

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

Федеральное государственное унитарное предприятие
«Всероссийский научно-исследовательский институт расходомерии»

Государственный научный метрологический центр

ФГУП «ВНИИР»

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель директора

по развитию ФГУП «ВНИИР»

А.С. Тайбинский

« 22 » 11 2017 г.



ИНСТРУКЦИЯ

Государственная система обеспечения единства измерений

УСТАНОВКИ ПОВЕРОЧНЫЕ FMD

Методика поверки

МП 0689-1-2017

г. Казань

2017

Настоящая инструкция распространяется на установки поверочные FMD (далее – установки), предназначенные для измерений, хранения и передачи единицы объема протекающей жидкости, и устанавливает методику и последовательность их первичной и периодической поверок.

Интервал между поверками – 2 года для установок стационарного исполнения и 1 год для установок передвижного исполнения.

1 ОПЕРАЦИИ ПОВЕРКИ

При проведении поверки выполняют следующие операции:

- внешний осмотр (6.1);
- опробование (6.2);
- определение метрологических характеристик (6.3).

2 СРЕДСТВА ПОВЕРКИ

2.1 При проведении поверки применяют следующие средства поверки:

- рабочий эталон единицы объема жидкости 1-го разряда в соответствии с ГОСТ 8.470-82 (далее – ЭО) с пределами допускаемой относительной погрешности $\pm 0,02\%$;
- весы специальные электронные Kx-T4 Line/K-Line (регистрационный номер 66571-17) (далее – весы) с пределами допускаемой относительной погрешности не более $\pm 0,01\%$;
- Государственный первичный специальный эталон единиц массы и объема жидкости в потоке, массового и объемного расходов жидкости ГЭТ 63-2017 (далее – ГЭТ);
- цилиндры мерные стеклянные класса точности А (регистрационный номер 45088-10);
- манометры МТИ (регистрационный номер 1844-15) с диапазоном измерений от 0 до 0,6 МПа, с классом точности 0,6;
- расходомеры-счетчики ультразвуковые OPTISONIC 3400 (регистрационный номер 57762-14) с пределами допускаемой относительной погрешности измерений объемного расхода $\pm 1,5\%$;
- термометр ртутный стеклянный лабораторный ТЛ-4 (регистрационный номер 303-91) с пределами допускаемой абсолютной погрешности $\pm 0,2^\circ\text{C}$, с диапазоном измерений температуры от плюс 10 до плюс 30 $^\circ\text{C}$;
- секундомер с погрешностью $\pm 1,8$ с.

2.2 Допускается применение аналогичных средств поверки, обеспечивающих определение метрологических характеристик поверяемых СИ с требуемой точностью.

2.3 Все эталоны, используемые в качестве средств поверки, должны быть аттестованы в установленном порядке.

3 ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ

3.1 При проведении поверки соблюдают следующие требования:

- действующие на предприятии, на котором производится поверка;
- изложенные в руководстве по эксплуатации установки;
- изложенные в эксплуатационных документах на средства поверки.

При проведении поверки должны соблюдаться требования «Правил технической эксплуатации электроустановок потребителей», «Правил техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей», «Правил пожарной безопасности в Российской Федерации» и «Правил безопасности в нефтяной и газовой промышленности».

3.2 Наибольшее давление при поверке не должно превышать значения, указанного в эксплуатационных документах на установку и средства поверки.

3.3 К средствам поверки и используемому при поверке оборудованию обеспечивают свободный доступ. При необходимости предусматривают лестницы и площадки, соответствующие требованиям безопасности.

3.4 Освещенность должна обеспечивать отчетливую видимость применяемых средств поверки.

3.5 При появлении течи измеряемой среды (жидкости) и других ситуаций, нарушающих процесс поверки, поверка должна быть прекращена.

4 УСЛОВИЯ ПОВЕРКИ

4.1 При проведении поверки соблюдают следующие условия:

- измеряемая среда:
 - при поверке по 6.3.1 дистиллированная или деионизированная вода
 - при поверке по 6.3.2 дистиллированная или вода по СанПиН 2.1.4.1074-2001
 - при поверке по 6.3.3 вода по СанПиН 2.1.4.1074-2001
- температура измеряемой среды (20±10)
- температура окружающего воздуха, °С (20±5)
- атмосферное давление, кПа от 84 до 107

4.2 Отклонение поверочного расхода от установленного значения в процессе поверки не должно превышать ±2,5%.

4.3 Движение поршня установки при проведении измерений должно быть равномерным.

4.4 Должны отсутствовать потоки воздуха в помещении (например, сквозняков).

4.5 Вблизи средств поверки или установки должны отсутствовать какие-либо нагревательные элементы, способствующие одностороннему нагреванию средств поверки или установки.

5 ПОДГОТОВКА К ПОВЕРКЕ

5.1 При подготовке к поверке выполняют следующие работы:

- проверяют выполнение условий разделов 2 – 4 настоящей инструкции;
- подготовка к работе установки и средств поверки согласно их эксплуатационных документов;
- проверка герметичности фланцевых соединений и узлов гидравлической системы рабочим давлением.

5.2 Перед проведением поверки установки, которая находилась в эксплуатации проверяют степень очистки ее внутренней поверхности. Чистоту внутренней поверхности установки после промывки считают удовлетворительной, если в пробе измеряемой среды, отобранной из установки в стеклянный сосуд, отсутствуют масляные и иные следы измеряемой среды, применяемой при эксплуатации.

5.3 Подключают установку к средствам поверки в соответствии с требованиями эксплуатационных документов на установку.

