

ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ РАСХОДОМЕТРИИ –
ФИЛИАЛ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИТАРНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ
«ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ МЕТРОЛОГИИ
им.Д.И.МЕНДЕЛЕЕВА»
ВНИИР – филиал ФГУП «ВНИИМ им.Д.И.Менделеева»

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель
директора по развитию



А.С. Тайбинский

М.П.

« 17 » августа 2020 г.

Государственная система обеспечения единства измерений

РЕЗЕРВНАЯ СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЙ КОЛИЧЕСТВА И ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА
НЕФТИ № 494

Методика поверки

МП 1131-14-2020

Заместитель начальника отдела НИО-14

 Р.Н. Груздев

Тел. отдела: (843) 299-72-00

Казань
2020

РАЗРАБОТАНА

ВНИИР - ФГУП «ВНИИМ им.Д.И.Менделеева»

ИСПОЛНИТЕЛИ

Загидуллин Р.И.

УТВЕРЖДЕНА

ВНИИР - ФГУП «ВНИИМ им.Д.И.Менделеева»

Настоящая методика поверки распространяется на резервную систему измерений количества и показателей качества нефти № 494 (далее – СИКН) и устанавливает объём, порядок и методику проведения первичной и периодической поверок СИКН на месте ее эксплуатации.

Если очередной срок поверки СИ (измерительного компонента) из состава СИКН наступает до очередного срока поверки СИКН, или появилась необходимость проведения периодической или внеочередной поверки измерительного компонента, то поверяют только этот измерительный компонент, при этом внеочередную поверку СИКН не проводят.

Интервал между поверками – 12 месяцев.

1 Операции поверки

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

Таблица 1 – Операции поверки

Наименование операции	Номер пункта методики поверки	Проведение операции при	
		первичной поверке	периодической поверке
Внешний осмотр	6.1	Да	Да
Подтверждение соответствия программного обеспечения СИКН	6.2	Да	Да
Опробование	6.3	Да	Да
Определение (контроль) метрологических характеристик	6.4	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 1 разряда 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 Допускается применение аналогичных средств поверки, обеспечивающих определение метрологических характеристик поверяемых средств измерений (СИ) с требуемой точностью.

3 Требования безопасности

3.1 При проведении работ соблюдают требования, определяемые документами:

- в области охраны труда;
- в области промышленной безопасности;
- в области пожарной безопасности;
- в области соблюдения правильной и безопасной эксплуатации электроустановок;
- в области охраны окружающей среды.

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

3.3 СИ (измерительные компоненты) и вспомогательные устройства, применяемые при проведении поверки на месте эксплуатации, должны иметь взрывозащищенное исполнение в соответствии с требованиями ГОСТ 31610.0-2019 «Взрывоопасные среды. Часть 0. Оборудование. Общие требования».

3.4 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.

3.5 Выполнение работ прекращают при обнаружении течи в сварных и фланцевых соединениях оборудования СИКН.

4 Условия поверки

4.1 Поверку СИКН проводят на месте эксплуатации в диапазоне измерений, указанном в описании типа, или в фактически обеспечиваемым при поверке диапазоне измерений с обязательным указанием в свидетельстве о поверке информации об объеме проведенной поверки. Фактический диапазон измерений не может превышать диапазона измерений, указанного в описании типа СИКН.

4.2 Характеристики СИКН и параметры измеряемой среды при проведении поверки должны соответствовать требованиям, приведенным в таблице 2.

4.3 Соответствие параметров измеряемой среды, указанных в таблице 2, проверяют по данным паспортов качества нефти.

Таблица 2 – Характеристики СИКН и параметры измеряемой среды

Наименование характеристики	Значение
Диапазон измерений расхода, т/ч	от 260 до 1220
Параметры измеряемой среды	
Измеряемая среда	нефть по ГОСТ Р 51858-2002 «Нефть. Общие технические условия»
Избыточное давление измеряемой среды, МПа	от 0,3 до 1,6
Температура измеряемой среды, °С	от +4 до +37
Плотность измеряемой среды при температуре 20 °С и избыточном давлении 0 МПа, кг/м ³	от 836 до 910
Кинематическая вязкость при температуре измеряемой среды, сСт	от 12 до 60
Массовая доля воды, %, не более	0,5
Массовая доля механических примесей, %, не более	0,05
Массовая концентрация хлористых солей, мг/дм ³ , не более	900
Содержание свободного газа	не допускается

5 Подготовка к поверке

5.1 При подготовке к поверке проводят работы в соответствии с инструкцией по эксплуатации СИКН.

5.2 Проверяют наличие действующих знаков поверки, нанесенных на СИ и (или) свидетельства о поверке и (или) паспорта (формуляры) на средства поверки.

6 Проведение поверки

6.1 Внешний осмотр

6.1.1 При внешнем осмотре проверяют комплектность и внешний вид СИКН.

6.1.2 Комплектность СИКН должна соответствовать ее описанию типа и эксплуатационной документации.

6.1.3 При проверке внешнего вида должно быть установлено соответствие СИКН следующим требованиям:

- на компонентах СИКН не должно быть механических повреждений и дефектов

покрытия, ухудшающих внешний вид и препятствующих их применению;

- надписи и обозначения на компонентах СИКН должны быть четкими и соответствовать технической документации.

6.1.4 СИКН, не прошедшая внешний осмотр, к дальнейшей поверке не допускается.

6.2 Подтверждение соответствия программного обеспечения (ПО) СИКН.

6.2.1 Проверяют соответствие идентификационных данных ПО СИКН сведениям, приведенным в описании типа на СИКН.

6.2.2 Определение идентификационных данных ПО контроллеров измерительных FloBoss S600+ (далее – ИВК) проводят в соответствии с его руководством пользователя в следующей последовательности:

- включить питание ИВК, если питание было выключено;
- дождаться появления на дисплее ИВК главного меню и войти в главное меню;
- в главном меню нажатием клавиши «5» выбрать пункт меню «5.SYSTEM SETTINGS»;
- нажатием клавиши «7» выбрать пункт меню «7.SOFTWARE VERSION»;
- нажатием клавиши «Стрелка вправо» и «Стрелка влево» получить идентификационные данные с дисплея:

1) VERSION CONTROL FILE CSUM – цифровой идентификатор ПО, отображаемый в виде SW:ZZZZ, где ZZZZ – значение цифрового идентификатора, представленного в шестнадцатеричной системе счисления;

2) VERSION CONTROL APPLICATION SW – номер версии (идентификационный номер ПО).

6.2.3 Определение идентификационных данных ПО автоматизированного рабочего места (АРМ) оператора СИКН «Форвард» проводят в следующей последовательности:

- на главном окне программы необходимо нажать вкладку «О программе», находящуюся в левом верхнем углу экрана; в открывшемся окне приведены сведения о версии ПО;
- далее необходимо нажать вкладку «Модули»; в открывшемся окне приведены сведения о идентификационном наименовании модуля ПО и его контрольная сумма.

6.2.4 Полученные результаты идентификации ПО СИКН (ПО ИВК и ПО АРМ оператора СИКН) должны соответствовать данным, указанным в описании типа на СИКН.

В случае, если идентификационные данные ПО СИКН не соответствуют данным, указанным в описании типа на СИКН, поверку прекращают. Выясняют и устраняют причины, вызвавшие несоответствие. После чего повторно проверяют идентификационные данные ПО СИКН.

6.3 Опробование

6.3.1 Проверяют действие и взаимодействие компонентов СИКН в соответствии с инструкцией по эксплуатации СИКН, возможность получения отчетов следующим образом:

- проверяется наличие электропитания элементов СИКН и средств поверки;
- проверяется наличие связи между первичными преобразователями, вторичной аппаратурой и ИВК, ИВК и АРМ оператора СИКН путем визуального контроля меняющихся значений измеряемых величин на дисплее компьютера АРМ оператора;
- проверяется работоспособность запорно-регулирующей арматуры путем ее открытия и закрытия;
- используя печатающее устройство с компьютера АРМ оператора СИКН, распечатываются пробные отчеты (протоколы поверки и др. отчеты).

6.3.2 Проверяют герметичность СИКН.

На элементах и компонентах СИКН не должно быть следов протечек нефти.

6.4 Определение (контроль) метрологических характеристик

6.4.1 Определение метрологических характеристик (МХ) измерительного канала (ИК) объемного расхода при комплектном методе поверки проводят в соответствии с Приложением А.

Результаты определения МХ ИК объемного расхода заносят в протокол поверки СИКН, рекомендуемая форма которого приведена в Приложении Б.

6.4.2 Проверяют наличие действующих знаков поверки, нанесенных на СИ (измерительные компоненты) и (или) свидетельства о поверке и (или) паспорта (формуляры) следующих СИ (измерительных компонентов), входящих в состав СИКН: датчиков температуры 644, 3144Р (регистрационный номер 39539-08), преобразователей давления измерительных 3051 (регистрационный номер 14061-10), преобразователя плотности жидкости измерительного модели 7835 (регистрационный номер 52638-13), преобразователя плотности и вязкости жидкости измерительного модели 7829 (регистрационный номер 15642-06), влагомеров нефти поточных УДВН-1пм (регистрационные номера 14557-10 и 14557-15), контроллеров измерительных FloBoss модели S600+ (регистрационный номер 38623-11), контроллера программируемого логического PLC Modicon (регистрационный номер 18649-09), модулей аналоговых ВМХАМІ0800, ВМХАМІ0810, ВМХАМІ0410, ВМХАМІ0410Н, ВМХАRT0414, ВМХАRT0414Н, ВМХАRT0814, ВМХАRT0814Н, ВМХАМО0210, ВМХАМО0210Н, ВМХАМО0410, ВМХАМО0802, ВМХАММ0600, ВМХАММ0600Н, ВМХЕНС0200, ВМХЕНС0200Н, ВМХЕНС0800, ВМХЕНС0800Н (регистрационный номер 49662-12).

Вышеприведенные СИ (измерительные компоненты) на момент проведения поверки СИКН должны быть поверены в соответствии с документами на поверку, указанными в свидетельствах об утверждении типа (описаниях типа) данных СИ (измерительных компонентов).

