менее 30 с, после чего извлекают его из мерника и производят фиксирование показания температуры.

2 В случае, если конструктивное исполнение предусматривает встроенный в корпус мерника термометр, температура измеряется с его помощью.

Выдержав не менее 1 мин после стекания жидкости из мерника, закрывают сливной кран мерника.

Значения температуры и объема жидкости в мернике фиксируют в протоколе (Приложение Б ГОСТ Р 8.1027-2023).

Производят описанные операции до полного опорожнения накопительной емкости. После слива последней порции жидкости из накопительной емкости выдерживают сливной кран накопительной емкости в открытом положении 2 мин и закрывают его. Если уровень жидкости при последнем заполнении мерника окажется ниже отметки номинальной вместимости, то ее объем

определяют мерником 1-го разряда меньшей вместимости, колбой 1-го класса или цилиндром, сливая жидкость из мерника или доливая его до отметки номинальной вместимости. Полученный объем долитой жидкости отнимают от значения номинальной вместимости мерника.

Если вместимость накопительной емкости достаточна, допускается определять сразу суммарную вместимость калиброванного участка установки (1-3-1 или 2-4-2) следующим образом:

- после прохождения поршня в «прямом» направлении (1-3 или 2-4), не сливая жидкость из накопительной емкости, переключить четырехходовой кран установки в положение «назад»;
- после прохождения поршня в обратном направлении (3-1 или 4-2) определяют объем жидкости в накопительной емкости в указанной выше последовательности.

Измерения выполняют не менее семи раз ($n = 7$).

9.3 Проверка отсутствия протечек

Выполняют три измерения по 9.1 и/или 9.2, установив регулятором расхода значение Q_2 . Определяют среднее значение вместимости калиброванного участка установки при стандартных условиях (температура 20 °С, избыточное давление 0 МПа) и находят относительное отклонение вместимости калиброванного участка установки от значения, полученного при определении метрологических характеристик установки.

10 Подтверждение соответствия средства измерений метрологическим требованиям

10.1 Определение вместимости калиброванного участка установки методом с применением установки с весовым устройством или весовое устройство, переключателя потока без накопительной емкости.

Определяют значение коэффициента, учитывающего влияние температуры стенок установки на вместимость калиброванного участка установки при i -м измерении жидкости C_{tsp_i} , по формуле

$$C_{tsp_i} = 1 + 3 \cdot \alpha_{\text{л}} \cdot (\bar{t}_{yi} - 20), \quad (2)$$

где $\alpha_{\text{л}}$ – коэффициент линейного расширения материала стенок установки, 1/°С (принимают согласно приложению В ГОСТ Р 8.1027-2023);

\bar{t}_{yi} – среднее значение температуры жидкости в установке за i -е измерение, °С, определяемое по формуле

$$\bar{t}_{yi} = \frac{(t_{yi \text{ вх}} + t_{yi \text{ вых}})_{\text{начало}} + (t_{yi \text{ вх}} + t_{yi \text{ вых}})_{\text{конец}}}{4}, \quad (3)$$

где $t_{yi \text{ вх}}$, $t_{yi \text{ вых}}$ – температура на входе и выходе установки в начале и конце i -го измерения, °С.

Определяют значение коэффициента, учитывающего влияние давления жидкости на вместимость калиброванного участка установки при i -м измерении C_{psp_i} по формуле

$$C_{psp_i} = 1 + \frac{0,95 \cdot D \cdot \bar{P}_{yi}}{E \cdot s}, \quad (4)$$

где D – внутренний диаметр калиброванного участка установки, мм (берут из эксплуатационного документа на установку);

E – модуль упругости материала стенок установки, МПа (принимают согласно приложению В ГОСТ Р 8.1027-2023);

s – толщина стенок установки, мм (берут из эксплуатационного документа установки);

\bar{P}_{yi} – среднее значение давления в установке за i -е измерение, МПа, определяемое по формуле

$$\bar{P}_{yi} = \frac{(P_{yi \text{ вх}} + P_{yi \text{ вых}})_{\text{начало}} + (P_{yi \text{ вх}} + P_{yi \text{ вых}})_{\text{конец}}}{4}, \quad (5)$$

где $P_{yi \text{ вх}}$ – давление на входе установки в начале и конце i -го измерения, МПа;

$P_{yi \text{ вых}}$ – давление на выходе установки в начале и конце i -го измерения, МПа.