5.4 Удаляют из установки газ (воздух). Производят несколько раз пуск поршня, проверяя после каждого пуска отсутствие газа (воздуха). Считают, что газ (воздух) удален полностью, если из кранов вытекает струя измеряемой среды без газовых (воздушных) пузырьков. Операции по проверке отсутствия газа (воздуха) в установке проводят после каждого перерыва в работе с остановкой насоса.

5.5 Обеспечивают циркуляцию измеряемой среды в установке и поверочной установке для стабилизации температуры и давления измеряемой среды.

6 ПРОВЕДЕНИЕ ПОВЕРКИ

6.1 Внешний осмотр

При внешнем осмотре устанавливается соответствие установки следующим требованиям:

- комплектность, маркировка должны соответствовать технической документации;
- на установке не должно быть внешних механических повреждений, влияющих на ее работоспособность.

6.2 Опробование

Опробование поверяемой установки проводят путём запуска поршня и проверки работоспособности всех средств поверки и вспомогательного оборудования, применяемых для поверки установки.

6.3 Определение метрологических характеристик

Определение метрологических характеристик установки проводят по 6.3.1, 6.3.4, 6.3.5 при использовании весов или по 6.3.2, 6.3.4, 6.3.5 при использовании ЭО или по 6.3.3, 6.3.4, 6.3.5 при использовании ГЭТ.

Значение объемного расхода при определении метрологических характеристик по 6.3.1, 6.3.2 и 6.3.4, Q_1 , м³/ч должно превышать значение объемного расхода при проверке протечек по 6.3.4, Q_2 , м³/ч, не менее чем в 2 раза. Значение Q_2 должно быть равно наименьшему значению объемного расхода в соответствии с данными указанными в паспорте установки. Допускается значение объемного расхода Q_2 устанавливать равным значению, заявленному владельцем установки в письменной заявке (заявлении). Значение объемного расхода Q_2 устанавливается с допуском $\pm 10\%$ от определенного (заданного) значения. Значения объемных расходов Q_1 и Q_2 должны находиться внутри диапазона объемного расхода установки, указанный в ее паспорте.

При определении метрологических характеристик по 6.3.1, 6.3.2 и 6.3.4 определение расхода измеряемой среды проводится с применением счетчика-расходомера жидкости или с применением весов или ЭО или установки по формуле:

$$Q = \frac{V_p \cdot 3,6}{T}, \quad (1)$$

где V_p – значение объема жидкости при стандартных условиях (температуре измеряемой среды плюс 20°C и избыточном давлении равным 0), прошедшей через калиброванный участок установки за время измерения, определенное по показаниям ЭО или весов или по результатам предыдущей поверки установки (из свидетельства о предыдущей поверке), или в соответствии со значением вместимости, указанным в паспорте установки, дм³;

T – время измерения (время перемещения поршня установки между детекторами), с.

6.3.1 Определение метрологических характеристик весовым методом

Определение вместимости установки при стандартных условиях основано на измерениях объема жидкости, вытесняемой поршнем установки, с помощью весов и приведения измеренного объема к стандартным условиям.

Сливают жидкость, вытесненную поршнем установки, в емкость и взвешивают.

Значения давления и температуры измеряемой среды в установке, показания весов заносят в протокол.

Количество измерений не менее семи. За одно измерение принимают один проход поршня установки.

Фактическую массу измеряемой среды при i -ом измерении вычисляют по формуле

$$M_{\sigma i} = M_i \cdot \frac{\left(1 - \frac{\rho_{\sigma 03.i}}{\rho_z}\right)}{\left(1 - \frac{\rho_{\sigma 03.i}}{\rho_{\sigma i}}\right)}, \quad (2)$$

- где M_i – масса измеряемой среды, измеренная весами при i -ом измерении, кг;
 $\rho_{\sigma 03.i}$ – плотность воздуха, вычисленная по формуле (3) для i -го измерения, кг/м³;
 ρ_z – плотность гирь, кг/м³;
 $\rho_{\sigma i}$ – плотность измеряемой среды (воды), вычисленная по формуле (4) для i -го измерения, кг/м³.

Плотность воздуха при i -ом измерении, кг/м³, вычисляют по формуле

$$\rho_{\sigma 03.i} = 1,223068 \cdot \left(1 - \frac{0,1049869 \cdot h}{1000}\right) \cdot \left(\frac{519,67}{1,8 \cdot t_{\sigma 03 i} + 491,67}\right), \quad (3)$$

- где h – высота над уровнем моря, м;
 $t_{\sigma 03 i}$ – температура воздуха при i -ом измерении, °С.

Плотность измеряемой среды (воды) при i -ом измерении, кг/м³, вычисляют по формуле (4).

$$\rho_{\sigma i} = (999,8395639 + 0,06798299989 \cdot t_{\sigma i} - 0,009106025564 \cdot t_{\sigma i}^2 + 0,0001005272999 \cdot t_{\sigma i}^3 - 0,000001126713526 \cdot t_{\sigma i}^4 + 0,000000006591795606 \cdot t_{\sigma i}^5), \quad (4)$$

- где $t_{\sigma i}$ – температура измеряемой среды в емкости при i -ом измерении, °С.