Примечания:

1. Показывающие СИ температуры и давления должны быть поверены в соответствии с методиками поверки, указанными в свидетельствах об утверждении типа (описаниях типа) данных СИ.

2. Поверку согласно 6.4.2 проводят для СИ (измерительных компонентов), фактически установленных на момент поверки СИКН.

6.4.3 Определение относительной погрешности измерений массы брутто нефти СИКН.

Относительную погрешность измерений массы брутто нефти СИКН δM_B , %, в соответствии с ГОСТ 8.587-2019 «ГСИ. Масса нефти и нефтепродуктов. Методики (методы) измерений» при косвенном методе динамических измерений и измерении объема нефти с применением ИК объемного расхода и плотности нефти с применением ПП, ареометра или лабораторного плотномера при приведении результатов измерений объема и плотности нефти к стандартным условиям вычисляют по формуле

$$\delta M_B = \pm 1,1 \cdot \sqrt{\delta V^2 + G^2 \cdot (\delta \rho^2 + 10^4 \cdot \beta^2 \cdot \Delta T_\rho^2) + 10^4 \cdot \beta^2 \cdot \Delta T_V^2 + \delta N^2}, \quad (1)$$

где δV – относительная погрешность измерений объема нефти, %. За δ_V принимают относительную погрешность УПР, входящего в ИК объемного расхода.

G – коэффициент, вычисляемый по формуле

$$G = \frac{1 + 2 \cdot \beta \cdot T_V}{1 + 2 \cdot \beta \cdot T_\rho}, \quad (2)$$

где β – коэффициент объемного расширения нефти, $1/^\circ\text{C}$;

T_V, T_ρ – температура нефти при измерениях объема и плотности нефти соответственно, $^\circ\text{C}$;

$\delta\rho$ – пределы допускаемой относительной погрешности измерений плотности нефти с применением ПП, ареометра или лабораторного преобразователя плотности, %, вычисляют по формуле

$$\delta\rho = \frac{\Delta\rho}{\rho_{\min}} \cdot 100 \quad (3)$$

где $\Delta\rho$ – пределы допускаемой абсолютной погрешности ПП или ареометра, кг/м^3 ;

ρ_{\min} – нижний предел рабочего диапазона плотности нефти, кг/м^3 ;

$\Delta T_\rho, \Delta T_V$ – абсолютные погрешности измерений температуры нефти при измерениях их плотности и объема соответственно, $^\circ\text{C}$;

δN – пределы допускаемой относительной погрешности СОИ, %.

Относительная погрешность измерений массы брутто нефти СИКН не должна превышать $\pm 0,5\%$.

6.4.4 Определение относительной погрешности измерений массы нетто нефти СИКН.

Относительную погрешность измерений массы нетто нефти δM_H , %, вычисляют по формуле

$$\delta M_H = \pm 1,1 \cdot \sqrt{\left(\frac{\delta M_B}{1,1}\right)^2 + \frac{\Delta W_{MB}^2 + \Delta W_{МП}^2 + \Delta W_{XC}^2}{\left(1 - \frac{W_{MB} + W_{МП} + W_{XC}}{100}\right)^2}}, \quad (4)$$

где ΔW_{MB} – абсолютная погрешность измерений массовой доли воды в нефти, %, вычисляют по формуле (9); при измерении объемной доли воды влагомером вычисляют по формуле

$$\Delta W_{MB} = \frac{\left(\Delta\varphi_{осн} + \left(\Delta\varphi_{дон} \cdot \frac{t - t_{ном}}{10}\right)\right) \cdot \rho_B}{\rho_H} \quad (5)$$

где $\Delta\varphi_{осн}$ – основная абсолютная погрешность влагомера, %;

$\Delta\varphi_{дон}$ – дополнительная абсолютная погрешность влагомера, связанная с отклонением температуры нефти на каждые 10°C %. При отсутствии в описании типа дополнительной погрешности значение $\Delta\varphi_{дон}$ принимают равной 0;

t – температура нефти в месте измерений объемной доли воды в нефти, $^\circ\text{C}$;

$t_{ном}$ – номинальная температура, приведенная в описании типа влагомера, $^\circ\text{C}$;

ρ_B – плотность воды при температуре измерений объемной доли воды в нефти, кг/м^3 ;

ρ_H – плотность нефти при температуре измерений объемной доли воды в нефти, кг/м^3 ;

$\Delta W_{МП}$ – абсолютная погрешность измерений массовой доли механических примесей в нефти, %;

ΔW_{XC} – абсолютная погрешность измерений массовой доли хлористых солей в нефти, %, вычисляют по формуле

$$\Delta W_{XC} = 0,1 \cdot \frac{\Delta \varphi_{XC}}{\rho_i}, \quad (6)$$

где $\Delta \varphi_{XC}$ – абсолютная погрешность измерений массовой концентрации хлористых солей в нефти, мг/дм³;

ρ_i – плотность нефти при температуре измерений массовой концентрации хлористых солей в нефти, кг/м³.

W_{MB} – массовая доля воды в нефти, определенная в лаборатории, %, при измерении объемной доли воды влагомером массовая доля воды в нефти вычисляется по формуле

$$W_{MB} = \frac{\varphi_{ПВ} \cdot \rho_B}{\rho_H}, \quad (7)$$

где $\varphi_{ПВ}$ – объемная доля воды в нефти, измеренная влагомером, %;

$W_{МП}$ – массовая доля механических примесей в нефти, %, определенная в лаборатории;

W_{XC} – массовая доля хлористых солей в нефти, %, определенная в лаборатории, вычисляют по формуле

$$W_{XC} = 0,1 \cdot \frac{\varphi_{XC}}{\rho_i}, \quad (8)$$

где φ_{XC} – массовая концентрация хлористых солей в нефти, мг/дм³, определенная в лаборатории.

Абсолютную погрешность измерений массовой доли воды, массовой концентрации хлористых солей и массовой доли механических примесей в нефти определяют в соответствии с ГОСТ 33701-2015 «Определение и применение показателей точности методов испытаний нефтепродуктов».

Для доверительной вероятности $P=0,95$ и двух измерений соответствующего показателя качества нефти абсолютную погрешность его измерений вычисляют по формуле

$$\Delta = \pm \frac{\sqrt{R^2 - r^2 \cdot 0,5}}{\sqrt{2}}, \quad (9)$$

где R и r – воспроизводимость и сходимости метода определения соответствующего показателя качества нефти, значения которых приведены в ГОСТ 2477-2014 «Нефть и нефтепродукты. Метод определения содержания воды», ГОСТ 21534-76 «Нефть. Методы определения содержания хлористых солей», ГОСТ 6370-83 «Нефть, нефтепродукты и присадки. Метод определения механических примесей».

Относительная погрешность измерений массы нетто нефти СИКН не должна превышать $\pm 0,6$ %.

7 Оформление результатов поверки

7.1 Результаты поверки оформляют протоколом поверки, рекомендуемая форма которого приведена в Приложении Б. Допускается оформлять протокол поверки в измененном виде.

7.2 При положительных результатах поверки оформляют свидетельство о поверке СИКН в соответствии с действующим порядком проведения поверки СИ на территории РФ.

На оборотной стороне свидетельства о поверке СИКН указывают диапазон измерений расхода и пределы допускаемой относительной погрешности измерений массы (брутто, нетто) нефти.

Знак поверки наносится на свидетельство о поверке СИКН.

7.3 При отрицательных результатах поверки СИКН к эксплуатации не допускают и выдают извещение о непригодности к применению в соответствии с действующим порядком проведения поверки СИ на территории РФ.

**Приложение А
(обязательное)**

**Определение метрологических характеристик
измерительного канала объемного расхода**

А.1 Операции, выполняемые при определении метрологических характеристик измерительного канала объемного расхода

При определении метрологических характеристик (МХ) измерительного канала (ИК) объемного расхода выполняют операции, приведенные в таблице А.1.

Таблица А.1 – Операции выполняемые при определении МХ ИК объемного расхода

Наименование операции	Номер пункта методики поверки
Внешний осмотр	А.6
Опробование	А.7
Определение МХ ИК объемного расхода	А.8

А.2 Эталоны и средства измерений, применяемые при определении МХ ИК объемного расхода

А.2.1 Рабочий эталон 1 разряда 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.

Примечание – В качестве рабочего эталона 1 разряда применяют установку поверочную FMD (далее – ПУ), входящую в состав системы измерений количества и показателей качества нефти № 494 (далее – СИКН № 494), с пределами допускаемой относительной погрешности $\pm 0,05$ %.

А.2.2 Преобразователь объемного расхода (далее – ПОР) с средним квадратическим отклонением (СКО) результатов измерений при определении коэффициента преобразования не более 0,02 %.

А.2.3 Счетчики-расходомеры массовые Micro Motion модификации CMF модели CMFHC3 (далее – СРМ), входящие в состав СИКН № 494 с СКО результатов измерений при определении коэффициента преобразования не более 0,02 %.

А.2.4 Преобразователь плотности жидкости измерительный модели 7835 (далее – ПП), входящий в состав СИКН № 494, с пределами допускаемой абсолютной погрешности $\pm 0,3$ кг/м³.

А.2.5 Средства измерений давления с унифицированным выходным сигналом (далее – преобразователи давления) с пределами допускаемой приведенной погрешности $\pm 0,5$ %.

Примечание – Допускается применять манометры класса точности 0,6.

А.2.6 Средства измерений температуры с унифицированным выходным сигналом (далее – преобразователи температуры) с пределами допускаемой абсолютной погрешности $\pm 0,2$ °С.

Примечание – Допускается применять термометры ртутные стеклянные с пределами допускаемой абсолютной погрешности $\pm 0,2$ °С.

А.2.7 Контроллер измерительный FloBoss модели S600+ (далее – ИВК) с пределами допускаемой относительной погрешности при вычислении коэффициентов преобразования и поправочных коэффициентов преобразователей расхода $\pm 0,025$ %.

А.2.8 Допускается применение аналогичных эталонов и средств измерений, применяемых при определении МХ ИК объемного расхода, обеспечивающих определение МХ ИК объемного расхода с требуемой точностью.

А.3 Требования безопасности

При определении МХ ИК объемного расхода соблюдают требования в соответствии с разделом 3 настоящей методики поверки.