Определяют значение коэффициента, учитывающего влияние давления на объем жидкости в установке при i -м измерении C_{plp_i} по формуле

$$C_{plp_i} = \frac{1}{1 - \bar{P}_{yi} \cdot F}, \quad (6)$$

где F – коэффициенты сжимаемости жидкости, 1/МПа (принимают согласно приложению Г ГОСТ Р 8.1027-2023).

Определяют значение коэффициента, учитывающего влияние разности температуры в баке ВУ и установки на объем жидкости при i -м измерении и j -й порции $C_{tdw_{ij}}$, по формуле

$$C_{tdw_{ij}} = \frac{\rho_{ij}}{\rho_{yi}}, \quad (7)$$

где ρ_{ij} – плотность жидкости при i -м измерении j -й порции, кг/м³, измеренная в пробе, или определенная по таблицам, или вычисленная по формуле (8)

ρ_{yi} – значение плотности жидкости в установке при i -м измерении, кг/м³, измеренной в пробе, или определенной по таблицам или вычисленной по формуле (8) для значения температуры \bar{t}_{yi} .

$$\begin{aligned} \rho_{ij}(\rho_{yi}) = & 999,8395639 + 0,06798299989 \cdot t_{ij}(\bar{t}_{yi}) - 0,009106025564 \cdot t_{ij}(\bar{t}_{yi})^2 + \\ & + 0,0001005272999 \cdot t_{ij}(\bar{t}_{yi})^4 + 0,00000000659179606 \cdot t_{ij}(\bar{t}_{yi})^5 \end{aligned} \quad (8)$$

где t_{ij} – температура жидкости в баке ВУ при i -м измерении j -й порции, °С;

\bar{t}_{yi} – среднее значение температуры жидкости в установке за i -е измерение, °С, определяемое по формуле (3)

Определяют среднее значение вместимости калиброванного участка установки при стандартных условиях (температура 20 °С, избыточное давление 0 МПа), V_0 , м³, по формуле

$$V_0 = \frac{\sum_{i=1}^n V_{0i}}{n} \quad (9)$$

Определяют вместимость калиброванного участка установки при стандартных условиях (температура 15 °С, избыточное давление 0 МПа), V_0^{15} , м³, по формуле

$$V_0^{15} = V_0 \cdot (1 - 3 \cdot \alpha_{\text{л}} \cdot (20 - 15)). \quad (10)$$

Определяют вместимость калиброванного участка установки при i -м измерении в условиях поверки V_i , м³, по формуле

$$V_i = \left(\frac{\rho_i}{\rho_i - \rho_a} \right) \cdot k_B \cdot k_T \cdot \frac{m_i}{\rho_i}, \text{ м}^3 \quad (11)$$

где m_i – масса жидкости при i -м измерении, кг;

k_B – постоянная ВУ (из протокола поверки ВУ или эксплуатационного документа). При отсутствии информации в протоколе поверки или эксплуатационном документе на ВУ принимается равной 1. При применении в качестве средства поверки ПУ с ВУ принимается равной 1;

ρ_i – плотность жидкости при i -м измерении, кг/м³, измеренная в пробе или определенная по таблицам. Для дистиллированной воды допускается вычислять по формуле (8) для температуры жидкости в баке ВУ при i -м измерении t_i , °С;

k_T – коэффициент, учитывающий разновременность переключения перекидного устройства в положение «измерение» и «пролет» (при применении электромагнитных клапанов и в качестве средства поверки ПУ с ВУ, принимают равным 1), определяемый по формуле

$$k_T = \frac{T_i}{T_i}, \quad (12)$$

где T_i – время прохождения поршня между детекторами при i -м измерении, с;

T_i – интервал времени между импульсами выходного сигнала датчика положения перекидного устройства при переключении его в положения «измерение» и «пролет», с.

Определяют значение коэффициента, учитывающего влияние температуры стенок установки на вместимость калиброванного участка установки при i -м измерении жидкости C_{tsp_i} по формуле (2).

Определяют значение коэффициента, учитывающего влияние давления жидкости на вместимость калиброванного участка установки при i -м измерении C_{psp_i} по формуле (4).

Определяют значение коэффициента, учитывающего влияние разности температур в баке ВУ и установки на объем жидкости при i -м измерении C_{tdw_i} по формуле (7) для значений плотности жидкости ρ_i , ρ_{yi} .