Объем измеряемой среды в емкости, при i -ом измерении при температуре измерений массы измеряемой среды в емкости, м³, вычисляют по формуле

$$V_{\sigma i} = \frac{M_{\sigma i}}{\rho_{\sigma i}} \quad (5)$$

Вместимость установки при i -ом измерении при стандартных условиях ($t = +20$ °С, $P_{изб.} = 0$ МПа), m^3 , вычисляют по формулам

$$V_{oi} = \frac{V_{oi}}{CCF}, \quad (6)$$

$$CCF = CTS \cdot CPS \cdot CPL, \quad (7)$$

$$CTS = (1 + (t_{yi} - 20) \cdot Ga) \cdot (1 + (t_{di} - 20) \cdot Gl), \quad (8)$$

$$CPS = 1 + \frac{P_{yi} \cdot D_y}{E \cdot d_y}, \quad (9)$$

$$CPL = \frac{1}{(1 - P_{yi} \cdot F)}, \quad (10)$$

- где t_{yi} – температура в установке, °С;
 G_a – коэффициент объемного расширения стенок установки (берут из эксплуатационных документов установки), °С⁻¹;
 t_{di} – температура металла возле детекторов (берут из эксплуатационных документов установки), °С;
 G_l – коэффициент линейного расширения панели крепления детекторов (берут из эксплуатационных документов установки), °С⁻¹;
 P_{yi} – давление в установке, МПа;
 F – коэффициент сжимаемости (для воды $F = 4,64 \cdot 10^{-4}$ МПа⁻¹), МПа⁻¹;
 D_y – внутренний диаметр калиброванного участка установки (берут из эксплуатационных документов установки), мм;
 d_y – толщина стенок установки (берут из эксплуатационных документов установки), мм;
 E – модуль упругости материала стенок установки (берут из эксплуатационных документов установки), МПа;
 i – номер измерения.

Вместимость установки при стандартных условиях, \bar{V}_o , m^3 , вычисляют по формуле

$$\bar{V}_o = \frac{\sum_{i=1}^n V_{oi}}{n}, \quad (11)$$

где n – количество измерений.

Проводят исключение грубых погрешностей в соответствии с Приложением А. Количество удовлетворительных измерений должно быть не менее 7.

Среднее квадратическое отклонение (СКО) значений вместимости при стандартных условиях, %, вычисляют по формуле

$$S = \frac{1}{\bar{V}_o} \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (V_{oi} - \bar{V}_o)^2}{n-1}} \cdot 100 \quad (12)$$

Проверяют выполнение следующего условия

$$S \leq 0,015 \% \quad (13)$$

При невыполнении условия (13) результаты поверки считаются отрицательными.
СКО среднего значения вместимости при стандартных условиях вычисляют по формуле

$$S_{\bar{V}_0} = \frac{S}{\sqrt{n}} \quad (14)$$

Границу неисключенной систематической погрешности установки вычисляют по формуле

$$\Theta = \pm 1,4 \cdot \sqrt{\Theta_a^2 + \Theta_\rho^2 + \Theta_{CTS}^2 + \Theta_{CPS}^2 + \Theta_{CPL}^2}, \quad (15)$$

- где Θ_B – граница составляющей неисключенной систематической погрешности определения вместимости установки, обусловленная погрешностью весов (берется из свидетельства о поверке или паспорта весов или принимается равной пределам погрешности весов), %;
- Θ_ρ – граница составляющей неисключенной систематической погрешности определения вместимости установки, обусловленная погрешностью измерений плотности измеряемой среды (воды) в установке ($\Theta_\rho = 0,006$ % – при вычислении плотности воды по формуле (4)), %;
- Θ_{CTS} – граница составляющей неисключенной систематической погрешности определения вместимости установки, обусловленная погрешностью определения коэффициента CTS, учитывающего влияние температуры стенок установки на вместимость установки ($\Theta_{CTS} = 0,001$ %), %;
- Θ_{CPS} – граница составляющей неисключенной систематической погрешности определения вместимости установки, обусловленная погрешностью определения коэффициента CPS, учитывающего влияние давления измеряемой среды на вместимость установки ($\Theta_{CPS} = 0,001$ %), %;
- Θ_{CPL} – граница составляющей неисключенной систематической погрешности определения вместимости установки, обусловленная погрешностью определения коэффициента CPL, учитывающего влияние давления на объем измеряемой среды в установке ($\Theta_{CPL} = 0,0001$ %), %.

СКО суммы неисключенной систематической и случайной погрешностей вычисляют по формуле

$$S_\Sigma = \sqrt{S_{\bar{V}_0}^2 + S_\Theta^2} \quad (16)$$

СКО суммы неисключенных систематических погрешностей при равномерном распределении вычисляют по формуле

$$S_\Theta = \frac{\Theta}{1,4 \cdot \sqrt{3}} \quad (17)$$

Относительную погрешность установки вычисляют по формулам

$$\delta = K \cdot S_\Sigma, \quad (18)$$

$$K = \frac{\Theta + \varepsilon}{S_\Theta + S_{\bar{V}_0}}, \quad (19)$$

$$\varepsilon = t_{0,99} \cdot S_{\bar{V}_0}, \quad (20)$$

- где $t_{0,99}$ – коэффициент Стьюдента при доверительной вероятности $P = 0,99$ (определяется в соответствии с ГОСТ 8.736-2011 или приложением А);
- ε – границы случайной составляющей погрешности, %.

Результаты проверки считают положительными, если выполняется следующее условие

$$\delta \leq 0,05 \% \quad (21)$$

6.3.2 Определение метрологических характеристик объемным методом

Определение вместимости поверяемой установки, приведенной к стандартным условиям, основано на измерениях объема измеряемой среды, вытесненной поршнем, при помощи ЭО.

Количество применяемых при измерениях ЭО определяется вместимостью установки. Суммарная вместимость ЭО применяемых при измерениях, должна обеспечить наименьшее число полных заполнений, соответствующих ЭО.

Поочередно заполняют ЭО. Выдерживают до успокоения измеряемой среды и определяют объем измеряемой среды в ЭО. Показания снимают по нижнему краю мениска измеряемой среды.