А.4 Условия определения МХ ИК объемного расхода

А.4.1 При определении МХ ИК объемного расхода соблюдают следующие условия:

- определение МХ проводят на месте эксплуатации в комплекте с элементами измерительной линии (ИЛ);

- отклонение объемного (массового) расхода измеряемой среды от установленного значения в процессе определения МХ не должно превышать $\pm 2,5$ %;

- изменение температуры измеряемой среды за время одного измерения не должно превышать $0,2$ °С;

- характеристики СИКН и параметры измеряемой среды должны соответствовать условиям эксплуатации СИКН;

- диапазоны рабочего давления и объемного расхода должны определяться в соответствии с типоразмером расходомера ультразвукового UFM 3030, входящего в состав ИК объемного расхода (далее – УПР), и технологическими требованиями;

- содержание свободного газа не допускается;

- МХ ИК определяются в диапазоне измерений, указанном в описании типа, или в фактически обеспечиваемым при поверке СИКН диапазоне измерений с обязательным указанием в свидетельстве о поверке информации об объеме проведенной поверки. Фактический диапазон измерений не может превышать диапазона измерений, указанного в описании типа СИКН.

А.4.2 Для обеспечения бескавитационной работы избыточное давление в трубопроводе после СРМ, ПОР или УПР, P_{\min} , МПа, должно быть не менее вычисленного по формуле

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

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

ΔP – перепад давления на СРМ, ПОР или УПР, указанный в технической документации, МПа.

А.4.3 Регулирование расхода через СРМ, ПОР и УПР проводят при помощи регуляторов расхода, расположенных на выходе ИЛ. Допускается вместо регуляторов расхода использовать запорную арматуру.

А.5 Подготовка к определению МХ ИК объемного расхода

А.5.1 Проверяют правильность монтажа эталонов и средств измерений, применяемых при определении МХ ИК объемного расхода и УПР.

А.5.2 Подготавливают эталоны и средства измерений, применяемые при определении МХ ИК объемного расхода, согласно указаниям технической документации.

А.5.3 Проводят чистку фильтров на ИЛ.

А.5.4 Вводят в память ИВК или проверяют введенные ранее данные, необходимые для обработки результатов определения МХ ИК объемного расхода.

А.5.5 Проверяют отсутствие свободного газа в ИЛ с УПР, в ИЛ с СРМ и ПУ, а также в верхних точках трубопроводов. Для этого устанавливают расход измеряемой среды в пределах рабочего диапазона измерений и открывают краны, расположенные в высших точках ИЛ и ПУ. Проводят 1-3 раза запуск поршня, удаляя после каждого запуска газ. Считают, что газ (воздух) отсутствует полностью, если из кранов вытекает струя измеряемой среды без газовых пузырьков.

А.5.6 При рабочем давлении проверяют герметичность системы, состоящей из УПР, ПУ, ПП и СРМ. При этом не допускается появление капель или утечек измеряемой среды через сальники, фланцевые, резьбовые или сварные соединения при наблюдении в течение 5 мин.

А.5.7 Проверяют герметичность задвижек, через которые возможны утечки измеряемой среды, влияющие на результаты измерений при определении МХ ИК объемного расхода.

А.5.8 Проверяют герметичность устройства пуска и приема поршня ПУ в соответствии с технической документацией.

А.5.9 Проверяют стабильность температуры измеряемой среды. Температуру измеряемой среды считают стабильной, если ее изменение в ПУ, в ПП, в СРМ и в УПР не превышает 0,2 °С за время измерения.

А.6 Внешний осмотр

А.6.1 При внешнем осмотре устанавливают соответствие УПР следующим требованиям:

- комплектность должна соответствовать указанной в технической документации;
- должны отсутствовать механические повреждения и дефекты, препятствующие применению;
- надписи и обозначения на УПР должны быть четкие и соответствовать требованиям технической документации.

А.7 Опробование

А.7.1 Опробование УПР проводят совместно с эталонами и средствами измерений, применяемыми при определении МХ ИК объемного расхода.

А.7.2 Устанавливают объемный расход измеряемой среды в пределах рабочего диапазона измерений расхода УПР.

А.7.3 Наблюдают на дисплее ИВК значения следующих параметров:

- объемного расхода измеряемой среды в УПР;
- частоты выходного сигнала УПР;
- температуры и давления измеряемой среды в УПР;
- температуры и давления измеряемой среды в ПУ;
- температуры планки крепления детекторов или инварового стержня;
- плотности, температуры и давления измеряемой среды в ПП;
- массового расхода измеряемой среды в СРМ;
- частоты выходного сигнала СРМ;
- объемного расхода измеряемой среды ПОР;

- частоты выходного сигнала ПОР.

А.7.4 Запускают поршень ПУ. При прохождении поршня через первый детектор в ИВК наблюдают за отсчетом количества импульсов, поступающих от УПР, при прохождении поршня второго детектора в ИВК – за окончанием отсчета количества импульсов.

А.7.5 За одно измерение принимают серию проходов поршня (не более 20) от одного детектора до другого.

А.7.6 Результаты измерений количества импульсов, поступающих от УПР, времени измерения, температуры и давления в ПУ, возле УПР и возле ПП, плотности измеряемой среды индицируются на дисплее ИВК.

А.8 Определение МХ ИК объемного расхода

А.8.1 При определении МХ ИК объемного расхода определяют следующие МХ:

- коэффициент преобразования УПР в рабочем диапазоне измерений объемного расхода или коэффициенты преобразования УПР в точках рабочего диапазона измерений объемного расхода;

- границу относительной погрешности ИК объемного расхода в рабочем диапазоне измерений объемного расхода.

А.8.2 Определение МХ проводят не менее чем в трёх точках рабочего диапазона измерений объемного расхода УПР. В каждой точке рабочего диапазона измерений объемного расхода проводят не менее пяти измерений. Последовательность выбора точек расхода может быть произвольной. Допускается при определении МХ в выбранных точках рабочего диапазона использование разных методов в соответствии с А.8.3.

А.8.3 Методы и этапы определения МХ приведены в таблице А.2.

Таблица А.2 – Методы и этапы определения МХ

Метод определения МХ	Этапы определения МХ	Номер пункта методики поверки
Определение МХ по ПУ с ПОР, СРМ и ПП	Определение коэффициента преобразования ПОР по ПУ	А.8.4.1; Приложение Ж
	Определение коэффициента преобразования СРМ по ПОР и ПП	А.8.4.2; Приложение В
	Определение коэффициента преобразования УПР по СРМ и ПП	А.8.4.3; Раздел А.9

А.8.4 Определение МХ по ПУ с ПОР, СРМ и ПП

Для каждой выбранной точки объемного расхода из рабочего диапазона измерений объемного расхода УПР, определяют необходимое для определения МХ количество СРМ и значение массового расхода через СРМ для обеспечения заданного объемного расхода через УПР.

Для каждой выбранной точки массового расхода определяют значение объемного расхода через ПОР, при котором определяют коэффициент преобразования ПОР по ПУ, для чего выполняют операции по А.8.4.1. Определенный коэффициент преобразования ПОР вводят в память ИВК и проводят операции по А.8.4.2 для определения коэффициента преобразования СРМ по ПОР и ПП. Определенный коэффициент преобразования СРМ вводят в ИВК и определяют МХ УПР, для чего проводят операции по А.8.4.3.

А.8.4.1 Определение коэффициента преобразования ПОР по ПУ

Для определения коэффициента преобразования ПОР устанавливают выбранное

значение объемного расхода по показаниям ПОР и проводят предварительное измерение для уточнения значения установленного объемного расхода.

Запускают поршень ПУ. После прохождения поршнем второго детектора регистрируют время прохождения поршнем от одного детектора до другого, количество импульсов выходного сигнала ПОР.

Объемный расход измеряемой среды через ПОР вычисляют по формуле (Ж.4).

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

После стабилизации объемного расхода в соответствии со вторым перечислением п.А.4.1 и стабилизации температуры измеряемой среды в соответствии с третьим перечислением п.А.4.1 проводят необходимое количество измерений.

Запускают поршень ПУ. При прохождении поршнем первого детектора ИВК начинает отсчет импульсов выходного сигнала ПОР и времени прохождения поршня между детекторами, при прохождении второго детектора – заканчивает.

Если количество импульсов выходного сигнала ПОР за время прохождения поршня ПУ между детекторами меньше 10000, то ИВК должен определять количество импульсов с долями импульсов.

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

- температуры измеряемой среды в ПУ;
- давления измеряемой среды в ПУ;
- температуры планки крепления детекторов или инварового стержня;
- температуры измеряемой среды в ПОР;
- давления измеряемой среды в ПОР;
- температуры измеряемой среды в ПП;
- давления измеряемой среды в ПП;
- плотности измеряемой среды в ПП.

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

За результат измерения считают среднее значение результатов измерений для нескольких проходов поршня ПУ (не более 20).

Результаты измерений заносят в протокол. Рекомендуемая форма протокола приведена в Приложении Б. Допускается в таблицах протокола удалять ненужные и добавлять необходимые столбцы и строки.

Полученный коэффициент преобразования ПОР устанавливают в ИВК.

А.8.4.2 Определение коэффициента преобразования СРМ по ПОР и ПП

Устанавливают выбранное значение расхода по показаниям ПОР.

Для ПОР устанавливают значение расхода с отклонением не более 2,5 % от расхода, при котором был определен коэффициент преобразования ПОР.

Проводят предварительное измерение для уточнения значения установленного расхода.

Расход измеряемой среды через ПОР вычисляют по формуле (В.1).

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

После стабилизации объемного расхода в соответствии со вторым перечислением п.А.4.1 и стабилизации температуры измеряемой среды в соответствии с третьим перечислением п.А.4.1 проводят необходимое количество измерений.

ИВК одновременно начинает отсчет импульсов выходных сигналов ПОР и СРМ. При достижении заданного количества импульсов выходного сигнала ПОР или истечении заданного времени измерения или при прохождении заданного значения объема измеряемой среды через ПОР ИВК одновременно заканчивает отсчет импульсов выходных сигналов ПОР и СРМ.