Определяют объем жидкости в баке ВУ при стандартных условиях (температура 20 °С, избыточное давление 0 МПа) при i -м измерении, V_{0i} , м³, по формуле

$$V_{0i} = \frac{V_i \cdot C_{tdw_i}}{C_{tsp_i} \cdot C_{psp_i} \cdot C_{plp_i}} \quad (13)$$

10.1.1 Определение среднего квадратического отклонения случайной составляющей погрешности установки

Определяют среднее квадратическое отклонение (далее – СКО) случайной составляющей погрешности установки S_{0y} , %, по формуле

$$S_{0y} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (V_{0i} - V_0)^2}{n-1}} \cdot \frac{100}{V_0}, \quad (14)$$

Проверяют выполнение условия:

$$S_{0y} \leq 0,015 \%, \quad (15)$$

В случае невыполнения условия (15) выявляют и устраняют причины, выявляют промахи в соответствии с приложением Д ГОСТ Р 8.1027-2023. Допускают не более одного промаха. В противном случае поверку прекращают. После исключения промаха выполняют дополнительное измерение.

Проводят повторное определение СКО случайной составляющей погрешности установки по (14) и проверку выполнения условия (15). При повторном невыполнении условия (15) поверку прекращают.

При выполнении условия (15) поверку продолжают.

10.1.2 Определение доверительных границ неисключенной систематической погрешности

Определяют неисключенную систематическую погрешность установки $\theta_{\Sigma 0}$, %, по формуле

$$\theta_{\Sigma 0} = k \cdot \sqrt{\theta_B^2 + \theta_D^2 + \theta_t^2}, \quad (16)$$

где k – коэффициент определяют по приложению Е ГОСТ Р 8.1027-2023;

θ_B – пределы допускаемой относительной погрешности ВУ, %;

θ_D – пределы допускаемой относительной погрешности СИ плотности, %, определяемые по формуле

$$\theta_D = \frac{\Delta_a}{(\rho_{ij})_{\min}} \cdot 100, \quad (17)$$

где Δ_a – пределы допускаемой абсолютной погрешности СИ плотности, кг/м³;

θ_t – границы составляющих неисключенных систематических погрешностей, обусловленных погрешностью измерений температуры, %, вычисляем по формуле:

$$\theta_t = \beta_{\text{ж}} \cdot \sqrt{\Delta t_0^2 + \Delta t_y^2} \cdot 100, \quad (18)$$

где $\beta_{\text{ж}}$ – коэффициент объемного расширения жидкости, 1/°C (принимают согласно приложению Г ГОСТ Р 8.1027-2023);

Δt_y – пределы допускаемой абсолютной погрешности СИ температуры при измерении температуры жидкости в установке, °C;

Δt_0 – пределы допускаемой абсолютной погрешности СИ температуры при измерении температуры жидкости в цилиндре с жидкостью, °C

Примечания

1 При определении плотности поверочной жидкости по таблицам или расчетным способом в формуле (16) значение θ_d принимают равным нулю.

2 При плотности поверочной жидкости $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$ принимают $\theta_t = 0,01\%$.

3 При применении в качестве средства поверки ПУ $\theta_{\Sigma 0}$ принимают равной пределам допускаемой относительной погрешности (доверительным границам суммарной погрешности) ПУ.

10.1.3 Определение случайной составляющей погрешности определения среднего значения вместимости установки

Определяют границы случайной составляющей погрешности определения среднего значения вместимости установки θ_{V0} , %, по формуле

$$\theta_{V0} = t_{0,95} \cdot S_x, \quad (19)$$

где $t_{0,95}$ – коэффициент Стьюдента при $P=0,95$ и количестве измерений n

где S_x – СКО среднего арифметического среднего значения вместимости установки, %, определяемое по формуле

$$S_x = \frac{S_0}{\sqrt{n}} \quad (20)$$

10.1.4 Определение относительной погрешности (доверительных границ суммарной погрешности) определения вместимости установки