Если вместимость поверяемой установки превышает суммарную вместимость ЭО, то после наполнения ЭО до отметки шкалы вместимости ЭО, поршень установки останавливают. Определяют объем измеряемой среды в ЭО. Сливают измеряемую среду из ЭО, выдерживая время слива (после слива измеряемой среды необходимо в течение 1 минуты выдержать сливные краны открытыми), чтобы каждый раз сливалось одинаковое количество измеряемой среды. В этом случае ЭО будет готов к заполнению, поскольку на его внутренних стенках всегда будет оставаться одинаковое количество измеряемой среды в виде пленки.

Если уровень измеряемой среды в ЭО окажется ниже или выше отметок на шкале вместимости ЭО, то его устанавливают, доливая или сливая измеряемую среду, измеряя ее объем мерными цилиндрами. Объем измеряемой среды в ЭО определяют вычитанием или сложением с объемом долитой или слитой измеряемой среды.

Если измерения производят после длительного перерыва (не менее 1 часа), то перед началом измерений и пуском поршня ЭО предварительно смачивают. Для этого наливают измеряемую среду в количестве, примерно равном вместимости установки, сливают измеряемую среду и выдерживают ЭО в течение 2 минут.

Значения давления в установке, температуры измеряемой среды в ЭО и установке, объем измеряемой среды заносят в протокол.

Вместимость установки при стандартных условиях, m^3 , вычисляют по формуле

$$\bar{V}_o = \frac{\sum_{i=1}^n V_{oi}}{n} \quad (22)$$

где V_{oi} – вместимость установки при стандартных условиях при i -м измерении, m^3 ;
 n – количество измерений.

Вместимость установки при стандартных условиях при i -м измерении, m^3 , вычисляют по формулам

$$V_{oi} = \sum_{j=1}^k V_{oj} \quad (23)$$

$$V_{oj} = V_{Mij} \cdot CTDW_{Mij} \cdot \frac{CTS_{Mij}}{CTS_{Yij}} \cdot \frac{1}{CPS_{Yij} \cdot CPL_{Yij}}, \quad (24)$$

$$V_{Mij} = V_{Mnij}, \quad (25)$$

$$V_{Mij} = V_{Mnij} + \Delta V_{ij}, \quad (26)$$

$$CTDW_{ij} = \frac{RHO_{Mij}}{RHO_{yij}}, \quad (27)$$

$$RHO = (999,8395639 + 0,06798299989 \cdot t - 0,009106025564 \cdot t^2 + 0,0001005272999 \cdot t^3 - 0,000001126713526 \cdot t^4 + 0,000000006591795606 \cdot t^5), \quad (28)$$

$$CPS_{yij} = 1 + \frac{P_{yij} \cdot D_y}{E \cdot d_y}, \quad (29)$$

$$CTS_{yij} = (1 + (t_{yij} - 20) \cdot \alpha_{kl}) \cdot (1 + (t_{dij} - 20) \cdot \alpha_d), \quad (30)$$

$$CTS_{Mij} = 1 + 3 \cdot \alpha_{iM} \cdot (t_{Mij} - 20), \quad (31)$$

$$CPL = \frac{1}{(1 - P_{yij} \cdot F)}, \quad (32)$$

$$t_{yij} = \frac{t_{вхij} + t_{выхij}}{2}, \quad (33)$$

$$P_{yij} = \frac{P_{вхij} + P_{выхij}}{2}, \quad (34)$$

- где V_{oij} – объём измеряемой среды в j-ом ЭО при i-ом измерении, скорректированный с учетом разных условий в ЭО и поверяемой установке, приведенный к стандартным условиям, м³;
- k – количество ЭО, используемых при i-ом измерении;
- V_{Mij} – объём измеряемой среды в j-ом ЭО при i-ом измерении. Вычисляют по формуле (24), если при наполнении ЭО уровень измеряемой среды окажется на уровне отметки шкалы вместимости или по формуле (25), если при наполнении какого-либо ЭО уровень измеряемой среды окажется выше (ниже) отметки шкалы вместимости, м³;
- $CTDW_{ij}$ – комбинированный коэффициент, учитывающий влияние разности температур в установке и в j-ом ЭО на объём жидкости, определенный для температуры жидкости в установке и в j-ом ЭО за время i-го измерения для j-го ЭО;
- CTS_{Mij} – коэффициент, учитывающий влияние температуры стенок j-ого ЭО на вместимость ЭО при i-ом измерении;
- CTS_{yij} – коэффициент, учитывающий влияние температуры стенок установки на вместимость установки при i-ом измерении при наполнении j-ого ЭО;
- CPS_{yij} – коэффициент, учитывающий влияние давления жидкости на вместимость установки при i-ом измерении при наполнении j-ого ЭО;
- CPL_{yij} – коэффициент, учитывающий влияние давления на объём жидкости, определенный для давления жидкости в установке за время i-го измерения при наполнении j-ого ЭО;
- V_{Mnij} – вместимость j-го ЭО на отметке шкалы вместимости ЭО (берется из свидетельства о поверке), м³;