Если количество импульсов выходного сигнала ПОР или СРМ за время измерения 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 в ПОР;
- давления измеряемой среды в ПОР;
- температуры измеряемой среды в ПП;
- давления измеряемой среды в ПП;
- плотности измеряемой среды в ПП.

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

Результаты измерений заносят в протокол. Рекомендуемая форма протокола приведена в Приложении Б. Допускается в таблицах протокола удалять ненужные и добавлять необходимые столбцы и строки.

Определенный коэффициент преобразования СРМ вводят в память ИВК.

А.8.4.3 Определение коэффициента преобразования УПР по СРМ и ПП

Для определения коэффициента преобразования УПР устанавливают выбранное значение объемного расхода по показаниям выбранных СРМ. Значение массового расхода измеряемой среды через выбранные СРМ не должно отклоняться более чем на 2,5 % от расхода, при котором были определены коэффициенты преобразования СРМ.

После стабилизации объемного расхода в соответствии со вторым перечислением п.А.4.1 и стабилизации температуры измеряемой среды в соответствии с третьим перечислением п.А.4.1 проводят необходимое количество измерений.

Начинают измерение. ИВК одновременно начинает отсчет импульсов выходных сигналов выбранных СРМ и УПР. При достижении заданного количества импульсов выходного сигнала УПР или истечении заданного времени измерения ИВК одновременно заканчивает отсчет импульсов выходных сигналов выбранных СРМ и УПР.

Если количество импульсов выходного сигнала выбранных СРМ или УПР за время измерения 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 в УПР;
- давления измеряемой среды в УПР;
- плотность измеряемой среды, измеренную в ПП;
- температуру измеряемой среды в ПП;
- давление измеряемой среды в ПП.

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

Результаты измерений заносят в протокол. Рекомендуемая форма протокола приведена в приложении Б. Допускается в таблицах протокола удалять ненужные и добавлять необходимые столбцы и строки.

А.9 Обработка результатов измерений

А.9.1 Объем измеряемой среды, прошедшей через УПР за время i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений объемного расхода, V_{ji} , м³, вычисляют по формулам

$$V_{ji} = \frac{M_{ji} \cdot CTL_{ппji} \cdot CPL_{ппji}}{\rho_{ппji} \cdot CTL_{упрji} \cdot CPL_{упрji}} \cdot 1000, \quad (\text{А.2})$$

$$M_{ji} = \sum_{k=1}^{n_k} M_{jik}, \quad (\text{А.3})$$

$$M_{jik} = \frac{N_{jik}}{K_{пмjk}}, \quad (\text{А.4})$$

где M_{ji} – масса измеряемой среды, прошедшая через УПР за время i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений объемного расхода, т;

$\rho_{ппji}$ – плотность измеряемой среды в ПП за время i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений объемного расхода, кг/м³;

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

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

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

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

M_{jik} – масса измеряемой среды, прошедшая через k -й СРМ за время i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений объемного расхода, т;

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

$K_{пмjk}$ – коэффициент преобразования k -го СРМ, определенный для j -ой точки рабочего диапазона измерений объемного расхода (вычисляют по Приложению Ж), имп/м³.

Вычисление объема измеряемой среды, прошедшего через УПР за время измерения, допускается проводить согласно алгоритму, реализованному в ИВК, прошедшему испытания в целях утверждения типа. Определение относительной погрешности ИК объемного расхода и обработка результатов измерений соответствует алгоритму, приведенному в МИ 3312–2013 «Рекомендации. ГСИ. Преобразователи расхода жидкости ультразвуковые. Методика поверки».

А.9.2 Массовый расход измеряемой среды через k -й СРМ, соответствующий j -ой точке рабочего диапазона измерений объемного расхода при i -ом измерении, Q_{jik} , т/ч, вычисляют по формулам

$$Q_{jik} = \frac{M_{jik}}{T_{ji}} \cdot 3600, \quad (\text{A.5})$$

где M_{jik} – масса измеряемой среды, прошедшая через k -й СРМ за время i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений объемного расхода, т;

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

А.9.3 Объемный расход измеряемой среды через УПР за время i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений объемного расхода, Q_{ji} , м³/ч, вычисляют по формуле

$$Q_{ji} = \frac{V_{ji}}{T_{ji}} \cdot 3600, \quad (\text{A.6})$$

где V_{ji} – объем измеряемой среды, прошедший через УПР 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.

А.9.4 Объемный расход измеряемой среды через УПР в j -ой точке рабочего диапазона измерений объемного расхода, Q_j , м³/ч, вычисляют по формуле

$$Q_j = \frac{\sum_{i=1}^{n_j} Q_{ji}}{n_j}, \quad (\text{A.7})$$

где Q_{ji} – объемный расход измеряемой среды через УПР 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.

А.9.5 Частоту выходного сигнала УПР для i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений объемного расхода, f_{ji} , Гц, вычисляют по формуле

$$f_{ji} = \frac{N_{ji}}{T_{ji}}, \quad (\text{A.8})$$

где N_{ji} – количество импульсов от УПР 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.

А.9.6 Частоту выходного сигнала УПР в j -ой точке рабочего диапазона измерений объемного расхода, f_j , Гц, вычисляют по формуле

$$f_j = \frac{\sum_{i=1}^{n_j} f_{ji}}{n_j}, \quad (\text{A.9})$$

где f_{ji} – частота выходного сигнала УПР 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.

А.9.7 Коэффициент преобразования УПР в j -ой точке рабочего диапазона измерений объемного расхода, K_j , имп/м³, вычисляют по формулам

$$K_j = \frac{1}{n_j} \sum_{i=1}^{n_j} K_{ji}, \quad (\text{A.10})$$

$$K_{ji} = \frac{N_{ji}}{V_{ji}}, \quad (\text{A.11})$$

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

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

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

А.9.8 Коэффициент преобразования УПР в рабочем диапазоне измерений объемного расхода, K , имп/м³, вычисляют по формуле

$$K = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m K_j, \quad (\text{A.12})$$

где K_j – коэффициент преобразования УПР в j -ой точке рабочего диапазона измерений объемного расхода, имп/м³;

m – количество точек объемного расхода в рабочем диапазоне измерений объемного расхода.

А.9.9 СКО результатов измерений в j -ой точке рабочего диапазона измерений объемного расхода, S_j , %, вычисляют по формуле

$$S_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_j} (K_{ji} - K_j)^2}{n_j - 1}} \cdot \frac{1}{K_j} \cdot 100, \quad (\text{A.13})$$

где K_j – коэффициент преобразования УПР в j -ой точке рабочего диапазона измерений объемного расхода, имп/м³;

K_{ji} – коэффициент преобразования УПР 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.

А.9.10 Границу неисключенной систематической погрешности УПР в рабочем диапазоне измерений объемного расхода, Θ_Σ , %, вычисляют по формулам

$$\Theta_\Sigma = 1,1 \cdot \sqrt{\Theta_M^2 + \Theta_\rho^2 + \Theta_A^2 + \Theta_t^2 + \Theta_{\text{ИВКсрм}}^2}, \quad (\text{A.14})$$

$$\Theta_M = \max(\delta_k), \quad (\text{A.15})$$

$$\Theta_\rho = \frac{\Delta\rho_{\text{ПП}}}{\rho_{\text{ПП min}}} \cdot 100, \quad (\text{A.16})$$

$$\rho_{\text{ПП min}} = \min(\rho_{\text{ПП } j_i}), \quad (\text{A.17})$$

$$\Theta_A = \begin{cases} \max \left(0,5 \cdot \left| \frac{K_j - K_{j+1}}{K_j + K_{j+1}} \right| \cdot 100 \right) & \text{при кусочно – линейной аппроксимации} \\ \max \left(\left| \frac{K_j - K}{K} \right| \cdot 100 \right) & \text{при постоянном коэффициенте преобразования} \end{cases}, \quad (\text{A.18})$$

$$\Theta_t = \beta_{\max} \cdot 100 \cdot \sqrt{\Delta t_{\text{ПП}}^2 + \Delta t_{\text{УПР}}^2}, \quad (\text{A.19})$$

$$\beta_{\max} = \max(\beta_{ji}), \quad (\text{A.20})$$

$$\Theta_{\text{ИВКсрм}} = \delta_{\text{ИВКсрм}}, \quad (\text{A.21})$$

где Θ_M – граница неисключенной систематической погрешности определения массы измеряемой среды с помощью СРМ, %;

δ_k – граница относительной погрешности k -го СРМ (берут из протоколов определения коэффициента преобразования СРМ), %;

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

$\Delta \rho_{\text{ПП}}$ – пределы допускаемой абсолютной погрешности ПП (берут из свидетельства о поверке преобразователя плотности), кг/м³;

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

$\rho_{\text{ПП}i}$ – плотность измеряемой среды за время i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений объемного расхода, кг/м³;

Θ_A – граница неисключенной систематической погрешности, обусловленной погрешностью аппроксимации ГХ, %;

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

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

$\delta_{\text{ИВКсрм}}$ – пределы допускаемой относительной погрешности преобразования входных электрических сигналов в значение коэффициента преобразования УЗР по СРМ и ПП в ИВК (берут из свидетельства о поверке или протокола поверки ИВК), %;

β_{\max} – максимальное значение коэффициента объемного расширения измеряемой среды, 1/°C;

β_{ji} – коэффициент объемного расширения измеряемой среды при температуре $t_{\text{ПП}i}$ для i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений объемного расхода (вычисляют по Приложению Г или определяют по Р 50.2.076), 1/°C;

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

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

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

K – коэффициент преобразования УПР в рабочем диапазоне измерений объемного расхода, имп/м^3 .

А.9.11 СКО среднего значения результатов измерений в j -ой точке рабочего диапазона измерений объемного расхода, S_{0j} , %, вычисляют по формуле

$$S_{0j} = \frac{S_j}{\sqrt{n_j}}, \quad (\text{A.22})$$

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.

А.9.12 Границу случайной погрешности УПР в рабочем диапазоне измерений объемного расхода при доверительной вероятности $P=0,95$, ε , %, вычисляют по формулам

$$\varepsilon = \max(\varepsilon_j), \quad (\text{A.23})$$

$$\varepsilon_j = t_{0,95j} \cdot S_{0j}, \quad (\text{A.24})$$

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

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 Е.1 Приложения Е).

