



ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«ГОСУДАРСТВЕННЫЙ РЕГИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР СТАНДАРТИЗАЦИИ,
МЕТРОЛОГИИ И ИСПЫТАНИЙ В Г. МОСКВЕ И МОСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ»
(ФБУ «РОСТЕСТ-МОСКВА»)**

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель генерального директора

ФБУ «Ростест-Москва»



А.Д. Меньшиков

М.п.

« 10 » февраля 2020 г.

Государственная система обеспечения единства измерений

**РАСХОДОМЕРЫ-СЧЕТЧИКИ МАССОВЫЕ
OPTIMASS**

Методика поверки

РТ-МП-7065-449-2020

г. Москва
2020 г.

1. Общие положения

1.1 Настоящий документ распространяется на расходомеры-счётчики массовые OPTIMASS (далее – расходомеры), изготавливаемые фирмой ООО «KROHNE Ltd», Великобритания и устанавливает методику их первичной и периодических поверок.

1.2 Интервал между поверками – 5 лет.

2. Операции поверки

2.1 При проведении поверки расходомеров выполняют следующие операции:

- внешний осмотр – п.п. 7.1;
- опробование – п.п. 7.2;
- определение метрологических характеристик – п.п. 7.3;
- оформление результатов поверки – п. 8.

2.2 В случае отрицательных результатов поверки необходимо провести настройку нулевой точки расходомера. При необходимости провести настройку поверяемого канала расходомера, а также в соответствии с эксплуатационной документацией или Приложением В, провести коррекцию показаний массового расходомера по показаниям эталона. Если и после этого результаты поверки будут отрицательными, то поверку прекращают, а расходомер бракуют.

3. Средства поверки

3.1 При проведении поверки применяют средства поверки, указанные в таблице 2.

Т а б л и ц а 2 – Средства поверки

| Номер пункта методики поверки | Наименование и тип основных средств поверки |
|-------------------------------|--|
| 7.2, 7.3 | Установка трубопоршневая 1 и 2 разряда (ТПУ) или эталонная передвижная установка (ЭПУ), в соответствии с ГПС (часть 2), утвержденной приказом № 256 от 07.02.2018, предназначенные для поверки систем измерений количества и показателей качества нефти (далее СИКН); ПГ = $\pm(0,05 - 0,15)$ %. |
| 7.2, 7.3 | Рабочий эталон единицы объемного расхода (объема) и/или массового расхода (массы) жидкости в потоке 1 и 2 разряда в соответствии с ГПС (часть 1 и/или 2), утвержденной приказом № 256 от 07.02.2018; ПГ _{объема} = $\pm(0,045 - 0,06)$ %, ПГ _{массы} = $\pm(0,04 - 0,055)$ %. |
| 7.2, 7.3 | Рабочий эталон единицы объема 1-го разряда в соответствии с ГПС (Часть 3), утвержденной приказом № 256 от 07.02.2018. ПГ = $\pm 0,02$ % |
| 7.2, 7.3 | Установка поверочная средств измерений объема и массы УПМ. Регистрационный номер в Федеральном информационном фонде 45711-10. ПГ _{объема} = $\pm 0,05$ %, ПГ _{массы} = $\pm 0,04$ % |
| 7.2, 7.3 | Рабочий эталон единицы плотности в соответствии с ГПС, утвержденной приказом Росстандарта № 2603 от 01.11.2019. Диапазон измерений от 650 до 2000 кг/м ³ |
| 7.2, 7.3 | Преобразователь давления эталонный ПДЭ-010И. Регистрационный номер в Федеральном информационном фонде 33587-12. Диапазон измерений от 0 до 6,0 МПа, ПГ = $\pm 1,0$ % |
| 7.2, 7.3 | Секундомер электронный Интеграл С-01. Регистрационный номер в Федеральном информационном фонде 44154-16. Диапазон измерений от 0 до 9:59:59,99 с, ПГ = $\pm 0,1$ с |
| 7.2, 7.3 | Плотномер портативный ПЛОТ-3Б Регистрационный номер в Федеральном информационном фонде 20270-12 |
| 7.2, 7.3 | Термометр цифровой малогабаритный ТЦМ 9410. Регистрационный номер в Федеральном информационном фонде 32156-06. Диапазон измерений от -50 °С до $+200$ °С, ПГ = $\pm 0,1$ °С |

Продолжение таблицы 2

| | |
|----------|---|
| 7.2, 7.3 | Частотомер электронно-счетный ЧЗ-88. Регистрационный номер в Федеральном информационном фонде 41190-09. Диапазон измерения частоты от 0,01 Гц до 1,00 МГц, $\delta f = \pm \delta o + 1/fx \cdot tch$ |
|----------|---|

3.2 Допускается применение аналогичных средств поверки, обеспечивающих определение метрологических характеристик поверяемых средств измерений с требуемой точностью.

3.3 Применяемые при поверке средства измерений могут входить в состав систем измерений количества и показателей качества нефти (СИКН, СИКНП или АСН).

4. Требования безопасности

4.1 При проведении поверки соблюдают требования безопасности, определяемые:

- правилами безопасности труда, действующими на объекте;
- правилами безопасности при эксплуатации средств поверки, приведёнными в эксплуатационной документации на эти средства;
- «Правилами технической эксплуатации электроустановок» (ПТЭ);
- «Правилами техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей» (ПТБ);
- «Правилами устройства электроустановок»;
- «Правилами защиты от статического электричества в химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих предприятиях».

4.2 На ТПУ и трубопроводах, заполненных продуктом, применяют только средства измерений взрывозащищенного исполнения, соответствующие взрывоопасной зоне и условиям окружающей среды.

4.3 На средства измерений должны быть нанесены чёткие надписи и условные знаки, выполненные для обеспечения их безопасной эксплуатации.

4.4 Доступ к средствам измерений и оборудованию должен быть свободный. При необходимости предусматривают лестницы и площадки или переходы с ограничениями, соответствующие требованиям безопасности.

4.5 Использование элементов обвязки, не прошедших гидравлическое испытание, запрещено.

4.6 Давление рабочей жидкости не должно превышать значений, указанных в эксплуатационной документации на применяемое оборудование и СИ.

4.7 При появлении течи продукта, загазованности и других ситуаций, нарушающих нормальный ход поверочных работ, поверку прекращают.

5. Условия проведения поверки

5.1 При проведении поверки должны быть соблюдены следующие условия:

- температура окружающего воздуха: $+(20 \pm 10) \text{ }^\circ\text{C}$;
- температура поверочной среды: $+(20 \pm 5) \text{ }^\circ\text{C}$;
- дрейф температуры поверочной среды, не более: $2 \text{ }^\circ\text{C/ч}$;
- относительная влажность окружающего воздуха: от 30 до 80 %;
- атмосферное давление: от 84 до 106 кПа;
- поверочная среда: водопроводная вода по СанПиН 2.1.4.1074-2001.

5.2 При проведении поверки без демонтажа на месте эксплуатации на жидкостях, отличных от воды, соблюдают следующие условия:

- температура окружающего воздуха: от -25 до $+50 \text{ }^\circ\text{C}$;
- температура поверочной среды: от -30 до $+130 \text{ }^\circ\text{C}$;
- температура поверочной среды для модификации 6400: от -200 до $+400 \text{ }^\circ\text{C}$;
- дрейф температуры поверочной среды, не более: $2 \text{ }^\circ\text{C/ч}$;
- содержание механических примесей, не более: 0,5 %;
- содержание свободного газа: отсутствует;
- объёмная доля воды в рабочей жидкости, не более: 10 %;
- относительная влажность окружающего воздуха: до 99 %;

- атмосферное давление: от 84 до 106 кПа;
- солнечная радиация: не допускается;
- ветер: не более 8 м/с;
- осадки: допускаются, за исключением ливневых.

6. Подготовка к поверке

6.1 Подготавливают к работе средства измерений, применяемые при поверке расходомера, в соответствии с их эксплуатационной документацией.

6.2 Подготавливают расходомер к работе в соответствии с указаниями, изложенными в эксплуатационной документации.

6.3 Заполняют систему поверочной установки (или технологическую систему) с установленным в ней расходомером поверочной жидкостью и удаляют из нее нерастворенный газ (воздух)

6.4 Подключают расходомер к источнику питания, поверочной установке и(или) другим средствам поверки (Приложение А), в соответствии с их эксплуатационной документацией.

6.5 Настраивают расходомер для измерения расхода соответствующей среды.

6.6 Перед началом поверки необходимо:

- в трубопроводе (или измерительном канале поверочной установки с предустановленным в него расходомером) установить и выдержать в течение 30 минут расход поверочной среды, равный примерно $(0,3 - 0,9) \cdot G_{\max}$ (где G_{\max} – наибольшее значение массового расхода для данного типа расходомера, т/ч);
- при необходимости провести градуировку «нулевой точки» в соответствии с эксплуатационной документацией.

7. Проведение поверки

7.1 Внешний осмотр

При внешнем осмотре расходомера проверяется:

- комплектность должна соответствовать данным, указанным в эксплуатационной документации на расходомер;
- маркировка расходомера должна соответствовать данным, указанным в эксплуатационной документации. Целостность шильдиков на расходомере не должна быть нарушена;
- заводской номер должен соответствовать записи в эксплуатационной документации;
- контакты разъемов должны быть чистые и не иметь следов коррозии;
- корпуса первичного преобразователя и преобразователя расхода не должны иметь механических повреждений, влияющих на работоспособность;
- окно для считывания показаний жидкокристаллического индикатора (если он есть) должно быть чистое и не иметь дефектов, препятствующих правильному считыванию;
- проточная часть расходомера не должна иметь на внутренней поверхности грязи и отложений;

Результат проверки считается положительным, если по внешнему виду и маркировке расходомер соответствует данным эксплуатационной документации.

7.2 Опробование

Допускается совместить данный пункт с п. 7.3 настоящей методики поверки.

7.2.1 Опробование расходомера в лабораторных условиях проводят путем увеличения/уменьшения расхода жидкости в пределах рабочего диапазона измерений.

Расходомер считается поверенным по данному пункту, если выполняются условия:

- в рабочем режиме расходомер регистрирует измеряемый расход (объем или массу);
- в рабочем режиме расходомер должен генерировать выходной сигнал (токовый или частотно-импульсный), пропорциональный текущему расходу;
- при неизменной скорости потока индицируемое значение текущего расхода должно быть неизменно, а индицируемое значение суммарной массы (или объема) должно увеличиваться с течением времени.

7.2.2 Опробование на месте эксплуатации проводят на расходе, соответствующем условиям эксплуатации расходомера.

Расходомер считается поверенным по данному пункту, если выполняются условия, указанные в п.п. 7.2.1.

