

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

Федеральное государственное унитарное предприятие
«Всероссийский научно-исследовательский институт расходомерии»
Государственный научный метрологический центр
ФГУП «ВНИИР»

УТВЕРЖДАЮ

Первый заместитель директора
по научной работе –
Заместитель директора по качеству



В.А. Фафурин

11 октября 2019 г.

ИНСТРУКЦИЯ

Государственная система обеспечения единства измерений
Система измерений количества и показателей качества нефти № 1200

Методика поверки

МП 1013-14-2019

Начальник НИО-14

Р.Н. Груздев

Тел.: (843) 299-72-00

РАЗРАБОТАНА

ФГУП «ВНИИР»

ИСПОЛНИТЕЛИ

Груздев Р.Н., Фролов Э.В.

УТВЕРЖДЕНА

ФГУП «ВНИИР»

Настоящая методика поверки предназначена для проведения поверки средства измерений «Система измерений количества и показателей качества нефти № 1200 (далее – система) и устанавливает методику первичной поверки при вводе в эксплуатацию, а также после ремонта, и периодических поверок при эксплуатации.

Интервал между поверками системы – 12 месяцев.

1 Операции поверки

1.1 При проведении поверки выполняют операции, приведенные в таблице 1.

Таблица 1 – Операции поверки

Наименование операции	Номер пункта инструкции	Проведение операции при	
		первичной поверке	периодической поверке
Внешний осмотр	7.1	Да	Да
Подтверждение соответствия программного обеспечения	7.2	Да	Да
Опробование	7.3	Да	Да
Определение метрологических характеристик	7.4	Да	Да

1.2 Если при проведении какой-либо операции поверки получен отрицательный результат, дальнейшую поверку не проводят.

2 Средства поверки

2.1 Рабочий эталон 2-го разряда (установка поверочная трубопоршневая двунаправленная (далее – ТПУ)) по части 2 Государственной поверочной схемы для средств измерений массы и объема жидкости в потоке, объема жидкости и вместимости при статических измерениях, массового и объемного расходов жидкости, утвержденной Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 07 февраля 2018 г. № 256.

2.2 Эталон единицы плотности 1-го разряда в соответствии с ГОСТ 8.024–2002 «ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерений плотности».

2.3 Допускается применение аналогичных средств поверки, обеспечивающих определение метрологических характеристик поверяемых средств измерений (СИ) с требуемой точностью.

3 Требования к квалификации поверителей

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

4 Требования безопасности

4.1 При проведении поверки системы соблюдают требования, определяемые:

- в области охраны труда – Трудовым кодексом Российской Федерации;
- в области промышленной безопасности – Федеральными нормами и правилами в области промышленной безопасности «Правила безопасности в нефтяной и газовой промышленности» (приказ Ростехнадзора № 101 от 12 марта 2013 г. «Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила безопасности в нефтяной и газовой промышленности»), руководством по безопасности «Рекомендации по устройству и безопасной эксплуатации технологических трубопроводов» (приказ № 784 от 27 декабря 2012 г. «Об утверждении Руководства по безопасности «Рекомендации по устройству и безопасной эксплуатации технологических трубопроводов»), а также другими действующими отраслевыми документами;

- в области пожарной безопасности – Федеральным законом Российской Федерации от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности», Постановлением Правительства Российской Федерации от 25 апреля 2012 г. № 390 «О противопожарном режиме» (вместе с «Правилами противопожарного режима в Российской Федерации»), СНиП 21.01-97 (с изм. № 1, 2) «Пожарная безопасность зданий и сооружений»;

- в области соблюдения правильной и безопасной эксплуатации электроустановок - Правилами технической эксплуатации электроустановок потребителей;

- в области охраны окружающей среды – Федеральным законом Российской Федерации от 10 января 2002 г. № 7-ФЗ (ред. 27 декабря 2019 г.) «Об охране окружающей среды» и другими действующими законодательными актами на территории РФ.

4.2 В соответствии с классификацией помещений и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности по Своду правил СП 12.13130.2009 «Определение категории помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности» помещение блока измерений показателей качества нефти (далее – БИК), площадка блока измерительных линий (БИЛ) и площадка ТПУ относится к категории А, установка поверки и калибровки (УПК ТПУ) и операторная относится к категории Д, а по классу взрывоопасных зон: по Правилам устройства электроустановок и ГОСТ 30852.9-2002 «Электрооборудование взрывозащищенное. Часть 10. Классификация взрывоопасных зон» БИК, БИЛ, ТПУ – В-1а/ класс 2, УПК ТПУ – В-1г/ класс 2.

4.3 Площадка системы должна содержаться в чистоте без следов нефти и должна быть оборудована первичными средствами пожаротушения согласно Правилам противопожарного режима в Российской Федерации.

4.4 СИ и вспомогательные устройства, применяемые при выполнении измерений, должны иметь взрывозащищенное исполнение в соответствии с требованиями ГОСТ 30852.0-2002 «Электрооборудование взрывозащищённое. Часть 0. Общие требования».

4.5 Вторичную аппаратуру и щиты управления относят к действующим электроустановкам с напряжением до 1000 В, на которые распространяются Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей, Правила устройства электроустановок.

4.6 В целях безопасной эксплуатации и технического обслуживания системы разрабатываются инструкция по эксплуатации системы, инструкции по видам работ.

4.7 Наибольшее давление измеряемой среды при выполнении измерений не должно превышать значения, указанного в эксплуатационной документации на оборудование и

применяемые СИ. Использование элементов монтажа или шлангов, не прошедших гидравлические испытания, запрещается.

5 Условия поверки

5.1 Поверка системы осуществляется в условиях эксплуатации.

Характеристики измеряемой среды при проведении поверки должны соответствовать требованиям, приведенным в таблице 2.

Соответствие характеристик измеряемой среды значениям в таблице 2 проверяют по данным паспорта качества нефти.

Таблица 2 – Метрологические характеристики

Наименование характеристики	Значение
Измеряемая среда	нефть по ГОСТ Р 51858-2002 «Нефть. Общие технические условия»
Давление измеряемой среды, МПа	
– минимальное	0,5
– рабочее	0,8
– максимальное	1,6
Температура измеряемой среды, °С	от 0 до +40
Кинематическая вязкость измеряемой среды в рабочем диапазоне температуры измеряемой среды, мм ² /с	от 15 до 40
Плотность в рабочем диапазоне температуры измеряемой среды, кг/м ³	от 850 до 890
Массовая доля воды, %, не более	1,0
Массовая концентрация хлористых солей, мг/дм ³ , не более	300
Массовая доля механических примесей, %, не более	0,05
Массовая доля серы, %, не более	2,5
Массовая доля сероводорода, млн ⁻¹ (ppm), не более	100
Давление насыщенных паров при максимальной температуре измеряемой среды, кПа (мм рт. ст.), не более	66,7 (500)
Массовая доля органических хлоридов из фракции, выкипающей до температуры 204 °С, млн ⁻¹ (ppm), не более	10
Массовая доля парафина, %, не более	6,0
Параметры электрического питания:	
– напряжение переменного тока, В	220±22 однофазное, 380±38 трехфазное
– частота переменного тока, Гц	50±1
Температура окружающего воздуха, °С:	
– открытая площадка	от -40 до +38
– помещение блочно-модульного здания	не ниже +15
– помещение операторной	от +18 до +25
– помещение электрощитовой	от +5 до +40
Содержание свободного газа	не допускается
Режим работы системы	постоянный

5.2 Определение относительной погрешности измерительного канала (ИК) массового расхода измеряемой среды при комплектной поверке проводят при следующих условиях:

- работы проводят на месте эксплуатации в комплекте с элементами измерительных линий;
- допускаемое изменение абсолютного значения расхода за время одного измерения (в точке расхода) 2,5 %;
- допускаемое изменение абсолютного значения температуры измеряемой среды за время одного измерения 0,2°C;
- температура, влажность окружающей среды и физико-химические показатели измеряемой среды соответствуют условиям эксплуатации системы;
- диапазоны рабочего давления и расхода определяются типоразмером счетчика-расходомера массового RHM (модификация 100) с измерительным преобразователем RHE11 (далее – СРМ), входящего в состав ИК массового расхода, и технологическими требованиями;
- регулирование расхода проводят при помощи регуляторов расхода, расположенных на выходе измерительной линии. Допускается вместо регуляторов расхода использовать запорную арматуру.

5.3 Определение относительной погрешности ИК объемного расхода измеряемой среды при комплектной поверке проводят при следующих условиях:

- работы проводят на месте эксплуатации в комплекте с элементами измерительных линий;
- допускаемое изменение абсолютного значения расхода за время одного измерения (в точке расхода) 2,5 %;
- допускаемое изменение абсолютного значения температуры измеряемой среды за время одного измерения 0,2 °С;
- температура, влажность окружающей среды и физико-химические показатели измеряемой среды соответствуют условиям эксплуатации системы;
- диапазоны рабочего давления и объемного расхода определяются типоразмером счетчика бироторного типа В (далее – ПР), входящим в состав ИК объемного расхода, рабочим диапазоном объемного расхода ТПУ и технологическими требованиями;
- объемная доля воды в измеряемой среде не должна превышать 5 %;
- содержание свободного газа не допускается;
- для обеспечения бескавитационной работы избыточное давление в трубопроводе после ПР, P_{min} , МПа, должно быть не менее вычисленного по формуле

$$P_{min} = 2,06 \cdot P_{НП} + 2 \cdot \Delta P, \quad (1)$$

где $P_{НП}$ – давление насыщенных паров, определенное в соответствии с ГОСТ 1756-2000 «Нефтепродукты. Определение давления насыщенных паров» при максимально возможной температуре измеряемой среды, МПа;

ΔP – разность давления на ПР, указанная в технической документации, МПа;

- регулирование объемного расхода проводят при помощи регуляторов расхода, расположенных на выходе ТПУ и (или) на измерительных линиях. Допускается вместо регуляторов расхода использовать запорную арматуру.

5.4 Определение абсолютной погрешности ИК плотности измеряемой среды при комплектной поверке проводят при следующих условиях:

- диапазон температуры окружающего воздуха, °С:
- при отборе пробы измеряемой среды в пикнометры, °С от 5 до 50;
- при взвешивании пикнометров, °С от 15 до 25;
- диапазон температуры измеряемой среды, °С от 0 до 100;
- избыточное давление измеряемой среды при отборе проб в пикнометры, МПа не более 10,0;
- расход измеряемой среды через пикнометры при отборе проб, м³/ч не менее 0,2

5.5 При соблюдений условий 5.1, 5.2, 5.3, 5.4 считают, что факторы, которые могут оказать влияние на точность результатов измерений при поверке, отсутствуют.