Определяют относительную погрешность (доверительные границы суммарной погрешности) определения вместимости установки δ_0 , %, по формуле

$$\delta_0 = K \cdot S_{\Sigma}, \quad (21)$$

где S_{Σ} – СКО суммы неисключенных систематических и случайных погрешностей, %, определяют по формуле

$$S_{\Sigma} = \sqrt{S_{\theta}^2 + S_x^2}, \quad (22)$$

где S_{θ} – СКО суммы составляющих неисключенной систематической погрешности, %, определяют по формуле

$$S_{\theta} = \frac{\theta_{\Sigma 0}}{\sqrt{3}}, \quad (23)$$

где K – коэффициент для нахождения доверительных границ суммы случайных и неисключенных систематических погрешностей, определяют по формуле

$$K = \frac{\theta_{V0} + \theta_{\Sigma 0}}{S_{\theta} + S_x}. \quad (24)$$

Проверяют выполнение условия

$$\delta_0 \leq \delta, \quad (25)$$

где δ – пределы допускаемой относительной погрешности (доверительные границы суммарной погрешности) определения вместимости установки согласно описанию типа, %.

Результат считают положительным, если выполняется условие (25) или отрицательным, если не выполняется условие (25). При отрицательном результате выполнение дальнейших операций по поверке прекращают.

10.2 Определение вместимости калиброванного участка установки методом с применением установки с мерником или мерника, накопительной емкости и переключателя потока

Значение коэффициента, учитывающего влияние температуры стенок установки на вместимость калиброванного участка установки при i -м измерении жидкости C_{tsp_i} , определяют по формуле (2)

Значение коэффициента, учитывающего влияние давления жидкости на вместимость калиброванного участка установки при i -м измерении C_{psp_i} определяют по формуле (4)

Определяют значение коэффициента, учитывающего влияние температуры стенок мерника на вместимость мерника при i -м измерении C_{tsm_i} по формуле

$$C_{tsm_i} = 1 + 3 \cdot \alpha_m \cdot (\bar{t}_{0mi} - 20) = 1 + \alpha_0 \cdot (\bar{t}_{0mi} - 20), \quad (26)$$

где α_m – коэффициент линейного расширения материала стенок мерника, $1/^\circ\text{C}$ (принимают согласно приложению В ГОСТ Р 8.1027-2023);

\bar{t}_{0mi} – средневзвешенное значение температуры жидкости в мернике при i -м измерении, $^\circ\text{C}$, определяемое по формуле

$$\bar{t}_{0mi} = \frac{\sum_{j=1}^r (V_{ij} \cdot t_{ij})}{\sum_{j=1}^r V_{ij}}, \quad (27)$$

Определяют значение коэффициента, учитывающего влияние давления на объем поверочной жидкости в установке при i -м измерении C_{plp_i} по формуле (6).

Определяют значение коэффициента, учитывающего влияние разности температуры в мернике и установки на объем поверочной жидкости при i -м измерении C_{tdw_i} по формуле (7) для значений плотности поверочной жидкости ρ_{mi} , ρ_{yi} .

Определяют вместимость калиброванного участка установки при стандартных условиях (температура 20°C , избыточное давление 0 МПа) при i -м измерении, V_{0i} , м^3 , по формуле

$$V_{0i} = \frac{V_i \cdot C_{tdw_i} \cdot C_{tsm_i}}{C_{tsp_i} \cdot C_{psp_i} \cdot C_{plp_i}}, \quad (28)$$

Определяют среднее значение вместимости калиброванного участка установки при стандартных условиях (температура 20°C , избыточное давление 0 МПа), V_0 , м^3 , по формуле (10).

Определяют вместимость калиброванного участка установки при стандартных условиях (температура 15°C , избыточное давление 0 МПа), V_0^{15} , м^3 , по формуле (11).

Определяют объем жидкости в мернике при i -м измерении в условиях поверки V_i , м³, по формуле

$$V_i = k_T \sum_{j=1}^r V_{ij}, j=1 \dots r, \quad (29)$$

где V_{ij} – объем j -й порции жидкости в мернике при i -м измерении, м³;

r – количество j -х порций жидкости при i -м измерении.

k_T – коэффициент, учитывающий разновременность переключения перекидного устройства в положение «измерение» и «пролет» (при применении электромагнитных клапанов и в качестве средства поверки ПУ с ВУ, принимают равным 1), определяемый по формуле 13.