- ΔV_{ij} – объём слитой в мерный цилиндр (долитой из мерного цилиндра, с обратным знаком) измеряемой среды, м³;
- RHO_{Mij} – плотности измеряемой среды (воды), вычисленные по формуле (28) или в соответствии с методикой измерений плотности воды при температуре t_{Mji} и RHO_{yij} соответственно, кг/м³;
- P_{yij} – среднее значение давления измеряемой среды в установке за время i -го измерения при наполнении j -ого ЭО, МПа;
- D_y – внутренний диаметр калиброванного участка установки (берут из эксплуатационных документов установки), мм;
- E – модуль упругости материала стенок установки, МПа;
- d_y – толщина стенок установки (берут из эксплуатационных документов установки), мм;
- α_{tm} – коэффициент линейного расширения материала стенок ЭО (берут из эксплуатационных документов ЭО), 1/°С;
- α_d – коэффициент линейного расширения материала планки крепления детекторов установки (берут из эксплуатационных документов установки), 1/°С;
- α_{kl} – квадратичный коэффициент расширения стали калиброванного участка установки, (берут из эксплуатационных документов установки), 1/°С;
- t_{yij} – среднее значение температуры измеряемой среды в установке за время i -го измерения при наполнении j -ого ЭО, °С;
- t_{Mij} – значение температуры измеряемой среды в j -ом ЭО, °С;
- t_{dij} – температура планки крепления детекторов (при отсутствии датчика температуры берут значение равное температуре окружающей среды), °С;
- F – коэффициент сжимаемости воды, равный $4,91 \cdot 10^{-4}$ МПа⁻¹;
- $t_{exij}, t_{выхij}$ – температура измеряемой среды на входе и выходе установки при i -ом измерении при наполнении j -ого ЭО, °С;
- $P_{axij}, P_{выхij}$ – давление измеряемой среды на входе и выходе установки при i -ом измерении и при наполнении j -ого ЭО, МПа.

Проводят исключение грубых погрешностей в соответствии с Приложением А. Количество удовлетворительных измерений должно быть не менее 7.

Оценивают СКО результатов определения вместимости установки, %, по формуле

$$S = \frac{1}{\bar{V}_0} \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (V_{oi} - \bar{V}_0)^2}{n-1}} \cdot 100 \quad (35)$$

Проверяют выполнение следующего условия

$$S \leq 0,015 \% \quad (36)$$

При невыполнении условия (36) результаты поверки считаются отрицательными. При соблюдении условия (36) проводят дальнейшую обработку результатов измерений.

Вычисляют границу неисключенной систематической погрешности определения вместимости установки по формулам

$$\Theta = \pm 1,4 \cdot \sqrt{\Theta_m^2 + \Theta_{CTDW}^2 + \Theta_{CTSM}^2 + \Theta_{CTSv}^2 + \Theta_{CPS}^2 + \Theta_{CPL}^2}, \quad (37)$$

где Θ_M – граница составляющей неисключенной систематической погрешности определения вместимости установки, обусловленная погрешностью ЭО ($\Theta_M = 0,02$ %), %;

Θ_{CTDW} – граница составляющей неисключенной систематической погрешности определения вместимости установки, обусловленная погрешностью определения коэффициента CTDW, учитывающий влияние разности температуры измеряемой среды на установке и в ЭО ($\Theta_{CTDW} = 0,008$ %);

- Θ_{CTSM} – граница составляющей неисключенной систематической погрешности определения вместимости мерника, обусловленная погрешностью определения коэффициента CTS, учитывающего влияние температуры стенок установки на вместимость установки ($\Theta_{\text{CTSM}} = 0,001 \%$), %;
- Θ_{CTSy} – граница составляющей неисключенной систематической погрешности определения вместимости установки, обусловленная погрешностью определения коэффициента CTS, учитывающего влияние температуры стенок установки на вместимость установки ($\Theta_{\text{CTSy}} = 0,001 \%$), %;
- Θ_{CPS} – граница составляющей неисключенной систематической погрешности определения вместимости установки, обусловленная погрешностью определения коэффициента CPS, учитывающего влияние давления измеряемой среды на вместимость установки ($\Theta_{\text{CPS}} = 0,001 \%$), %;
- Θ_{CPL} – граница составляющей неисключенной систематической погрешности определения вместимости установки, обусловленная погрешностью определения коэффициента CPL, учитывающего влияние давления на объем измеряемой среды в установке ($\Theta_{\text{CPL}} = 0,0001 \%$), %.

СКО среднего значения результатов определения вместимости установки вычисляют по формуле

$$S_{\bar{V}_0} = \frac{S}{\sqrt{n}} \quad (38)$$

СКО суммы неисключенной систематической и случайной погрешностей вычисляют по формуле

$$S_{\Sigma} = \sqrt{S_{\bar{V}_0}^2 + S_{\Theta}^2} \quad (39)$$

СКО суммы неисключенных систематических погрешностей вычисляют по формуле

$$S_{\Theta} = \frac{\Theta}{1,4 \cdot \sqrt{3}} \quad (40)$$

Относительную погрешность установки вычисляют по формулам

$$\delta = K \cdot S_{\Sigma} \quad (41)$$

$$K = \frac{\Theta + \varepsilon}{S_{\Theta} + S_{\bar{V}_0}} \quad (42)$$

$$\varepsilon = t_{0,99} \cdot S_{\bar{V}_0} \quad (43)$$

Результаты поверки считают положительными, если выполняется следующее условие

$$\delta \leq 0,05 \% \quad (44)$$

6.3.3 Определение метрологических характеристик при использовании ГЭТ

Определение вместимости поверяемой установки, приведенной к стандартным условиям, основано на измерениях объема измеряемой среды при помощи ГЭТ, вытесненной поршнем.

Измерения проводят в соответствии с эксплуатационными документами на ГЭТ.

Значения давления в установке, температуры измеряемой среды в ГЭТ и установке, объем измеряемой среды заносят в протокол.

Вместимость установки при стандартных условиях вычисляют по формуле:

$$\bar{V}_o = \frac{\sum_{i=1}^n V_{oi}}{n} \quad (45)$$

где V_{oi} – вместимость установки при стандартных условиях при i -м измерении, м³;
 n – количество измерений.