6 Подготовка к поверке

6.1 При подготовке к поверке системы проводят работы в соответствии с инструкцией по эксплуатации системы.

6.2 Проверяют наличие действующих знаков поверки и (или) свидетельств о поверке, и (или) записи в паспорте (формуляре) на СИ, заверенной подписью поверителя, и знаком поверки на следующие СИ, входящие в состав системы: термопреобразователи сопротивления платиновые серии 65 (регистрационный номер в Федеральном информационном фонде по обеспечению единства измерений (далее – регистрационный номер) 22257-01), преобразователи измерительные 644Н (регистрационный номер 14683-04), преобразователи давления измерительные ЕА (регистрационный номер 14495-00), преобразователь плотности и вязкости жидкости измерительный модели 7829 (далее – ПВ) (регистрационный номер 15642-01), влагомер нефти поточный УДВН-1пм (регистрационный номер 14557-01), комплекс измерительно-вычислительный «ИМЦ-03» (далее – ИВК) (регистрационный номер 19240-05), комплекс измерительно-вычислительный «ОКТОПУС-Л» («ОСТОПУС-L») (регистрационный номер 29179-05).

Результат проверки считают положительным, если СИ, указанные в п. 6.2, имеют действующий знак поверки и (или) свидетельство о поверке, и (или) запись в паспорте (формуляре) СИ, заверенную подписью поверителя, и знаком поверки.

При отрицательном результате проверки наличия действующих знаков поверки и (или) свидетельств о поверке, и (или) записи в паспорте (формуляре) СИ, заверенной подписью поверителя, и знаком поверки СИ, поверку системы прекращают.

6.3 Перед началом определения относительной погрешности ИК массового расхода измеряемой среды при комплектной поверке выполняют следующие подготовительные работы:

- проверяют правильность монтажа СИ, ТПУ и СРМ;
- проверяют соблюдение требований безопасности, изложенных в разделе 4;
- проверяют отсутствие свободного газа в фильтре измерительной линии, ТПУ и преобразователе плотности жидкости измерительном модели 7835 (далее – ПП), а также в верхних точках трубопроводов. Для этого устанавливают расход измеряемой среды в пределах рабочего диапазона измерений СРМ и открывают краны, расположенные в высших точках фильтров и трубопроводов. Проводят 1-3 раза запуск поршня, удаляя после каждого запуска свободный газ. Считают, что свободный газ (воздух) отсутствует полностью, если из кранов вытекает струя продукта без газовых включений;

- при рабочем давлении проверяют герметичность системы, состоящей из СРМ, ТПУ и ПП, трубопроводов. При этом не допускается появление капель или утечек измеряемой среды через сальники, фланцевые, резьбовые или сварные соединения при наблюдении в течение 5 мин;

- проверяют герметичность задвижек, через которые возможны утечки измеряемой среды, влияющие на результаты измерений при определении относительной погрешности ИК массового расхода измеряемой среды. При отсутствии средств контроля или невозможности устранения утечек такие задвижки заглушают (проверяют наличие заглушек), а задвижки измерительных линий заменяют на герметичные;

- проверяют герметичность устройства пуска и приема поршня ТПУ в соответствии с эксплуатационной документацией;

- проверяют стабильность температуры измеряемой среды. Для этого запускают поршень ТПУ и регистрируют температуру на линии ПП, на входе и выходе ТПУ после прохождения поршня ТПУ. Температуру продукта считают стабильной, если ее изменение в системе не превышает $\pm 0,2$ °С за время прохождения поршня от одного детектора до другого (в двунаправленных ТПУ – в обоих направлениях);

- подготавливают СИ к работе согласно указаниям эксплуатационных документов на них;

- вводят в память ИВК (или проверяют введенные ранее) необходимые данные согласно приложению А;

- подготавливают электронный блок в соответствии с документацией;

- проводят автоматическую установку нуля согласно техническому описанию СРМ.

6.4 Перед началом определения относительной погрешности ИК объемного расхода измеряемой среды при комплектной поверке выполняют следующие подготовительные работы:

- проверяют правильность монтажа СИ, ТПУ и ПР;

- подготавливают СИ, ТПУ согласно указаниям технической документации;

- вводят в память ИВК или проверяют введенные ранее данные, необходимые для обработки результатов измерений;

- проверяют отсутствие свободного газа в измерительной линии с ПР и ТПУ, а также в верхних точках трубопроводов. Для этого устанавливают объемный расход измеряемой среды в пределах диапазона измерений ПР и открывают краны, расположенные в высших точках измерительной линии и ТПУ. Проводят 1-3 раза запуск поршня, удаляя после каждого запуска свободный газ. Считают, что свободный газ (воздух) отсутствует полностью, если из кранов вытекает струя измеряемой среды без газовых включений;

- при рабочем давлении проверяют герметичность системы, состоящей из ПР и ТПУ. При этом не допускается появление капель или утечек измеряемой среды через сальники, фланцевые, резьбовые или сварные соединения при наблюдении в течение 5 мин;

- проверяют герметичность задвижек, через которые возможны утечки измеряемой среды, влияющие на результаты измерений;

- проверяют герметичность устройства пуска и приема поршня ТПУ в соответствии с технической документацией;

- проверяют стабильность температуры измеряемой среды. Температуру измеряемой среды считают стабильной, если ее изменение в ТПУ и в ПР не превышает $\pm 0,2$ °С за время измерения;

- определяют плотность измеряемой среды за время определения относительной погрешности ИК объемного расхода с помощью ПП или в испытательной лаборатории;

- определяют кинематическую вязкость измеряемой среды за время определения относительной погрешности ИК объемного расхода с помощью ПВ.

6.5 Перед началом определения абсолютной погрешности ИК плотности измеряемой среды при комплектной поверке выполняют следующие подготовительные работы:

- промывают внутреннюю полость ПП, входящим в состав ИК плотности, бензином или нефрасом, используя шомпол с ершиком из мягкого материала или ткань;

- пикнометры разбирают, промывают бензином или нефрасом, сушат на воздухе или продувая их пылесосом (феном), и собирают;

- электронные весы подготавливают в соответствии с инструкцией по эксплуатации;

- взвешивают пустые пикнометры: методом прямого взвешивания, если используемые весы имеют функцию калибровки по массе; методом сравнения с известной массой, если весы не имеют функции калибровки по массе и используются в качестве компаратора. При прямом взвешивании, непосредственно перед взвешиванием пикнометров калибруют весы в соответствии с инструкцией по эксплуатации. Каждый пикнометр взвешивают не менее трех раз, вычисляют среднее значение результатов взвешиваний. При использовании метода сравнения с известной массой, кроме пикнометров взвешивают известную массу (набор гирь) также не менее трех раз и вычисляют средние значения результатов взвешиваний каждого пикнометра и среднее значение результатов взвешиваний набора гирь. Сходимость результатов взвешиваний - не более 0,02 г, в противном случае повторяют взвешивания;

- измеряют температуру атмосферного воздуха и барометрическое давление в комнате, где проводились взвешивания;

- пикнометры подсоединяют к трубопроводу в соответствии с инструкцией по их эксплуатации;

- устанавливают расход измеряемой среды через ПП в пределах его рабочего диапазона расхода;

- устанавливают расход измеряемой среды через пикнометры - не менее 0,2 м³/ч;

- для эталонного СИ, у которого нет встроенных термокарманов - подсоединяют термокарманы на входе измеряемой среды в пикнометры, и на выходе из пикнометров;

- в термокарманы устанавливают термометры или термопреобразователи сопротивления.

7 Проведение поверки

7.1 Внешний осмотр

При внешнем осмотре должно быть установлено соответствие системы следующим требованиям:

- комплектность системы должна соответствовать ее описанию типа и эксплуатационной документации;

- на компонентах системы не должно быть механических повреждений и дефектов, препятствующих применению системы и проведению ее поверки;

- надписи и обозначения на компонентах системы должны быть четкими и читаемыми без применения технических средств, соответствовать технической документации;

Результаты внешнего осмотра считают положительными, если выполняются вышеперечисленные требования.

При выявлении несоответствий системы установленным требованиям поверку прекращают. Устраняют причины, вызвавшие несоответствие и проводят повторный внешний осмотр. При повторном несоответствии поверку прекращают, систему к эксплуатации не

допускают.

7.2 Подтверждение соответствия программного обеспечения системы

7.2.1 Идентификационные данные программного обеспечения (ПО) системы недоступны для отображения.

7.3 Опробование

7.3.1 При опробовании системы проверяют действие и взаимодействие компонентов в соответствии с инструкцией по эксплуатации системы, возможность получения отчетов следующим образом:

- проверяют наличие электропитания на компонентах системы и средствах поверки;
- проверяют наличие связи между первичными преобразователями, вторичной аппаратурой и ИВК, ИВК и АРМ оператора системы путем визуального контроля меняющихся значений измеряемых величин на дисплее компьютера АРМ оператора;
- используя принтер компьютера АРМ оператора СИКН, распечатывают пробные протоколы поверки, формируемые АРМ оператора.

7.3.2 Опробование СРМ, входящего в состав ИК массового расхода, проводят совместно с ТПУ путем увеличения (уменьшения) расхода измеряемой среды в пределах рабочего диапазона измерений СРМ. Запускают поршень ТПУ. При прохождении поршня через первый по ходу движения детектор наблюдают за началом отсчета импульсов сигнала СРМ, при прохождении поршня через следующий детектор – за окончанием отсчета импульсов. Если ТПУ двунаправленная, проводят те же операции в обоих направлениях движения поршня. Результаты опробования наблюдают на дисплее ИВК (на дисплее электронного блока СРМ).

7.3.3 Опробование ПР, входящего в состав ИК объемного расхода, проводят совместно с ТПУ. Устанавливают объемный расход измеряемой среды в пределах рабочего диапазона измерений расхода ПР. Наблюдают на дисплее ИВК значения следующих параметров:

- частоты выходного сигнала ПР;
- объемного расхода измеряемой среды;
- температуры и давления измеряемой среды в ПР;
- температуры и давления измеряемой среды на входе и выходе ТПУ;
- кинематической вязкости измеряемой среды;
- плотности, температуры и давления измеряемой среды в ПП.

