

Федеральное государственное унитарное предприятие
«Всероссийский научно - исследовательский институт расходомерии»
(ФГУП «ВНИИР»)

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель директора по развитию
ФГУП «ВНИИР»



А.С. Тайбинский

«02» октября 2018 г.

ИНСТРУКЦИЯ

Государственная система обеспечения единства измерений

Установка поверочная трубопоршневая двунаправленная Smith-100

Методика поверки

МП 0828-14-2018

Начальник НИО-14


Р.Н. Груздев

Тел. отдела: +7 (843) 299-70-52

Казань
2018

РАЗРАБОТАНА

ФГУП «ВНИИР»

ИСПОЛНИТЕЛИ

Груздев Р.Н., Шабалин А.С.

УТВЕРЖДЕНА

ФГУП «ВНИИР»

Настоящая методика поверки предназначена для осуществления поверки средства измерений «Установка поверочная трубопоршневая двунаправленная Smith-100», входящего в состав системы измерений количества и показателей качества нефти № 804 (далее – ТПУ) и устанавливает методику ее первичной и периодической поверок на месте эксплуатации.

Интервал между поверками ТПУ – 24 месяца.

1. Операции поверки

При проведении поверки выполняют следующие операции

- внешний осмотр (8.1);
- опробование (8.2);
- оценивание среднеквадратического отклонения (СКО) компаратора (8.3);
- определение метрологических характеристик (МХ) ТПУ (8.4);
- проверка отсутствия протечек (8.5);
- определение относительного отклонения вместимости измерительного участка ТПУ от значения, полученного при предыдущей поверке (8.6).

2. Средства поверки и вспомогательное оборудование

При проведении поверки применяют следующие средства поверки:

– рабочий эталон 1-го разряда в соответствии с приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 7 февраля 2018 г. № 256 «Об утверждении Государственной поверочной схемы для средств измерений массы и объема жидкости в потоке, объема жидкости и вместимости при статических измерениях, массового и объемного расходов жидкости». В качестве рабочего эталона 1-го разряда используется установка поверочная СР-М производства фирмы «Emerson Process Management / Daniel Measurement and Control Inc.» (США) (далее – ПУ);

– компаратор, в качестве которого используется преобразователь массового расхода, входящий в состав системы измерений количества и показателей качества нефти № 804;

– поточный преобразователь плотности (далее – ПП), входящий в состав ПУ, либо блока измерений показателей качества измеряемой среды измерительной системы, с пределами допускаемой абсолютной погрешности $\pm 0,3 \text{ кг/м}^3$;

– преобразователи температуры или термометры с пределами допускаемой абсолютной погрешности $\pm 0,2 \text{ }^\circ\text{C}$;

– преобразователи давления с пределами допускаемой приведенной погрешности $\pm 0,5 \%$. Допускается применение манометров класса точности 0,6;

– средство обработки информации (СОИ) с пределами допускаемой относительной погрешности преобразования входных электрических сигналов в значение объема $\pm 0,025 \%$.

СОИ должно обеспечивать возможности измерения количества импульсов с учетом долей периода их следования.

В качестве СОИ применяют:

– систему обработки информации, входящую в состав измерительной системы, в качестве которой используется комплекс измерительно-вычислительный ИМЦ-03;

– вычислители расхода, комплексы измерительно-вычислительные, контроллеры измерительные отечественного и импортного производства, установленные стационарно или монтируемые и применяемые только во время поверки ТПУ.

Цифропечатающее устройство (принтер) любого типа, сопрягающееся с СОИ.

Все средства поверки должны быть поверены и иметь действующие свидетельства о поверке или поверительные клейма.

Допускается применение других средств поверки с аналогичными или лучшими МХ.

3. Требования к квалификации поверителей

3.1 Поверку ТПУ проводят лица, аттестованные в качестве поверителя, в соответствии с областью аккредитации в установленном порядке.

3.2 К поверке допускаются лица, изучившие инструкцию по эксплуатации на поверяемую ТПУ и имеющие квалификационную группу по технике безопасности не ниже III в соответствии с «Правилами техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей».

4. Требования безопасности

При проведении поверки соблюдают требования, определяемые:

– «Правила безопасности в нефтяной и газовой промышленности» (приказ Ростехнадзора от 12.03.2013 № 101), «Рекомендации по устройству и безопасной эксплуатации технологических трубопроводов» (приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 27.12.2012 г. № 784), а также другие действующие отраслевые документы;

– правилами безопасности при эксплуатации используемых средств измерений (СИ), приведенными в их эксплуатационной документации;

– правилами технической эксплуатации электроустановок;

– правилами техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей.

5. Условия поверки

5.1 Измеряемая среда – нефть.

5.2 Изменение температуры измеряемой среды за время одного измерения (прохождения поршня от одного детектора до другого и обратно) по абсолютной величине не должно превышать 0,2 °С.

5.3 Избыточное давление в трубопроводе в конце технологической схемы поверки по направлению движения потока измеряемой среды, $P^{\text{наим}}$, МПа, в процессе поверки устанавливают не менее значения, определяемого по формуле

$$P^{\text{наим}} = 2,06 \cdot P^{\text{н}} + 2 \cdot \Delta P, \quad (1)$$

где $P^{\text{н}}$ – давление насыщенных паров, определенное согласно ГОСТ 1756-2000 (ИСО 3007-99) «Нефтепродукты. Определение давления насыщенных паров» при максимальной температуре измеряемой среды, МПа; значение берут из справки произвольной формы, представленной испытательной лабораторией и подписанной руководителем лаборатории;

ΔP – разность давлений на компараторе согласно паспорту или эксплуатационной документации, МПа.