А.9.13 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 .

А.9.14 Границу относительной погрешности ИК объемного расхода в рабочем диапазоне измерений объемного расхода, δ , %, определяют по формулам

$$\delta = \begin{cases} \varepsilon & \text{если } \frac{\Theta_\Sigma}{S_0} < 8 \\ t_\Sigma \cdot S_\Sigma & \text{если } 0,8 \leq \frac{\Theta_\Sigma}{S_0} \leq 8 \\ \Theta_\Sigma & \text{если } \frac{\Theta_\Sigma}{S_0} > 8 \end{cases}, \quad (\text{A.25})$$

$$t_\Sigma = \frac{\varepsilon + \Theta_\Sigma}{S_0 + S_\Theta}, \quad (\text{A.26})$$

$$S_\Sigma = \sqrt{S_\Theta^2 + S_0^2}, \quad (\text{A.27})$$

$$S_\Theta = \sqrt{\frac{\Theta_M^2 + \Theta_\rho^2 + \Theta_A^2 + \Theta_t^2 + \Theta_{\text{ИВКсрм}}^2}{3}}, \quad (\text{A.28})$$

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

Θ_{Σ} – граница неисключенной систематической погрешности УПР в рабочем диапазоне измерений объемного расхода, %;

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 в рабочем диапазоне измерений объемного расхода, %;

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

А.10 Оценивание относительной погрешности ИК объемного расхода

ИК объемного расхода допускается к применению, если относительная погрешность, вычисленная по формуле (А.25) не превышает пределов допускаемой относительной погрешности, указанных в описании типа на СИКН.

Если условие не выполняются, то рекомендуется:

- увеличить количество точек в рабочем диапазоне измерений объемного расхода;
- увеличить количество измерений в точках рабочего диапазона измерений объемного расхода;
- увеличить время измерения.

При повторном невыполнении данных условий определение МХ прекращают.

А.11 Точность представления результатов измерений и вычислений

При заполнении протоколов, полученные результаты измерений и вычислений округляют в соответствии с таблицей А.3.

Таблица А.3 - Точность представления результатов измерений и вычислений

Параметр	Единица измерения	Количество цифр после запятой	Количество значащих цифр, не менее
Объем	м ³	-	6
Масса	г	-	6
Объемный расход	м ³ /ч	1	-
Массовый расход	г/ч	1	-
Температура	°С	2	-
Давление	МПа	2	-
Плотность	кг/м ³	2	-
Количество импульсов	имп		5
Интервал времени	с	2	-
Погрешность, СКО	%	3	-
Коэффициент преобразования	имп/м ³ , имп/г	-	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.

**Приложение Б
(рекомендуемое)**

Форма протокола поверки

ПРОТОКОЛ ПОВЕРКИ № _____

Стр. __ из __

Наименование средства измерений: _____

Тип, модель, изготовитель: _____

Заводской номер: _____

Владелец: _____

Наименование и адрес заказчика: _____

Методика поверки: _____

Место проведения поверки: _____

Поверка выполнена с применением: _____

РЕЗУЛЬТАТЫ ПОВЕРКИ

1. Внешний осмотр СИКН (п.6.1): _____

(соответствует/не соответствует)

2. Подтверждение соответствия программного обеспечения СИКН (п.6.2):

(соответствует/не соответствует)

3. Опробование (п.6.3): _____

(соответствует/не соответствует)

4. Определение (контроль) метрологических характеристик

4.1 Определение МХ ИК объемного расхода

4.1.1 Внешний осмотр (п.А.6): _____

(соответствует/не соответствует)

4.1.2 Опробование (п.А.7): _____

(соответствует/не соответствует)

Определение коэффициента преобразования ПОР с помощью ПУ

Место проведения: _____

ПОР: Тип _____ Зав. № _____ Линия № _____

ПУ: Тип _____ Зав. № _____

ИВК: Тип _____ Зав. № _____

Измеряемая среда _____ Температура, °С, _____

Таблица 1 - Исходные данные

Детекторы	$V_0, \text{м}^3$	$D, \text{мм}$	$S, \text{мм}$	$E, \text{МПа}$	$\alpha_{к1}, 1/^\circ\text{C}$	$\alpha_{д}, 1/^\circ\text{C}$	$\Theta_{\Sigma 0}, \%$	$\Theta_{V0}, \%$	$\Delta t_{ПУ}, ^\circ\text{C}$	$\Delta t_{ПОР}, ^\circ\text{C}$	$\delta_{ИВК}, \%$
1	2	3	4	5	7	8	9	10	11	12	13

Таблица 2 - Результаты измерений и вычислений

№ точ./ № изм	$Q_{ПОРj}, \text{м}^3/\text{ч}$	Детекторы	$T_{ji}, \text{с}$	$t_{ПУj}, ^\circ\text{C}$	$P_{ПУj}, \text{МПа}$	$t_{дj}, ^\circ\text{C}$	$\rho_{ппj}, \text{кг}/\text{м}^3$	$t_{ппj}, ^\circ\text{C}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1/1								
...
1/n ₁								
...
m/1								
...
m/n _m								

Окончание таблицы 2

№ точ./ № изм.	$P_{ппj}, \text{МПа}$	$\beta_{ji}, 1/^\circ\text{C}$	$t_{ПОРj}, ^\circ\text{C}$	$P_{ПОРj}, \text{МПа}$	$N_{ПОРj}, \text{имп.}$	$K_{ПОРj}, \text{имп}/\text{м}^3$
1	10	11	12	13	14	15
1/1						
...	
1/n ₁						
...	
m/1						
...	
m/n _m						

Таблица 3 - Результаты измерений и вычислений в точках рабочего диапазона

№ точ.	$Q_{ПОРj}, \text{м}^3/\text{ч}$	$K_{ПОРj}, \text{имп}/\text{м}^3$	$S_j, \%$	n_j	$S_{0j}, \%$	$t_{0,95j}$	$\varepsilon_j, \%$	$\Theta_t, \%$	$\Theta_\Sigma, \%$	$\delta_j, \%$	$\delta_{ПОР}, \%$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1											
...	
m											

Определение коэффициента преобразования СРМ

Место проведения: _____

СРМ: Датчик: _____ Тип _____ Зав. № _____ Линия № _____

Преобразователь: Тип _____ Зав. № _____

ПУ: Тип _____ Зав. № _____

ПОР: Тип _____ Зав. № _____

ПП: Тип _____ Зав. № _____

ИВК: Тип _____ Зав. № _____

Измеряемая среда _____

Таблица 1 - Исходные данные

Детекторы	$V_0, \text{м}^3$	$D, \text{мм}$	$S, \text{мм}$	$E, \text{МПа}$	$\Theta_{\Sigma 0}, \%$	$\Theta_{V0}, \%$	$\Theta_V, \%$
1	2	3	4	5	6	7	8

Окончание таблицы 1

$\Delta t_{пу}, \text{°C}$	$\Delta t_{пп}, \text{°C}$	$\Delta \rho_{пп}, \text{кг/м}^3$	$\delta_{ивк}, \%$	$ZS_k, \text{т/ч}$	$\alpha_{к1}, \text{1/°C}$	$\alpha_d, \text{1/°C}$	$\Delta t_{пор}, \text{°C}$
9	10	11	12	13	14	15	16

Таблица 2 - Результаты измерений и вычислений

№ точ./ № изм	$Q_{jik}, \text{т/ч}$	Детекторы	$T_{jik}, \text{с}$	$t_{пуjik}, \text{°C}$	$P_{пуjik}, \text{МПа}$	$\rho_{ппjik}, \text{кг/м}^3$	$t_{ппjik}, \text{°C}$
1	2	3	4	5	6	7	8
1/1							
...
m/n _m							

Продолжение таблицы 2

№ точ./ № изм.	$P_{ппjik}, \text{МПа}$	$\beta_{jik}, \text{1/°C}$	$N_{jik}, \text{имп.}$	$M_{пуjik}, \text{т}$	$K_{ппjik}, \text{имп/т}$	$t_{дji}, \text{°C}$	$t_{порji}, \text{°C}$
1	9	10	11	12	13	14	15
1/1							
...		
m/n _m							

Окончание таблицы 2

№ точ./ № изм.	$P_{порji}, \text{МПа}$	$V_{порji}, \text{м}^3$	$N_{порji}, \text{имп.}$	$K_{порji}, \text{имп/м}^3$
1	16	17	18	19
1/1				
...	
m/n _m				

Таблица 3 - Результаты измерений и вычислений в точках рабочего диапазона

№ точ.	Q_{jk} , т/ч	$K_{ПМjk}$, имп/т	S_{jk} , %	n_{jk}	S_{0jk} , %	$t_{0,95jk}$	ε_{jk} , %
1	2	3	4	5	6	7	8
1							
...
М							

Окончание таблицы 3

№ точ.	Θ_{ik} , %	Θ_{pk} , %	Θ_{Zjk} , %	$\Theta_{\Sigma jk}$, %	δ_{jk} , %	δ_k , %
1	9	10	11	12	13	14
1						
...			
М						

Примечания:

1. В шапке протокола указывают только те эталоны и средства измерений, которые используют при определении МХ.
2. Столбец 14 таблицы 1 заполняют при наличии дополнительной погрешности, обусловленной нестабильностью нуля СРМ.
3. Столбцы 1-8, 10, 15-16 таблицы 1, столбцы 5-6, 14 таблицы 2 допускается не заполнять.