Запускают поршень ТПУ. При срабатывании первого детектора наблюдают за началом отсчета импульсов выходного сигнала ПР, при срабатывании второго детектора - за окончанием отсчета импульсов. Для двунаправленных ТПУ проводят те же операции при движении поршня в прямом и обратном направлениях. При отсутствии изменения всех наблюдаемых параметров или одного из параметров работы прекращают. Выявляют и устраняют причины, обуславливающие отсутствие изменений параметров работы. После устранения причин повторно проводят процедуру опробования.

7.3.4 При опробовании ПП, входящего в состав ИК плотности, проверяют общее функционирование ПП с ИВК в соответствии с инструкцией по эксплуатации, соответствие введенных в ИВК градуировочных коэффициентов по сертификату ПП и правильность вычисляемых значений плотности.

7.3.5 Результаты опробования считают положительными, если выполняются условия п. 7.3.1, 7.3.2, 7.3.3 и 7.3.4.

7.3.6 При получении отрицательных результатов опробования поверку прекращают. Выявляют и устраняют причины, вызвавшие получение отрицательного результата опробования. Повторно проводят опробование. При повторном получении отрицательных результатов опробования поверку прекращают, систему к эксплуатации не допускают.

7.4 Определение метрологических характеристик

7.4.1 Определение абсолютной погрешности ИК плотности измеряемой среды при комплектной поверке.

Абсолютную погрешность определяют, как разность результатов измерений плотности измеряемой среды одновременно ПП, входящим в состав ИК плотности, и эталонным СИ.

Плотность измеряемой среды вычисляют по результатам измерений периода колебаний выходного сигнала ПП.

Измерения начинают после стабилизации параметров измеряемой среды в ПП и эталонном СИ, когда изменение температуры измеряемой среды во времени не превышает $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{мин}$, изменение давления - $0,05\text{ МПа}/\text{мин}$, изменение периода - $0,02\text{ мкс}/\text{мин}$.

С помощью ИВК фиксируют значение периода колебаний выходного сигнала ПП, значения температуры и давления измеряемой среды в трубопроводе и одновременно снимают показания температуры в термокарманах на входе и выходе эталонного СИ. Если используется одноканальный цифровой термометр с одним термопреобразователем сопротивления, то его погружают поочередно в термокарманы на входе измеряемой среды в эталонное СИ и на его выходе.

Примечание - допускается измерять частоту (период колебаний) выходного сигнала ПП с помощью частотомера.

Закрывают краны пикнометров, начиная с выходного крана второго по потоку пикнометра.

Отсоединяют пикнометры, промывают наружную поверхность нефрасом или бензином и продувают либо сетевым сухим сжатым воздухом, либо пылесосом (феном) до полного удаления остатков промывочной жидкости.

Взвешивают заполненные пикнометры аналогично взвешиванию пустых пикнометров.

Опорожняют пикнометры, разбирают их, моют корпус пикнометра и детали кранов нефрасом или бензином и продувают сухим воздухом до полного удаления остатков промывочной жидкости. При наличии воды в измеряемой среде рекомендуется предварительно промыть пикнометры и детали кранов спиртом.

Собирают пикнометры и взвешивают. Сходимость результатов взвешивания пустых пикнометров до и после измерения плотности - не более $0,02\text{ г}$, в противном случае измерения плотности повторяют.

Примечание - Допускается разбирать, проводить взвешивание пустых пикнометров не при каждом измерении плотности, а после серии из 3 - 5 измерений.

При прямом методе взвешивания результат измерений плотности одним из пикнометров $\rho_{1(2)}$, $\text{кг}/\text{м}^3$, вычисляют по формуле

$$\rho_{1(2)} = \frac{[W_3 - W_{\Pi}] \left[1 - \frac{\rho_a}{\rho_z} \right] + \rho_a \cdot V_{IP}}{V_{IP}} \cdot 10^3, \quad (2)$$

где W_3 и W_{Π} – средние арифметические значения показаний весов при взвешиваниях заполненного и пустого пикнометра соответственно, г;

ρ_a – плотность атмосферного воздуха, г/см³, вычисленная по формуле

$$\rho_a = \frac{0,34848 \cdot P_a - 0,009024 \cdot h \cdot g^{0,0612t_a}}{273,15 + t_a} \cdot 10^{-3}, \quad (3)$$

где P_a – барометрическое давление, гПа;

t_a – температура атмосферного воздуха, °С;

h – относительная влажность воздуха, %

ρ_z – плотность материала гирь (при отсутствии значения плотности материала гирь, принимают $\rho_z = 8,0$ г/см³);

V_{IP} – вместимость пикнометра, приведенная к условиям отбора пробы продукта, см³, вычисленная по формуле

$$V_{IP} = V + F_t \cdot (t_{\Pi} - t_0) + F_p \cdot P_{\Pi} \cdot 10, \quad (4)$$

где V – вместимость пикнометра, указанная в свидетельстве о поверке, см³;

F_t – коэффициент изменения вместимости пикнометра при изменении температуры измеряемой среды, указанный в свидетельстве о поверке, см³/°С;

t_n – среднее арифметическое значение показаний СИ температуры в термокарманах на входе измеряемой среды в пикнометры и на выходе или по термопреобразователям сопротивления, смонтированным в кейс, °С;

t_0 – температура при поверке пикнометра, указанная в свидетельстве о поверке, °С;

F_p – коэффициент изменения вместимости пикнометра при изменении давления измеряемой среды, указанный в свидетельстве о поверке, см³/бар;

P_{Π} – давление в пикнометре при отборе пробы измеряемой среды (по показанию преобразователя давления или манометра на трубопроводе), МПа.

При взвешиваниях пикнометров методом сравнения с известной массой (гирь) результат измерений плотности $\rho_{1(2)}$, вычисляют по формуле

$$\rho_{1(2)} = \frac{\left[\frac{W_3}{W_{ГЗ}} \cdot M_3 - \frac{W_{\Pi}}{W_{ГП}} \cdot M_{\Pi} \right] \cdot \left[\frac{1 - \frac{0,0012}{8,0}}{1 - \frac{\rho_a}{\rho_z}} \right] + \rho_a \cdot V_{IP}}{V_{IP}} \cdot 10^3, \quad (5)$$

где $W_{ГЗ}$ и $W_{ГП}$ – средние арифметические значения показаний весов при взвешиваниях гирь, замещающих массу заполненного и пустого пикнометра, соответственно, г;

ρ_z – плотность гирь, г/см³;

M_3 и M_{Π} – известная условная масса гирь (из свидетельств о поверке), замещающих массу заполненного и пустого пикнометра, соответственно, г.

Вычисляют результат измерений плотности продукта вторым пикнометром по формуле (2) или (5). Если разность результатов измерений плотности продукта первым и вторым пикнометрами не превышает 0,20 кг/м³, результаты считают достоверными. В противном случае повторяют измерения.

Вычисляют среднее арифметическое значение этих двух результатов измерений плотности по формуле

$$\rho_n = \frac{1}{2} \cdot (\rho_1 + \rho_2), \quad (6)$$

где ρ_n – результат измерений плотности эталонным СИ, кг/м³;

ρ_1, ρ_2 – результаты измерений плотности первым и вторым пикнометрами соответственно, кг/м³.

Если температура измеряемой среды в эталонном СИ отличается от температуры продукта в ПП более чем на 0,1 °С, значение плотности ρ_n приводят к температуре измеряемой среды в ПП по формуле

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

где $\rho_{\text{прив}}$ – результат измерения плотности эталонным СИ, приведенный к температуре измеряемой среды в ПП, кг/м³;

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

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

$CPL_{\text{ПП}}$ – коэффициент, учитывающий влияние давления на объем измеряемой среды, определенный для $t_{\text{нп}}, P_{\text{нп}}$ и ρ_{15} ;

$t_{\text{нп}}$ – температура измеряемой среды в ПП, °С;

$P_{\text{нп}}$ – давление измеряемой среды в ПП, МПа.

Методика определения коэффициентов CTL, CPL и плотности ρ_{15} дана в приложении Б.

Операции поверки проводят не менее трех раз.

Абсолютную погрешность ИК плотности измеряемой среды вычисляют по формуле

$$\Delta\rho = \rho_{t,p} - \rho_{\text{прив}}, \quad (8)$$

где $\rho_{t,p}$ – плотность, измеренная ПП при температуре и давлении, кг/м³.

Значение $\rho_{t,p}$ при определении метрологических характеристик вычисляют по формулам

$$\rho_{t,p} = \rho_t \cdot (1 + K20 \cdot P_{\text{ПП}} \cdot 10) + K21 \cdot P_{\text{ПП}} \cdot 10, \quad (9)$$

$$\rho_t = \rho \cdot (1 + K18 \cdot t_{\text{ПП}} - 20) + K19 \cdot (t_{\text{ПП}} - 20), \quad (10)$$

$$\rho = K0 + K1 \cdot T + K2 \cdot T^2, \quad (11)$$

$$K20 = K20A + K20B \cdot P_{\text{ПП}} \cdot 10, \quad (12)$$

$$K21 = K21A + K21B \cdot P_{\text{ПП}} \cdot 10, \quad (13)$$

где $K0, K1, K2$ – калибровочные коэффициенты ПП из сертификата его градуировки;

ρ – плотность измеряемой среды, вычисленная без коррекции на температуру и давление в ПП при его определении метрологических характеристик;

ρ_t – плотность измеряемой среды, вычисленная с коррекцией на температуру ПП;

$K20, K21$ – коэффициенты коррекции по давлению;

$K18$ и $K19$ – калибровочные коэффициенты коррекции по температуре ПП из сертификата его градуировки;

$K20A, K20B, K21A, K21B$ – калибровочные коэффициенты коррекции по давлению из сертификата его градуировки;

$P_{\text{ПП}}$ – давление в ПП, МПа;

T – период колебаний выходного сигнала ПП, мкс.

При определении абсолютной погрешности ИК плотности измеряемой среды с ПП с другими градуировочными коэффициентами значение $\rho_{t,p}$ вычисляют по алгоритму,

приведенному в документации на модель ПП с учетом поправок на влияние температуры и давления, используя значения периода сигнала, температуры, давления и коэффициенты из сертификата градуировки.

Абсолютная погрешность, вычисленная по формуле (8) для каждого измерения плотности не должна превышать $\pm 0,30 \text{ кг/м}^3$.

7.4.2 Определение относительной погрешности ИК массового расхода измеряемой среды при комплектной поверке.

При определении относительной погрешности ИК массового расхода измеряемой среды с СРМ определяют коэффициенты преобразования СРМ в рабочем диапазоне измерений массового расхода или коэффициент коррекции СРМ в рабочем диапазоне измерений массового расхода и границу относительной погрешности ИК массового расхода измеряемой среды с СРМ в рабочем диапазоне измерений.