7.2.3 Проверка идентификационных данных программного обеспечения

Проверяют соответствие идентификационных данных программного обеспечения (ПО). Для этого, согласно эксплуатационной документации, необходимо войти в меню D2.3.4 расходомера и считать номер версии.

Необходимо переписать идентификационные данные ПО в протокол поверки.

Таблица 3 – Идентификационные данные

| Идентификационные данные (признаки) | Значение для MFC 010 | Значение для MFC 400 |
|---|----------------------|----------------------|
| Идентификационное название ПО | ER 3.3.1 | ER 1.0.xx; ER 2.0.xx |
| Номер версии (идентификационный номер) ПО | не ниже 3.01 | не ниже 5.0.1 |
| Цифровой идентификатор ПО | не отображается | не отображается |
| Примечание – Символами «х» обозначен номер версии ПО, не влияющий на метрологические характеристики | | |

Результаты поверки считают положительными, если идентификационные данные соответствуют данным, указанным в таблице 3.

7.3 Определение метрологических характеристик

Определение относительной погрешности допускается проводить одним из следующих способов:

7.3.1 Определение относительной погрешности измерений массового расхода (массы) в лабораторных условиях

Определение относительной погрешности измерений массового расхода (массы) проводят при помощи жидкостной (водяной) поверочной установки. Схема подключения контрольно-измерительной аппаратуры при поверке приведена в руководстве по эксплуатации и в Приложении А настоящей методики.

Определение относительной погрешности проводят на значениях расхода, соответствующих значениям: $(0,05 - 0,15) \cdot G_{\max}$, $(0,3 - 0,45) \cdot G_{\max}$, $(0,5 - 0,9) \cdot G_{\max}$.

Время проведения каждого измерения должно быть не менее 30 секунд или 10000 импульсов.

Расходомеры с первичными преобразователями, у которых $DN \geq 100$ мм или с первичными преобразователями OPTIMASS-7000, допускается поверять на расходах $0,3 \cdot G_{\max}$, $0,1 \cdot G_{\max}$ и $0,05 \cdot G_{\max}$.

Величины расходов $(0,3 - 0,9) \cdot G_{\max}$ устанавливают с допуском $\pm 5\%$, а расходы $(0,05 - 0,15) \cdot G_{\max}$ – с допуском $\pm 10\%$.

На каждом расходе проводят не менее трех измерений. Результаты измерений заносят в протокол произвольной формы (Приложение Б).

Если в точке поверки погрешность расходомера превысила допускаемую, то измерение повторяют. При необходимости корректируют «коэффициент коррекции расхода» расходомера (Приложение В). Если корректировка расходомера не привела к положительному результату, то его бракуют.

Относительную погрешность измерений массового расхода δ_{Gi} , % или массы δ_{Mi} , %, при i -ом измерении определяют по формулам:

$$\delta_{Gi} = \frac{G_i - G_{\text{эт}}}{G_{\text{эт}}} \cdot 100\%, \quad (1)$$

$$\delta_{M_i} = \frac{M_i - M_{эп}}{M_{эп}} \cdot 100\%, \quad (2)$$

где G_i – расход по расходомеру, кг/ч;
 $G_{эп}$ – расход по поверочной установке, кг/ч;
 M_i – масса по расходомеру, кг;
 $M_{эп}$ – масса по поверочной установке, кг.

За результат принимают среднее арифметическое из полученных значений в каждой точке поверки.

В случае, если поверочная установка оснащена мерами вместимости, то определение относительной погрешности расходомеров при измерении массы осуществляется сравнением значений массы, измеренной расходомером, и массы, пересчитанной исходя из измеренных значений объема и плотности на поверочной установке. Массу M , кг, по поверочной установке вычисляют по формуле

$$M = V \cdot \rho, \quad (3)$$

где V – объем жидкости, измеренный установкой, м³;
 ρ – плотность жидкости, измеренная установкой, кг/м³.

Значение относительной погрешности измерений массы δ_{M_i} , %, при i -ом измерении определяется по формуле (2).

а) в случае, если при поверке используется аналоговый выход расходомера, то измеренный расход G_i , кг/ч, вычисляется по формуле

$$G_i = \left[\left(\frac{I_i - I_{\min}}{I_{\max} - I_{\min}} \right) \cdot (G_{\max} - G_{\min}) \right] + G_{\min}, \quad (4)$$

где I_i – ток, измеренный контроллером поверочной установки за время проведения i -го измерения, мА;
 I_{\min} – минимальное значение установленного диапазона токового выхода, мА;
 I_{\max} – максимальное значение установленного диапазона токового выхода, мА;
 G_{\max} – значение расхода установленное для максимального значения токового выхода кг/ч;
 G_{\min} – значение расхода установленное для минимального значения токового выхода кг/ч.

б) в случае, если при поверке используется частотный выход расходомера, то измеренный расход G_i , кг/ч, или масса M_i , кг, вычисляются по формуле (5) или по формуле (6) соответственно:

$$G_i = \frac{F_i}{K} \cdot 3600, \quad (5)$$

$$M_i = \frac{N_i}{1000 \cdot K} \quad (6)$$

где F_i – частота на выходе расходомера за время проведения i -го измерения, Гц;
 K – весовой коэффициент, установленный в расходомере, имп/кг;
 N_i – количество импульсов, накопленное поверочной установкой за время проведения i -го измерения, имп.

Минимальное число импульсов, накопленных за время проведения одного измерения, должно быть не менее 10000.

в) в случае если расходомер не имеет частотных и аналоговых выходов, прибор может быть подключен к поверочной установке при помощи конвертеров Profibus DP/PA, Foundation Fieldbus или Modbus.

Результаты поверки считают положительными, если значение относительной погрешности измерений массового расхода (массы) не превышает значений, указанных в описании типа средства измерений.

7.3.2 Определение абсолютной погрешности измерений температуры

Определение абсолютной погрешности измерений температуры допускается не проводить только в том случае, когда расходомер работает в режиме измерений массы жидкости (при поверке без демонтажа на месте эксплуатации).

Определение абсолютной погрешности измерений температуры допускается проводить одним из следующих способов:

1) сравниваются показания температуры, измеренной расходомером, установленным в измерительном канале поверочной установки с показаниями поверочной установки или эталонного термометра. Проводят не менее трёх измерений.

2) измерительный канал расходомера закрывают с одной стороны заглушкой и поворачивают так, чтобы измерительный канал находился в вертикальном положении. Затем заполняют измерительный канал жидкостью и погружают в неё термометр. Проводят не менее трёх измерений.

Абсолютную погрешность измерений температуры Δt , °С, рассчитывают по формуле

$$\Delta t = t_i - t_{эм}, \quad (7)$$

где t_i – температура, измеренная расходомером, °С;
 $t_{эм}$ – температура, измеренная термометром, °С.

Результаты поверки считают положительными, если значение абсолютной погрешности измерений температуры соответствует требованиям, указанным в описании типа средства измерений.

7.3.3 Определение абсолютной погрешности измерений плотности

7.3.3.1 Определение допускаемой абсолютной погрешности измерений плотности для расходомеров с пределами абсолютной погрешности измерений плотности $\Delta \rho \geq \pm 1,0$ кг/м³ допускается проводить следующими способами:

1) сравниваются показания плотности, измеренной расходомером, установленным в измерительном канале установки поверочной с табличными значениями плотности для воды в соответствии с ГСССД 2-77 «Таблицы стандартных справочных данных. Вода. Плотность при атмосферном давлении и температурах от 0 до 100 градусов Цельсия», либо с показаниями портативного плотномера, измерительный датчик которого помещён в бак установки поверочной (в максимальной близости от сливной трубы).

2) Сравнивают значения плотности жидкости измеренной расходомером со значением плотности этой жидкости измеренной эталонным плотномером или преобразователем плотности и расхода. Проводят не менее трёх измерений.

3) измерительный канал расходомера закрывают с одной стороны заглушкой и поворачивают так, чтобы измерительный канал находился в вертикальном положении. Затем заполняют измерительный канал расходомера жидкостью (водой или продуктом). Фиксируют значения температуры и плотности по индикатору расходомера. После этого жидкость выливают во вспомогательную ёмкость и погружают в неё датчик портативного плотномера или ареометр. Фиксируют показания. Затем пересчитывают измеренную ареометром плотность с поправкой на температуру. Для показаний плотномера пересчёт не требуется. Проводят не менее трёх измерений.

Абсолютную погрешность измерений плотности $\Delta \rho$, кг/м³, рассчитывают по формуле

$$\Delta \rho = \rho_{изм} - \rho_{эм}, \quad (8)$$

где $\rho_{эм}$ – плотность, измеренная плотномером (ареометром), кг/м³;
 $\rho_{изм}$ – плотность, измеренная расходомером, кг/м³.

Результат поверки считается положительным, если значения допускаемой абсолютной погрешности измерений плотности $\Delta\rho$, кг/м³, не превышает значений, указанных в описании типа средства измерений.

7.3.3.2 Определение допускаемой абсолютной погрешности измерений плотности для расходомеров с пределами абсолютной погрешности измерений плотности $\Delta\rho < \pm 1,0$ кг/м³, настроенных на месте эксплуатации, допускается проводить без демонтажа расходомера из измерительной линии следующими способами:

1) В поддиапазоне измерений плотности от 650 до 1100 кг/м³ (в соответствии с требованиями МИ 2816-2012) сравнивая показания плотности, измеренной расходомером, с результатом измерений плотности рабочим эталоном 1-го разряда по ГОСТ 8.024-2002.

Абсолютную погрешность измерений плотности $\Delta\rho$, кг/м³, рассчитывают по формуле (8).

2) В поддиапазоне измерений плотности свыше 1100 кг/м³ сравнивая показания плотности, измеренной расходомером, с результатом измерений плотности отобранной пробы измеряемой среды ареометром по ГОСТ 18481-81 (рабочим эталоном 1-го разряда по ГОСТ 8.024-2002).

Абсолютную погрешность измерений плотности $\Delta\rho$, кг/м³, рассчитывают по формуле (8).

3) В поддиапазоне измерений плотности от 650 до 1100 кг/м³ – по МИ 2816-2012.

Результат поверки считается положительным, если значения допускаемой абсолютной погрешности измерений плотности $\Delta\rho$, кг/м³, не превышает значений, указанных в описании типа средства измерений.

7.3.4 Определение относительной погрешности измерений массового расхода (массы) с помощью ТПУ или ЭПУ.

При поверке расходомера в составе измерительных систем на месте эксплуатации поверка может быть проведена по специально разработанным для этих систем методикам поверки. В этих случаях выполняются только те действия, которые предусмотрены в данных методиках.

7.3.4.1 При определении относительной погрешности измерений массового расхода (массы) с помощью ТПУ проводят следующие операции:

7.3.4.1.1 Определение относительной погрешности проводят на значениях расхода, соответствующих значениям: $(0,05 - 0,15) \cdot G_{\max}$, $(0,3 - 0,45) \cdot G_{\max}$, $(0,5 - 0,9) \cdot G_{\max}$.