Вместимость установки при стандартных условиях при i -м измерении, м³, вычисляют по формулам

$$V_{oi} = V_{ГЭТi} \cdot \frac{CTDW_{ГЭТi}}{CTS_{yi} \cdot CPS_{yi} \cdot CPL_{yi}}, \quad (46)$$

$$CTDW_i = \frac{RHO_{ГЭТi}}{RHO_{yi}}, \quad (47)$$

$$CPS_{yi} = 1 + \frac{P_{yi} \cdot D_y}{E \cdot d_y}, \quad (48)$$

$$CTS_{yi} = (1 + (t_{yi} - 20) \cdot \alpha_{kl}) \cdot (1 + (t_{di} - 20) \cdot \alpha_d), \quad (49)$$

$$CPL = \frac{1}{(1 - P_{yi} \cdot F)}, \quad (50)$$

$$t_{yi} = \frac{t_{exi} + t_{выxi}}{2}, \quad (51)$$

$$P_{yi} = \frac{P_{exi} + P_{выxi}}{2}, \quad (52)$$

- $V_{ГЭТ}$ – объем измеряемой среды в ГЭТ по показаниям ГЭТ, м³;
 $CTDW_i$ – комбинированный коэффициент, учитывающий влияние разности температур в установке и в ГЭТ на объем жидкости, определенный для температуры жидкости в установке и в ГЭТ за время i -го измерения;
 CTS_{yi} – коэффициент, учитывающий влияние температуры стенок установки на вместимость установки при i -ом измерении при наполнении ГЭТ;
 CPS_{yi} – коэффициент, учитывающий влияние давления жидкости на вместимость установки при i -ом измерении при наполнении ГЭТ;
 CPL_{yi} – коэффициент, учитывающий влияние давления на объем жидкости, определенный для давления жидкости в установке за время i -го измерения при наполнении ГЭТ;
 $RHO_{ГЭТi}$ – плотности измеряемой среды, при температуре $t_{ГЭТji}$ и t_{yji} соответственно, кг/м³;
 RHO_{yi} –
 P_{yi} – среднее значение давления измеряемой среды в установке за время i -го измерения при наполнении ГЭТ, МПа;
 D_y – внутренний диаметр калиброванного участка установки (берут из эксплуатационных документов установки), мм;

E	– модуль упругости материала стенок установки (берут из эксплуатационных документов установки), МПа;
d_y	– толщина стенок установки (берут из эксплуатационных документов установки), мм;
α_d	– коэффициент линейного расширения материала планки крепления детекторов установки (берут из эксплуатационных документов установки), $1/^\circ\text{C}$;
α_{kl}	– квадратичный коэффициент расширения стали калиброванного участка установки, (берут из эксплуатационных документов установки), $1/^\circ\text{C}$;
$t_{y\ i}$	– среднее значение температуры измеряемой среды в установке за время i -го измерения при наполнении ГЭТ, $^\circ\text{C}$;
$t_{ГЭТ}$	– значение температуры измеряемой среды в ГЭТ, $^\circ\text{C}$;
t_{di}	– температура планки крепления детекторов (при отсутствии датчика температуры берут значение равное температуре окружающей среды), $^\circ\text{C}$;
F	– коэффициент сжимаемости измеряемой среды (воды), равный $4,91 \cdot 10^{-4}$ МПа $^{-1}$;
$t_{ax\ i}, t_{вых\ i}$	– температура измеряемой среды на входе и выходе установки при i -ом измерении при наполнении ГЭТ, $^\circ\text{C}$;
$P_{ax\ i}, P_{вых\ i}$	– давление измеряемой среды на входе и выходе установки при i -ом измерении и при наполнении ГЭТ, МПа.

Проводят исключение грубых погрешностей в соответствии с Приложением А Количество удовлетворительных измерений должно быть не менее 7.

Оценивают СКО результатов определения вместимости установки, %, по формуле

$$S = \frac{1}{\bar{V}_0} \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (V_{oi} - \bar{V}_0)^2}{n-1}} \cdot 100 \quad (53)$$

Проверяют выполнение следующего условия

$$S \leq 0,015\% \quad (54)$$

При невыполнении условия (54) результаты поверки считаются отрицательными. При соблюдении условия (54) проводят дальнейшую обработку результатов измерений.

Вычисляют границу неисключенной систематической погрешности определения вместимости установки по формулам

$$\Theta = \pm 1,4 \cdot \sqrt{\Theta_{ГЭТ}^2 + \Theta_{CTDW}^2 + \Theta_{CTS}^2 + \Theta_{CPS}^2 + \Theta_{CPL}^2} \quad (55)$$

- где $\Theta_{ГЭТ}$ – граница составляющей неисключенной систематической погрешности определения ГЭТ при измерении объема, %;
- Θ_{CTDW} – граница составляющей неисключенной систематической погрешности определения вместимости установки, обусловленная погрешностью определения коэффициента CTDW, учитывающий влияние разности температуры измеряемой среды на установке и в ГЭТ ($\Theta_{CTDW} = 0,008\%$);
- Θ_{CTS} – граница составляющей неисключенной систематической погрешности определения вместимости установки, обусловленная погрешностью определения коэффициента CTS, учитывающего влияние температуры стенок установки на вместимость установки ($\Theta_{CTS} = 0,001\%$), %;
- Θ_{CPS} – граница составляющей неисключенной систематической погрешности определения вместимости установки, обусловленная погрешностью определения коэффициента CPS, учитывающего влияние давления измеряемой среды на вместимость установки ($\Theta_{CPS} = 0,001\%$), %;

- Θ_{CPL} – измеряемой среды на вместимость установки ($\Theta_{\text{CPS}} = 0,001 \%$), %;
 – граница составляющей неисключенной систематической погрешности определения вместимости установки, обусловленная погрешностью определения коэффициента CPL, учитывающего влияние давления на объем измеряемой среды в установке ($\Theta_{\text{CPL}} = 0,0001 \%$), %.