МХ СРМ, входящего в состав ИК массового расхода, определяют в рабочем диапазоне расхода, в котором эксплуатируют СРМ, при значениях расхода, соответствующих верхнему и нижнему пределам измерений рабочего диапазона расхода СРМ, и значениях между ними, выбранных с интервалом не более 20 % от верхнего предела. Последовательность выбора точек расхода при определении МХ может быть произвольной. В каждой точке расхода для СРМ проводят не менее 5 измерений.

Проводят предварительное измерение для установления выбранного значения расхода.

Массовый расход измеряемой среды через СРМ вычисляют по формуле (14).

При необходимости проводят корректировку значения расхода регулятором расхода или запорной арматурой.

После стабилизации расхода запускают поршень ТПУ и проводят серию измерений.

По сигналу первого детектора начинается отсчет количества импульсов сигнала СРМ. По сигналу второго детектора отсчет прекращается.

Если количество импульсов выходного сигнала СРМ, соответствующее одному измерению, меньше 10^4 , то необходимо учитывать доли периода следования импульсов с точностью до 0,1 периода при числе импульсов, большем или равном 10^3 , и с точностью до 0,01 периода при числе импульсов, большем или равном 10^2 .

При применении двунаправленной ТПУ описанные операции проводят в прямом и обратном направлениях. При этом пуск поршня в каждом направлении допускается считать за одно измерение, если в свидетельстве о поверке ТПУ указаны МХ для каждого направления движения поршня.

В процессе измерения фиксируют температуру и давление на входе и выходе ТПУ, в ПП и плотность измеряемой среды. Температуру, давление и плотность измеряемой среды 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.

Обработка результатов измерений

При обработке результатов измерений определяют коэффициенты преобразования, оценивают среднее квадратическое отклонение (СКО) случайной составляющей погрешности определения коэффициентов преобразования, параметры градуировочной характеристики (ГХ), неисключенную систематическую и случайную составляющие погрешности и определяют относительную погрешность.

Массовый расход измеряемой среды через СРМ за время i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода W_{ji} , т/ч, вычисляют по формуле

$$W_{ji} = \frac{M_{ji}}{T_{ji}} \cdot 3600, \quad (14)$$

где M_{ji} – массовый расход измеряемой среды, прошедшей через СРМ за время i -го измерения в j -ой точке, определенный комплектом ТПУ и ПП, т;

T_{ji} – интервал времени от срабатывания первого детектора ТПУ до срабатывания второго детектора ТПУ для i -го измерения в j -й точке расхода, с.

Массовый расход измеряемой среды через СРМ в j -ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода W_j , т/ч, вычисляют по формуле

$$W_j = \frac{\sum_{i=1}^{n_j} W_{ji}}{n_j}, \quad (15)$$

где W_{ji} – массовый расход измеряемой среды через СРМ 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.

Вычисление коэффициентов преобразования в точках рабочего диапазона и определение параметров ГХ.

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

$$W_{min} = \min(W_j), \quad (16)$$

$$W_{max} = \max(W_j), \quad (17)$$

где W_j – массовый расход измеряемой среды через СРМ в j -ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода, т/ч.

Частоту выходного сигнала СРМ для i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода, f_{ji} , Гц, вычисляют по формуле

$$f_{ji} = \frac{N_{ji}}{T_{ji}}, \quad (18)$$

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

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

Частоту выходного сигнала СРМ в j -ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода, f_j , Гц, вычисляют по формуле

$$f_j = \frac{\sum_{i=1}^{n_j} f_{ji}}{n_j}, \quad (19)$$

где f_{ji} – частота выходного сигнала СРМ для i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода, Гц;

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

Коэффициент преобразования СРМ, определенный с помощью ТПУ и ПП, для i -го измерения в j -й точке расхода, K_{ji} , имп/т, вычисляют по формуле

$$K_{ji} = \frac{N_{ji}}{M_{ji}}, \quad (20)$$

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

M_{ji} – массовый расход измеряемой среды, прошедший через СРМ за время i -го измерения в j -й точке, определенный комплектом ТПУ и ПП, т, и вычисленный по формулам (22) – (25).

Среднее значение коэффициента преобразования СРМ, определенное с помощью ТПУ и ПП, в j -й точке расхода K_j , имп/т, вычисляется по формуле

$$K_j = \frac{1}{n_j} \sum_{i=1}^{n_j} K_{ji}, \quad (21)$$

где n_j – количество измерений в j -й точке рабочего диапазона.

Массовый расход измеряемой среды, прошедший через СРМ за время i -го измерения в j -й точке, определенный комплектом ТПУ и ПП, т, вычисляют по формуле

$$M_{ji} = V_{ТПУji} \cdot \rho_{ji} \cdot 10^{-3}, \quad (22)$$

где $V_{ТПУji}$ – объем калиброванного участка ТПУ при рабочих условиях для i -го измерения в j -й точке, м³, вычисленный по формулам (23) – (25)

$$V_{ТПУji} = V_0 \cdot K_{ji} \cdot K_{Pji}, \quad (23)$$

$$K_{ji} = 1 + 3 \cdot \alpha_t \cdot (t_{ТПУji} - 20), \quad (24)$$

$$K_{Pji} = 1 + 0,95 \cdot \frac{P_{ТПУji} \cdot D}{E \cdot S}, \quad (25)$$

где V_0 – объем калиброванного участка ТПУ при стандартных условиях ($t = 20$ °С и $P = 0$ МПа), м³;

$t_{ТПУji}$ – среднее значение температуры измеряемой среды в ТПУ за время i -го измерения в j -й точке расхода, °С, вычисляется по формуле

$$t_{ТПУji} = \frac{t_{ВхТПУji} + t_{ВыхТПУji}}{2}, \quad (26)$$

где $t_{ВхТПУji}$, $t_{ВыхТПУji}$ – температура измеряемой среды на входе и выходе ТПУ за время i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений расхода, °С;

$P_{ТПУji}$ – среднее значение давления измеряемой среды в ТПУ за время i -го измерения в j -й точке расхода, МПа, вычисляется по формуле

$$P_{ТПУji} = \frac{P_{ВхТПУji} + P_{ВыхТПУji}}{2}, \quad (27)$$

где $P_{ВхТПУji}$, $P_{ВыхТПУji}$ – давление измеряемой среды на входе и выходе ТПУ за время i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений расхода, МПа;

α_t – коэффициент линейного расширения материала стенок ТПУ, 1/°С (берут из технической документации на ТПУ или определяют по приложению В);

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

S – толщина стенок ТПУ, мм (берут из технической документации на ТПУ);

E – модуль упругости материала стенок ТПУ, МПа (берут из технической документации на ТПУ или определяют по приложению В);

ρ_{ji} – плотность измеряемой среды, кг/м³, измеренная ПП за время i -го измерения в j -й точке и приведенная к условиям измерения объема по формуле

$$\rho_{ji} = \rho_{ППji} \cdot \frac{CTL_{ТПУji} \cdot CPL_{ТПУji}}{CTL_{ППji} \cdot CPL_{ППji}}, \quad (28)$$

где $\rho_{ППji}$ – плотность измеряемой среды, измеренная ПП за время i -го измерения в j -й точке, кг/м³;

$CTL_{ППji}$ – коэффициент, учитывающий влияние температуры на объем измеряемой среды, определенный для температуры измеряемой среды в ПП за время i -го измерения в j -й точке расхода. Вычисляется по приложению Б при $t_{ППji}$;

$CPL_{ППji}$ – коэффициент, учитывающий влияние давления на объем измеряемой среды, определенный для давления измеряемой среды в ПП за время i -го измерения в j -й точке расхода. Вычисляется по приложению Б при температуре $t_{ППji}$ и давлении $P_{ППji}$;

$CTL_{ТПУji}$ – коэффициент, учитывающий влияние температуры на объем измеряемой среды, определенный для температуры измеряемой среды в ТПУ за время i -го измерения в j -й точке расхода. Вычисляется по приложению Б при температуре $t_{ТПУji}$;

$CPL_{ТПУji}$ – коэффициент, учитывающий влияние давления на объем измеряемой среды, определенный для давления измеряемой среды в ТПУ за время i -го измерения в j -й точке расхода. Вычисляется по приложению Б при температуре $t_{ТПУji}$ и давлении $P_{ТПУji}$;

$t_{ТПУji}$, $P_{ТПУji}$ – средняя температура, °С, и давление, МПа, измеряемой среды за время i -го измерения в j -й точке расхода в ТПУ;

$t_{ППji}$, $P_{ППji}$ – средняя температура, °С, и давление, МПа, измеряемой среды за время i -го измерения в j -й точке расхода в ПП.

П р и м е ч а н и е – Вычисление M_{ji} допускается проводить согласно алгоритму, реализованному в ИВК и аттестованному в установленном порядке.

При реализации ГХ в виде ломаной линии рабочий диапазон разбивают на поддиапазоны. Границами поддиапазонов являются точки рабочего диапазона, в которых проведено определение МХ СРМ. Количество поддиапазонов на единицу меньше количества точек рабочего диапазона.

В этом случае зависимость коэффициента преобразования в каждом поддиапазоне от одной из величин (W , f) имеет вид прямой линии, соединяющей значения коэффициентов преобразования, вычисленных по формуле (21), в граничных точках поддиапазона. В память ИВК вводят вычисленные по формуле (21) значения коэффициентов преобразования и соответствующие значения (W , f) в точках рабочего диапазона. ИВК автоматически рассчитывает значения коэффициента преобразования в промежуточных точках поддиапазонов.

Оценивание СКО результатов измерений

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

$$S_j = \sqrt{\frac{1}{n_j - 1} \sum_{i=1}^{n_j} (K_{ji} - K_j)^2} \cdot \frac{100}{K_j}. \quad (29)$$

Проверяют выполнение условия

$$S_j \leq 0,03 \%. \quad (30)$$

При выполнении условия (30) проводят дальнейшую обработку результатов измерений.

Если условие (30) не выполняется, то анализируют причины и выявляют промахи согласно приложению Г настоящей методики поверки. Выявленный промах исключают и

проводят дополнительное измерение. При отсутствии промахов выясняют и устраняют причины, обуславливающие невыполнение условия (30) и повторно проводят измерения.