Определение МХ ИК объемного расхода

Место проведения: _____

УПР: Тип _____ Зав.№ _____

ПУ: Тип _____ Зав.№ _____

ПОР: Тип _____ Зав.№ _____

ПП: Тип _____ Зав.№ _____

СРМ 1: Датчик: Тип _____ Зав.№ _____ Линия № _____

Преобразователь: Тип _____ Зав.№ _____

СРМ к: Датчик: Тип _____ Зав.№ _____ Линия № _____

Преобразователь: Тип _____ Зав.№ _____

ИВК: Тип _____ Зав.№ _____

Измеряемая среда _____

Таблица 1 – Исходные данные

$\Theta_M, \%$	$\Delta t_{ПП}, ^\circ\text{C}$	$\Delta \rho_{ПП}, \text{кг/м}^3$	$\Delta t_{УПР}, ^\circ\text{C}$	$\delta_{ИВК}, \%$	$\Theta_V, \%$	$\Delta t_{ПОР}, ^\circ\text{C}$
1	2	3	4	5	6	7

Таблица 2 – Результаты измерений и вычислений СРМ

№ точ/ № изм	№ СРМ	$Q_{jik}, \text{т/ч}$	$N_{jik}, \text{имп}$	$K_{ГМjik}, \text{имп/м}^3$	$M_{jik}, \text{т}$
1	2	3	4	5	6
1/1	1				

	q				
...
m/n _m	1				

	q				

Таблица 2А – Результаты измерений и вычислений ПОР

№ точ/ № изм	$Q_{ПОРji}, \text{м}^3/\text{ч}$	$T_{ji}, \text{с}$	$t_{ПОРji}, ^\circ\text{C}$	$P_{ПОРji}, \text{МПа}$	$N_{ПОРji}, \text{имп}$	$K_{ПОРji}, \text{имп/м}^3$	$V_{ПОРji}, \text{м}^3$
1	2	3	4	5	6	7	8
1/1							
...
m/n _m							

Таблица 3 – Результаты измерений и вычислений УПР

№ точ/ № изм	Q_{ji} , м ³ /ч	T_{ji} , с	V_{ji} , м ³	$\rho_{ппji}$, кг/м ³	$t_{ппji}$, °С	$P_{ппji}$, МПа	β_{ji} , 1/°С	$t_{упрji}$, °С	$P_{упрji}$, МПа	f_{ji} , Гц	N_{ji} , имп	K_{ji} , имп/м ³
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1/1												
...
m/n _m												

Таблица 4 – Результаты определения МХ в точках рабочего диапазона

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

Таблица 5 – Результаты определения МХ в рабочем диапазоне

Q_{\min} , м ³ /ч	Q_{\max} , м ³ /ч	K , имп/м ³	S_0 , %	ε , %	Θ_A , %	Θ_I , %	Θ_ρ , %	Θ_Σ , %	δ , %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Примечания:

1. Столбец 3 таблицы 5 заполняют только при определении коэффициента преобразования УПР в рабочем диапазоне измерений объемного расхода. Таблицу 2А не заполняют
2. Столбцы 6-7 таблицы 1 допускается не заполнять.

Относительная погрешность ИК объемного расхода не превышает $\pm 0,4$ %.

4.2 Определение относительной погрешности измерений массы брутто нефти СИКН (п.6.4.3)

Таблица 4.2.1 – Результаты измерений и вычислений

δV , %	G	T_V , °C	T_ρ , °C	β , 1/°C	$\Delta\rho$, кг/м ³	ρ_{min} , кг/м ³	$\delta\rho$, %	ΔT_V , °C	ΔT_ρ , °C	δN , %	δM_B , %

Относительная погрешность измерений массы брутто нефти СИКН не превышает $\pm 0,5\%$.

4.3 Определение относительной погрешности измерений массы нетто нефти СИКН (п.6.4.4)

Таблица 4.3.1 – Результаты измерений и вычислений

W_{MB} , %	W_{XC} , %	$W_{МП}$, %	ΔW_{MB} , %	ΔW_{XC} , %	$\Delta W_{МП}$, %	δM_B , %	δM_H , %

Относительная погрешность измерений массы нетто нефти СИКН не превышает $\pm 0,6\%$.

Дата
поверки _____

должность лица,
проводившего поверку

подпись

Ф.И.О.

Приложение В

Определение коэффициентов преобразования СРМ

В.1 Объемный расход измеряемой среды через ПОР, соответствующий j -ой точке рабочего диапазона измерений объемного расхода при i -ом измерении, $Q_{ПОРji}$, м³/ч, вычисляют по формуле

$$Q_{ПОРji} = \frac{V_{ПОРji}}{T_{ji}} \cdot 3600, \quad (B.1)$$

где $V_{ПОРji}$ – объем измеряемой среды, прошедший через ПОР 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.

В.2 Масса измеряемой среды, прошедшая через k -й СРМ за время i -го измерения в j -ой точке массового расхода, $M_{ПУjik}$, т, вычисляют по формулам

$$M_{ПУjik} = V_{ПОРji} \cdot \rho_{ППji} \cdot \frac{CTL_{ПОРji} \cdot CPL_{ПОРji}}{CTL_{ППji} \cdot CPL_{ППji}} \cdot 10^{-3}, \quad (B.2)$$

$$V_{ПОРji} = \frac{N_{ПОРji}}{K_{ПОРji}}, \quad (B.3)$$

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

$V_{ПОРji}$ – объем измеряемой среды, измеренный с помощью ПОР за время i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода, м³;

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

$K_{ПОРji}$ – коэффициент преобразования ПОР для i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода, имп/м³.

$CTL_{ППji}$ – коэффициент, учитывающий влияние температуры на объем измеряемой среды, определенный для температуры измеряемой среды в ПП для i -го измерения в j -ой точке массового расхода (вычисляют по Приложению Г);

$CPL_{ППji}$ – коэффициент, учитывающий влияние давления на объем измеряемой среды, определенный для давления измеряемой среды в ПП для i -го измерения в j -ой точке массового расхода (вычисляют по Приложению Г);

$CTL_{ПОРji}$ – коэффициент, учитывающий влияние температуры на объем измеряемой среды, определенный для температуры измеряемой среды в ПОР для i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода (вычисляют по Приложению Г);

$CPL_{ПОРji}$ – коэффициент, учитывающий влияние давления на объем измеряемой среды, определенный для давления измеряемой среды в ПОР для i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода (вычисляют по Приложению Г).

Вычисление массы измеряемой среды, прошедшей через k -й СРМ за время измерения, допускается проводить согласно алгоритму, реализованному в ИВК, прошедшему испытания в целях утверждения типа.

В.3 Массовый расход измеряемой среды через k -й СРМ за время i -го измерения в j -ой точке массового расхода, Q_{jik} , т/ч, вычисляют по формуле

$$Q_{jik} = \frac{M_{\Pi yjik}}{T_{jik}} \cdot 3600, \quad (B.4)$$

где $M_{\Pi yjik}$ – масса измеряемой среды, прошедшая через k -й СРМ за время i -го измерения в j -ой точке массового расхода, т;

T_{jik} – время i -го измерения в j -ой точке массового расхода, с.

В.4 Массовый расход измеряемой среды через k -й СРМ в j -ой точке массового расхода, Q_{jk} , т/ч, вычисляют по формуле

$$Q_{jk} = \frac{\sum_{i=1}^{n_{jk}} Q_{jik}}{n_{jk}}, \quad (B.5)$$

где Q_{jik} – массовый расход измеряемой среды через k -й СРМ за время i -го измерения в j -ой точке массового расхода, т/ч;

n_{jk} – количество измерений в j -ой точке массового расхода.

В.5 Коэффициент преобразования k -го СРМ за время i -го измерения в j -ой точке массового расхода, $K_{\Pi Mjik}$, имп/т, вычисляют по формуле

$$K_{\Pi Mjik} = \frac{N_{jik}}{M_{\Pi yjik}}, \quad (B.6)$$

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

$M_{\Pi yjik}$ – масса измеряемой среды, прошедшая через k -й СРМ за время i -го измерения в j -ой точке массового расхода, м³.

В.6 Коэффициент преобразования k -го СРМ в j -ой точке массового расхода, $K_{\Pi Mjk}$, имп/т вычисляют по формуле

$$K_{\Pi Mjk} = \frac{\sum_{i=1}^{n_{jk}} K_{\Pi Mjik}}{n_{jk}}, \quad (B.7)$$

где $K_{\Pi Mjik}$ – коэффициент преобразования k -го СРМ для i -го измерения в j -ой точке массового расхода, имп/т;

n_{jk} – количество измерений в j -ой точке массового расхода.

В.7 Оценка СКО результатов измерений

СКО результатов измерений в j -ой точке массового расхода, S_{jk} , %, вычисляют по формуле

$$S_{jk} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_{jk}} (K_{\Pi Mjik} - K_{\Pi Mjk})^2}{n_{jk} - 1}} \cdot \frac{1}{K_{\Pi Mjk}} \cdot 100, \quad (B.8)$$

где $K_{\Pi Mjk}$ – коэффициент преобразования k -го СРМ в j -ой точке массового расхода, имп/т;

$K_{\Pi Mjik}$ – коэффициент преобразования k -го СРМ для i -го измерения в j -ой точке массового

расхода, имп/т;

n_{jk} – количество измерений в j -ой точке массового расхода.

Проверяют выполнение следующего условия

$$S_{jk} \leq 0,05 \%, \quad (\text{B.9})$$

При выполнении данного условия продолжают обработку результатов измерений.