5.4 Значение поверочного расхода, при котором определяют МХ ТПУ, Q_1 и значение расхода, при котором выполняют контроль отсутствия протечек, Q_2 устанавливают, исходя из следующих условий:

- значение расхода Q_1 должно не менее, чем в $1,5 \div 2$ раза превышать значение Q_2 ;
- значения расхода выбирают в пределах рабочего диапазона расхода ПУ и в пределах диапазона, в котором нормируются МХ ТПУ.

Отклонение поверочного расхода от установленного значения в процессе поверки не должно превышать 5,0 %.

Отклонение поверочного расхода от установленного значения за время одного измерения не должно превышать 2,0 %.

5.5 Содержание свободного газа в измеряемой среде не допускается.

6. Метод поверки

При проведении поверки применяют метод, основанный на сличении неизвестной вместимости измерительного участка, поверяемой ТПУ с известной вместимостью измерительного участка ПУ с использованием компаратора.

7. Подготовка к поверке

Перед проведением поверки выполняют следующие подготовительные работы:

7.1 Проверяют наличие действующих свидетельств о поверке всех СИ, применяемых при поверке ТПУ.

7.2 Выполняют монтаж технологической схемы поверки в соответствии с рисунком А.1 (приложение А). Монтаж проводят в строгом соответствии с требованиями эксплуатационной документации на ПУ, ТПУ, средства поверки и вспомогательное оборудование.

Поверяемую ТПУ, ПУ и компаратор соединяют последовательно.

При поверке имеет значение положение компаратора относительно ПУ:

- если компаратор расположен после ПУ по направлению движения потока жидкости, то в расчетах используют значение вместимости измерительного участка ПУ, соответствующее положению Downstream;
- если компаратор расположен до ПУ по направлению движения потока жидкости, то в расчетах используют значение вместимости измерительного участка ПУ, соответствующее положению Upstream.

7.3 Проверяют значение диаметра и состояние поверхности (степени износа) поршня поверяемой ТПУ в соответствии с эксплуатационной документацией.

7.4 Выполняют подготовку ПУ в соответствии с требованиями эксплуатационной документации на ПУ.

7.5 Устраняют возможность утечек измеряемой среды на участках между поверяемой ТПУ, ПУ и компаратором. Задвижки, расположенные на линиях, соединяющих эти участки с другими трубопроводами, должны быть обеспечены средствами (устройствами) контроля их герметичности.

7.6 Проверяют работоспособность запорной и регулирующей арматуры.

7.7 Заполняют ТПУ, ПУ и технологическую схему поверки измеряемой средой.

7.8 Проверяют герметичность системы, состоящей из ТПУ, ПУ, компаратора, запорной арматуры и трубопроводов. Для этого регулятором расхода устанавливают расход измеряемой среды в диапазоне от Q_1 до Q_2 при наибольшем значении рабочего давления,

которое может быть при поверке. Не допускается появление утечки измеряемой среды через сальники, фланцевые, резьбовые или сварные соединения. Проверяют герметичность запорной арматуры, через которые возможны утечки измеряемой среды, влияющие на результаты измерений при поверке. При отсутствии средств контроля или невозможности устранения утечек на задвижки, имеющие протечки, устанавливают заглушки (или проверяют наличие заглушек).

7.9 Проверяют в соответствии с эксплуатационной документацией герметичность устройства для приема и пуска поршня или четырехходового крана ТПУ. Проверку четырехходового крана выполняют в двух положениях.

7.10 Проверяют отсутствие свободного газа в ТПУ, ПУ, а также в верхних точках трубопроводов, соединяющих ТПУ, ПУ и компаратор. Для этого устанавливают расход измеряемой среды через ТПУ, ПУ и компаратор в диапазоне от Q_1 до Q_2 , открывают краны (вентили), расположенные в верхних точках трубопроводов, на ТПУ и ПУ. Выполняют несколько раз пуск поршней в ТПУ и ПУ до полного прекращения выделения газовых включений из струи измеряемой среды.

7.11 Контролируют стабилизацию температуры измеряемой среды регулятором расхода устанавливают расход измеряемой среды Q_1 и выполняют последовательные пуски поршней ПУ и ТПУ. Температуру измеряемой среды считают стабильной, если ее изменение за время, необходимое для одного измерения (прохождения поршня от одного детектора до другого и обратно), по абсолютной величине не превышает $0,2$ °С. Стабилизацию температуры контролируют по показаниям преобразователей температуры или термометров, установленных на входе и на выходе ПУ, на входе и на выходе ТПУ.

8. Проведение поверки и обработка результатов

8.1 Внешний осмотр

При внешнем осмотре устанавливают соответствие поверяемой ТПУ следующим требованиям:

- комплектность соответствует указанной в эксплуатационной документации;
- на элементах ТПУ отсутствуют механические повреждения, препятствующие ее применению;
- надписи и обозначения на элементах ТПУ нанесены четко и соответствуют требованиям эксплуатационной документации;
- отсутствие нарушений герметичности кабельных вводов, видимых механических повреждений кабелей.

При несоответствии поверяемой ТПУ указанным требованиям поверку прекращают.

8.2 Опробование

Опробование ТПУ проводят в комплекте со средствами поверки в следующей последовательности.

8.2.1 По команде с СОИ запускают поршень ПУ.

При прохождении поршня через первый детектор («пуск») в СОИ начинается отсчет количества импульсов, поступающих от компаратора. При прохождении поршнем второго детектора («стоп») в СОИ прекращается отсчет количества импульсов.

Результаты измерений количества импульсов, поступающих от компаратора, времени измерения, температуры и давления измеряемой среды на входе и на выходе (при наличии) ПУ, возле ПП, плотности измеряемой среды отображаются на дисплее СОИ.