Определение неисключенной систематической погрешности

Неисключенную систематическую погрешность в k -м поддиапазоне расхода для СРМ с реализацией ГХ в виде ломаной линии, $\theta_{\Sigma ПДк}$, %, определяют по формуле

$$\theta_{\Sigma ПДк} = 1,1 \cdot \sqrt{\theta_{\Sigma 0}^2 + \theta_{V_0}^2 + \theta_t^2 + \theta_{\rho}^2 + \theta_{АПДк}^2 + \delta_{ИВК}^2}, \quad (31)$$

где $\theta_{\Sigma 0}$ – граница суммарной составляющей неисключенной систематической погрешности ТПУ, % (берут из свидетельства о поверке ТПУ);

θ_{V_0} – граница составляющей неисключенной систематической погрешности определения среднего значения вместимости ТПУ, % (берут из свидетельства о поверке ТПУ);

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

$$\theta_t = \beta_{\max} \cdot 100 \sqrt{\Delta t_{ТПУ}^2 + \Delta t_{ПП}^2}, \quad (32)$$

где $\Delta t_{ТПУ}$, $\Delta t_{ПП}$ – пределы допускаемой абсолютной погрешности преобразователей температуры в измерительных линиях ТПУ и ПП соответственно (берут из свидетельств поверки преобразователей температуры), °С;

β_{\max} – максимальное за время определения МХ СРМ значение коэффициента объемного расширения измеряемой среды, 1/°С. Коэффициент объемного расширения измеряемой среды для i -го измерения в j -й точке расхода, 1/°С, выбирают по таблице А.1 ГОСТ 8.595-2004 «ГСИ. Масса нефти и нефтепродуктов. Общие требования к методикам выполнения измерений»;

θ_{ρ} – относительная погрешность измерений плотности измеряемой среды, %, вычисляемая по формуле

$$\theta_{\rho} = \frac{\Delta \rho_{ПП}}{\rho_{ПП \min}} \cdot 100, \quad (33)$$

где $\Delta \rho_{ПП}$ – пределы допускаемой абсолютной погрешности ПП, кг/м³;

$\rho_{ПП \min}$ – минимальное значение плотности измеряемой среды за время определения МХ СРМ, кг/м³;

$\delta_{ИВК}$ – пределы допускаемой относительной погрешности ИВК при преобразовании входных электрических сигналов в значение коэффициента преобразования СРМ, % (берут из свидетельства о поверке ИВК);

$\theta_{АПДк}$ – граница составляющей неисключенной систематической погрешности, обусловленная погрешностью аппроксимации ГХ для k -го поддиапазона расхода, %.

$$\theta_{АПДк} = \frac{1}{2} \cdot \left| \frac{K_j - K_{j+1}}{K_j + K_{j+1}} \right| \cdot 100 \quad (34)$$

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

$$S_{0j} = \frac{S_j}{\sqrt{n_j}}, \quad (35)$$

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.

Определение случайной составляющей погрешности

Для каждой j -й точки рабочего диапазона измерений массового расхода случайную составляющую погрешности определения коэффициента преобразования СРМ при доверительной вероятности $P = 0,95$, ε_j , %, вычисляют по формуле

$$\varepsilon_j = t_{0,95} \cdot S_{0j}, \quad (36)$$

где $t_{0,95}$ – коэффициент Стьюдента (определяют по приложению Д);

S_{0j} – СКО среднего значения результатов измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода, вычисленное по формуле (35).

Для СРМ с реализацией ГХ в ИВК в виде ломаной линии значение случайной составляющей погрешности в k -м поддиапазоне, $\varepsilon_{ПДk}$, вычисляют по формуле

$$\varepsilon_{ПДk} = \max(\varepsilon_{jk}, \varepsilon_{j+1k}, \varepsilon_{j+2k}, \dots), \quad (37)$$

где ε_{jk} – значение случайной составляющей погрешности в j -й точке, попадающей в k -й поддиапазон, %.

Относительную погрешность ИК массового расхода с СРМ с реализацией ГХ в виде ломаной линии, $\delta_{ПДk}$, %, определяют в каждом k -м поддиапазоне расхода по формулам

$$\delta = \begin{cases} K \cdot S_{\Sigma}, & \text{если } 0,8 \leq \frac{\theta_{\SigmaПДk}}{\max(S_{0jk} + S_{0jk+1})} \leq 8 \\ \theta, & \text{если } \frac{\theta}{\max(S_{0jk}, S_{0jk+1})} > 8 \end{cases}, \quad (38)$$

$$K = \frac{\varepsilon_{ПДk} + \theta_{\SigmaПДk}}{\max(S_{0jk}, S_{0jk+1}) + S_{\theta}}, \quad (39)$$

$$S_{\Sigma} = \sqrt{S_{\theta}^2 + \max(S_{0jk}, S_{0jk+1})^2}, \quad (40)$$

$$S_{\theta} = \sqrt{\frac{\theta_{\Sigma 0}^2 + \theta_{V 0}^2 + \theta_t^2 + \theta_{\rho}^2 + \theta_{АПДk}^2 + \delta_{ИВК}^2}{3}}, \quad (41)$$

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

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

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

$\varepsilon_{ПДk}$ – наибольшее значение СКО из ряда значений, рассчитанных по формуле (35) для каждой точки в k -м поддиапазоне, и соответствующее $\varepsilon_{ПДk}$, %.

Оценивание границы относительной погрешности

ИК массового расхода с СРМ допускается к применению при выполнении условия

$$\delta_{ПДk} \leq 0,25 \%. \quad (42)$$

При невыполнении условия (42) для ИК массового расхода с СРМ в одном или более диапазонах определение МХ прекращают. После чего анализируют результаты, выясняют причину отклонения и в обоснованных случаях выполняют следующие рекомендации:

- при наличии возможности в ИВК увеличения количества точек рабочего диапазона осуществляют разбиение поддиапазона, где условие не выполнено, на два поддиапазона и проводят операции повторно в новых точках рабочего диапазона и новых поддиапазонах;

- если условие (42) не выполнено только в одном поддиапазоне и в ИВК отсутствует возможность увеличения количества точек рабочего диапазона, то осуществляют новое

разбиение рабочего диапазона (при сохранении заданного количества точек), сужая поддиапазон, где условие не выполнено;

- увеличивают количество измерений;

- проводят установку нуля;

- промывают СРМ и проводят определение относительной погрешности ИК массового расхода с СРМ повторно.

При повторном невыполнении условия (42) определение относительной погрешности ИК массового расхода (массы) с СРМ прекращают.

7.4.3 Определение относительной погрешности ИК объемного расхода измеряемой среды при комплектной поверке.

При определении относительной погрешности ИК объемного расхода с ПР определяют коэффициенты преобразования ПР в точках рабочего диапазона измерений объемного расхода и границы относительной погрешности ИК объемного расхода с ПР в точках рабочего диапазона измерений объемного расхода.

Определение МХ ПР, входящего в состав ИК объемного расхода, проводят не менее чем в трех точках рабочего диапазона измерений объемного расхода. Значения объемного расхода (точки рабочего диапазона) рекомендуется выбирать с интервалом не более 20 % от максимального значения объемного расхода ПР. В каждой точке рабочего диапазона измерений объемного расхода для ПР проводят не менее 7 измерений.

Последовательность выбора точек расхода может быть произвольной.

Для определения коэффициента преобразования ПР устанавливают выбранное значение объемного расхода по показаниям ПР и проводят предварительное измерение для уточнения значения установленного объемного расхода.

Запускают поршень ТПУ. При срабатывании второго детектора регистрируют время между срабатываниями первого и второго детекторов, количество импульсов выходного сигнала ПР.

Объемный расход измеряемой среды через ПР вычисляют по формуле (48).

При необходимости проводят корректировку значения объемного расхода регулятором расхода или запорной арматурой.

После стабилизации объемного расхода и температуры измеряемой среды проводят необходимое количество измерений.

Запускают поршень ТПУ. При срабатывании первого детектора в ИВК начинается отсчет импульсов выходного сигнала ПР и времени, при срабатывании второго детектора – заканчивается.

Если количество импульсов выходного сигнала ПР за время между срабатываниями детекторов ТПУ меньше 10000, то ИВК должен определять количество импульсов с долями.

Для определения средних значений за время измерения ИВК периодически фиксирует значения следующих параметров:

- температуры измеряемой среды на входе и выходе ТПУ;
- давления измеряемой среды на входе и выходе ТПУ;
- температуры измеряемой среды в ПР;
- давления измеряемой среды в ПР;
- плотность измеряемой среды, измеренную ПП;
- температуру измеряемой среды в ПП;

- давление измеряемой среды в ПП;
- кинематическую вязкость измеряемой среды, измеренную ПВ.

При использовании термометров и манометров с визуальным отсчетом допускается фиксировать температуру и давление один раз за время измерения.

Для однонаправленной ТПУ прохождение поршня от одного детектора до другого принимают за одно измерение.

Если для двунаправленной ТПУ определена вместимость калиброванного участка как сумма вместимостей в обоих направлениях, то за одно измерение принимают движение поршня в прямых и обратных направлениях, количество импульсов и время прохождения поршня в прямом и обратном направлениях суммируют.

Если для двунаправленной ТПУ определена вместимость калиброванного участка для каждого направления, то за одно измерение принимают движение поршня в каждом направлении.

При наличии у ТПУ второй пары детекторов допускается использовать обе пары детекторов.

Результаты измерений заносят в протокол по форме, приведенной в приложении А. Допускается в таблицах протокола удалять ненужные и добавлять необходимые столбцы и строки.

При заполнении протокола полученные результаты измерений и вычислений округляют в соответствии с таблицей 3.

Таблица 3 – Точность представления результатов измерений и вычислений

Параметр	Единица измерения	Количество цифр после запятой	Количество значащих цифр, не менее
Объем	м ³	-	6
Температура	°С	2	-
Давление	МПа	2	-
Плотность	кг/м ³	1	-
Кинематическая вязкость	мм ² /с	1	-
Количество импульсов	имп	-	5
Интервал времени	с	2	-
Погрешность, СКО	%	3	-
Коэффициент преобразования	имп/м ³	-	5
Коэффициент коррекции		5	-
Коэффициент объемного расширения	1/°С	6	-

Примечание – если количество цифр в целой части числа больше рекомендованного количества значащих цифр, то число округляют до целого.