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

В.8 Границу неисключенной систематической погрешности k -го СРМ, $\Theta_{\Sigma k}$, %, вычисляют по формулам

$$\Theta_{\Sigma k} = 1,1 \cdot \sqrt{\Theta_V^2 + \Theta_{\rho k}^2 + \Theta_{tk}^2 + \Theta_{Zjk}^2 + \Theta_{ИВК}^2}, \quad (\text{B.10})$$

$$\Theta_{tk} = \beta_{k \max} \cdot 100 \cdot \sqrt{\Delta t_{ПОР}^2 + \Delta t_{ПП}^2}, \quad (\text{B.11})$$

$$\beta_{k \max} = \max(\beta_{jik}), \quad (\text{B.12})$$

$$\Theta_{\rho k} = \frac{\Delta \rho_{ПП}}{\rho_{ПП \min k}} \cdot 100, \quad (\text{B.13})$$

$$\rho_{ПП \min k} = \min(\rho_{ПП jik}), \quad (\text{B.14})$$

$$\Theta_{Zjk} = \frac{ZS_k}{Q_{jk}} \cdot 100, \quad (\text{B.15})$$

$$\Theta_{ИВК} = \delta_{ИВК}, \quad (\text{B.16})$$

где Θ_V – граница неисключенной систематической погрешности определения объема измеряемой среды с помощью ПОР равная пределу допускаемой относительной погрешности ПОР (берут из протокола определения коэффициента преобразования ПОР), %;

Θ_{tk} – граница неисключенной систематической погрешности, обусловленной погрешностью преобразователей температуры при измерениях температуры измеряемой среды в ПУ и ПП или в ПОР и ПП, %;

$\Theta_{\rho k}$ – граница неисключенной систематической погрешности, обусловленной погрешностью ПП, %;

Θ_{Zjk} – граница неисключенной систематической погрешности, обусловленной нестабильностью нуля k -го СРМ, в j -ой точке массового расхода (при отсутствии или компенсации дополнительной погрешности, обусловленной нестабильностью нуля СРМ, принимают равной нулю), %;

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

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

$\beta_{k \max}$ – максимальное значение коэффициента объемного расширения измеряемой среды, $1/^\circ\text{C}$;

β_{jik} – коэффициент объемного расширения измеряемой среды при температуре $t_{ПП jik}$ для

i -го измерения в j -ой точке массового расхода (вычисляют по Приложению Г или определяют по Р 50.2.076), 1/°С;

$\Delta t_{ПП}$ – пределы допускаемой абсолютной погрешности преобразователя температуры, установленного около ПП (берут из свидетельства о поверке преобразователя температуры), °С;

$\Delta t_{ПОР}$ – пределы допускаемой абсолютной погрешности преобразователя температуры, установленного около ПОР (берут из свидетельства о поверке преобразователя температуры), °С;

$\Delta \rho_{ПП}$ – пределы допускаемой абсолютной погрешности ПП (берут из свидетельства о поверке преобразователя плотности), кг/м³;

$\rho_{ПП \min k}$ – минимальное значение плотности измеряемой среды за время определение коэффициента преобразование СРМ, кг/м³;

$\rho_{ППijk}$ – плотность измеряемой среды за время i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода, кг/м³;

ZS_k – стабильность нуля k -го СРМ (берут из технической документации на СРМ), т/ч;

Q_{jk} – массовый расход измеряемой среды через k -й СРМ в j -ой точке массового расхода, т/ч;

В.9 СКО среднего значения результатов измерений в j -ой точке массового расхода, S_{0jk} , %, вычисляют по формуле

$$S_{0jk} = \frac{S_{jk}}{\sqrt{n_{jk}}}, \quad (B.17)$$

где S_{jk} – СКО результатов измерений в j -ой точке массового расхода, %;

n_{jk} – количество измерений в j -ой точке массового расхода.

В.10 Границу случайной погрешности k -го СРМ в j -ой точке массового расхода при доверительной вероятности $P=0,95$, ε_{jk} , %, вычисляют по формуле

$$\varepsilon_{jk} = t_{0,95,jk} \cdot S_{0jk}, \quad (B.18)$$

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

$t_{0,95,jk}$ – квантиль распределения Стьюдента для количества измерений n_{jk} в j -ой точке массового расхода (определяют по таблице Е.1 Приложения Е).

В.11 Границу относительной погрешности k -го СРМ в j -ой точке массового расхода, δ_{jk} , %, определяют по формулам

$$\delta_{jk} = \begin{cases} \varepsilon_{jk} & \text{если } \frac{\Theta_{\Sigma k}}{S_{0jk}} < 8 \\ t_{\Sigma k} \cdot S_{\Sigma k} & \text{если } 0,8 \leq \frac{\Theta_{\Sigma k}}{S_{0jk}} \leq 8 \\ \Theta_{\Sigma k} & \text{если } \frac{\Theta_{\Sigma k}}{S_{0jk}} > 8 \end{cases}, \quad (B.19)$$

$$t_{\Sigma k} = \frac{\varepsilon_{jk} + \Theta_{\Sigma k}}{S_{0jk} + S_{\Theta k}}, \quad (B.20)$$

$$S_{\Sigma jk} = \sqrt{S_{\Theta k}^2 + S_{0jk}^2}, \quad (\text{B.21})$$

$$S_{\Theta k} = \sqrt{\frac{\Theta_V^2 + \Theta_{\rho k}^2 + \Theta_{tk}^2 + \Theta_{zjk}^2 + \Theta_{ИВК}^2}{3}}, \quad (\text{B.22})$$

где ε_{jk} – граница случайной погрешности k -го СРМ в j -ой точке массового расхода, %;

$\Theta_{\Sigma k}$ – граница неисключенной систематической погрешности k -го СРМ, %;

$t_{\Sigma jk}$ – коэффициент, зависящий от соотношения случайной и неисключенной систематической погрешностей в j -ой точке массового расхода;

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

$S_{\Theta k}$ – СКО суммы неисключенных систематических погрешностей, %;

S_{0jk} – СКО среднего значения результатов измерений в j -ой точке массового расхода, %.

В.12 Границу относительной погрешности k -го СРМ, δ_k , %, определяют по формуле

$$\delta_k = \max(\delta_{jk}), \quad (\text{B.23})$$

где δ_{jk} – граница относительной погрешности k -го СРМ в j -ой точке массового расхода, %.

Приложение Г

Определение коэффициентов *CTL* и *CPL*

Г.1 Определение коэффициента *CTL*

Значение коэффициента *CTL*, учитывающего влияние температуры на объем измеряемой среды вычисляют по формулам

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

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

где ρ_{15} – значение плотности измеряемой среды при температуре 15 °С и избыточном давлении 0 МПа, кг/м³;

t – значение температуры измеряемой среды, °С;

β_{15} – значение коэффициента объемного расширения измеряемой среды при температуре 15 °С и избыточном давлении 0 МПа, 1/°С.

Г.2 Определение коэффициента *CPL*

Значение коэффициента *CPL*, учитывающего влияние давления на объем измеряемой среды вычисляют по формулам

$$CPL = \frac{1}{1 - \gamma \cdot P}, \quad (\text{Г.3})$$

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

где ρ_{15} – значение плотности измеряемой среды при температуре 15 °С и избыточном давлении 0 МПа, кг/м³;

t – значение температуры измеряемой среды, °С;

P – значение избыточного давления измеряемой среды, МПа.

Г.3 Определение коэффициента β

Значение коэффициента объемного расширения измеряемой среды, β , 1/°С, вычисляют по формуле

$$\beta = \beta_{15} + 1,6 \cdot \beta_{15}^2 \cdot (t-15), \quad (\text{Г.5})$$

где β_{15} – значение коэффициента объемного расширения измеряемой среды при температуре 15 °С и избыточном давлении 0 МПа, 1/°С;

t – значение температуры измеряемой среды, при которой определяется коэффициент объемного расширения измеряемой среды, °С.

Г.4 Определение плотности ρ_{15}

Значение плотности измеряемой среды при температуре 15 °С и избыточном давлении 0 МПа, ρ_{15} , кг/м³, вычисляют по формуле

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

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

$CTL_{\text{ПП}}$ – коэффициент, учитывающий влияние температуры на объем измеряемой среды, определенный для $t_{\text{ПП}}$ 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.

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

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

$$\rho_{15(1)} = \frac{\rho_{пп}}{CTL_{пп(1)} \cdot CPL_{пп(1)}}. \quad (\Gamma.7)$$

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

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

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

Аналогично вычисляют значения $CTL_{пп(i)}$, $CPL_{пп(i)}$ и $\rho_{15(i)}$ для i -го цикла вычислений и проверяют выполнение условия

$$|\rho_{15(i+1)} - \rho_{15(i)}| \leq 0,01. \quad (\Gamma.9)$$

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

Приложение Д

Методика анализа результатов измерений на наличие промахов

Д.1 Проверка результатов измерений на один промах по критерию Граббса при определении коэффициента преобразования k -го СРМ.

СКО результатов измерений в j -ой точке расхода, S_{jk} , имп/т, вычисляют по формуле

$$S_{jk} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_{jk}} (K_{\text{ПМ}jik} - K_{\text{ПМ}jk})^2}{n_{jk} - 1}}, \quad (\text{Д.1})$$

где $K_{\text{ПМ}jik}$ – коэффициент преобразования k -го СРМ для i -го измерения в j -ой точке массового расхода, имп/т;

$K_{\text{ПМ}jk}$ – коэффициент преобразования k -го СРМ в j -ой точке массового расхода, имп/т;

n_{jk} – количество измерений в j -ой точке массового расхода.

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

Вычисляют наиболее выделяющееся соотношение U по формуле

$$U = \max \left(\left| \frac{K_{\text{ПМ}jik} - K_{\text{ПМ}jk}}{S_{jk}} \right| \right), \quad (\text{Д.2})$$

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

Д.2 Проверка результатов измерений на один промах по критерию Граббса при определении коэффициента преобразования ПОР или УПР.

СКО результатов измерений в j -ой точке рабочего диапазона измерений объемного расхода, S_j , имп/м³, вычисляют по формуле

$$S_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_j} (K_{ji} - K_j)^2}{n_j - 1}}, \quad (\text{Д.3})$$

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

K_j – коэффициент преобразования ПОР или УПР в j -ой точке рабочего диапазона измерений объемного расхода, имп/м³;

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

Примечание – При $S_j < 0,001$ принимаем $S_j = 0,001$.

Вычисляют наиболее выделяющееся соотношение U по формуле

$$U = \max \left(\left| \frac{K_{ji} - K_j}{S_j} \right| \right), \quad (\text{Д.4})$$

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

Таблица Д.1 - Критические значения для критерия Граббса

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

Приложение Е

Справочные материалы

Е.1 Квантиль распределения Стьюдента

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

Таблица Е.1 - Значения квантиля распределения Стьюдента при доверительной вероятности $P=0,95$

$n-1$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$t_{0,95}$	12,706	4,303	3,182	2,776	2,571	2,447	2,365	2,306	2,262	2,228	2,201

Е.2 Коэффициенты расширения и модули упругости

Значения коэффициентов линейного расширения и модули упругости материалов стенок калиброванного участка ПУ, материала планки крепления детекторов в зависимости от материала приведены в таблице Е.2.