Расходомеры с первичными преобразователями, у которых $DN \geq 100$ мм или с первичными преобразователями OPTIMASS-7000, допускается поверять на расходах $0,3 \cdot G_{\max}$, $0,1 \cdot G_{\max}$ и $0,05 \cdot G_{\max}$.

Примечание – Количество точек может увеличиться или уменьшиться, в зависимости от крутизны характеристики расходомера.

В каждой точке проводят не менее трех измерений для рабочего расходомера и не менее пяти для контрольного.

Значения расхода устанавливают с допуском ± 10 % от устанавливаемого значения. Последовательность задания расхода выбирают от больших значений к меньшим.

В процессе измерения (движение поршня от одного детектора до другого) фиксируют температуру и давление в поточном преобразователе плотности (ПП), расходомере, на входе и выходе ТПУ, а также плотность продукта. Температуру, давление и плотность продукта принимают равными среднему значению двух измерений: в начале и в конце прохождения поршня. При использовании термометров и манометров с визуальным отсчетом допускается фиксировать температуру и давление один раз за период прохождения поршня. Изменение температуры жидкости в ПП и ТПУ за время одного измерения не должно превышать 0,2 °С.

Результаты измерений заносят в протокол произвольной формы (пример – в Приложении Б).

При применении двунаправленной ТПУ вышеописанные операции проводят и при движении поршня в обратном направлении. При этом пуск поршня в каждом направлении допускается считать за одно измерение, если в свидетельстве о поверке ТПУ указаны метрологические характеристики для каждого направления движения поршня.

7.3.4.1.2 Обработка результатов измерений проводят в соответствии с Приложением Д (Часть I).

7.3.4.2 При определении относительной погрешности измерений массового расхода (массы) с помощью ЭПУ

Определение относительной погрешности измерений проводят на значениях расхода, соответствующих значениям: $(0,05 - 0,15) \cdot G_{\max}$, $(0,3 - 0,45) \cdot G_{\max}$, $(0,5 - 0,9) \cdot G_{\max}$.

Расходомеры с первичными преобразователями, у которых $DN \geq 100$ мм или с первичными преобразователями OPTIMASS-7000, допускается поверять на расходах $0,3 \cdot G_{\max}$, $0,1 \cdot G_{\max}$ и $0,05 \cdot G_{\max}$.

Примечание – Количество точек может увеличиться или уменьшиться, в зависимости от крутизны характеристики расходомера.

Погрешность расходомера определяют путем сличения показаний массы прошедшей через расходомер с массой, взвешенной с помощью поверочной установки.

Количество измерений массы должно проводиться не менее 3 раз.

Относительную погрешность расходомера в процентах для каждого измерения рассчитывают формуле

$$\delta_{ij} = \frac{M_{ij}^{\text{дн}} - M_{ij}^{\text{АРМ}}}{M_{ij}^{\text{АРМ}}} \cdot 100\%, \quad (9)$$

Массовый расход жидкости, при котором производилось определение относительной погрешности измерений массы G_M , т/ч, определяется по формуле

$$G_i = \frac{M_i}{T_i} \cdot 3600, \quad (10)$$

где M_i – масса, по показаниям весов установки, т;

T_i – время налива жидкости на весы по показаниям секундомера, с.

В случае, если требуется определение СКО и коэффициентов коррекции в поддиапазонах расхода поверяемого расходомера то необходимо воспользоваться Приложением Д (Часть II).

Результаты поверки считают положительными, если значение относительной погрешности измерений массового расхода (массы) не превышает значений, указанных в описании типа средства измерений.

Расходомер допускается к применению в качестве:

– рабочего при выполнении условия $\delta \leq 0,25$ %;

– контрольного при выполнении условия $\delta \leq 0,2$ %

7.3.5 Определение относительной погрешности измерений массы с использованием установки поверочной массомерной (УПМ).

Поверку расходомера с использованием УПМ осуществляют на расходе, соответствующем условиям эксплуатации расходомера, в составе измерительной системы. Поверку осуществляют с использованием весовой системы из состава УПМ.

Определяют массу налитой/слитой дозы жидкости. Массу дозы жидкости $M_{\text{дн}}$, вычисляют по формуле

$$M_{\text{дн}} = (M_2 - M_1) \cdot \Pi, \quad (11)$$

где M_2 – показания весов после операций слива/налива, кг;

M_1 – показания весов до начала операций слива/налива, кг;

Π – коэффициент, учитывающий необходимую поправку при взвешивании воздуха, вычисляемый по формуле

$$\Pi = \frac{\rho_{\text{дн}}}{\rho_{\text{м}}} \cdot \left(\frac{\rho_{\text{м}} - \rho_{\text{в}}}{\rho_{\text{дн}} - \rho_{\text{в}}} \right), \quad (12)$$

где $\rho_{\text{дн}}$ – плотность жидкости по показаниям расходомера, кг/м³;
 $\rho_{\text{м}}$ – плотность материала гирь для поверки весов, кг/м³ (берут из свидетельства о поверке используемых гирь, при отсутствии информации принимается 8000 кг/м³);
 $\rho_{\text{в}}$ – плотность воздуха, кг/м³ (из таблицы В.1 Приложения В, ГОСТ 8.400-2013).

Примечание: Значение коэффициента Π вычисляют до пяти знаков после запятой и округляют до четырех знаков после запятой.

Значение относительной погрешности измерений массы $\delta_{\text{М}}$, %, вычисляют формуле

$$\delta_{\text{М}} = \frac{M_{\text{дн}}^{\text{а}} - M_{\text{дн}}}{M_{\text{дн}}} \cdot 100\%, \quad (13)$$

где $M_{\text{дн}}^{\text{а}}$ – значение массы налитой дозы жидкости по показаниям расходомера, кг;
 $M_{\text{дн}}$ – значение массы налитой дозы жидкости, вычисленное по результатам взвешивания на весах, кг.

Примечание: Значение $\delta_{\text{М}}$ вычисляют до трех знаков после запятой и округляют до двух знаков после запятой.

Определение относительной погрешности измерений массы повторяют не менее двух раз. Результаты измерений заносят в протокол произвольной формы.

Результаты поверки считают положительными, если значение относительной погрешности измерений массового расхода (массы) не превышает значений, указанных в описании типа средства измерений.

7.3.6 Определение относительной погрешности измерений объемного расхода (объема)

Определение относительной погрешности измерений объемного расхода (объема) проводят:

- на установке поверочной расходомерной в лабораторных условиях;
- с применением в качестве эталонов ТПУ, ЭПУ или УПМ без демонтажа на месте эксплуатации.

7.3.6.1 Определение относительной погрешности измерений объемного расхода (объема) на установке поверочной расходомерной

При проведении поверки на установке поверочной расходомерной или с использованием ТПУ поверку проводят на значениях расхода, соответствующих значениям: $(0,05 - 0,15) \cdot G_{\text{max}}$, $(0,3 - 0,45) \cdot G_{\text{max}}$, $(0,5 - 0,9) \cdot G_{\text{max}}$.

Расходомеры с первичными преобразователями, у которых $DN \geq 100$ мм или с первичными преобразователями OPTIMASS-7000, допускается поверять на расходах $0,3 \cdot G_{\text{max}}$, $0,1 \cdot G_{\text{max}}$ и $0,05 \cdot G_{\text{max}}$.

Требуемое значение расхода устанавливают с допуском ± 10 %. Для каждого значения расхода проводят не менее трех измерений.

Определение относительной погрешности измерений объемного расхода (объема) на установке поверочной расходомерной проводится аналогично требованиям п.п.7.3.1 настоящей методики поверки.

В формулы (1) – (6) подставляются значения объема V , м³ или объемного расхода Q , м³/ч.

Расходомер считают прошедшим поверку, если значение относительной погрешности измерений объемного расхода (объема) не превышает значений, указанных в описании типа средства измерений.

7.3.6.2 Определение относительной погрешности измерений объемного расхода (объема) с использованием ТПУ или ЭПУ без демонтажа на месте эксплуатации

При проведении поверки с использованием ТПУ или ЭПУ, определение погрешности проводят на расходе, соответствующем условиям эксплуатации расходомера в составе измерительной системы.

Определение относительной погрешности измерений объемного расхода и объема с использованием ТПУ или ЭПУ проводится аналогично требованиям п.п.7.3.4., 7.3.5. и 7.3.6. настоящей методики поверки (в формулы подставляются значения объема V , м^3 или объемного расхода Q , $\text{м}^3/\text{ч}$).

Допускается совмещать определение относительной погрешности измерений объемного расхода (объема) с операциями по определению относительной погрешности массового расхода (массы).

Расходомер считают прошедшим поверку, если значение относительной погрешности измерений объемного расхода (объема) не превышает значений, указанных в описании типа средства измерений.

7.3.6.3 Определение относительной погрешности объема с использованием УПМ

Поверку расходомера с использованием УПМ осуществляют на номинальном расходе измерительной системы, в состав которой входит расходомер. Поверку осуществляют с использованием мерника из состава УПМ.

Наполняют мерник заданной дозой жидкости. Затем фиксируют значения объема по показаниям расходомера V_K , м^3 , и по мернику V_M , м^3 . Так же фиксируют температуру t , $^{\circ}\text{C}$, в мернике.

Определение относительной погрешности измерений объема жидкости δ_V , %, проводят один раз.

Относительную погрешность вычисляют по формуле

$$\delta_V = \frac{V_K - V_M}{V_M} \cdot 100\%, \quad (14)$$

где V_K – объем по расходомеру в рабочих условиях, м^3 ;
 V_M – объем по мернику в рабочих условиях, м^3 .

Объем по мернику в рабочих условиях, при температуре t , $^{\circ}\text{C}$, рассчитывается по формуле

$$V_M = V_M' + V_M^{20} \cdot (t - 20) \cdot \beta, \quad (15)$$

где V_M^{20} – действительный объем мерника при температуре $+20^{\circ}\text{C}$, м^3 ;
 V_M' – объем мерника во время измерений, при температуре t , м^3 ;
 β – коэффициент объемного расширения материала мерника, $1/^{\circ}\text{C}$.

$$\beta = 1 + 3 \cdot \alpha \cdot (t - 20), \quad (16)$$

где α – коэффициент линейного расширения материала мерника (по паспорту), $1/^{\circ}\text{C}$.

Если относительная погрешность измерений объема превысила допустимую погрешность для данного расходомера, то измерение повторяют.

Результат каждого измерения заносят в протокол произвольной формы.

Расходомер считают прошедшим поверку, если значение относительной погрешности измерений объема не превышает значений, указанных в описании типа средства измерений.