Обработка результатов измерений

Объем измеряемой среды, прошедшей через ПР за время i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений объемного расхода, V_{ji} , м³, вычисляют по формулам

$$V_{ji} = V_0 \cdot CTS_{ji} \cdot CPS_{ji} \cdot \frac{CTL_{ТПУ\ ji} \cdot CPL_{ТПУ\ ji}}{CTL_{ПР\ ji} \cdot CPL_{ПР\ ji}}, \quad (43)$$

$$CTS_{ji} = 1 + 3 \cdot \alpha_t \cdot (t_{ТПУ\ ji} - t_0), \quad (44)$$

$$CPS_{ji} = 1 + 0,95 \cdot \frac{P_{ТПУji} \cdot D}{E \cdot S}, \quad (45)$$

$$t_{ТПУji} = \frac{t_{ВхТПУji} + t_{ВыхТПУji}}{2}, \quad (46)$$

$$P_{ТПУji} = \frac{P_{ВхТПУji} + P_{ВыхТПУji}}{2}, \quad (47)$$

где V_0 – вместимость калиброванного участка ТПУ при нормальных условиях ($t = 20$ °С и $P = 0$ МПа), м³;

CTS_{ji} – коэффициент, учитывающий влияние температуры на вместимость ТПУ, для i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений объемного расхода;

CPS_{ji} – коэффициент, учитывающий влияние давления на вместимость ТПУ, для i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений объемного расхода (вариант вычислений выбирают в соответствии с методикой поверки ТПУ);

$CTL_{ТПУji}$ – коэффициент, учитывающий влияние температуры на объем измеряемой среды, определенный для температуры измеряемой среды в ТПУ для i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений объемного расхода (вычисляют по приложению Б);

$CPL_{ТПУji}$ – коэффициент, учитывающий влияние давления на объем измеряемой среды, определенный для давления измеряемой среды в ТПУ для i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений объемного расхода (вычисляют по приложению Б);

$CTL_{ПРji}$ – коэффициент, учитывающий влияние температуры на объем измеряемой среды, определенный для температуры измеряемой среды в ПР для i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений объемного расхода (вычисляют по приложению Б);

$CPL_{ПРji}$ – коэффициент, учитывающий влияние давления на объем измеряемой среды, определенный для давления измеряемой среды в поверяемом ПР для i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений объемного расхода (вычисляют по приложению Б);

α_t – коэффициент линейного расширения материала стенок калиброванного участка ТПУ (берут из технической документации на ТПУ или определяют по таблице В.1 приложения В), 1/°С;

$t_{ТПУji}$ – температура измеряемой среды в ТПУ за время i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений объемного расхода, °С;

$t_{ВхТПУji}$, $t_{ВыхТПУji}$ – температура измеряемой среды на входе и выходе ТПУ за время i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений объемного расхода, °С;

$P_{ТПУji}$ – давление измеряемой среды в ТПУ за время i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений объемного расхода, МПа;

$P_{ВхТПУji}$, $P_{ВыхТПУji}$ – давление измеряемой среды на входе и выходе ТПУ за время i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений объемного расхода, МПа;

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

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

E – модуль упругости материала стенок калиброванного участка ТПУ (берут из технической документации на ТПУ или определяют по таблице В.1 приложения В), МПа.

Вычисление объема измеряемой среды, V_{ji} , м³, прошедший через ПР за время измерения, допускается проводить согласно алгоритму, реализованному в ИВК, прошедшему испытания в целях утверждения типа.

Объемный расход измеряемой среды через ПР за время i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений объемного расхода, Q_{ji} , м³/ч, вычисляют по формуле

$$Q_{ji} = \frac{V_{ji}}{T_{ji}} \cdot 3600, \quad (48)$$

где V_{ji} – объем измеряемой среды, прошедшей через ПР за время i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений объемного расхода, м³;

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

Объемный расход измеряемой среды через ПР в j -ой точке рабочего диапазона измерений объемного расхода, Q_j , м³/ч, вычисляют по формуле

$$Q_j = \frac{\sum_{i=1}^{n_j} Q_{ji}}{n_j}, \quad (49)$$

где Q_{ji} – объемный расход измеряемой среды через ПР за время i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений объемного расхода, м³/ч;

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

Нижний и верхний предел рабочего диапазона измерений объемного расхода Q_{\min} , Q_{\max} , м³/ч, вычисляют по формулам

$$Q_{\min} = \min(Q_j), \quad (50)$$

$$Q_{\max} = \max(Q_j), \quad (51)$$

где Q_j – объемный расход измеряемой среды через ПР в j -ой точке рабочего диапазона измерений объемного расхода, м³/ч.

Частоту выходного сигнала ПР для i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений объемного расхода, f_{ji} , Гц, вычисляют по формуле

$$f_{ji} = \frac{N_{ji}}{T_{ji}}, \quad (52)$$

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

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

Частоту выходного сигнала ПР в j -ой точке рабочего диапазона измерений объемного расхода, f_j , Гц, вычисляют по формуле

$$f_j = \frac{\sum_{i=1}^{n_j} f_{ji}}{n_j}, \quad (53)$$

где f_{ji} – частота выходного сигнала ПР для i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений объемного расхода, Гц;

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

Коэффициент преобразования ПР для i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений объемного расхода, K_{ji} , имп/м³, вычисляют по формуле

$$K_{ji} = \frac{N_{ji}}{V_{ji}}, \quad (54)$$

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

V_{ji} – объем измеряемой среды, прошедшей через ПР за время i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений объемного расхода, м³.

Коэффициент преобразования ПР в j -ой точке рабочего диапазона измерений объемного расхода, K_j , имп/м³, вычисляют по формуле

$$K_j = \frac{\sum_{i=1}^{n_j} K_{ji}}{n_j}, \quad (55)$$

где K_{ji} – коэффициент преобразования ПР для i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений объемного расхода, имп/м³;

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

Среднее значение кинематической вязкости измеряемой среды за время поверки, ν , мм²/с вычисляют по формуле

$$\nu = \frac{\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^{n_j} \nu_{ji}}{\sum_{j=1}^m n_j}, \quad (56)$$

где ν_{ji} – кинематическая вязкость измеряемой среды для i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений объемного расхода, мм²/с;

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

m – количество точек расхода.

Нижний и верхний пределы рабочего диапазона кинематической вязкости измеряемой среды ν_{min} , ν_{max} , мм²/с, определяют по описанию типа ПР или по техническим и нормативным документам, или вычисляют по формулам

$$\nu_{min} = \nu - \Delta \nu \quad (57)$$

$$\nu_{max} = \nu + \Delta \nu \quad (58)$$

где ν – среднее значение кинематической вязкости измеряемой среды за время определения метрологических характеристик ПР, мм²/с;

$\Delta \nu$ – допускаемый предел изменения кинематической вязкости измеряемой среды, установленный для данного типа ПР (берут из описания типа или технической документации), мм²/с.

Примечания:

- при $\nu_{min} < 0$ принимают $\nu_{min} = 0$;
- столбец 12 Таблицы 1 заполняют при наличии значения $\Delta \nu$.

Оценка СКО результатов измерений

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

$$S_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_j} (K_{ji} - K_j)^2}{n_j - 1}} \cdot \frac{1}{K_j} \cdot 100. \quad (59)$$

Проверяют выполнение следующего условия

$$S_j \leq 0,02 \%. \quad (60)$$

При выполнении условия (60) продолжают обработку результатов измерений.

При невыполнении условия (60) выявляют наличие промахов в полученных результатах измерений, согласно приложению Г. Выявленный промах исключают и проводят дополнительное измерение. При отсутствии промахов выясняют и устраняют причины, обуславливающие невыполнение данного условия и повторно проводят измерения.

При повторном невыполнении условия (60) определение МХ ПР прекращают.

Границу неисключенной систематической погрешности для ИК объемного расхода с контрольно-резервным ПР, используемым в качестве резервного, Θ_{Σ} , %, вычисляют по формуле

$$\Theta_{\Sigma} = 1,1 \cdot \sqrt{\Theta_{\Sigma 0}^2 + \Theta_{V 0}^2 + \Theta_t^2 + \Theta_A^2 + \Theta_{ИВК}^2}, \quad (61)$$

Границу неисключенной систематической погрешности для ИК объемного расхода с контрольно-резервным ПР, используемым в качестве контрольного, Θ_{Σ} , %, вычисляют по формуле

$$\Theta_{\Sigma} = 1,1 \cdot \sqrt{\Theta_{\Sigma 0}^2 + \Theta_{V 0}^2 + \Theta_t^2 + \Theta_{ИВК}^2}, \quad (62)$$

$$\Theta_t = \beta_{\max} \cdot 100 \cdot \sqrt{\Delta t_{ТПУ}^2 + \Delta t_{ПР}^2}, \quad (63)$$

$$\beta_{\max} = \max(\beta_{ji}), \quad (64)$$

$$\Theta_A = \left\{ \max\left(0,5 \cdot \left| \frac{K_j - K_{j+1}}{K_j + K_{j+1}} \right| \cdot 100 \right) \right\}, \quad (65)$$

$$\Theta_{ИВК} = \delta_{ИВК}, \quad (66)$$

где $\Theta_{\Sigma 0}$ – граница суммарной неисключенной систематической погрешности ТПУ (берут из свидетельства или протокола поверки ТПУ), %;

$\Theta_{V 0}$ – граница неисключенной систематической погрешности определения среднего значения вместимости ТПУ (берут из свидетельства или протокола поверки ТПУ; для ТПУ с двумя парами детекторов берут наибольшее значение), %;

Θ_t – граница неисключенной систематической погрешности, обусловленной погрешностью преобразователей температуры при измерениях температуры измеряемой среды в ТПУ и ПР, %;

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

Θ_A – граница неисключенной систематической погрешности, обусловленной кусочно-линейной аппроксимацией ГХ ПР в рабочем диапазоне измерений объемного расхода, %;

$\delta_{ИВК}$ – пределы допускаемой абсолютной погрешности преобразования входных электрических сигналов в значение коэффициента преобразования ИВК (берут из свидетельства или протокола поверки ИВК), %;

β_{\max} – максимальное значение коэффициента объемного расширения измеряемой среды за время определения МХ ПР, $1/^\circ\text{C}$;

β_{ji} – коэффициент объемного расширения измеряемой среды при температуре $t_{ПУji}$ для i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений объемного расхода (выбирают по таблице А.1 ГОСТ 8.595), $1/^\circ\text{C}$;

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

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

K_j, K_{j+1} – коэффициенты преобразования ПР в j -ой и $(j+1)$ -ой точках рабочего диапазона измерений объемного расхода, имп/м^3 .