8.2.2 Определяют расход измеряемой среды при прохождении поршнем ПУ измерительного участка $Q_{пу}$, м³/ч, по формуле

$$Q_{пу} = \frac{V_0^{пу} \cdot 3600}{T_{пу}}, \quad (2)$$

где $V_0^{пу}$ – вместимость измерительного участка ПУ при стандартных условиях (температуре 20 °С и избыточном давлении 0 МПа) и соответствующем положении ПУ относительно компаратора (Downstream, Upstream), м³ (из свидетельства о поверке ПУ);

$T_{пу}$ – время прохождения поршнем ПУ измерительного участка, с.

8.2.3 При необходимости выполняют коррекцию расхода измеряемой среды до значения Q_1 при помощи регулятора расхода.

8.2.4 По команде с СОИ запускают поршень ТПУ. При прохождении поршня через первый детектор («пуск») в СОИ начинается отсчет количества импульсов, поступающих от компаратора.

При прохождении поршнем второго детектора («стоп») в СОИ прекращается отсчет количества импульсов и выполняют запуск поршня в обратном направлении.

Результаты измерений количества импульсов, поступающих от компаратора, времени измерения, температуры и давления измеряемой среды на входе и выходе ТПУ, возле ПП, плотности измеряемой среды отображаются на дисплее СОИ.

8.2.5 Определяют расход измеряемой среды при прохождении поршнем ТПУ измерительного участка $Q_{тпу}$, м³/ч, по формуле

$$Q_{тпу} = \frac{V_0^{пу} \cdot N_{тпу} \cdot 3600}{T_{тпу} \cdot N_{пу}}, \quad (3)$$

где $N_{тпу}$, $N_{пу}$ – количество импульсов, поступивших от компаратора за время прохождения поршнями ТПУ и ПУ измерительных участков (суммарное для прямого и обратного направления движения поршня), соответственно, имп.

$T_{тпу}$ – время прохождения поршнем ТПУ измерительного участка (суммарное для прямого и обратного направления движения поршня), с.

8.2.6 Определяют отклонение расхода измеряемой среды при перемещении поршня ТПУ от расхода при перемещении поршня ПУ

$$\delta_Q = \frac{Q_{тпу} - Q_{пу}}{Q_{пу}} \cdot 100. \quad (4)$$

Проверяют выполнение условия

$$|\delta_Q| \leq 2,0 \%. \quad (5)$$

Если условие (5) не выполняется, то при каждом измерении перед пусками поршней ПУ и ТПУ при помощи регулятора расхода выполняют коррекцию расхода измеряемой среды для обеспечения выполнения условия (5). При невыполнении условия (5) поверку прекращают.

8.3 Оценивание СКО компаратора

8.3.1 Устанавливают расход Q_1 (м³/ч) для чего выполняют операции по 8.3.2 – 8.3.6.

8.3.2 Расход устанавливают, используя результаты измерений компаратора. Значение устанавливаемого расхода определяется по формуле

$$Q_1 = \frac{Q_{масс}}{\rho} \cdot 1000, \quad (6)$$

где $Q_{масс}$ – значение расхода, измеренное компаратором, т/ч;

ρ – плотность точечной пробы нефти, измеренная ареометром, или плотность, измеренная ПП, кг/м³.

8.3.3 При необходимости с помощью регулятора расхода (задвижки), установленного в конце технологической схемы корректируют значение расхода Q_1 .

8.3.4 Проводят серию измерений, последовательно запуская поршень ПУ, при каждом проходе поршня измеряют количество импульсов, генерируемое компаратором.

Количество измерений при оценке СКО компаратора $n^{\text{ско}}$: не менее семи.

8.3.5 Оценивают СКО случайной составляющей погрешности компаратора ($S_{\text{комп}}$, %) по формуле

$$S_{\text{комп}} = \sqrt{\frac{1}{n^{\text{ско}} - 1} \cdot \sum_{i=1}^{n^{\text{ско}}} (N_{\text{комп}i}^{\text{ско}} - \bar{N}_{\text{комп}}^{\text{ско}})^2} \cdot \frac{100}{\bar{N}_{\text{комп}}^{\text{ско}}}, \quad (7)$$

где $\bar{N}_{\text{комп}}^{\text{ско}}$ – среднее значение количества импульсов компаратора за количество измерений, равное $n^{\text{ско}}$, (имп), которое определяют по формуле

$$\bar{N}_{\text{комп}}^{\text{ско}} = \frac{1}{n^{\text{ско}}} \cdot \sum_{i=1}^{n^{\text{ско}}} N_{\text{комп}i}^{\text{ско}}. \quad (8)$$

8.3.6 Проверяют выполнение условия

$$S_{\text{комп}} \leq 0,02 \%. \quad (9)$$

8.3.7 В случае невыполнения условия (9), анализируют и выясняют причины, при необходимости меняют компаратор и проводят повторные операции по 8.3.2-8.3.6.

8.3.8 При соблюдении условия (9) проводят дальнейшие операции по определению метрологических характеристик поверяемой ТПУ.

8.4 Определение МХ ТПУ

8.4.1 При помощи регулятора расхода устанавливают расход измеряемой среды Q_1 .

По команде с СОИ запускают поршень ПУ.

При прохождении поршня через первый детектор («пуск») в СОИ начинается отсчет количества импульсов, поступающих от компаратора. При прохождении поршнем второго детектора («стоп») в СОИ прекращается отсчет количества импульсов.

При необходимости выполняют коррекцию расхода измеряемой среды.

По команде с СОИ запускают поршень ТПУ.

При прохождении поршня через первый детектор («пуск») в СОИ начинается отсчет количества импульсов, поступающих от компаратора. При прохождении поршнем второго детектора («стоп») в СОИ прекращается отсчет количества импульсов. Затем выполняют запуск поршня в обратном направлении.