8. Оформление результатов поверки

8.1 Результаты поверки заносят в протокол произвольной формы (пример приведен в Приложении Б).

8.2 При положительных результатах поверки выдается свидетельство о поверке в соответствии с действующими правовыми нормативными документами и (или) делается отметка в паспорте прибора. Знак поверки наносится на свидетельство о поверке и (или) в паспорт.

При поверке на ТПУ или ЭПУ, на обратной стороне свидетельства о поверке указывают:

- в каком качестве поверен расходомер (рабочий / контрольный);
- значение рассчитанной относительной погрешности;
- рабочий диапазон, в котором поверен расходомер;
- значение коэффициента коррекции расходомера в рабочем диапазоне.

Коэффициент коррекции заносят в измерительно-вычислительный комплекс (ИВК) СИКН.

8.3 Если коэффициент градуировки (коррекции) изменялся при поверке, то его указывают на обратной стороне свидетельства о поверке и (или) в паспорте.

8.4 При отрицательных результатах поверки выдают извещение о непригодности средства измерений с указанием причин.

Разработано:

Ведущий инженер по метрологии лаборатории №449
ФБУ «Ростест-Москва»

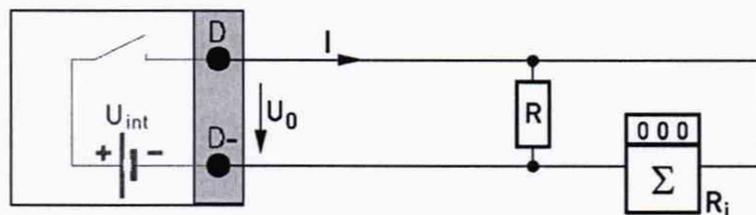

Н.В. Салунин

Начальник лаборатории № 449
ФБУ «Ростест-Москва»


В.И. Беда

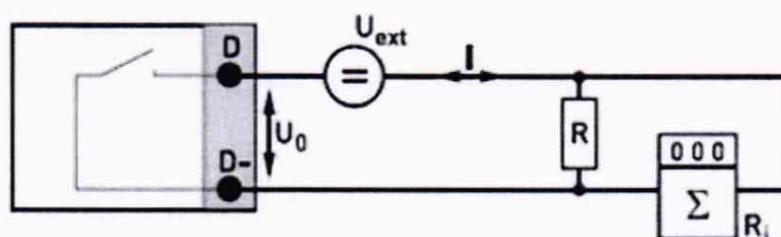
СХЕМА ПОДКЛЮЧЕНИЯ РАСХОДОМЕРА ПРИ ПОВЕРКЕ

Активный импульсный выход



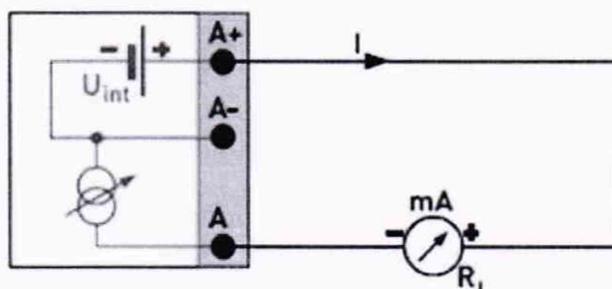
$$U_{\text{ном.}} = 24 \text{ В (пост. тока)}; I \leq 20 \text{ мА}; R_{\text{наг. мин.}} = U_0 / I_{\text{макс.}}$$

Пассивный импульсный выход



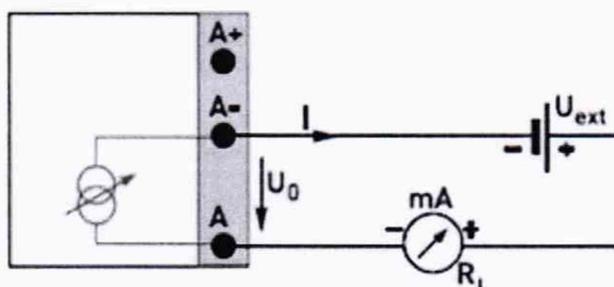
$R = 1,2 \text{ кОм}/0,5 \text{ Вт}$, требуется только при использовании электронного сумматора (электронный сумматор с внутренним сопротивлением R_j более 5 кОм).

Активный токовый выход



$$U_{\text{int, ном.}} = +24 \text{ В}; I \leq 22 \text{ мА}; R_L \leq 1 \text{ кОм.}$$

Пассивный токовый выход



$$U_{\text{ext}} \leq +32 \text{ В}; I \leq 22 \text{ мА}; U_0 \leq +1,8 \text{ В (при } I = 22 \text{ мА)}$$

ПРИЛОЖЕНИЕ Б
(справочное)

Пример протокола поверки при помощи установки поверочной расходомерной

ПРОТОКОЛ ПОВЕРКИ

№ _____ от «__» _____ 20__ г.

| | |
|--|-----------------------------------|
| Вид поверки: | Первичная / Периодическая |
| Место проведения поверки: | |
| Наименование, тип (модификация) средства измерений, регистрационный номер в Госреестре СИ РФ: | |
| Основные метрологические характеристики СИ: | DN, мм; $\delta_{\text{доп}}$, % |
| Заводской номер: | |
| Методика поверки: | |
| Применяемые эталоны: | |

Условия проведения поверки:

| | |
|-------------------------------------|--|
| Температура окружающего воздуха, °С | |
| Относительная влажность воздуха, % | |
| Атмосферное давление, кПа | |
| Поверочная среда | |

Результаты поверки:

Внешний осмотр: Соответствует / Не соответствует

Опробование: Соответствует / Не соответствует

Идентификационные данные:

Номер версии (идентификационный номер) ПО _____

Таблица Б.1.1 – Определение метрологических характеристик:

| Расход | Значение расхода (массы, объема) прибора | Значение расхода (массы, объема) эталона | Погрешность |
|--------|--|--|-------------|
| т/ч | т/ч | т/ч | % |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

Таблица Б.1.2 – Определение абсолютной погрешности измерений температуры Δt , °С

| Измерение | Значение температуры измеренное расходомером t_i | Значение температуры измеренное термометром t_s | Абсолютная погрешность, Δt | Значение допускаемой абсолютной погрешности, Δt |
|-----------|--|---|------------------------------------|---|
| | °С | °С | °С | °С |
| 1 | | | | |
| 2 | | | | |
| 3 | | | | |

Заключение: Средство измерений пригодно / непригодно к применению

Поверитель: _____ / _____ /
 (роспись) (расшифровка росписи)

Дата: _____

Пример протокола поверки расходомера по каналу измерений массы при помощи ТПУ и ПП

ПРОТОКОЛ ПОВЕРКИ

№ _____ от «___» _____ 20__ г.
расходомера по каналу измерений массы при помощи ТПУ и ПП

| | |
|--|--|
| Вид поверки: | Первичная / Периодическая |
| Место проведения поверки: | |
| Наименование, тип (модификация) средства измерений, регистрационный номер в Госреестре СИ РФ: | |
| Основные метрологические характеристики СИ: | DN, мм; $\delta_{\text{доп}}$, %; MF, т/имп |
| Заводской номер: | |
| Методика поверки: | |
| Применяемые эталоны: | |

Условия проведения поверки:

| | |
|-------------------------------------|--|
| Температура окружающего воздуха, °С | |
| Относительная влажность воздуха, % | |
| Атмосферное давление, кПа | |
| Поверочная среда | |

Результаты поверки:

Внешний осмотр: Соответствует / Не соответствует

Опробование: Соответствует / Не соответствует

Идентификационные данные: Номер версии (идентификационный номер) ПО _____

Таблица Б.2.1 – Исходные данные

| Объем калиброванного участка ТПУ в н.у., $V, \text{м}^3$ | Внутренний диаметр калиброванного участка ТПУ, $D, \text{мм}$ | Толщина стенки калиброванного участка ТПУ, $S, \text{мм}$ | Модуль упругости материала стенок ТПУ, $E, \text{МПа}$ | Коэффициент линейного расширения ТПУ $\alpha, 1/^\circ\text{C}$ | Предел допускаемой абсолютной погрешности температуры, $\Delta t_{\text{тпу}}, ^\circ\text{C}$ | Предел допускаемой абсолютной погрешности температуры, $\Delta t_{\text{пп}}, ^\circ\text{C}$ | Предел допускаемой абсолютной погрешности плотности, $\Delta \rho_{\text{пп}}, \text{кг/м}^3$ | Коэффициент сжимаемости $\gamma_{ij}, 1/\text{МПа}$ | Стабильность нуля, $ZS, \text{т/ч}$ | Доверительная граница суммарной составляющей погрешности ТПУ, $\Theta_{\Sigma 0}, \%$ | Доверительная граница относительной погрешности вместимости ТПУ, $\Theta_{V0}, \%$ |
|--|---|---|--|---|--|---|---|---|-------------------------------------|---|--|
| | | | | | | | | | | | |

Таблица Б.2.2 – Результаты измерений и вычислений

| № изм. | Границы расхода G_{ij} , т/ч | Время проведения измерений, t_i , с | Температура продукта в ПП $t_{ппj}$, °С | Температура продукта в ТПУ, $t_{тпуj}$, °С | Давление продукта в ТПУ, $P_{тпуj}$, МПа | Давление продукта в ПП, $P_{ппj}$, МПа | Количество импульсов расходомером N_{ji} , имп | Объем калибровочного участка ТПУ в условиях поверки V_{ji} , м ³ | Значение плотности продукта при температуре и давлении в ПП ρ_{ij} , кг/м ³ | Масса продукта, измеренная расходомером M_{ji} , т | Масса продукта, вычисленная по измерениям ТПУ и ПП M_{0ji} , т |
|--------|--------------------------------|---------------------------------------|--|---|---|---|--|---|---|--|--|
| | | | | | | | | | | | |

Продолжение Таблицы Б.2.3 – Результаты измерений и вычислений

| Коэффициент, учитывающий разность температур продукта в ТПУ и ПП, $K_{ткij}$ | Коэффициент, учитывающий разность давления продукта в ТПУ и ПП, $K_{ржij}$ | Коэффициент, учитывающий влияние температуры продукта на рабочий объем ТПУ, $K_{тj}$ | Коэффициент, учитывающий влияние давления продукта на рабочий объем ТПУ, $K_{рj}$ | Коэффициент объемного расширения продукта, β^{ij} , 1/°С | Коэффициент коррекции расходомера MF_{ij} , т/имп |
|--|--|--|---|--|---|
| | | | | | |

Таблица Б.2.4 – Результаты поверки в точках рабочего диапазона измерений

| № точ. | Расход в j -ой точке G_j , т/ч | Коэффициент коррекции рабочего расходомера MF_j , т/имп | Количество измерений в j -ой точке расхода, n_j | Среднеквадратичное отклонение результата определения коэффициента коррекции в j -ой точке расхода, $S(MF)_j$, % | Квантиль распределения Стьюдента, $t_{0.95}$ |
|--------|------------------------------------|---|---|--|--|
| | | | | | |