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

$$S_{0j} = \frac{S_j}{\sqrt{n_j}}, \quad (67)$$

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

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

Границу случайной погрешности ПР в рабочем диапазоне измерений объемного расхода при доверительной вероятности $P=0,95$, ε , %, вычисляют по формулам

$$\varepsilon = \max(\varepsilon_j), \quad (68)$$

$$\varepsilon_j = t_{0,95j} \cdot S_{0j}, \quad (69)$$

где S_{0j} – СКО среднего значения результатов измерений в j -ой точке рабочего диапазона измерений объемного расхода, %;

$t_{0,95j}$ – квантиль распределения Стьюдента для количества измерений n_j в j -ой точке рабочего диапазона измерений объемного расхода (определяют по таблице Д.1 приложения Д).

СКО среднего значения результатов измерений в рабочем диапазоне измерений объемного расхода S_0 принимают равным значению СКО среднего значения результатов измерений S_{0j} в точке рабочего диапазона измерений объемного расхода с максимальным значением границы случайной погрешности ε_j .

Границу относительной погрешности ИК объемного расхода с контрольно-резервным ПР, применяемым в качестве резервного, в рабочем диапазоне измерений объемного расхода δ , %, определяют по формулам

$$\delta = \begin{cases} \varepsilon & \text{если } \frac{\Theta_\Sigma}{S_0} < 0,8 \\ t_\Sigma \cdot S_\Sigma & \text{если } 0,8 \leq \frac{\Theta_\Sigma}{S_0} \leq 8 \\ \Theta_\Sigma & \text{если } \frac{\Theta_\Sigma}{S_0} > 8 \end{cases} \quad (70)$$

$$t_\Sigma = \frac{\varepsilon + \Theta_\Sigma}{S_0 + S_\Theta}, \quad (71)$$

$$S_\Sigma = \sqrt{S_\Theta^2 + S_0^2}, \quad (72)$$

$$S_\Theta = \sqrt{\frac{\Theta_{\Sigma 0}^2 + \Theta_{V0}^2 + \Theta_t^2 + \Theta_A^2 + \Theta_{ИВК}^2}{3}}, \quad (73)$$

где ε – граница случайной погрешности ПР в рабочем диапазоне измерений объемного расхода, %;

Θ_Σ – граница неисключенной систематической погрешности ПР, %;

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

S_{Σ} – суммарное СКО результатов измерений в рабочем диапазоне измерений объемного расхода, %;

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

S_{θ} – СКО среднего значения результатов измерений в рабочем диапазоне измерений объемного расхода, %.

Границу относительной погрешности ИК объемного расхода с контрольно-резервным ПР, применяемым в качестве контрольного, в j -ой точке рабочего диапазона измерений объемного расхода, δ_j , %, определяют по формулам

$$\delta_j = \begin{cases} t_{\Sigma j} \cdot S_{\Sigma j}, & \text{если } 0,8 \leq \frac{\Theta_{\Sigma}}{S_{0j}} \leq 8 \\ \Theta_{\Sigma}, & \text{если } \frac{\Theta_{\Sigma}}{S_{0j}} > 8 \end{cases} \quad (74)$$

$$t_{\Sigma j} = \frac{\varepsilon_j + \Theta_{\Sigma}}{S_{0j} + S_{\theta}}, \quad (75)$$

$$S_{\Sigma j} = \sqrt{S_{\theta}^2 + S_{0j}^2}, \quad (76)$$

$$S_{\theta} = \sqrt{\frac{\Theta_{\Sigma 0}^2 + \Theta_{V 0}^2 + \Theta_t^2 + \theta_A^2 + \Theta_{ИВК}^2}{3}}, \quad (77)$$

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

Θ_{Σ} – граница неисключенной систематической погрешности ПР, %;

$t_{\Sigma j}$ – коэффициент, зависящий от соотношения случайной и неисключенной систематической погрешностей;

$S_{\Sigma j}$ – суммарное СКО результатов измерений в j -ой точке рабочего диапазона измерений объемного расхода, %;

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

S_{0j} – СКО среднего значения результатов измерений в j -ой точке рабочего диапазона измерений объемного расхода, %.

Оценивание границы относительной погрешности ИК объемного расхода

ИК объемного расхода с контрольно-резервным ПР, применяемым в качестве резервного, допускается к эксплуатации при выполнении условия

$$\delta_j \leq 0,15 \%. \quad (78)$$

ИК объемного расхода с контрольно-резервным ПР, применяемым в качестве контрольного, допускается к эксплуатации при выполнении условия

$$\delta_j \leq 0,10 \%. \quad (79)$$

Если условия (78) и (79) не выполняются, то рекомендуется:

- увеличить количество измерений в точках рабочего диапазона измерений объемного расхода.

При повторном невыполнении условий (78) и (79) определение относительной погрешности ИК объемного расхода прекращают.

7.4.4 Определение относительной погрешности измерений массы (брутто, нетто) нефти

7.4.4.1 Проверяют выполнение следующих условий:

- получения положительных результатов по п. 7.4.1, 7.4.2, 7.4.3;
- наличия действующих знаков поверки и (или) свидетельств о поверке и (или) записи в паспорте (формуляре) на следующие СИ: термопреобразователи сопротивления платиновые серии 65 (регистрационный номер 22257-01), преобразователи измерительные 644Н (регистрационный номер 14683-04), преобразователи давления измерительные ЕА (регистрационный номер 14495-00), ПВ (регистрационный номер 15642-01), влагомер нефти поточный УДВН-1пм (регистрационный номер 14557-01), ИВК (регистрационный номер 19240-05), комплекс измерительно-вычислительный «ОКТОПУС-Л» («ОСТОПУС-L») (регистрационный номер 29179-05).

7.4.4.2 При выполнении условий п. 7.4.4.1 относительные погрешности измерений массы брутто и нетто нефти не превышают установленные пределы:

$\pm 0,25\%$ – масса брутто нефти;

$\pm 0,35\%$ – масса нетто нефти.

7.4.4.3 При невыполнении условий п. 7.4.4.1 поверку системы прекращают.

8 Оформление результатов поверки

8.1 При положительных результатах поверки оформляют свидетельство о поверке системы по форме Приложения 1 документа «Порядок проведения поверки средств измерений, требования к знаку поверки и содержанию свидетельства о поверке», утвержденного Приказом Минпромторга России от 2 июля 2015 г. № 1815.

8.2 На оборотной стороне свидетельства о поверке системы указывают:

- диапазон измерений расхода системы;
- пределы допускаемой относительной погрешности измерений ИК массового расхода нефти;
- пределы допускаемой относительной погрешности измерений ИК объемного расхода нефти;
- пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений ИК плотности нефти;
- пределы допускаемой относительной погрешности измерений массы (брутто, нетто) нефти системы.

8.3 Особенности конструкции системы препятствуют нанесению на нее знака поверки. Знак поверки наносится на свидетельство о поверке системы.

8.4 Результаты поверки системы оформляют протоколом поверки согласно Приложению А.

8.5 Измерительные компоненты являются автономными измерительными блоками, заводские номера которых приводятся в Приложении с соответствующей отметкой в свидетельстве о поверке.

8.6 При отрицательных результатах поверки систему к эксплуатации не допускают, свидетельство о поверке аннулируют и выдают извещение о непригодности по форме Приложения 2 документа «Порядок проведения поверки средств измерений, требования к знаку поверки и содержанию свидетельства о поверке», утвержденного Приказом Минпромторга России от 2 июля 2015 г. № 1815.

**Приложение А
(рекомендуемое)**

Форма протокола поверки

ПРОТОКОЛ ПОВЕРКИ № _____

Наименование средства измерений: _____

Тип, модель, изготовитель: _____

Заводской номер: _____

Владелец: _____

Наименование и адрес заказчика: _____

Методика поверки: _____

Место проведения поверки: _____

Поверка выполнена с применением: _____

Условия проведения поверки:

Температура окружающей среды: _____

Атмосферное давление: _____

Относительная влажность: _____

РЕЗУЛЬТАТЫ ПОВЕРКИ

А.1 Внешний осмотр: _____
(соответствует/не соответствует п. 7.1)

А.2 Опробование: _____
(соответствует/не соответствует п. 7.3)

А.3 Определение метрологических характеристик

А.3.1 Определение абсолютной погрешности ИК плотности измеряемой среды

Тип преобразователя _____

Заводской номер _____

Владелец _____

Место проведения _____

Температура окружающего воздуха при взвешивании пикнометров _____ °С

Атмосферное давление _____ мм рт.ст.

Определение метрологических характеристик

Температура измеряемой среды		Давление измеряемой среды		Плотность, измеренная пикнометрами	Плотность, измеренная пикнометрами, приведенная	Значение периода колебаний преобразователя плотности	Плотность, измеренная преобразователем плотности	Абсолютная погрешность преобразователя плотности
в преобразователе плотности	в пикнометрах	в преобразователе плотности	в пикнометрах					
°С	°С	МПа	МПа	кг/м ³	кг/м ³	мс	кг/м ³	кг/м ³

Градуировочные коэффициенты _____

_____ от _____

Абсолютная погрешность ИК плотности измеряемой среды установленным в п. 7.4.1 пределам _____
(соответствует/не соответствует)

А.3.2 Определение относительной погрешности ИК массового расхода измеряемой среды

Место проведения: _____

ПСП (НПС) _____

СРМ: Датчик: _____ Тип _____

Зав. № _____ Принадлежит _____

Преобразователь: _____ Тип _____

Зав. № _____ Принадлежит _____

ТПУ: Тип _____ Зав. № _____

Разряд _____ Принадлежит _____

ПП: Тип _____ Зав. № _____

Принадлежит _____

ИВК: Тип _____ Зав. № _____

Принадлежит _____

Измеряемая среда _____

Таблица 1 – Исходные данные

Детекторы	$V_0, \text{м}^3$	$D, \text{мм}$	$S, \text{мм}$	$E, \text{МПа}$	$\alpha_{tl}, 1/^\circ\text{C}$	$\Theta_{\Sigma o}, \%$	$\Theta_{V_o}, \%$	$\Delta t_{ТПУ},$ $^\circ\text{C}$	$\delta_{ИВК},$ $\%$	$\Delta t_{ПП},$ $^\circ\text{C}$	$\Delta \rho_{ПП}, \text{кг/м}^3$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Таблица 2 – Результаты измерений и вычислений

№ точ/№ изм $j/1$	$W_{ji}, \text{т/ч}$	Детекторы	$T_{ji}, \text{с}$	$t_{ТПУji}, ^\circ\text{C}$	$P_{ТПУji}, \text{МПа}$	$M_{ji}, \text{т}$	$\beta_{ji}, 1/^\circ\text{C}$	$\rho_{ППji}, \text{кг/м}^3$	$t_{ППji}, ^\circ\text{C}$	$P_{ППji}, \text{МПа}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1/1										
...	
1/n ₁										
...	
m/1										
...	
m/n _m										

Окончание таблицы 2

f_{ji} , Гц	N_{ji} , имп	K_{ji} , имп/г
12	13	14
...	...	
...	...	
...	...	
...	...	
...	...	