По результатам измерения на дисплее СОИ отображаются и используются для автоматического формирования протокола поверки значения:

– количества импульсов, поступивших от компаратора за время прохождения поршня в ПУ за время i -го измерения $N_{\text{пу}i}$, имп;

– количества импульсов, поступивших от компаратора за время прохождения поршня в ТПУ за время i -го измерения (суммарного для прямого и обратного направления движения поршня) $N_{\text{тпу}i}$, имп;

– времени прохождения поршнем ПУ измерительного участка при i -м измерении $T_{\text{пу}i}$, с;

– времени прохождения поршнем ТПУ измерительного участка при i -м измерении (суммарного для прямого и обратного направления движения) $T_{тпу*i*}$, с;

– температуры измеряемой среды при i -м измерении в ПУ, ТПУ и возле ПП: $t_{пу*i*}$, $t_{тпу*i*}$ и $t_{пп*i*}$, соответственно, °С;

– избыточного давления измеряемой среды при i -м измерении в ПУ, ТПУ и возле ПП: $P_{пу*i*}$, $P_{тпу*i*}$ и $P_{пп*i*}$, соответственно, МПа;

– плотности измеряемой среды, измеренной ПП при i -м измерении ρ_i , кг/м³.

В случае если протокол поверки оформляют вручную, перечисленные выше значения считывают с дисплея СОИ и используют для заполнения протокола поверки по форме приложения Д.

При использовании показывающих СИ температуры и давления:

– за значения температуры и давления измеряемой среды в ТПУ при i -м измерении принимают средние арифметические значения результатов измерений на входе и на выходе ТПУ в момент начала и в момент завершения прохождения поршнем ТПУ измерительного участка (при прямом и обратном направлениях движения поршня);

– за значения температуры и давления измеряемой среды в ПУ при i -м измерении принимают средние арифметические значения результатов измерений на входе и на выходе ПУ (при наличии термометра и манометра на выходе ПУ); допускается регистрировать показания СИ один раз за период прохождения поршня ПУ;

– за значения температуры и давления измеряемой среды возле ПП при i -м измерении принимают средние арифметические значения результатов двух измерений: в момент начала прохождения поршнем ПУ измерительного участка ПУ и в момент завершения прохождения поршнем ТПУ измерительного участка ТПУ. Проверяют выполнение условия (5). Если условие (5) не выполняется, то выполняют коррекцию расхода измеряемой среды для обеспечения выполнения условия (5) и повторяют измерение.

8.4.2 Измерения по 8.4.1 выполняют не менее одиннадцати раз.

8.4.3 Определяют вместимость измерительного участка ТПУ при стандартных условиях при i -м измерении $V_{0i}^{тпу}$, м³, по формуле

$$V_{0i}^{тпу} = \frac{V_{0i}^{пу} \cdot N_{тпу*i*} \cdot CTS_{пу*i*} \cdot CPS_{пу*i*} \cdot CTL_{пу*i*} \cdot CPL_{пу*i*}}{N_{пу*i*} \cdot CTS_{тпу*i*} \cdot CPS_{тпу*i*} \cdot CTL_{тпу*i*} \cdot CPL_{тпу*i*}}, \quad (10)$$

где $V_{0i}^{пу}$ – вместимость измерительного участка ПУ (из свидетельства о поверке ПУ), м³;

$CTS_{пу*i*}$, $CTS_{тпу*i*}$ – поправочные коэффициенты, учитывающие влияние температуры стенок ПУ и ТПУ на вместимость измерительных участков ПУ и ТПУ при i -м измерении, соответственно;

$CPS_{пу*i*}$, $CPS_{тпу*i*}$ – поправочные коэффициенты, учитывающие влияние давления измеряемой среды на вместимость измерительных участков ПУ и ТПУ при i -м измерении, соответственно;

$CTL_{пу*i*}$, $CTL_{тпу*i*}$ – поправочные коэффициенты, учитывающие влияние температуры на объем измеряемой среды в ПУ и в ТПУ при i -м измерении, соответственно;

$CPL_{пу*i*}$, $CPL_{тпу*i*}$ – поправочные коэффициенты, учитывающие влияние давления на объем измеряемой среды в ПУ и в ТПУ при i -м измерении, соответственно.

Значение $CTS_{пу*i*}$ определяют по формуле формуле

$$CTS_{пуi} = (1 + \alpha_k \cdot (t_{пуi} - 20)) \cdot (1 + \alpha_{ин} \cdot (t_{cti} - 20)), \quad (11)$$

где α_k – квадратичный коэффициент расширения материала стенок ПУ, $1/^\circ\text{C}$ (определяют по таблице Б.1 приложения Б);

$\alpha_{ин}$ – коэффициент линейного расширения материала инваровых стержней ПУ, $1/^\circ\text{C}$ (принимают равным $1,44 \cdot 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$);

t_{cti} – температура окружающего воздуха возле ПУ при i -м измерении, $^\circ\text{C}$.

Значение $CTS_{пуi}$ определяют по формуле

$$CTS_{тпуi} = 1 + 3 \cdot \alpha_{л}^{тпу} \cdot (t_{тпуi} - 20), \quad (12)$$

где $\alpha_{л}^{тпу}$ – коэффициент линейного расширения материала стенок ТПУ, $1/^\circ\text{C}$ (принимают равным $1,12 \cdot 10^{-5} 1/^\circ\text{C}$).

Значение $CPS_{пуi}$ определяют по формуле

$$CPS_{пуi} = 1 + \frac{P_{пуi} \cdot D_{пу}}{E_{пу} \cdot S_{пу}}, \quad (13)$$

где $D_{пу}$ – внутренний диаметр измерительного участка ПУ, мм (из эксплуатационной документации ПУ);

$S_{пу}$ – толщина стенок измерительного участка ПУ, мм (из эксплуатационной документации ПУ);

$E_{пу}$ – модуль упругости материала стенок ПУ, МПа (определяют по таблице Б.1 приложения Б).

