

ПУБЛИЧНОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО «ТРАНСНЕФТЬ»
(ПАО «ТРАНСНЕФТЬ»)
АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО «ТРАНСНЕФТЬ – АВТОМАТИЗАЦИЯ И
МЕТРОЛОГИЯ»
(АО «ТРАНСНЕФТЬ – АВТОМАТИЗАЦИЯ И МЕТРОЛОГИЯ»)

«СОГЛАСОВАНО»



Государственная система обеспечения единства измерений

Система измерений количества и показателей качества нефти № 722

МЕТОДИКА ПОВЕРКИ

МП-0067-ТАМ-2024

г. Москва
2024

1 Общие положения

Настоящая методика поверки распространяется на систему измерений количества и показателей качества нефти № 722 (далее – СИКН), заводской № 722, и устанавливает методику первичной поверки до ввода в эксплуатацию и после ремонта, а также методику периодической поверки в процессе эксплуатации.

Проверка СИКН в соответствии с настоящей методикой поверки обеспечивает передачу единиц массы от рабочего эталона 1-го разряда в соответствии с ГПС (часть 2), утвержденной приказом Росстандарта от 26.09.2022 г. № 2356, что обеспечивает прослеживаемость к ГЭТ 63-2019 Государственный первичный специальный эталон единицы единиц массы и объема жидкости в потоке, массового и объемного расходов жидкости.

Метрологические характеристики (далее – МХ) средств измерений (далее – СИ), входящих в состав СИКН, подтверждаются сведениями о поверке в Федеральном информационном фонде по обеспечению единства измерений (далее – ФИФОЕИ). МХ СИКН определяются на месте эксплуатации расчетным методом.

Если очередной срок поверки СИ или измерительного канала объема и объемного расхода (далее - ИК) (в случае поверки СИКН в части отдельного ИК), входящего в состав СИКН, наступает до очередного срока поверки СИКН, или появилась необходимость проведения периодической или внеочередной поверки СИ или СИКН в части отдельного ИК, входящего в состав СИКН, то поверяют только это СИ или СИКН в части отдельного ИК, при этом внеочередную поверку СИКН не проводят.

По заявлению владельца СИКН или лица, предоставившего СИКН на поверку, допускается проведение поверки СИКН в части отдельного ИК объема и объемного расхода.

В результате поверки должны быть подтверждены следующие метрологические требования, приведенные в таблицах 1, 2.

Таблица 1

Диапазон измерений расхода нефти через СИКН*, м ³ /ч	Пределы допускаемой относительной погрешности измерений массы брутто нефти	Пределы допускаемой относительной погрешности измерений массы нетто нефти
от 380 до 4800	±0,25 %	±0,35 %

* Указан максимальный диапазон измерений. Фактический диапазон измерений определяется при проведении поверки и не может выходить за пределы приведенного диапазона измерений.

Таблица 2

Наименование ИК	Количество ИК (место установки)	Состав ИК		Диапазон измерений, м ³ /ч	Пределы допускаемой относительной погрешности ИК, %
		Первичный измерительный преобразователь	Вторичная часть		
Объема и объемного расхода нефти	1 (БИЛ, Контрольная ИЛ)	Счетчики (преобразователи) жидкости лопастные Dу 16" (далее – ЛПР)	Комплексы измерительно-вычислительные ТН-01 (далее – ИВК)	от 348,3 до 1214,0	±0,10

2 Перечень операций поверки средства измерений

При проведении поверки выполняют операции, приведенные в таблице 3.

Таблица 3

Наименование операции поверки	Обязательность выполнения операций поверки при		Номер пункта методики поверки, в соответствии с которым выполняется операция поверки
	первой проверке	периодической проверке	
Внешний осмотр СИ	да	да	6
Контроль условий поверки (при подготовке к поверке и опробовании СИ)	да	да	7.1
Подготовка к поверке и опробование СИ	да	да	7
Проверка программного обеспечения СИ	да	да	8
Определение метрологических характеристик СИ	да	да	9
Подтверждение соответствия СИ метрологическим требованиям	да	да	10

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

3 Требования к условиям проведения поверки

3.1 Поверку СИКН проводят на месте эксплуатации в диапазоне измерений, указанном в описании типа, или в фактически обеспечивающемся при поверке диапазоне измерений с обязательной передачей сведений об объеме проведенной поверки в ФИФОЕИ. Фактический диапазон измерений не может превышать диапазона измерений, указанного в описании типа СИКН.

3.2 Характеристики СИКН и параметры измеряемой среды при проведении поверки должны соответствовать требованиям, приведенным в описании типа СИКН.