Таблица 3 – Результаты вычислений

№ точки	n_j	W_j , т/ч	f_j , Гц	K_j , имп/г	S_j , %	S_{0j} , %	$t_{0,95j}$	ϵ_j , %
1	2	3	4	5	6	7	8	9

Таблица 4 – Результаты вычислений

№ ПДк	$W_{min k}$, т/ч	$W_{max k}$, т/ч	n_j	$\varepsilon_{ПДк}$, %	$\theta_{АПДк}$, %	$\Theta_{\Sigma ПДк}$, %	$\delta_{ПДк}$, %
1	2	3	4	5	6	7	8
1							
...
$m-1$							

Относительная погрешность ИК массового расхода измеряемой среды установленным в п. 7.4.2 пределам _____
(соответствует/не соответствует)

А.3.3 Определение относительной погрешности ИК объемного расхода измеряемой среды с контрольно-резервным ПР, применяемым в качестве контрольного

Место проведения: _____

ПР : Тип _____ Зав. № _____ Линия № _____

ПУ: Тип _____ Зав. № _____

ИВК: Тип _____ Зав. № _____

Измеряемая среда _____ Вязкость, мм²/с, _____

Таблица 1 – Исходные данные

Детекторы	V_0 , м ³	D , мм	S , мм	E , МПа	α_t , 1/°C	$\Theta_{\Sigma 0}$, %	Θ_{V_0} , %	$\Delta t_{ТПУ}$, °C	$\Delta t_{ПР}$, °C	$\delta_{ИВК}$, %	Δv , мм ² /с
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Таблица 2 – Результаты измерений и вычислений

№ точ / № изм	Q_{ji} , м ³ /ч	Детекторы	T_{ji} , с	$t_{ТПУji}$, °С	$P_{ТПУji}$, МПа	$\rho_{ППji}$, кг/м ³	$t_{ППji}$, °С	$P_{ППji}$, МПа	β_{ji} , 1/°С	ν_{ji} , мм ² /с	$t_{ПРji}$, °С	$P_{ПРji}$, МПа	f_{ji} , Гц
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1/1													
...
1/n ₁													
...
m/1													
...
m/n _m													

Окончание таблицы 2

№ точ./ № изм.	N_{ji} , имп	K_{ji} , имп/м ³
1	15	16
1/1		
...
1/n ₁		
...
m/1		
...
m/n _m		

Таблица 3 – Результаты вычислений

№ точ.	$Q_j,$ м ³ /ч	$f_j,$ Гц	$K_j,$ имп/м ³	$v_{min},$ мм ² /с	$v_{max},$ мм ² /с	$S_j,$ %	n_j	$S_{0j},$ %	$t_{0,95j}$	$\varepsilon_j,$ %	$\Theta_{t_j},$ %	$\Theta_{\Sigma},$ %	$\delta_j,$ %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1													
...
m													

Относительная погрешность ИК объемного расхода измеряемой среды

с контрольно-резервным ПР, применяемым в качестве контрольного установленным в п. 7.4.3 пределам _____

(соответствует/не соответствует)

Определение относительной погрешности ИК объемного расхода измеряемой среды с контрольно-резервным ПР, применяемым в качестве резервного

Место проведения: _____

ПР : Тип _____ Зав. № _____ Линия № _____

ПУ: Тип _____ Зав. № _____

ИВК: Тип _____ Зав. № _____

Измеряемая среда _____ Вязкость, мм²/с, _____

Таблица 1 – Исходные данные

Детекторы	V_0 , м ³	D , мм	S , мм	E , МПа	α_t , 1/°C	$\Theta_{\Sigma 0}$, %	Θ_{V_0} , %	$\Delta t_{ТПУ}$, °C	$\Delta t_{ПР}$, °C	$\delta_{ИВК}$, %	Δv , мм ² /с
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Таблица 2 – Результаты измерений и вычислений

№ точ / № изм	Q_{ji} , м ³ /ч	Детекторы	T_{ji} , с	$t_{ТПУji}$, °C	$P_{ТПУji}$, МПа	$\rho_{ППji}$, кг/м ³	$t_{ППji}$, °C	$P_{ППji}$, МПа	β_{ji} , 1/°C	v_{ji} , мм ² /с	$t_{ПРji}$, °C	$P_{ПРji}$, МПа	f_{ji} , Гц
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1/1													
...
1/n ₁													
...
m/1													
...
m/n _m													

Окончание таблицы 2

№ точ./ № изм.	N_{ji} , имп	K_{ji} , имп/м ³
1	15	16
1/1		
...
1/n ₁		
...
m/1		
...
m/n _m		

Таблица 3 – Результаты вычислений

№ точ.	Q_j , м ³ /ч	f_j , Гц	K_j , имп/м ³	S_j , %	n_j	S_{0j} , %	$t_{0,95j}$	ε_j , %
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1								
...
m								

Таблица 4 – Результаты вычислений

Q_{min} , м ³ /ч	Q_{max} , м ³ /ч	v_{min} , мм ² /с	v_{max} , мм ² /с	S_0 , %	ε , %	Θ_{A_s} , %	Θ_{t_s} , %	Θ_{Σ} , %	δ , %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Относительная погрешность ИК объемного расхода измеряемой среды

с контрольно-резервным ПР, применяемым в качестве резервного установленным в п. 7.4.3 пределах _____

(соответствует/не соответствует)

А.3.4 Определение относительной погрешности измерений массы брутто (нетто) нефти системы

Относительная погрешность измерений массы брутто нефти системы установленным в п. 7.4.4 пределах _____
(соответствует/не соответствует)

Относительная погрешность измерений массы нетто нефти системы установленным в 7.4.4 пределах _____
(соответствует/не соответствует)

должность лица,
проводившего поверку

подпись

Ф.И.О.

Дата поверки

Приложение Б (справочное)

Определение коэффициентов CTL , CPL и β

Б.1 Определение коэффициента CTL

Значение коэффициента CTL , учитывающего влияние температуры на объем измеряемой среды (при $t = 15^\circ\text{C}$ и $P = 0$ МПа) определяют по формулам

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

$$\alpha_{15} = \frac{613,9723}{\rho_{15}^2}, \quad (\text{Б.2})$$

$$\Delta t = t - 15, \quad (\text{Б.3})$$

где α_{15} – значение коэффициента объемного расширения измеряемой среды при $t = 15^\circ\text{C}$ и $P = 0$ МПа, $1/^\circ\text{C}$;

ρ_{15} – значение плотности измеряемой среды при $t = 15^\circ\text{C}$ и $P = 0$ МПа, кг/м^3 ;

t – значение температуры измеряемой среды, $^\circ\text{C}$.

Б.2 Определение коэффициента CPL

Значение коэффициента CPL , учитывающего влияние давления на объем измеряемой среды (при $t = 15^\circ\text{C}$ и $P = 0$ МПа) определяют по формулам

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

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

где P – значение избыточного давления измеряемой среды, МПа;

10 – коэффициент перевода единиц измерения давления МПа в бар.

Б.2.3 Определение плотности ρ_{15}

Значение плотности измеряемой среды при $t = 15^\circ\text{C}$ и $P = 0$ МПа, ρ_{15} , кг/м^3 определяют по формуле

$$\rho_{15} = \frac{\rho_{ПП}}{CTL_{ПП} \cdot CPL_{ПП}}, \quad (\text{Б.6})$$

где $\rho_{ПП}$ – значение плотности измеряемой среды в ПП, кг/м^3 ;

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

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

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

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

2) Определяют значения $\rho_{15(1)}$, кг/м^3 :

$$\rho_{15(1)} = \frac{\rho_{ПП}}{CTL_{ПП(1)} \cdot CPL_{ПП(1)}} \quad (\text{Б.7})$$

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

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

$$\rho_{15(2)} = \frac{\rho_{пп}}{CTL_{пп(2)} \cdot CPL_{пп(2)}} \quad (\text{Б.8})$$

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

$$|\rho_{15(i)} - \rho_{15(i-1)}| \leq 0,01 \text{ кг/м}^3, \quad (\text{Б.9})$$

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 $\rho_{15(i)}$.

Приложение В
(справочное)

Определение коэффициентов расширения и модулей упругости материала стенок ТПУ

В.1 Коэффициенты линейного расширения и модули упругости материала стенок ТПУ определяют по таблице В.1.

Таблица В.1 – Коэффициенты линейного расширения и модули упругости материала стенок ТПУ

Материал	$\alpha_t, \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$	$E, \text{ МПа}$
Сталь углеродистая	$11,2 \times 10^{-6}$	$2,1 \times 10^5$
Сталь легированная	$11,0 \times 10^{-6}$	$2,0 \times 10^5$

Приложение Г

Методика анализа результатов измерений на наличие промахов

Проверка результатов измерений на один промах по критерию Граббса при определении метрологических характеристик.

СКО результатов измерений в j -ой точке рабочего диапазона измерений расхода, $S_{Kj}, \%$, определяют по формуле

$$S_{Kj} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_j} (K_{ji} - K_j)^2}{n_j - 1}}, \quad (\text{Г.1})$$

где K_j – значение коэффициента преобразования в j -ой точке рабочего диапазона измерений расхода, $\text{имп}/\text{м}^3$;

K_{ji} – значение коэффициента преобразования для i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений расхода, $\text{имп}/\text{м}^3$;

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

Примечание – При $S_{Kj} < 0,001$ принимают $S_{Kj} = 0,001$.

Наиболее выделяющееся соотношение U

$$U = \max \left(\left| \frac{K_{ji} - K_j}{S_{Kj}} \right| \right). \quad (\text{Г.2})$$

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

Таблица Г.1 – Критические значения для критерия Граббса

n	5	6	7	8	9	10	11	12
h	1,715	1,887	2,020	2,126	2,215	2,290	2,355	2,412

Приложение Д
Квантиль распределения Стьюдента

Значения квантиля распределения Стьюдента $t_{0,95}$ при доверительной вероятности $P = 0,95$ в зависимости от количества измерений приведены в таблице Д.1.

Таблица Д.1

$n-1$	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$t_{0,95}$	2,776	2,571	2,447	2,365	2,306	2,262	2,228	2,201	2,179