10.2.1 Определение среднего квадратического отклонения случайной составляющей погрешности установки

Определяют среднее квадратическое отклонение (далее – СКО) случайной составляющей погрешности установки S_{0y} , %, по формуле

$$S_{0y} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (V_{0i} - V_0)^2}{n-1}} \cdot \frac{100}{V_0} \quad (30)$$

Проверяют выполнение условия:

$$S_{0y} \leq 0,015 \% \quad (31)$$

В случае невыполнения условия (31) выявляют и устраняют причины, выявляют промахи в соответствии с приложением Д ГОСТ Р 8.1027-2023. Допускают не более одного промаха. В противном случае поверку прекращают. После исключения промаха выполняют дополнительное измерение.

Проводят повторное определение СКО случайной составляющей погрешности установки по (30) и проверку выполнения условия (31). При повторном невыполнении условия (31) поверку прекращают.

При выполнении условия (31) поверку продолжают.

10.2.2 Определение доверительных границ неисключенной систематической погрешности
Определяют неисключенную систематическую погрешность установки $\theta_{\Sigma 0}$, %, по формуле

$$\theta_{\Sigma 0} = k \cdot \sqrt{\theta_M^2 + \theta_t^2}, \quad (32)$$

где k – коэффициент определяют по приложению Е ГОСТ Р 8.1027-2023;

θ_M – пределы допускаемой основной относительной погрешности мерника, %;

θ_t – границы составляющих неисключенных систематических погрешностей, обусловленных погрешностью измерений температуры, %, вычисляем по формуле:

$$\theta_t = \beta_{\text{ж}} \cdot \sqrt{\Delta t_0^2 + \Delta t_y^2} \cdot 100, \quad (34)$$

где $\beta_{\text{ж}}$ – коэффициент объемного расширения жидкости, 1/°С (принимают согласно приложению Г ГОСТ Р 8.1027-2023);

Δt_y – пределы допускаемой абсолютной погрешности СИ температуры при измерении температуры жидкости в установке, °С;

Δt_0 – пределы допускаемой абсолютной погрешности СИ температуры при измерении температуры жидкости в цилиндре с жидкостью, °С

Примечания

1 При плотности поверочной жидкости $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$ принимают $\theta_t = 0,01\%$.

2 При применении в качестве средства поверки ПУ $\theta_{\Sigma 0}$ принимают равной пределам допускаемой относительной погрешности (доверительным границам суммарной погрешности) ПУ.

10.2.3 Определение случайной составляющей погрешности определения среднего значения вместимости установки

Определяют границы случайной составляющей погрешности определения среднего значения вместимости установки θ_{V0} , %, по формуле

$$\theta_{V0} = t_{0,95} \cdot S_x, \quad (35)$$

где $t_{0,95}$ – коэффициент Стьюдента при $P=0,95$ и количестве измерений n

где S_x – СКО среднего арифметического среднего значения вместимости установки, %, определяемое по формуле

$$S_x = \frac{S_0}{\sqrt{n}} \quad (36)$$

10.2.4 Определение относительной погрешности (доверительных границ суммарной погрешности) определения вместимости установки

Определяют относительную погрешность (доверительные границы суммарной погрешности) определения вместимости установки δ_0 , %, по формуле

$$\delta_0 = K \cdot S_{\Sigma}, \quad (37)$$

где S_{Σ} – СКО суммы неисключенных систематических и случайных погрешностей, %, определяют по формуле

$$S_{\Sigma} = \sqrt{S_{\theta}^2 + S_x^2}, \quad (38)$$

где S_{θ} – СКО суммы составляющих неисключенной систематической погрешности, %, определяют по формуле

$$S_{\theta} = \frac{\theta_{\Sigma 0}}{\sqrt{3}}, \quad (39)$$

где K – коэффициент для нахождения доверительных границ суммы случайных и неисключенных систематических погрешностей, определяют по формуле

$$K = \frac{\theta_{V0} + \theta_{\Sigma 0}}{S_{\theta} + S_x}. \quad (40)$$

Проверяют выполнение условия

$$\delta_0 \leq \delta. \quad (41)$$

где δ – пределы допускаемой относительной погрешности (доверительные границы суммарной погрешности) определения вместимости установки согласно описанию типа, %.

Результат считают положительным, если выполняется условие (11) или отрицательным, если не выполняется условие (11). При отрицательном результате выполнение дальнейших операций по поверке прекращают.