Заключение: Средство измерений пригодно/непригодно к применению

Ф.И.О. и подпись лица, проводившего поверку _____

Дата проведения поверки _____

Пример протокола поверки расходомера по каналу измерений массы при помощи ЭПУ

ПРОТОКОЛ

№ _____ от «___» _____ 20__ г.

| | |
|---|--|
| Вид поверки: | Первичная / Периодическая |
| Место проведения поверки: | |
| Наименование, тип (модификация) средства измерений, регистрационный номер в Госреестре СИ РФ: | |
| Основные метрологические характеристики СИ: | DN, мм; $\delta_{\text{доп}}$, %; MF, т/имп |
| Заводской номер: | |
| Методика поверки: | |
| Применяемые эталоны: | |

Условия проведения поверки:

| | |
|-------------------------------------|--|
| Температура окружающего воздуха, °С | |
| Относительная влажность воздуха, % | |
| Атмосферное давление, кПа | |
| Поверочная среда | |

Результаты поверки:

Внешний осмотр: Соответствует / Не соответствует

Опробование: Соответствует / Не соответствует

Идентификационные данные: Номер версии (идентификационный номер) ПО _____

Таблица Б.3.1 – Результаты измерений

| $N_{\text{изм}}$ | Q_{ij} , т/ч | $T_{\text{изм}}$, с | $M_{эij}$, т | M_{pij} , т | MF_{ij} |
|------------------|----------------|----------------------|---------------|---------------|-----------|
| | | | | | |

Таблица Б.3.2 – Результаты поверки

| № точки расхода | Q_j , т/ч | MF_j | S_j , % |
|-----------------|-------------|--------|-----------|
| 1 | | | |
| 2 | | | |
| 3 | | | |

Продолжение таблицы Б.3.2

| Диапазон, т/ч | K , г/с/мкс | $\delta_{ЭПУ}$, % | Θ_{imax} , % | Θ_t , % | Θ_P , % | δ_M , % |
|---------------|---------------|--------------------|---------------------|----------------|----------------|----------------|
| | | | | | | |

Заключение: Средство измерений пригодно/непригодно к применению

Ф.И.О. и подпись лица, проводившего поверку _____

Дата проведения поверки _____

Коэффициент коррекции расхода.

Коррекцию коэффициента расхода проводят при расходе продукта, соответствующем условиям эксплуатации расходомера.

Проводится не менее 2-х измерений. Показания расходомера сравниваются с показаниями эталона. Выбирается значение с максимальным отклонением от установленного расхода, без учета знака. В случае, если значение превышает допустимую погрешность расходомера, то вносят изменения в коэффициент коррекции расхода в подменю C1.1.4 «Flow correction».

Коэффициент коррекции расходомера в рабочем диапазоне измерений массового расхода MF , %, вычисляют по формуле:

$$MF = MF_{уст} \pm MF_i, \quad (B.1)$$

где $MF_{уст}$ – коэффициент коррекции, установленный в расходомер на момент проведения поверки, %;

MF_i – поправка к показаниям массового расхода, которая вносится со знаком, противоположным знаку полученной в ходе измерений относительной погрешности δ_i .

Например, если массовый расходомер завьшает показания массового расхода с погрешностью +0,1 %, а существующая поправка в подменю C1.1.4 равна +0,05 %, то значение поправочного коэффициента C1.1.4 будет определено как:

$$MF = (+0,05) - 0,1 = -0,05, \quad (B.2)$$

Значение -0,05 % должно быть внесено в подменю C1.1.4 «Flow correction» (Коррекция расхода).

ПРИЛОЖЕНИЕ Г
(обязательное)

Значения коэффициентов расширения и модуля упругости материалов ТПУ.

Квантили распределения Стьюдента.

Коэффициенты объёмного расширения и сжимаемости нефтепродуктов

Таблица Г.1. – Значения коэффициента линейного α , квадратичного α_{kl} расширения и модуля упругости E материала ТПУ

| Материал | α , $1/^\circ\text{C}$ | α_{kl} , $1/^\circ\text{C}$ | E , МПа |
|------------------------|-------------------------------|------------------------------------|-------------------|
| Сталь углеродистая | $1,12 \cdot 10^{-5}$ | $2,23 \cdot 10^{-5}$ | $2,07 \cdot 10^5$ |
| Сталь легированная | $1,10 \cdot 10^{-5}$ | $2,20 \cdot 10^{-5}$ | $2,00 \cdot 10^5$ |
| Сталь нержавеющая 304 | $1,73 \cdot 10^{-5}$ | $3,46 \cdot 10^{-5}$ | $1,93 \cdot 10^5$ |
| Сталь нержавеющая 316 | $1,59 \cdot 10^{-5}$ | $3,18 \cdot 10^{-5}$ | $1,93 \cdot 10^5$ |
| Сталь нержавеющая 17-4 | $1,08 \cdot 10^{-5}$ | $2,16 \cdot 10^{-5}$ | $1,97 \cdot 10^5$ |
| Инвар | $1,44 \cdot 10^{-6}$ | | |

Примечание – Если в паспорте ТПУ приведены значения α и E , то используют паспортные значения.

Таблица Г.2. – Квантили распределения Стьюдента для $t_{0,95}$

| п-1 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----------|
| $t_{0,95}$ | 2,23 | 2,20 | 2,18 | 2,16 | 2,15 | 2,13 | 2,12 | 2,11 | 2,10 | 2,09 | 2,08 |
| п-1 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | ∞ |
| $t_{0,95}$ | 2,08 | 2,07 | 2,07 | 2,06 | 2,06 | 2,06 | 2,05 | 2,05 | 2,05 | 2,04 | 1,96 |

Таблица Г.3. – Квантили распределения Стьюдента для $t_{0,99}$

| п-1 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
|------------|------|------|------|------|------|------|
| $t_{0,99}$ | 3,17 | 3,11 | 3,06 | 3,01 | 2,98 | 2,95 |

Таблица Г.4. – Значения коэффициента объёмного расширения нефтепродукта

| ρ , кг/м^3 | β , $1/^\circ\text{C}$ | ρ , кг/м^3 | β , $1/^\circ\text{C}$ | ρ , кг/м^3 | β , $1/^\circ\text{C}$ |
|--------------------------|------------------------------|--------------------------|------------------------------|--------------------------|------------------------------|
| 700...719 | 0,001255 | 800...819 | 0,000937 | 900...919 | 0,000688 |
| 720...739 | 0,001183 | 820...839 | 0,000882 | 920...939 | 0,000645 |
| 740...759 | 0,001118 | 840...859 | 0,000831 | 940...959 | 0,000604 |
| 760...779 | 0,001054 | 860...879 | 0,000782 | 960...979 | 0,000564 |
| 780...799 | 0,000995 | 880...899 | 0,000734 | 980...1000 | 0,000526 |

Таблица Г.5. – Значения коэффициента сжимаемости нефтепродукта

| Наименование нефтепродукта | Коэффициент сжимаемости F , $1/\text{МПа}$ |
|----------------------------|--|
| Бензин | $1,0 \cdot 10^{-3}$ |
| Керосин | $0,7 \cdot 10^{-3}$ |
| Дизельное топливо | $0,65 \cdot 10^{-3}$ |

Часть I. Обработка результатов измерений при определении относительной погрешности измерений массового расхода (массы) комплектом ТПУ и поточного плотномера

Массу рабочей жидкости, определенную с помощью средств поверки за время i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода $M_{ТПУji}$, т, вычисляют по формулам

$$M_{ТПУji} = V_0 \cdot K_{tji} \cdot K_{Pji} \cdot \rho_{ППji} \cdot \frac{CTL_{ПУji} \cdot CPL_{ПУji}}{CTL_{ППji} \cdot CPL_{ППji}} \cdot 10^{-3}, \quad (Д.1)$$

$$K_{tji} = 1 + 3 \cdot \alpha_t \cdot (t_{ПУji} - 20), \quad (Д.2)$$

$$K_{Pji} = 1 + (1,25 - \mu) \cdot \frac{P_{ПУji} \cdot D}{E \cdot S}, \quad (Д.3)$$

$$t_{ПУji} = \frac{t_{ВхПУji} + t_{ВыхПУji}}{2}, \quad (Д.4)$$

$$P_{ПУji} = \frac{P_{ВхПУji} + P_{ВыхПУji}}{2}, \quad (Д.5)$$

где V_0 – вместимость калиброванного участка поверочной установки (ПУ) при стандартных условиях ($t = 20$ °С и $P = 0$ МПа), м³;

K_{tji} – коэффициент, учитывающий влияние температуры на вместимость ПУ, для i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода;

K_{Pji} – коэффициент, учитывающий влияние давления на вместимость ПУ, для i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода;

$\rho_{ППji}$ – плотность рабочей жидкости за время i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода (по поточному плотномеру), кг/м³;

$CTL_{ПУji}$ – коэффициент, учитывающий влияние температуры на объем рабочей жидкости, определенный для температуры рабочей жидкости в ПУ для i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода (вычисляют по Приложению Е);

$CPL_{ПУji}$ – коэффициент, учитывающий влияние давления на объем рабочей жидкости, определенный для давления рабочей жидкости в ПУ для i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода (вычисляют по Приложению Е);

$CTL_{ППji}$ – коэффициент, учитывающий влияние температуры на объем рабочей жидкости, определенный для температуры рабочей жидкости в ПП для i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода (вычисляют по Приложению Е);

$CPL_{ППji}$ – коэффициент, учитывающий влияние давления на объем рабочей жидкости, определенный для давления рабочей жидкости в ПП для i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода (вычисляют по Приложению Е);

α_t – коэффициент линейного расширения материала стенок калиброванного участка ПУ (из технической документации на ПУ или определяют Приложению Г), 1/°С;

$t_{ПУji}$ – среднее значение температуры рабочей жидкости в ПУ за время i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода, °С;

$t_{ВхПУji}$, $t_{ВыхПУji}$ – температура рабочей жидкости на входе и выходе ПУ за время i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода, °С;

$P_{ПУji}$ – среднее значение избыточного давления рабочей жидкости в ПУ за время i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода, МПа;

$P_{ВхПУji}$, $P_{ВыхПУji}$ – давление рабочей жидкости на входе и выходе ПУ за время i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода, МПа;

μ – коэффициент Пуассона (для материала стенок большинства ТПУ (стали) принят равным 0,3);

D – внутренний диаметр калиброванного участка ПУ (из технической документации на ТПУ), мм;

S – толщина стенок калиброванного участка ПУ (из технической документации на ТПУ), мм;

E – модуль упругости материала стенок калиброванного участка ПУ (из технической документации на ПУ или определяют по Приложению Г), МПа.