Таблица Е.2 - Коэффициенты линейного расширения и модули упругости материалов стенок калиброванного участка ПУ, материала планки крепления детекторов

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

Приложение Ж

Определение коэффициентов преобразования ПОР по ПУ

Ж.1 Объем измеряемой среды, прошедший через ПОР за время i -го измерения в j -ой точке объемного расхода, $V_{\text{ПУ}ji}$, м³, вычисляются по формулам

$$V_{\text{ПУ}ji} = V_0 \cdot CTS_{ji} \cdot CPS_{ji} \cdot \frac{CTL_{\text{ПУ}ji} \cdot CPL_{\text{ПУ}ji}}{CTL_{\text{ПОР}ji} \cdot CPL_{\text{ПОР}ji}}, \quad (\text{Ж.1})$$

$$CTS_{ji} = \left(1 + \alpha_{\text{к1}} \cdot (t_{\text{ПУ}ji} - 20)\right) \cdot \left(1 + \alpha_{\text{Д}} \cdot (t_{\text{Д}ji} - 20)\right), \quad (\text{Ж.2})$$

$$CPS_{ji} = 1 + 0,95 \cdot \frac{P_{\text{ПУ}ji} \cdot D}{E \cdot S}, \quad (\text{Ж.3})$$

где V_0 – вместимость калиброванного участка ПУ при стандартных условиях (температуре 20 °С и избыточном давлении 0 МПа), м³;

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

CPS_{ji} – коэффициент, учитывающий влияние давления на вместимость ПУ, для i -го измерения в j -ой точке объемного расхода;

$CTL_{\text{ПУ}ji}$ – коэффициент, учитывающий влияние температуры на объем измеряемой среды, определенный для температуры измеряемой среды в ПУ для i -го измерения в j -ой точке объемного расхода (вычисляются по Приложению Г);

$CPL_{\text{ПУ}ji}$ – коэффициент, учитывающий влияние давления на объем измеряемой среды, определенный для давления измеряемой среды в ПУ для i -го измерения в j -ой точке объемного расхода (вычисляются по Приложению Г);

$CTL_{\text{ПОР}ji}$ – коэффициент, учитывающий влияние температуры на объем измеряемой среды, определенный для температуры измеряемой среды в ПОР для i -го измерения в j -ой точке объемного расхода (вычисляются по Приложению Г);

$CPL_{\text{ПОР}ji}$ – коэффициент, учитывающий влияние давления на объем измеряемой среды, определенный для давления измеряемой среды в ПОР для i -го измерения в j -ой точке объемного расхода (вычисляются по Приложению Г);

$\alpha_{\text{к1}}$ – квадратичный коэффициент расширения стали калиброванного участка ПУ, (берут из технической документации на ПУ или определяют по таблице Е.2 Приложения Е), 1/°С;

$\alpha_{\text{Д}}$ – коэффициент линейного расширения материала планки крепления детекторов ПУ или инварового стержня, (берут из технической документации на ПУ или определяют по таблице Е.2 Приложения Е), 1/°С;

$t_{\text{Д}ji}$ – температура планки крепления детекторов или инварового стержня за время i -го измерения в j -ой точке объемного расхода (при отсутствии преобразователя температуры принимают равной температуре окружающей среды), °С;

$t_{\text{ПУ}ji}$ – температура измеряемой среды в ПУ за время i -го измерения в j -ой точке объемного расхода, °С;

$P_{\text{ПУ}ji}$ – давление измеряемой среды в ПУ за время i -го измерения в j -ой точке объемного расхода, МПа;

D – внутренний диаметр калиброванного участка ПУ (берут из технической

документации на ПУ), мм;

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

E – модуль упругости материала стенок калиброванного участка ПУ (берут из технической документации на ПУ или определяют по таблице Е.2 Приложения Е), МПа.

Вычисление объема измеряемой среды, прошедшего через ПОР за время измерения, допускается проводить согласно алгоритму, реализованному в ИВК, прошедшему испытания в целях утверждения типа.

Ж.2 Объемный расход измеряемой среды через ПОР за время i -го измерения в j -ой точке объемного расхода, $Q_{ПОРji}$, м³/ч, вычисляют по формуле

$$Q_{ПОРji} = \frac{V_{ПУji}}{T_{ji}} \cdot 3600, \quad (Ж.4)$$

где $V_{ПУji}$ – объем измеряемой среды, прошедший через ПОР за время i -го измерения в j -ой точке объемного расхода, м³;

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

Ж.3 Объемный расход измеряемой среды через ПОР в j -ой точке объемного расхода, $Q_{ПОРj}$, м³/ч, вычисляют по формуле

$$Q_{ПОРj} = \frac{\sum_{i=1}^{n_j} Q_{ПОРji}}{n_j}, \quad (Ж.5)$$

где $Q_{ПОРji}$ – объемный расход измеряемой среды через ПОР за время i -го измерения в j -ой точке объемного расхода, м³/ч;

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

Ж.4 Коэффициент преобразования ПОР за время i -го измерения в j -ой точке объемного расхода, $K_{ПОРji}$, имп/м³, вычисляют по формуле

$$K_{ПОРji} = \frac{N_{ПОРji}}{V_{ПУji}}, \quad (Ж.6)$$

где $N_{ПОРji}$ – количество импульсов от ПОР за время i -го измерения в j -ой точке объемного расхода, имп.;

$V_{ПУji}$ – объем измеряемой среды, прошедший через ПОР за время i -го измерения в j -ой точке объемного расхода, м³.

Ж.5 Коэффициент преобразования ПОР в j -ой точке объемного расхода, $K_{ПОРj}$, имп/м³ вычисляют по формуле

$$K_{ПОРj} = \frac{\sum_{i=1}^{n_j} K_{ПОРji}}{n_j}, \quad (Ж.7)$$

где $K_{ПОРji}$ – коэффициент преобразования ПОР для i -го измерения в j -ой точке объемного расхода, имп/м³;

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

Ж.6 Оценка СКО результатов измерений

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

формуле

$$S_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_j} (K_{ПОРji} - K_{ПОРj})^2}{n_j - 1}} \cdot \frac{1}{K_{ПОРj}} \cdot 100, \quad (\text{Ж.8})$$

где $K_{ПОРj}$ – коэффициент преобразования ПОР в j -ой точке объемного расхода, имп/м³;

$K_{ПОРji}$ – коэффициент преобразования ПОР для i -го измерения в j -ой точке объемного расхода, имп/м³;

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

Проверяют выполнение следующего условия

$$S_j \leq 0,02 \%. \quad (\text{Ж.9})$$

При выполнении данного условия продолжают обработку результатов измерений.

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

Ж.7 Границу неисключенной систематической погрешности ПОР, Θ_Σ , %, вычисляют по формулам

$$\Theta_\Sigma = 1,1 \cdot \sqrt{\Theta_{\Sigma 0}^2 + \Theta_{V0}^2 + \Theta_t^2 + \Theta_{ИВК}^2}, \quad (\text{Ж.10})$$

$$\Theta_t = \beta_{\max} \cdot 100 \cdot \sqrt{\Delta t_{ПУ}^2 + \Delta t_{ПОР}^2}, \quad (\text{Ж.11})$$

$$\beta_{\max} = \max(\beta_{ji}), \quad (\text{Ж.12})$$

$$\Theta_{ИВК} = \delta_{ИВК}, \quad (\text{Ж.13})$$

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

Θ_{V0} – граница неисключенной систематической погрешности определения среднего значения вместимости ПУ (берут из свидетельства о поверке ПУ), %;

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

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

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

β_{\max} – максимальное значение коэффициента объемного расширения измеряемой среды, 1/°C;

β_{ji} – коэффициент объемного расширения измеряемой среды при температуре $t_{ПУji}$ для i -го измерения в j -ой точке объемного расхода (вычисляют по Приложению Г или определяют по Р 50.2.076), 1/°C;

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

$\Delta t_{\text{ПОР}}$ – пределы допускаемой абсолютной погрешности преобразователя температуры, установленного около ПОР (берут из свидетельства о поверке преобразователя температуры), °С.

Ж.8 СКО среднего значения результатов измерений в j -ой точке объемного расхода, S_{0j} , %, вычисляют по формуле

$$S_{0j} = \frac{S_j}{\sqrt{n_j}}, \quad (\text{Ж.14})$$

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

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

Ж.9 Границу случайной погрешности ПОР в j -ой точке объемного расхода при доверительной вероятности $P=0,95$, ε_j , %, вычисляют по формуле

$$\varepsilon_j = t_{0,95j} \cdot S_{0j}, \quad (\text{Ж.15})$$

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

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

Ж.10 Границу относительной погрешности ПОР в j -ой точке объемного расхода, δ , %, определяют по формулам

$$\delta_j = \begin{cases} \varepsilon_j & \text{если} \quad \frac{\Theta_\Sigma}{S_{0j}} < 8 \\ t_{\Sigma j} \cdot S_{\Sigma j} & \text{если} \quad 0,8 \leq \frac{\Theta_\Sigma}{S_{0j}} \leq 8 \\ \Theta_\Sigma & \text{если} \quad \frac{\Theta_\Sigma}{S_{0j}} > 8 \end{cases}, \quad (\text{Ж.16})$$

$$t_{\Sigma j} = \frac{\varepsilon_j + \Theta_\Sigma}{S_{0j} + S_\Theta}, \quad (\text{Ж.17})$$

$$S_{\Sigma j} = \sqrt{S_\Theta^2 + S_{0j}^2}, \quad (\text{Ж.18})$$

$$S_\Theta = \sqrt{\frac{\Theta_{\Sigma 0}^2 + \Theta_{V 0}^2 + \Theta_t^2 + \Theta_{\text{ИВК}}^2}{3}}, \quad (\text{Ж.19})$$

где ε_j – граница случайной погрешности ПОР в j -ой точке объемного расхода %;

Θ_Σ – граница неисключенной систематической погрешности ПОР, %;

$t_{\Sigma j}$ – коэффициент, зависящий от соотношения случайной и неисключенной систематической погрешностей в j -ой точке объемного расхода;

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

S_Θ – СКО суммы неисключенных систематических погрешностей, %;

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

Ж.11 Границу относительной погрешности ПОР, $\delta_{\text{ПОР}}$, %, вычисляют по формуле

$$\delta_{\text{ПОР}} = \max(\delta_j), \quad (\text{Ж.20})$$

где δ_j – граница относительной погрешности ПОР в j -ой точке объемного расхода, %.