Значение $CPS_{тпуi}$ определяют по формуле

$$CPS_{тпуi} = 1 + \frac{0,95 \cdot P_{тпуi} \cdot D_{тпу}}{E_{тпу} \cdot S_{тпу}}, \quad (14)$$

где $D_{тпу}$ – внутренний диаметр измерительного участка ТПУ, мм (принимают равным 203,2 мм);

$S_{тпу}$ – толщина стенок измерительного участка ТПУ, мм (принимают равной 8,1788 мм);

$E_{тпу}$ – модуль упругости материала стенок ТПУ, МПа (принимают равным $2,07 \cdot 10^5$ МПа).

При использовании в качестве измеряемой среды нефти значения определяют $CTL_{пуi}$ и $CTL_{тпуi}$ для температур измеряемой среды $t_{пуi}$ и $t_{тпуi}$ по формуле

$$CTL_i = \exp\{-\alpha_{15i} \cdot (t_i - 15) \cdot [1 + 0,8 \cdot \alpha_{15i} \cdot (t_i - 15)]\}, \quad (15)$$

где α_{15i} – коэффициент, значение которого определяют по формуле

$$\alpha_{15i} = \frac{613,97226}{\rho_{15i}^2}, \quad (16)$$

ρ_{15i} – плотность измеряемой среды, измеренная ПП при i -м измерении и приведенная к температуре 15°C и избыточному давлению 0 МПа, $\text{кг}/\text{м}^3$ (определяют в соответствии с приложением В);

Значения $CPL_{пуi}$ и $CPL_{тпуi}$ определяют для давлений измеряемой среды $P_{пуi}$ и $P_{тпуi}$ по формуле

$$CPL_i = \frac{1}{1 - \gamma_{ti} \cdot P_i}, \quad (17)$$

где γ_{ti} – коэффициент сжимаемости измеряемой среды, 1/МПа; для нефти определяют для значений температуры измеряемой среды $t_{пуi}$ и $t_{тпуi}$ по формуле

$$\gamma_{ti} = 10^{-3} \cdot \exp \left(-1,62080 + 0,00021592 \cdot t_i + \frac{0,87096 \cdot 10^6}{\rho_{15i}^2} + \frac{4,2092 \cdot t_i \cdot 10^3}{\rho_{15i}^2} \right). \quad (18)$$

8.4.4 Определяют вместимость измерительного участка ТПУ при температуре 20°C и 0 МПа $V_0^{тпу}$, м³, по формуле

$$V_0^{тпу} = \frac{\sum_{i=1}^n V_{0i}^{тпу}}{n}, \quad (19)$$

где n – количество измерений при определении вместимости измерительного участка ТПУ.

8.4.5 Определяют среднее квадратическое отклонение случайной составляющей погрешности ТПУ $S_{0тпу}$, %, по формуле

$$S_{0тпу} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (V_{0i}^{тпу} - V_0^{тпу})^2}{n(n-1)}} \cdot \frac{100}{V_0^{тпу}}. \quad (20)$$

Проверяют выполнение условия

$$S_{0тпу} \leq 0,01 \%. \quad (21)$$

При выполнении условия (21) поверку продолжают.

При невыполнении условия (21) выявляют наличие грубых промахов в полученных результатах измерений (см. приложение Г).

Допускают не более двух промахов. В противном случае поверку прекращают.

После исключения промахов выполняют дополнительные измерения.

Проводят повторное определение СКО случайной составляющей погрешности ТПУ по (20) и проверку выполнения условия (21). При повторном невыполнении условия (21) поверку прекращают.

8.4.6 Определяют границы случайной составляющей погрешности определения среднего значения вместимости ТПУ θ_{V_0} , %, по формуле

$$\theta_{V_0} = t_{0,99}^n \cdot S_{0тпу}, \quad (22)$$

где $t_{0,99}^n$ – квантиль распределения Стьюдента при доверительной вероятности $P=0,99$ (см. таблицу Б.3).

8.4.7 Определяют границы суммарной систематической составляющей погрешности ТПУ θ_{Σ_0} , %, по формуле

$$\theta_{\Sigma_0} = k \cdot \sqrt{\delta_{пу}^2 + \theta_t^2 + \delta_{сои}^2}, \quad (23)$$

где k – коэффициент, зависящий от числа суммируемых погрешностей, значение которого определяют по приложению Б.

$\delta_{пу}$ – пределы допускаемой относительной погрешности ПУ (из свидетельства о поверке ПУ), %;

$\delta_{сои}$ – пределы допускаемой относительной погрешности СОИ при измерении количества импульсов (из свидетельства о поверке СОИ), %;

θ_t – граница составляющей систематической погрешности, обусловленная погрешностью измерений температуры, %, вычисляемая по формуле

$$\theta_t = \beta_t^{max} \cdot 100 \cdot \sqrt{\Delta t_{пу}^2 + \Delta t_{тпу}^2}, \quad (24)$$

где $\Delta t_{пу}$, $\Delta t_{тпу}$ – пределы допускаемой абсолютной погрешности преобразователей температуры или термометров возле ПУ и ТПУ, соответственно, °С (из свидетельств о поверке);

β_t^{max} – наибольшее за время испытаний значение коэффициента объемного расширения измеряемой среды при условиях измерений в ТПУ, 1/°С.