Вычисление массы рабочей жидкости допускается проводить согласно алгоритму, реализованному в измерительно-вычислительном комплексе (ИВК), в том числе вычислителем расхода или измерительном контроллере, прошедшем испытания для целей утверждения типа.

Массовый расход рабочей жидкости через расходомер за время i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода G_{ji} , т/ч, вычисляют по формуле

$$G_{ji} = \frac{M_{пуji}}{T_{ji}} \cdot 3600, \quad (Д.6)$$

где $M_{пуji}$ – масса рабочей жидкости, определенная с помощью средств поверки за время i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода, т;

T_{ji} – время i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода, с.

Массовый расход рабочей жидкости через расходомер в j -ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода G_j , т/ч, вычисляют по формуле

$$G_j = \frac{\sum_{i=1}^{n_j} G_{ji}}{n_j}, \quad (Д.7)$$

где G_{ji} – массовый расход рабочей жидкости через расходомер за время i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода, т/ч;

n_j – количество измерений в j -ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода.

Нижний и верхний предел рабочего диапазона измерений массового расхода G_{\min} , G_{\max} , т/ч, вычисляют по формулам

$$G_{\min} = \min(G_j); \quad G_{\max} = \max(G_j), \quad (Д.8)$$

где G_j – массовый расход рабочей жидкости через расходомер в j -ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода, т/ч.

Массу рабочей жидкости, определенную с помощью расходомер за время i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода M_{ji} , т, вычисляют по формуле

$$M_{ji} = \frac{N_{ji}}{K_{пм}}, \quad (Д.9)$$

где N_{ji} – количество импульсов от расходомера за время i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода, имп;

$K_{пм}$ – коэффициент преобразования расходомера, имп/т.

Градуировочный коэффициент расходомера в рабочем диапазоне измерений массового расхода K_M , г/с/мкс вычисляют по формуле

$$K_M = \frac{\sum_{j=1}^m K_{Mj}}{m}, \quad (Д.10)$$

$$K_{Mj} = \frac{\sum_{i=1}^{n_j} K_{Mji}}{n_j}, \quad (Д.11)$$

$$K_{Mji} = \frac{M_{пуji}}{M_{ji}} \cdot K_{M_{уст}}, \quad (Д.12)$$

где K_{Mj} – среднее значение градуировочного коэффициента расходомера в j -ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода, г/с/мкс;

m – количество точек рабочего диапазона измерений массового расхода;

K_{Mji} – значение градуировочного коэффициента расходомера для i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода, г/с/мкс;

n_j – количество измерений в j -ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода;

$M_{пуji}$ – масса рабочей жидкости, определенная с помощью средств поверки за время i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода, г;

M_{ji} – масса рабочей жидкости, определенная с помощью поверяемого расходомера за время i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода, г;

$K_{Mуст}$ – градуировочный коэффициент, установленный в поверяемом расходомере на момент проведения поверки, г/с/мкс.

Коэффициент коррекции расходомера в рабочем диапазоне измерений массового расхода MF , вычисляют по формуле

$$MF = \frac{\sum_{j=1}^m MF_j}{m}, \quad (Д.13)$$

$$MF_j = \frac{\sum_{i=1}^{n_j} MF_{ji}}{n_j}, \quad (Д.14)$$

$$MF_{ji} = \frac{M_{пуji}}{M_{ji}} \cdot MF_{уст}, \quad (Д.15)$$

где MF_j – среднее значение коэффициента коррекции расходомера в j -ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода;

m – количество точек рабочего диапазона измерений массового расхода;

MF_{ji} – значение коэффициента коррекции расходомера для i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода;

n_j – количество измерений в j -ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода;

$M_{пуji}$ – масса рабочей жидкости, определенная с помощью средств поверки за время i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода, г;

M_{ji} – масса рабочей жидкости, определенная с помощью расходомера за время i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода, г;

$MF_{уст}$ – коэффициент коррекции, установленный в расходомере на момент проведения поверки.

СКО результатов измерений в j -ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода S_j , %, вычисляют по формуле

$$S_j = \begin{cases} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_j} (K_{Mji} - K_{Mj})^2}{n_j - 1} \cdot \frac{1}{K_{Mj}} \cdot 100} & \text{при определении } K_M \\ \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_j} (MF_{ji} - MF_j)^2}{n_j - 1} \cdot \frac{1}{MF_j} \cdot 100} & \text{при определении } MF \end{cases} \quad (Д.16)$$

Проверяют выполнение условия

$$S_j \leq 0,05 \%, \quad (Д.17)$$

При выполнении данного условия продолжают обработку результатов измерений

При невыполнении условия (Д.17) выявляют наличие промахов в полученных результатах вычислений, согласно Приложению Ж. Выявленный промах исключают и проводят дополнительное измерение. При отсутствии промахов выясняют и устраняют причины, обуславливающие невыполнение условия (Д.17) и повторно проводят измерения

Границу неисключенной систематической погрешности расходомера в рабочем диапазоне измерений расхода, Θ , %, вычисляют по формулам

$$\Theta = 1,1 \sqrt{\Theta_{\Sigma 0}^2 + \Theta_{V_0}^2 + \Theta_i^2 + \Theta_p^2 + \Theta_A^2 + \Theta_{ИВК}^2 + \Theta_Z^2 + \Theta_{Ml}^2 + \Theta_{MP}^2}, \quad (Д.18)$$

$$\Theta_i = \beta_{\max} \cdot 100 \cdot \sqrt{\Delta t_{ПВ}^2 + \Delta t_{ПП}^2}, \quad (Д.19)$$

где $\beta_{\max} = \max(\beta_{ji})$;

$$\Theta_p = \frac{\Delta \rho_{ПП}}{\rho_{ПП \min}} \cdot 100, \quad (Д.20)$$

где $\rho_{ПП \min} = \min(\rho_{ППji})$;

$$\Theta_A = \begin{cases} \max \left(\left| \frac{K_{Mj} - K_M}{K_M} \right| \cdot 100 \right) & \text{при определении } K_M \\ \max \left(\left| \frac{MF_j - MF}{MF} \right| \cdot 100 \right) & \text{при определении } MF \end{cases} \quad (Д.21)$$

$$\Theta_Z = \begin{cases} 0 & \text{для расходомера с коррекцией стабильности нуля} \\ \frac{ZS}{G_{\min}} \cdot 100 & \text{для расходомера без коррекции стабильности нуля} \end{cases} \quad (Д.22)$$

$$\Theta_{ИВК} = \delta_{ИВК}, \quad (Д.23)$$

$$\Theta_{Ml} = \frac{\delta_{идо} \cdot G_{ном} \cdot \Delta t}{G_{\min}} \cdot 100, \quad (Д.24)$$

$$\Delta t = \max[(t_{\max} - t_{П}), (t_{П} - t_{\min})], \quad (Д.25)$$

$$\Theta_{MP} = \begin{cases} 0 & \text{для расходомера с коррекцией по давлению} \\ 10 \cdot \delta_{Рдоп} \cdot \Delta P & \text{для расходомера без коррекции по давлению} \end{cases} \quad (Д.26)$$

$$\Delta P = \max[(P_{\max} - P_{П}), (P_{П} - P_{\min})], \quad (Д.27)$$

где $\Theta_{\Sigma 0}$ – граница суммарной неисключенной систематической погрешности ПУ (из свидетельства о поверке ПУ; для ПУ с двумя парами детекторов берут наибольшее значение), %;

Θ_{V_0} – граница неисключенной систематической погрешности определения среднего значения вместимости ПУ (из свидетельства о поверке ПУ; для ПУ с двумя парами детекторов берут наибольшее значение), %;

Θ_i – граница неисключенной систематической погрешности, обусловленной погрешностью преобразователей температуры при измерениях температуры рабочей жидкости в ПУ и ПП, %;

Θ_p – граница неисключенной систематической погрешности, обусловленной погрешностью ПП, %;

Θ_A – граница неисключенной систематической погрешности, обусловленной аппроксимацией градуировочной характеристики расходомера в рабочем диапазоне измерений массового расхода, %;

$\Theta_{\text{ИВК}}$ – граница неисключенной систематической погрешности, обусловленной погрешностью ИВК, %;

$\delta_{\text{ИВК}}$ – предел допустимой относительной погрешности преобразования входных электрических сигналов в значение коэффициента преобразования расходомера ИВК (из свидетельства о поверке ИВК), %;

Θ_Z – граница неисключенной систематической погрешности, обусловленной нестабильностью нуля расходомера, %;

Θ_{M_t} – граница неисключенной систематической погрешности, обусловленной влиянием отклонения температуры рабочей жидкости в условиях эксплуатации расходомера от температуры рабочей жидкости при поверке, %;

Θ_{M_P} – граница неисключенной систематической погрешности, обусловленной влиянием отклонения давления рабочей жидкости в условиях эксплуатации расходомера от давления рабочей жидкости при поверке, %;

β_{max} – максимальное значение коэффициента объемного расширения рабочей жидкости за время поверки, $1/^\circ\text{C}$;

β_{ji} – коэффициент объемного расширения рабочей жидкости для i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода (определяют по МИ 2632-2001 «ГСИ. Плотность нефти и нефтепродуктов и коэффициенты объемного расширения и сжимаемости. Методы и программа расчета.», ГНМЦ ГУП «ВНИИМ им. Д.И.Менделеева», 2001 г.; Р 50.2.076-2010 «ГСИ. Плотность нефти и нефтепродуктов. Методы расчета. Программа и таблицы приведения.», ФГУП ВНИИР, 2010 г. или Приложению Е), $1/^\circ\text{C}$;

$\Delta t_{\text{ПУ}}$ – предел допускаемой абсолютной погрешности преобразователей температуры, установленных в ПУ (из свидетельства о поверке преобразователя температуры), $^\circ\text{C}$;

$\Delta t_{\text{ПП}}$ – предел допускаемой абсолютной погрешности преобразователя температуры, установленного около ПП (из свидетельства о поверке преобразователя температуры), $^\circ\text{C}$;

$\Delta \rho_{\text{ПП}}$ – предел допускаемой абсолютной погрешности ПП (из свидетельства о поверке преобразователя плотности), $\text{кг}/\text{м}^3$;

$\rho_{\text{ППmin}}$ – минимальное значение плотности рабочей жидкости за время поверки, $\text{кг}/\text{м}^3$;

$\rho_{\text{ППji}}$ – плотность рабочей жидкости за время i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода, $\text{кг}/\text{м}^3$;

ZS – стабильность нуля расходомера (из технической документации на расходомер), т/ч;

G_{min} – нижний предел рабочего диапазона измерений массового расхода поверяемого расходомера, т/ч;