СКО среднего значения результатов определения вместимости установки, %, вычисляют по формуле

$$S_{\bar{V}_0} = \frac{S}{\sqrt{n}} \quad (56)$$

СКО суммы неисключенной систематической и случайной погрешностей вычисляют по формуле

$$S_{\Sigma} = \sqrt{S_{\bar{V}_0}^2 + S_{\Theta}^2} \quad (57)$$

СКО суммы неисключенных систематических погрешностей вычисляют по формуле

$$S_{\Theta} = \frac{\Theta}{1,4 \cdot \sqrt{3}} \quad (58)$$

Относительную погрешность установки вычисляют по формулам

$$\delta = K \cdot S_{\Sigma} \quad (59)$$

$$K = \frac{\Theta + \varepsilon}{S_{\Theta} + S_{\bar{V}_0}} \quad (60)$$

$$\varepsilon = t_{0,99} \cdot S_{\bar{V}_0} \quad (61)$$

Результаты поверки считают положительными, если выполняется следующее условие

$$\delta \leq 0,05 \% \quad (62)$$

6.3.4 Проверка отсутствия протечек

Производят установление расхода для проверки протечек. Выполняют не менее 3 измерений. Определяют вместимость установки при стандартных условиях в зависимости от применяемых средств поверки по 6.3.1 или 6.3.2 или 6.3.3. Определяют относительное отклонение вместимости установки, определенной при значении расхода для проверки протечек, $V_{\text{прот}}$, м³, от значения вместимости установки, определенной при значении расхода для определения метрологических характеристик, δ_V , %, по формуле:

$$\delta_V = \frac{V_{\text{прот}} - V_0}{V_0} \cdot 100. \quad (63)$$

Результаты проверки считаются положительными при $|\delta_V| \leq 0,0175\%$.

6.3.5 Определение относительного отклонения вместимости установки от значения вместимости, полученной при предыдущей поверке

Определение относительного отклонения вместимости установки от значения вместимости, $V_{\text{онп}}$, м³, полученной при предыдущей поверке, $\delta_{\text{оо}}$, %, проводят при периодической поверке по формуле:

$$\delta_{\text{оо}} = \frac{V_0 - V_{\text{онп}}}{V_{\text{онп}}} \cdot 100. \quad (64)$$

Результаты проверки считаются положительными при $|\delta_{\text{оо}}| \leq 0,05\%$.

7. ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОВЕРКИ.

7.1 Результаты поверки, измерений и вычислений вносят в протокол поверки. Рекомендованные формы протоколов приведены в Приложениях Б и В.

7.2 При положительных результатах поверки оформляют свидетельство о поверке установки в соответствии с приказом Минпромторга России от 02 июля 2015 г. № 1815 «Об утверждении Порядка проведения поверки средств измерений, требования к знаку поверки и содержанию свидетельства о поверке». Наносят знак поверки на свинцовые (пластмассовые) пломбы в соответствии с рисунком 2 описания типа на установку.

7.3 В свидетельстве о поверке указывают:

- диапазон объемного расхода установки, м³/ч;
- вместимость калиброванного участка при стандартных условиях, м³;
- границы случайной составляющей погрешности определения среднего значения вместимости установки;
- границы суммарной систематической составляющей погрешности, %;
- относительную погрешность, %.

При указании диапазона объемного расхода установки на оборотной стороне свидетельства о поверке наименьшее значение диапазона расхода принимается равным значению объемного расхода при проверке протечек, Q_2 , наибольшее значение диапазона расхода принимается равным наибольшему значению диапазону расхода, указанному в паспорте установки.

7.4 При отрицательных результатах поверки установки к эксплуатации не допускают, свидетельство о поверке аннулируют и выдают «Извещение непригодности к применению» с указанием причин в соответствии с приказом Минпромторга России от 02 июля 2015 г. № 1815 «Об утверждении Порядка проведения поверки средств измерений, требования к знаку поверки и содержанию свидетельства о поверке».

Приложение А
(справочное)
Методика анализа результатов измерений и значения коэффициентов Стьюдента

Для выявления маловероятных значений выполняют следующие операции:

А.1 Определяют СКО результатов измерений по формуле

$$S' = \sqrt{\frac{1}{(n-1)} \cdot \sum_{i=1}^n (V_{0i} - \bar{V}_0)^2} \quad (\text{A.1})$$

А.2 Вычисляют критерий Грабса G_1 и G_2 по формулам:

$$G_1 = \frac{|V_{0\text{imax}} - \bar{V}_0|}{S'}, \quad (\text{A.2})$$

$$G_2 = \frac{|\bar{V}_0 - V_{0\text{imin}}|}{S'}, \quad (\text{A.3})$$

где $V_{0\text{imax}}$ – наибольшее значение вместимости установки при стандартных условиях в ряду из n значений вместимости при стандартных условиях, вычисленных по формулам (6), (23), (46), м^3 ;

$V_{0\text{imin}}$ – наименьшее значение вместимости установки при стандартных условиях в ряду из n значений вместимости при стандартных условиях, вычисленных по формулам (6), (23), (46), м^3 .

А.3 Сравнивают полученные значения G_1 и G_2 с величиной G_T , взятой из таблицы А.1 для объема выборки n .

Таблица А.1 – Критические значения для критерия Граббса (ГОСТ Р 8.736-2011)

n	3	4	5	6	7	8	9	10	11
G_T	1,155	1,496	1,764	1,973	2,139	2,274	2,387	2,482	2,564

Если $G_1 \geq G_T$, то подозреваемый результат исключают из выборки как маловероятное значение, в противном случае результат не исключают. Если $G_2 \geq G_T$, то подозреваемый результат исключают из выборки как маловероятное значение, в противном случае результат не исключают.

А.4 Далее вновь проводят процедуры по А.1 – А.3.