8.4.8 СКО суммы неисключенных систематических погрешностей S_{θ} , %, вычисляют по формуле

$$S_{\theta} = \sqrt{\frac{1}{3} \cdot (\delta_{пу}^2 + \theta_t^2 + \delta_{сои}^2)}. \quad (25)$$

8.4.9 СКО суммы неисключенных систематических и случайных погрешностей S_{θ} , %, вычисляют по формуле

$$S_{\Sigma \text{ тпу}} = \sqrt{S_{0 \text{ тпу}}^2 + S_{\theta}^2}. \quad (26)$$

8.4.10 Коэффициент для нахождения доверительных границ суммы случайных и неисключенных систематических погрешностей t_{Σ} вычисляют по формуле

$$t_{\Sigma} = \frac{\theta_{S_0} + \theta_{V_0}}{S_{\theta} + S_{0 \text{ тпу}}}. \quad (27)$$

8.4.11 Определяют относительную погрешность ТПУ δ_0 , %, по формуле

$$\delta_0 = t_{\Sigma} \cdot S_{\Sigma \text{ тпу}}. \quad (28)$$

Проверяют выполнение условия

$$\delta_0 \leq 0,1 \%. \quad (29)$$

При невыполнении условия (29) анализируют полученные результаты, устраняют причины их возникновения и проводят повторную поверку ТПУ.

8.5 Проверка отсутствия протечек

8.5.1 Регулятором расхода устанавливают значение расхода Q_2 , выбранное для проверки отсутствия протечек.

8.5.2 Выполняют три измерения аналогично 8.4.1.

8.5.3 Определяют вместимость измерительного участка ТПУ при температуре 20°С и 0 МПа $V_{0 \text{ прот}}^{пу}$, м³, по формулам (10) – (19).

8.5.4 Определяют относительное отклонение вместимости измерительного участка ТПУ $V_{0 \text{ прот}}^{пу}$ от значения, полученного при определении МХ ТПУ, δ_V , %, по формуле

$$\delta_V = \frac{V_{0 \text{ прот}}^{пу} - V_0^{пу}}{V_0^{пу}} \cdot 100. \quad (30)$$

8.5.5 Проверяют выполнение условия

$$|\delta_V| \leq 0,035. \quad (31)$$

При невыполнении условия (31) проводят анализ результатов измерений.

Если $\delta_V > 0,035$, то это свидетельствует о наличии протечек измеряемой среды и в технологической схеме поверки и необходимости их устранения.

Если $\delta_V < -0,035$, то это свидетельствует о допущенных ошибках при выполнении измерений и необходимости повторения измерений после устранения причин, вызвавших ошибки.

8.6 Определение относительного отклонения вместимости измерительного участка ТПУ от значения, полученного при предыдущей поверке.

8.6.1 Относительное отклонение вместимости измерительного участка ТПУ от значения вместимости, полученного при предыдущей поверке, δ_{00} , %, определяют по формуле

$$\delta_{00} = \frac{V_0^{\text{ТПУ}} - V_{0\text{пп}}^{\text{ТПУ}}}{V_{0\text{пп}}^{\text{ТПУ}}} \cdot 100, \quad (32)$$

где $V_{0\text{пп}}^{\text{ТПУ}}$ – значение вместимости измерительного участка ТПУ, полученное по результатам предыдущей поверки (из свидетельства о предыдущей поверке ТПУ), %.

П р и м е ч а н и е – При первичной поверке и после ремонта ТПУ δ_{00} не определяют.

8.6.2 Проверяют выполнение условия

$$|\delta_{00}| \leq 0,1 \%. \quad (33)$$

При невыполнении условия (33) анализируют полученные результаты, устраняют причины их возникновения и проводят повторную поверку ТПУ.

8.7 Условия допуска ТПУ к применению ТПУ допускают к применению в случае получения положительных результатов поверки.

9. Оформление результатов поверки

9.1 Результаты измерений и вычислений вносят в протокол поверки по форме приложения Д.

При оформлении протокола поверки:

– значения давления (МПа) вносят в протокол поверки округленными до второго знака после запятой, температуры ($^{\circ}\text{C}$) – до первого, времени движения поршней (с) – до трех значащих цифр;

– значения плотности измеряемой среды ($\text{кг}/\text{м}^3$) вычисляют с точностью до третьего знака после запятой, в протокол поверки вносят значения, округленные до второго знака после запятой;

– значения поправочных коэффициентов вычисляют с точностью до седьмого знака после запятой, в протокол поверки вносят значения, округленные до шестого знака после запятой;

– значения расхода измеряемой среды ($\text{м}^3/\text{ч}$) вычисляют с точностью до пяти значащих цифр, в протокол поверки вносят значения, округленные до четырех значащих цифр;

– значения вместимости измерительного участка ТПУ (м^3) вычисляют с точностью до шести значащих цифр, в протокол поверки вносят значения, округленные до пяти значащих цифр;

– значения погрешностей (%) и СКО случайной составляющей погрешности (%) вычисляют с точностью до четвертого знака после запятой, в протокол поверки вносят значения, округленные до третьего знака после запятой.

На обратной стороне свидетельства о поверке указывают:

– пределы допускаемой относительной погрешности ТПУ, %;

– рабочий диапазон расхода ТПУ, $\text{м}^3/\text{ч}$.

П р и м е ч а н и е – за нижний предел рабочего диапазона измерений расхода ТПУ принимают значение расхода Q_2 , за верхний предел – верхний предел диапазона измерений расхода согласно технической документации и описанию типа на ТПУ.

Далее указывают фактические значения МХ ТПУ:

- вместимость измерительного участка ТПУ $V_0^{\text{ТПУ}}$, м³;
- СКО случайной составляющей погрешности ТПУ $S_{0 \text{ тпу}}$, %;
- границы случайной составляющей погрешности определения среднего значения вместимости ТПУ θ_{V_0} , %;
- границы суммарной систематической составляющей погрешности ТПУ θ_{Σ_0} , %;
- фактическое значение относительной погрешности ТПУ δ_0 , %.