$\delta_{\text{доп}}$ – значение дополнительной погрешности, обусловленной отклонением температуры рабочей жидкости при эксплуатации расходомера от температуры рабочей жидкости при поверке (из описания типа или технической документации на расходомер), $\%/^\circ\text{C}$;

$G_{\text{ном}}$ – номинальное значение массового расхода в расходомер (из технической документации на расходомер), т/ч;

Δt – максимальное отклонение температуры рабочей жидкости при эксплуатации расходомера от температуры рабочей жидкости при поверке, $^\circ\text{C}$;

$t_{\text{П}}$ – среднее значение температуры рабочей жидкости при поверке (допускается использовать среднее значение температуры рабочей жидкости в ТПУ), $^\circ\text{C}$;

$t_{\text{min}}, t_{\text{max}}$ – нижний и верхний предел рабочего диапазона температур рабочей жидкости при эксплуатации расходомера, $^\circ\text{C}$;

$\delta_{\text{Рдоп}}$ – значение дополнительной погрешности, обусловленной отклонением давления рабочей жидкости при эксплуатации расходомера от давления рабочей жидкости при поверке (из описания типа или технической документации на расходомер), $\%/0,1 \text{ МПа}$;

ΔP – максимальное отклонение давления рабочей жидкости при эксплуатации расходомера от давления рабочей жидкости при поверке, МПа;

$P_{\text{min}}, P_{\text{max}}$ – нижний и верхний предел рабочего диапазона давлений рабочей жидкости при эксплуатации расходомера, МПа;

P_{Π} – среднее значение давления рабочей жидкости при поверке (допускается использовать среднее значение давления рабочей жидкости в ТПУ), МПа.

СКО среднего значения результатов измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода S_{0j} , %, вычисляют по формуле

$$S_{0j} = \frac{S_j}{\sqrt{n_j}}, \quad (\text{Д.28})$$

где S_j – СКО результатов измерений в j -ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода, %;

n_j – количество измерений в j -ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода.

Границу случайной погрешности расходомера в рабочем диапазоне измерений массового расхода (при доверительной вероятности $P = 0,95$) ε , %, вычисляют по формулам

$$\varepsilon = \max(\varepsilon_j), \quad (\text{Д.29})$$

где ε_j – граница случайной погрешности в j -ой точке рабочего диапазона, %;

$$\varepsilon_j = t_{0,95j} \cdot S_{0j}, \quad (\text{Д.30})$$

$t_{0,95j}$ – квантиль распределения Стьюдента для количества измерений n_j в j -ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода (определяют по таблице Г.2, Приложения Г).

СКО среднего значения результатов измерения, в рабочем диапазоне измерений массового расхода S_0 , принимают равным значению СКО среднего значения результатов измерения в точке рабочего диапазона измерений массового расхода с максимальным значением границы случайной погрешности ε_j .

Границу относительной погрешности расходомера в рабочем диапазоне измерений массового расхода δ , %, определяют по формулам

$$\delta = \begin{cases} \varepsilon & \text{если } \frac{\Theta}{S_0} < 0,8 \\ K \cdot S_{\Sigma} & \text{если } 0,8 \leq \frac{\Theta}{S_0} \leq 8 \\ \Theta & \text{если } \frac{\Theta}{S_0} > 8 \end{cases} \quad (\text{Д.31})$$

$$K = \frac{\varepsilon + \Theta}{S_0 + S_{\Theta}}, \quad (\text{Д.32})$$

$$S_{\Sigma} = \sqrt{S_{\Theta}^2 + S_0^2}, \quad (\text{Д.33})$$

$$S_{\Theta} = \sqrt{\frac{\Theta_{\Sigma 0}^2 + \Theta_{V 0}^2 + \Theta_t^2 + \Theta_p^2 + \Theta_A^2 + \Theta_{ИВК}^2 + \Theta_Z^2 + \Theta_{M1}^2 + \Theta_{MP}^2}{3}}, \quad (\text{Д.34})$$

где ε – граница случайной погрешности расходомера в рабочем диапазоне измерений массового расхода, %;

Θ – граница неисключенной систематической погрешности расходомера в рабочем диапазоне измерений массового расхода, %;

K – коэффициент, зависящий от соотношения случайной и неисключенной систематической погрешностей;

S_{Σ} – суммарное СКО результата измерений, %;

S_{Θ} – СКО суммы неисключенных систематических погрешностей, %;

S_0 – СКО среднего значения результатов измерений в рабочем диапазоне измерений массового расхода, %.

Результаты поверки считают положительными и расходомер допускается к применению в качестве:

- рабочего при выполнении условия $\delta \leq 0,25 \%$;
- контрольного при выполнении условия $\delta \leq 0,2 \%$.

Значение СКО среднего значения результатов измерений в рабочем диапазоне измерений массового расхода $S_0, \%$, не должно превышать значения, приведенного в (Д.17).

При невыполнении этих условий поверку прекращают до выяснения и устранения причин, проводят корректировку «нулевой точки» и коэффициента коррекции расходомера.

Часть II. Обработка результатов измерений при определении относительной погрешности измерений массового расхода (массы) при помощи ЭПУ

Коэффициент преобразования поверяемого расходомера ($K_{\text{пм}}$, имп/т), соответствующий максимальному массовому расходу, вычисляют по формуле

$$K_{\text{пм}} = \frac{f_{\text{max}} \cdot 3600}{Q_{\text{max}}}, \quad (\text{Д.35})$$

где f_{max} – максимальная частота выходного сигнала поверяемого расходомера, соответствующая максимальному массовому расходу поверяемого расходомера, Гц, ($f_{\text{max}} = 10000$ Гц);

Q_{max} – максимальный массовый расход поверяемого расходомера, т/ч.

Коэффициент коррекции поверяемого расходомера (MF_{ij}) при i -ом измерении в j -ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода вычисляют по формуле

$$MF_{ij} = \frac{M_{ij}^3}{M_{ij}}, \quad (\text{Д.36})$$

Среднее значение коэффициента коррекции поверяемого расходомера (MF_j) в j -ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода вычисляют по формуле

$$MF_j = \frac{\sum_{i=1}^n MF_{ij}}{n}, \quad (\text{Д.37})$$

где n – количество измерений в j -ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода ($n \geq 5$).

СКО результатов измерений (S_j , %) в j -ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода вычисляют по формуле

$$S_j = \frac{1}{MF_j} \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (MF_{ij} - MF_j)^2}{n-1}} \cdot 100, \quad (\text{Д.38})$$

Проверяют выполнение следующего условия

$$S_j \leq 0,05 \% \quad (\text{Д.39})$$

При невыполнении условия (Д.39) выявляют наличие грубых промахов в полученных результатах измерений. При отсутствии грубых промахов проверяют правильность монтажа и подключения поверяемого расходомера и производят повторную установку нуля. Если же условие (Д.39) снова не выполняется, то поверяемый расходомер подлежит профилактическому осмотру.

Грубые промахи в полученных результатах измерений выявляют в соответствии с Приложением Ж.

Коэффициент коррекции поверяемого расходомера (MF) в рабочем диапазоне измерений массового расхода вычисляют по формуле

$$MF = \frac{\sum_{j=1}^m MF_j}{m}, \quad (\text{Д.40})$$

где m – количество точек рабочего диапазона измерений массового расхода.

Градуировочный коэффициент поверяемого расходомера (по результатам поверки), K'_m г/с/мкс, вычисляют по формуле

$$K'_m = K_m \cdot MF, \quad (\text{Д.41})$$

где K_m – градуировочный коэффициент поверяемого расходомера, установленный до проведения поверки, г/с/мкс.

Границы случайной составляющей погрешности поверяемого расходомера (ε_j , %) в j -ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода вычисляют по формуле

$$\varepsilon_j = t_{0,95} \cdot \frac{S_j}{\sqrt{n}}, \quad (\text{Д.42})$$

где $t_{0,95}$ – квантиль распределения Стьюдента при доверительной вероятности $P = 0,95$ (Приложение Г).

Границы систематической составляющей погрешности поверяемого расходомера (Θ_j , %), обусловленной усреднением в диапазоне измерений коэффициента коррекции, в j -ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода вычисляют по формуле

$$\Theta_j = \frac{MF_j - MF}{MF} \cdot 100 \quad (\text{Д.43})$$

Границы дополнительной погрешности (Θ_t , %), обусловленной изменением температуры рабочей жидкости при последующей эксплуатации поверяемого расходомера в составе СИКН, вычисляют по формуле

$$\Theta_t = \frac{b \cdot G_{\text{ном}} \cdot \Delta_t}{G_{\text{изм. min}}}, \quad (\text{Д.44})$$

где b – дополнительная погрешность по температуре, %/°С, (из описания типа на поверяемый расходомер);

$G_{\text{ном}}$ – номинальный массовый расход поверяемого расходомера, т/ч, (из технической документации на поверяемый расходомер);

$G_{\text{изм. min}}$ – минимальное значение измеряемого массового расхода поверяемым расходомером, т/ч;

Δ_t – максимально возможное изменение температуры рабочей жидкости при последующей эксплуатации поверяемого расходомера в составе СИКН, °С.

Максимально возможное изменение температуры (Δ_t , °С) рабочей жидкости при последующей эксплуатации поверяемого расходомера в составе СИКН определяют по формуле

$$\Delta_t = |t_{P_{\text{max}}} - t_{\text{П}}|, \quad (\text{Д.45})$$

где $t_{P_{\text{max}}}$ – максимальное значение температуры рабочей жидкости при последующей эксплуатации поверяемого расходомера в составе СИКН, °С;

$t_{\text{П}}$ – среднее значение температуры поверочной (рабочей) жидкости при проведении поверки СРМ, °С.

При отсутствии коррекции по давлению границы дополнительной погрешности (Θ_p , %), обусловленной изменением давления рабочей жидкости при последующей эксплуатации поверяемого расходомера в составе СИКН, определяют по формуле

$$\Theta_p = 10 \cdot c \cdot \Delta_p, \quad (\text{Д.46})$$

где c – дополнительная погрешность по давлению, %, 0,1 МПа, (из описания типа на поверяемый расходомер);

Δ_p – максимально возможное изменение давления рабочей жидкости при последующей эксплуатации поверяемого расходомера в составе СИКН, МПа.

Максимально возможное изменение давления (Δ_p , МПа) рабочей жидкости при последующей эксплуатации поверяемого расходомера в составе СИКН определяют по формуле

$$\Delta_p = |P_{P_{\text{max}}} - P_{\text{П}}|, \quad (\text{Д.47})$$

где $P_{P_{\text{max}}}$ – максимальное значение давления рабочей жидкости при последующей эксплуатации поверяемого расходомера в составе СИКН, МПа;

P_{Π} – среднее значение давления поверочной (рабочей) жидкости при проведении поверки расходомера, МПа.