Таблица А.2 – Значения коэффициентов Стьюдента $t_{0,99}$ (ГОСТ Р 8.736-2011)

n-1	5	6	7	8	9	10	12	14
$t_{0,99}$	4,032	3,707	2,998	3,355	3,250	3,169	3,055	2,977

Приложение Б
(рекомендуемое)

Форма протокола поверки установки по пункту 6.3.1 с применением весов

Протокол № _____
поверки установки поверочной FMD

Место проведения поверки: _____
 Установка поверочная FMD модели _____, заводской № _____.
 Регистрационный номер в Федеральном информационном фонде по обеспечению единства измерений: _____.
 Наименование методики поверки: _____.
 Место проведения поверки: _____.
 Средства поверки: _____.

Условия поверки:

- измеряемая среда: _____;
- температура измеряемой среды: _____;
- температура окружающего воздуха: _____;
- атмосферное давление: _____.

Результаты поверки:

1. Внешний осмотр: _____.
2. Опробование: _____.
3. Определение метрологических характеристик:

Значение объемного расхода при определении метрологических характеристик, $Q_1 = \text{_____ м}^3/\text{ч}$;
 Значение объемного расхода при проверке протечек, $Q_2 = \text{_____ м}^3/\text{ч}$.

Таблица 1 – Исходные данные

Θ_B , %	ρ_r , кг/м ³	D_y , мм	d_y , мм	E , МПа	F , МПа ⁻¹	G_a , °C ⁻¹	G_l , °C ⁻¹	$t_{0,99}$	$V_{\text{опп}}$, дм ³
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Таблица 2 – Результаты измерений и вычислений

№ изм.	M_i , кг	$\rho_{\text{воз.}i}$, кг/м ³	$M_{\text{в}i}$, кг	t_{y_i} , °C	t_{d_i} , °C	P_{y_i} , МПа	$t_{\text{в}i}$, °C	$\rho_{\text{в}i}$, кг/м ³	$V_{\text{в}i}$, м ³	\bar{V}_{O_3} , м ³
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1										
...										
n										

№ изм.	M_i , кг	$\rho_{\text{воз.}i}$, кг/м ³	$M_{\text{в}i}$, кг	t_{y_i} , °C	t_{d_i} , °C	P_{y_i} , МПа	$t_{\text{в}i}$, °C	$\rho_{\text{в}i}$, кг/м ³	$V_{\text{в}i}$, м ³	$V_{\text{прот}}$, м ³
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1										
...										
n										

Таблица 3 – Результаты поверки

S, %	$S_{\bar{V}_0}$ %	ε , %	Θ , %	S_{Θ} , %	S_{Σ} , %	δ , %
1	2	3	4	5	6	7

Заключение: _____

Подпись поверителя _____ / _____ Дата « ____ » _____ 20 ____ г.
подпись И. О. Фамилия

Приложение В
(рекомендуемое)

Форма протокола поверки установки по пункту 6.3.2 с применением эталона объема

Протокол № _____
поверки установки поверочной FMD

Место проведения поверки: _____
 Установка поверочная FMD модели _____, заводской № _____.
 Регистрационный номер в Федеральном информационном фонде по обеспечению единства измерений: _____
 Наименование методики поверки: _____
 Место проведения поверки: _____
 Средства поверки: _____

Условия поверки:

- измеряемая среда: _____;
- температура измеряемой среды: _____;
- температура окружающего воздуха: _____;
- атмосферное давление: _____.

Результаты поверки:

1. Внешний осмотр: _____.
2. Опробование: _____.
3. Определение метрологических характеристик:

Значение объемного расхода при определении метрологических характеристик, $Q_1 = \text{_____ м}^3/\text{ч}$;
 Значение объемного расхода при проверке протечек, $Q_2 = \text{_____ м}^3/\text{ч}$.

Таблица 1 – Исходные данные

$\Theta_m, \%$	$V_m, \text{м}^3$	$D_y, \text{мм}$	$d_y, \text{мм}$	$E, \text{МПа}$	$\alpha_{tm}, 1/^\circ\text{C}$	$\alpha_{k1}, 1/^\circ\text{C}$	$\alpha_d, 1/^\circ\text{C}$	$F, \text{МПа}^{-1}$	$t_{0,99}$	$V_{\text{опп}}, \text{дм}^3$
1	2	3	4	5	6	7	8	10	11	12

Таблица 2 – Результаты измерений и вычислений

№ изм.	$V_{Mij}, \text{м}^3$	$t_{Mij}, ^\circ\text{C}$	$t_{yij}, ^\circ\text{C}$	$t_{dij}, ^\circ\text{C}$	$P_{yij}, \text{МПа}$	$RHO_{Mij}, \text{кг/м}^3$	$RHO_{yij}, \text{кг/м}^3$	$V_{0ij}, \text{м}^3$	$V_{0i}, \text{м}^3$	$\bar{V}_0, \text{м}^3$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1										
...	
k										

№ изм.	$M_i, \text{кг}$	$\rho_{\text{воз.}i}, \text{кг/м}^3$	$M_{\text{в}i}, \text{кг}$	$t_{y_i}, ^\circ\text{C}$	$t_{d_i}, ^\circ\text{C}$	$P_{y_i}, \text{МПа}$	$t_{\text{в}i}, ^\circ\text{C}$	$\rho_{\text{в}i}, \text{кг/м}^3$	$V_{\text{в}i}, \text{м}^3$	$V_{\text{прот}}, \text{м}^3$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1										
...	
n										

Таблица 3 – Результаты поверки

S, %	$S_{\bar{V}_0}$ %	ε , %	Θ , %	S_{Θ} , %	S_{Σ} , %	δ , %
1	2	3	4	5	6	7

Заключение: _____

Подпись поверителя _____ / _____ Дата « ____ » _____ 20__ г.
подпись И. О. Фамилия