10.3 Проверка отсутствия протечек

Выполняют три измерения по 10.1 и 10.2, установив регулятором расхода значение Q_2 . Определяют среднее значение вместимости калиброванного участка установки при стандартных условиях (температура 20 °С, избыточное давление 0 МПа) и находят относительное отклонение вместимости калиброванного участка установки от значения, полученного при определении метрологических характеристик установки.

Регулятором расхода устанавливают значение расхода равное Q_2 .

Выполняют три измерения и определяют вместимость калиброванного участка установки при стандартных условиях (температура 20 °С, избыточное давление 0 МПа), $V_{0i}^{\text{прот}}$, м³ по формулам (13), (28).

Определяют по формуле (2) среднее значение вместимости калиброванного участка установки при стандартных условиях (температура 20 °С, избыточное давление 0 МПа), $\overline{V_0^{\text{прот}}}$, м³.

Определяют относительное отклонение вместимости калиброванного участка установки $V_0^{\text{прот}}$ от значения, полученного при определении метрологических характеристик установки, δ_V , %, по формуле

$$\delta_V = \frac{\overline{V_0^{\text{прот}}} - V_0}{V_0} \cdot 100. \quad (42)$$

Проверяют выполнение условия

$$|\delta_V| \leq 0,35 \cdot \delta \%. \quad (43)$$

При выполнении условий (13), (28) результат считают положительным.

При невыполнении условий (13), (28) проводят анализ результатов измерений.

Если $\delta_V > 0$ и $|\delta_V| > 0,35 \cdot \delta \%$, то это свидетельствует о наличии протечек жидкости в установке и необходимости их устранения, результат считают отрицательным.

Если $\delta_V < 0$ и $|\delta_V| > 0,35 \cdot \delta \%$, то это свидетельствует о допущенных ошибках при выполнении измерений и необходимости повторения измерений после устранения причин, вызвавших ошибки. При повторной ошибке результат считают отрицательным.

При отрицательном результате выполнение дальнейших операций по поверке прекращают.

10.3.1 Определение относительного отклонения вместимости калиброванного участка установки от значения, полученного при предыдущей поверке

Данный пункт выполняют для каждого калибровочного участка (вместимости).

Относительное отклонение вместимости калиброванного участка установки от значения вместимости, полученного при предыдущей поверке, δ_{00} , %, определяют по формуле

$$\delta_{00} = \frac{V_0 - V_0^{\text{п.п}}}{V_0^{\text{п.п}}} \cdot 100, \quad (44)$$

где $V_0^{\text{п.п}}$ – значение вместимости калиброванного участка установки, определенное по результатам предыдущей поверки установки, м³.

Примечание – При первичной поверке или после ремонта установки δ_{00} не определяют.

Проверяют выполнение условия

$$|\delta_{00}| \leq \delta \% \quad (45)$$

При невыполнении условия (45) анализируют полученные результаты, устраняют причины их возникновения и проводят повторную поверку установки. При повторном невыполнении условия (45) поверку прекращают.

10.4 Проверка соответствия средства измерений обязательным требованиям к эталону

При положительных результатах поверки установка в зависимости от пределов допускаемой относительной погрешности (доверительных границ суммарной погрешности), указанных в паспорте на установку, может соответствовать рабочему эталону 1 разряда/2 разряда единицы объема жидкости в потоке в соответствии с ГПС (часть 2), утвержденной приказом Росстандарта от 26.09.2022 № 2356

11 Оформление результатов поверки

11.1 Результаты измерений и вычислений вносят в протокол поверки (рекомендуемая форма указана в Приложении Б ГОСТ Р 8.1027-2023 (метод № 2 и метод № 3)).

Сведения о результатах поверки передают в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений в соответствии с порядком проведения поверки средств измерений, предусмотренным действующим законодательством Российской Федерации в области обеспечения единства измерений.

11.2 При положительных результатах поверки по заявлению заказчика оформляют свидетельство о поверке, подтверждающее соответствие установки обязательным требованиям к эталонам в соответствии с действующим законодательством Российской Федерации в области обеспечения единства измерений, к которому прилагают протокол поверки. Знак поверки наносится свинцовыми (пластмассовыми) пломбами, установленными на контрольных проволоках, пропущенных через отверстия завернутых винтов крепления и крышек детекторов шарового поршня и через отверстия в двух шпильках, расположенных диаметрально на всех присоединительных фланцах калиброванного участка.

11.3 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 в области обеспечения единства измерений.