Относительную погрешность поверяемого расходомера в рабочем диапазоне измерений массового расхода (δ_m , %), вычисляют по формуле

$$\delta_m = 1,1 \cdot \sqrt{\delta_3^2 + \Theta_t^2 + \Theta_p^2 + \Theta_{j_{\max}}^2 + \Theta_N^2} + \varepsilon_{j_{\max}}, \quad (\text{Д.48})$$

где δ_3 – пределы допускаемой относительной погрешности эталонного расходомера, %;

$\Theta_{j_{\max}}$ – границы систематической составляющей погрешности поверяемого расходомера, обусловленной усреднением в коэффициента коррекции и имеющей максимальное значение в рабочем диапазоне измерений массового расхода, %;

Θ_N – пределы допускаемой относительной погрешности преобразования входных сигналов в значение массы, %, ($\Theta_N = \pm 0,001$ %);

$\varepsilon_{j_{\max}}$ – границы случайной составляющей погрешности поверяемого расходомера, имеющей максимальное значение в рабочем диапазоне измерений массового расхода, %.

Относительную погрешность поверяемого расходомера в рабочем диапазоне измерений массового расхода (δ_m , %) при использовании коррекции по давлению вычисляют по формуле

$$\delta_m = 1,1 \cdot \sqrt{\delta_3^2 + \Theta_t^2 + \Theta_{j_{\max}}^2 + \Theta_N^2} + \varepsilon_{j_{\max}}, \quad (\text{Д.49})$$

Результаты поверки расходомера считают положительными и он допускается к эксплуатации в качестве «рабочего или контрольного», если выполняется следующее условие

- рабочего при выполнении условия $\delta \leq 0,25$ %;
 - контрольного при выполнении условия $\delta \leq 0,2$ %
- (Д.50)

При отсутствии коррекции по давлению масса рабочей жидкости (M_{ij}^P , т), измеренная расходомером, при i -ом измерении в j -ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода с учетом изменения давления рабочей жидкости при последующей эксплуатации расходомера в составе СИКН определяют по формуле

$$M_{ij}^P = M_{ij} \cdot (1 + 10 \cdot c \cdot (P_{Rj} - P_{\Pi})), \quad (\text{Д.51})$$

где P_{ij}^P – давление рабочей жидкости при i -ом измерении в j -ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода при эксплуатации расходомера в составе СИКН, МПа;

P_{Π} – давление поверочной (рабочей) жидкости при проведении поверки расходомера с помощью эталонного расходомера, МПа.

По результатам поверки в преобразователь МФС вводят градуировочный коэффициент (K_m), определенный по формуле (Д.41).

Определение коэффициентов CTL и CPL

Е.1 Определение коэффициента CTL

Значение коэффициента CTL, учитывающего влияние температуры на объем продукта для диапазона плотности продукта (при $t = +15$ °С и $P = 0$ МПа) от 611 до 1164 кг/м³ определяют по формулам

$$CTL = \exp[-\alpha_{15} \cdot \Delta t \cdot (1 + 0,8 \cdot \alpha_{15} \cdot \Delta t)], \quad (E.1)$$

$$\alpha_{15} = \frac{K_0 + K_1 \cdot \rho_{15}}{\rho_{15}^2}, \quad (E.2)$$

$$\Delta t = t - 15, \quad (E.3)$$

где ρ_{15} – значение плотности продукта при $t = +15$ °С и $P = 0$ МПа, кг/м³;

t – значение температуры продукта, °С;

α_{15} – значение коэффициента объемного расширения продукта при $t = +15$ °С и $P = 0$ МПа, 1/°С;

K_0, K_1 – коэффициенты выбираются из таблицы Е.1.

Таблица Е.1 – Значения коэффициентов K_0 и K_1 в зависимости от типа продукта

| Тип продукта | ρ_{15} , кг/м ³ | K_0 | K_1 |
|--------------------|---------------------------------|-----------|---------|
| Нефть | 611...1164 | 613,97226 | 0,00000 |
| Бензины | 611...779 | 346,42278 | 0,43884 |
| Реактивные топлива | 779...839 | 594,54180 | 0,00000 |
| Нефтяные топлива | 839...1164 | 186,96960 | 0,48618 |

Примечание – Для нефтепродуктов коэффициенты K_0, K_1 выбираются не по названию типа продукта, а в зависимости от значения ρ_{15} .

Е.2 Определение коэффициента CPL

Значение коэффициента CPL, учитывающего влияние давления на объем продукта для диапазона плотности продукта (при $t = +15$ °С и $P = 0$ МПа) от 611 до 1164 кг/м³ определяют по формулам

$$CPL = \frac{1}{1 - b \cdot P \cdot 10}, \quad (E.4)$$

$$b = 10^{-4} \cdot \exp\left(-1.62080 + 0.00021592 \cdot t + \frac{0.87096 \cdot 10^6}{\rho_{12}^2} + \frac{4.2092 \cdot 10^3 \cdot t}{\rho_{12}^2}\right), \quad (E.5)$$

где t – значение температуры продукта, °С;

P – значение избыточного давления продукта, МПа;

10 – коэффициент перевода единиц измерения давления МПа в бар.

Е.3 Определение коэффициента β

Значение коэффициента объемного расширения рабочей жидкости, β , 1/°С:

$$\beta = \alpha_{15} + 1,6 \cdot \alpha_{15}^2 \cdot (t - 15), \quad (E.6)$$

где α_{15} – значение коэффициента объемного расширения рабочей жидкости при +15 °С, 1/°С;

t – значение температуры рабочей жидкости, при которой определяется коэффициент объемного расширения рабочей жидкости, °С.

Е.4 Определение плотности продукта при стандартных условиях

Значение плотности продукта при $t = +15$ °С и $P = 0$ МПа, ρ_{15} , кг/м³ определяют по формуле

$$\rho_{15} = \frac{\rho_{\text{ПП}}}{CTL_{\text{ПП}} \cdot CPL_{\text{ПП}}}, \quad (\text{E.7})$$

где $\rho_{\text{ПП}}$ – значение плотности продукта в поточном плотномере (ПП), кг/м³;

$CTL_{\text{ПП}}$ – коэффициент, учитывающий влияние температуры на объем продукта, определенный для $t_{\text{ПП}}$ и ρ_{15} ;

$CPL_{\text{ПП}}$ – коэффициент, учитывающий влияние давления на объем продукта, определенный для $t_{\text{ПП}}$, $P_{\text{ПП}}$ и ρ_{15} .

Для определения ρ_{15} необходимо определить значения $CTL_{\text{ПП}}$ и $CPL_{\text{ПП}}$, а для определения $CTL_{\text{ПП}}$ и $CPL_{\text{ПП}}$, в свою очередь, необходимо определить значение плотности при стандартных условиях ρ_{15} . Поэтому значение ρ_{15} определяют методом последовательного приближения:

1) Определяют значения $CTL_{\text{ПП}(1)}$ и $CPL_{\text{ПП}(1)}$, принимая значение ρ_{15} равным значению $\rho_{\text{ПП}}$.

2) Определяют значения $\rho_{15(1)}$, кг/м³:

$$\rho_{15(1)} = \frac{\rho_{\text{ПП}}}{CTL_{\text{ПП}(1)} \cdot CPL_{\text{ПП}(1)}}, \quad (\text{E.8})$$

3) Определяют значения $CTL_{\text{ПП}(2)}$ и $CPL_{\text{ПП}(2)}$, принимая значение ρ_{15} равным значению $\rho_{15(1)}$.

4) Определяют значение $\rho_{15(2)}$, кг/м³:

$$\rho_{15(2)} = \frac{\rho_{\text{ПП}}}{CTL_{\text{ПП}(2)} \cdot CPL_{\text{ПП}(2)}}, \quad (\text{E.9})$$

5) Аналогично пунктам (3) и (4), определяют значения $CTL_{\text{ПП}(i)}$, $CPL_{\text{ПП}(i)}$ и $\rho_{15(i)}$ для i -го цикла вычислений и проверяют выполнение условия:

$$|\rho_{15(i)} - \rho_{15(i-1)}| \leq 0,001, \quad (\text{E.10})$$

где $\rho_{15(i)}$, $\rho_{15(i-1)}$ – значения ρ_{15} , определенные, соответственно, за последний и предпоследний цикл вычислений, кг/м³.

Процесс вычислений продолжают до выполнения данного условия. За значение ρ_{15} принимают последнее значение $\rho_{15(i)}$.

Методика анализа результатов измерений на наличие промахов

Проверка результатов измерений на один промах по критерию Граббса при определении метрологических характеристик расходомера СКО результатов измерений в j -ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода, S_{kj} определяют по формуле

СКО результатов измерений в j -ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода, S_{kj} определяют по формуле

$$S_{kj} = \begin{cases} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_j} (K_{Mji} - K_{Mj})^2}{n_j - 1}} & \text{при определении } K_M \\ \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_j} (MF_{ji} - MF_j)^2}{n_j - 1}} & \text{при определении } MF \end{cases} \quad (\text{Ж.1})$$

где K_{Mj} – среднее значение градуировочного коэффициента расходомера в j -ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода, г/с/мкс;
 K_{Mji} – значение градуировочного коэффициента расходомера для i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода, г/с/мкс;
 MF_j – среднее значение коэффициента коррекции расходомера в j -ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода;
 MF_{ji} – значение коэффициента коррекции расходомера для i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода;
 n_j – количество измерений в j -ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода.

Примечание – При $S_{kj} < 0,001$ принимаем $S_{kj} = 0,001$.

Наиболее выделяющееся соотношение U :

$$U = \begin{cases} \max \left(\left| \frac{K_{Mji} - K_{Mj}}{S_{kj}} \right| \right) & \text{при определении } K_M \\ \max \left(\left| \frac{MF_{ij} - MF_j}{S_{kj}} \right| \right) & \text{при определении } MF \end{cases} \quad (\text{Ж.2})$$

где K_{Mj} – среднее значение градуировочного коэффициента расходомера в j -ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода, г/с/мкс;
 K_{Mji} – значение градуировочного коэффициента расходомера для i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода, г/с/мкс;
 MF_j – среднее значение коэффициента коррекции расходомера в j -ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода;
 MF_{ij} – значение коэффициента коррекции расходомера для i -го измерения в j -ой

точке рабочего диапазона измерений массового расхода;
 S_{kj} – СКО результатов измерений в j -ой точке рабочего диапазона измерений
массового расхода.

Если значение U больше или равно значению h , взятому из таблицы Ж.1, то результат измерения должен быть исключен как промах.

Таблица Ж.1 – Критические значения для критерия Граббса

| | | | | | | | | | | |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| n | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| h | 1,155 | 1,481 | 1,715 | 1,887 | 2,020 | 2,126 | 2,215 | 2,290 | 2,355 | 2,412 |