9.2 Выполняют пломбирование детекторов и фланцевых соединений измерительного участка ТПУ в соответствии с описанием типа.

9.3 При отрицательных результатах поверки ТПУ к применению не допускают, свидетельство аннулируют и выдают извещение о непригодности с указанием причин.

Приложение Б
(справочное)

Значения коэффициентов квадратичного расширения, модулей упругости материалов стенок ПУ, коэффициента k и коэффициента Стьюдента

Б.1 Коэффициенты квадратичного расширения, модули упругости материала стенок ПУ определяют по таблице Б.1.

Таблица Б.1 – Значения коэффициентов линейного и квадратичного расширений, модулей упругости материалов стенок ПУ

Материал	$\alpha_k, 1/^\circ\text{C}$	E, МПа
Сталь углеродистая	$2,23 \cdot 10^{-5}$	$2,068 \cdot 10^5$
Сталь нержавеющая 304	$3,46 \cdot 10^{-5}$	$1,931 \cdot 10^5$
Сталь нержавеющая 316	$3,19 \cdot 10^{-5}$	$1,931 \cdot 10^5$
Сталь нержавеющая РН 17-4 SS	$2,16 \cdot 10^{-5}$	$1,965 \cdot 10^5$

Примечание – Если в паспорте ПУ приведены значения α_k и E, то для расчетов используют приведенные значения.

Б.2 При числе суммирующих составляющих (неисключенных систематических погрешностей) в формуле (24) менее четырех ($m \leq 4$) значение k определяют из таблицы Б.2, для чего определяют значение l

$$l = \frac{\theta_1}{\theta_2}, \quad (\text{Б.1})$$

где θ_1 – составляющая из формулы (24), по значению наиболее отличающаяся от других;

θ_2 – составляющая из формулы (24), ближайшая по значению к θ_1 .

Таблица Б.2 – Значения коэффициента k в зависимости от m и l [$k = f(m, l)$]

m	k				
	$l = 1$	$l = 2$	$l = 3$	$l = 4$	$l = 5$
3	1,38	1,31	1,24	1,18	1,14

Б.3 Значения коэффициента Стьюдента при доверительной вероятности $P=0,99$ и количестве измерений n определяют по таблице Б.2.

Таблица Б.3 – Значение коэффициента Стьюдента при доверительной вероятности $P=0,99$

n	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
$t_{0,99}^n$	3,169	3,106	3,055	3,012	2,977	2,947	2,921	2,898	2,878	2,861	2,845

Приложение В
(справочное)

Определение плотности нефти, приведенной к температуре 15 °С и избыточному давлению 0 МПа, и коэффициента объемного расширения нефти

В.1 Плотность нефти, приведенную к температуре 15 °С и избыточному давлению, равному нулю, ρ_{15} , кг/м³, вычисляют по формуле

$$\rho_{15} = \frac{\rho_{пп}}{CTL \cdot CPL}, \quad (B.1)$$

где $\rho_{пп}$ – значение плотности измеряемой среды, измеренной ПП, кг/м³;

CTL – поправочный коэффициент, учитывающий влияние температуры на объем измеряемой среды, значение которого определяют по формуле

$$CTL = \exp\{-\alpha_{15} \cdot (t_{пп} - 15) \cdot [1 + 0,8 \cdot \alpha_{15} \cdot (t_{пп} - 15)]\}, \quad (B.2)$$

где $t_{пп}$ – температура измеряемой среды при условиях измерений $\rho_{пп}$, °С;

α_{15} – коэффициент, значение которого определяют по формуле

$$\alpha_{15} = \frac{613,97226}{\rho_{15}^2}, \quad (B.3)$$

CPL – поправочный коэффициент, учитывающий влияние давления на объем измеряемой среды, значение которого определяют по формуле

$$CPL = \frac{1}{1 - \gamma_t \cdot P_{пп}}, \quad (B.4)$$

где $P_{пп}$ – избыточное давление измеряемой среды при условиях измерений $\rho_{пп}$, МПа;

γ_t – коэффициент сжимаемости измеряемой среды при температуре $t_{пп}$, 1/МПа, который определяют по формуле

$$\gamma_t = 10^{-3} \cdot \exp\left(-1,62080 + 0,00021592 \cdot t_{пп} + \frac{0,87096 \cdot 10^6}{\rho_{15}^2} + \frac{4,2092 \cdot t_{пп} \cdot 10^3}{\rho_{15}^2}\right). \quad (B.5)$$

В.2 Как видно из формул (B.2) – (B.5) для определения CTL и CPL необходимо знать значение плотности ρ_{15} . В свою очередь для определения плотности ρ_{15} по формуле (B.1) необходимо знать значения CTL и CPL .

Для определения значений ρ_{15} , CTL и CPL используют метод последовательного приближения.

В.2.1 В формулы (B.2) и (B.4) вместо ρ_{15} подставляют значение $\rho_{пп}$ и вычисляют значения $CTL(1)$ и $CPL(1)$.

В.2.2 Вычисляют значение $\rho_{15}(1)$, кг/м³, по формуле

$$\rho_{15}(1) = \frac{\rho_{пп}}{CTL(1) \cdot CPL(1)}, \quad (B.6)$$

В.2.3 В формулы (B.2) и (B.4) вместо ρ_{15} подставляют значение $\rho_{15}(1)$ и вычисляют значения $CTL(2)$ и $CPL(2)$.

В.2.4 Вычисляют значение $\rho_{15}(2)$, кг/м³, по формуле

$$\rho_{15}(2) = \frac{\rho_{пп}}{CTL(2) \cdot CPL(2)}, \quad (B.7)$$

В.2.5 В формулы (B.2) и (B.4) вместо ρ_{15} подставляют значение $\rho_{15}(2)$ и вычисляют значения $CTL(3)$ и $CPL(3)$.

В.2.6 Заканчивают процесс определения ρ_{15} при выполнении условия

$$|\rho_{15}(i+1) - \rho_{15}(i)| \leq 0,001. \quad (B.8)$$

В.3 Значение коэффициента объемного расширения нефти β_t , $1/^\circ\text{C}$, при температуре t определяют по формуле

$$\beta_t = \alpha_{15} + 1,6 \cdot \alpha_{15}^2 \cdot (t - 15). \quad (\text{В.9})$$

Приложение Г
(обязательное)

Методика анализа результатов измерений и выявления промахов

Для выявления промахов выполняют следующие операции:

Определяют СКО случайной составляющей погрешности ПУ $S'_{0 \text{ тпу}}$, %, по формуле

$$S'_{0 \text{ тпу}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (V_{0i}^{\text{тпу}} - V_0^{\text{тпу}})^2}{n - 1}}, \quad (\text{Г.1})$$

Для наименьшего и наибольшего значений из ряда $V_{0i}^{\text{тпу}}$ вычисляют соотношение вида

$$U = \left| \frac{(V_{0i}^{\text{тпу}})^{\min(\max)} - V_0^{\text{тпу}}}{S'_{0 \text{ тпу}}} \right|. \quad (\text{Г.2})$$

Сравнивают вычисленное значение U с величиной h для объема выборки n из таблицы Г.1.

Если $U \geq h$, то подозреваемый результат исключают из выборки как промах, в противном случае результат оставляют.

Таблица Г.1 – Критические значения для критерия Граббса при доверительной вероятности $P=0,99$

n	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
h	2,564	2,636	2,699	2,755	2,806	2,852	2,894	2,932	2,968	3,001	3,031

Приложение Д
(рекомендуемое)

Форма протокола поверки ТПУ

ПРОТОКОЛ № _____

поверки ТПУ поверочной установкой на базе компакт-прувера и компаратора

Тип ТПУ: _____ Детекторы: _____ Поверочный расход, м³/ч: Q₁ _____
 Заводской номер: _____ Принадлежит: _____ Q₂ _____
 Тип ПУ: _____ Принадлежит: _____ Рабочая жидкость _____
 Заводской номер: _____

Место проведения поверки: _____

Таблица Д.1 – Исходные данные

V _{0i} ^{тпв} , м ³	ПУ						ТПУ			СОИ δ _{сои} , %		
	D _{тпв} , мм	S _{тпв} , мм	E _{тпв} , МПа	α _х (α _х ^{тпв}), 1/°C	α _{тпв} , °C	Δt _{тпв} , °C	D _{тпв} , мм	S _{тпв} , мм	E _{тпв} , МПа		α _{тпв} ^{тпв} , 1/°C	Δt _{тпв} , °C

Таблица Д.2 – Результаты измерений и вычислений при определении метрологических характеристик ТПУ

№ измер.	ПУ						ТПУ					III P _{тпвi} , МПа	
	N _{тпвi} , имп	T _{тпвi} , с	Q _{тпвi} , м ³ /ч	t _{тпвi} , °C	t _{срт} , °C	t _{тпвi} , °C	P _{тпвi} , МПа	CTS _{тпвi}	CPS _{тпвi}	CTL _{тпвi}	CPL _{тпвi}		ρ ₁ , кг/м ³
1													
...													
n													

Окончание таблицы Д.2

№ измер.	ТПУ						δ _{Qi} , %	V _{0i} ^{тпв} , м ³
	N _{тпвi} , имп	T _{тпвi} , с	Q _{тпвi} , м ³ /ч	t _{тпвi} , °C	P _{тпвi} , МПа	CTS _{тпвi}		
1								
...								
n								

Приложение Д
(продолжение)

Таблица Д.3 – Результаты измерений и вычислений при проверке отсутствия протечек

№ измер.	ПУ						ППУ						
	$N_{пр1}, \text{имп}$	$T_{пр1}, \text{с}$	$Q_{пр1}, \text{м}^3/\text{ч}$	$t_{пр1}, \text{°C}$	$t_{ст1}, \text{°C}$	$P_{пр1}, \text{МПа}$	$CTS_{пр1}$	$CPS_{пр1}$	$CTL_{пр1}$	$CPL_{пр1}$	$\rho_1, \text{кг/м}^3$	$t_{ам1}, \text{°C}$	$P_{пр1}, \text{МПа}$
1													
2													
3													

Окончание таблицы Д.3

№ измер.	ППУ										
	$N_{пр1}, \text{имп}$	$T_{пр1}, \text{с}$	$Q_{пр1}, \text{м}^3/\text{ч}$	$t_{пр1}, \text{°C}$	$P_{пр1}, \text{МПа}$	$CTS_{пр1}$	$CPS_{пр1}$	$CTL_{пр1}$	$CPL_{пр1}$	$\delta_{Q1}, \%$	$V_{0\text{прот}}^{пр1}, \text{м}^3$
1											
2											
3											

Таблица Д.4 – Результаты поверки

$V_0^{пр1}, \text{м}^3$	$S_{0\text{прот}}, \%$	k	$\theta_{\tau_0}, \%$	$\theta_{V_0}, \%$	$\delta_0, \%$	$V_{0\text{прот}}^{пр1}, \text{лм}^3$	$\delta_V, \%$	$V_{0\text{прот}}^{пр1}, \text{лм}^3$	$\delta_{00}, \%$

Заключение: ППУ к дальнейшей эксплуатации _____
(пригодна, не пригодна)

Поверитель: _____ должность, организация _____ подпись _____ инициалы, фамилия

Дата поверки: " ____ " ____ 20 ____ г.