3.3 При проведении поверки СИКН дополнительно соблюдают следующие условия:

- определение МХ ИК проводят на месте эксплуатации в комплекте с элементами измерительных линий;
- отклонение объемного расхода рабочей жидкости от установленного значения в процессе определения МХ ИК не должно превышать 2,5 %;
- изменение температуры рабочей жидкости на входе и выходе поверочной установки (далее - ПУ) и в ИК за время измерения не должно превышать 0,2 °C;
- температура, влажность окружающей среды и физико-химические показатели рабочей жидкости соответствуют условиям эксплуатации СИКН;
- отклонение вязкости рабочей жидкости за время определения МХ находится в допускаемых пределах для ИК;
- для обеспечения безкавитационной работы избыточное давление в трубопроводе после ИК, Рmin, МПа, должно быть не менее вычисленного по формуле

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

где Р_{HPP} - давление насыщенных паров, определенное в соответствии с ГОСТ 1756-2000 при максимально возможной температуре рабочей жидкости, МПа;

ΔР - перепад давления на ИК, указанный в технической документации, МПа.

4 Метрологические и технические требования к средствам поверки

При проведении поверки применяют средства поверки, приведенные в таблице 4.

Таблица 4

Операции поверки, требующие применения средств поверки	Метрологические и технические требования к средствам поверки, необходимые для проведения работ	Перечень рекомендуемых средств поверки
п.7.1, 7.2 Контроль условий поверки (при подготовке к поверке и опробовании СИ)	Средство измерений температуры окружающей среды в диапазоне измерений от -37,8 °C до +34,3 °C с пределами допускаемой абсолютной погрешности измерений не более ± 0,4 °C; Средство измерений относительной влажности воздуха в диапазоне от 30 до 80 % с пределами допускаемой абсолютной погрешности измерений не более ±3 %.	Прибор комбинированный, Testo-622, (регистрационный № 53505-13) Термометры лабораторные электронные ЛТ-300 (регистрационный № 61806-15)
п. 9 Определение МХ	Рабочий эталон 1-го разряда в соответствии с ГПС часть 2, утвержденной приказом Росстандарта от 26.09.2022 № 2356 (ТПУ) с пределами допускаемой относительной погрешности не более ±0,05 %; ИВК с пределами допускаемой относительной погрешности вычисления коэффициентов преобразования ±0,025 %, преобразования сигналов от первичных преобразователей в значение массы нефти ±0,05 %; Поточный преобразователь плотности (далее - ПП) с пределами допускаемой абсолютной погрешности ±0,3 кг/м³. Преобразователь избыточного давления с унифицированным выходным сигналом с пределами допускаемой приведенной погрешности измерений не более ± 0,5 %; Термопреобразователь сопротивления с унифицированным выходным сигналом с пределами допускаемой абсолютной погрешности измерений не более ± 0,2 °C; Поточный вискозиметр (далее - ПВ) с пределами допускаемой приведенной погрешности измерений не более ± 1,0 %;	Установка поверочная трубопоршневая двунаправленная (регистрационный №20054-12), Преобразователь плотности жидкости измерительный 7835 (регистрационный № 52638-13), Комплекс измерительно-вычислительный ТН-01 (регистрационный № 67527-17), Термопреобразователи прецизионные ПТ 0304-ВТ (регистрационный № 77963-20), Датчики давления Агат-100МТ (регистрационный № 74779-19), Преобразователи плотности и вязкости жидкости измерительные модели 7829 (регистрационный № 15642-06)

Примечание – Допускается использовать при поверке другие утвержденные и аттестованные эталоны единиц величин, средства измерений утвержденного типа и поверенные, удовлетворяющие метрологическим требованиям, указанным в таблице.

5 Требования (условия) по обеспечению безопасности проведения поверки

При проведении работ соблюдают требования, определяемые документами:

- в области охраны труда – Трудовой кодекс Российской Федерации;
- в области промышленной безопасности – Руководство по безопасности «Рекомендации по устройству и безопасной эксплуатации технологических трубопроводов» (приказ № 784 от 27.12.2012 «Об утверждении Руководства по безопасности «Рекомендации по устройству и безопасной эксплуатации технологических трубопроводов»), а также другими действующими отраслевыми нормативными документами;
- в области пожарной безопасности – Федеральный закон Российской Федерации от 22.07.2008 № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности», СНиП 21.01-97 «Пожарная безопасность зданий и сооружений»;
- в области соблюдения правильной и безопасной эксплуатации электроустановок – Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей;
- в области охраны окружающей среды – Федеральный закон Российской Федерации от 10.01.2002 № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» и другими действующими законодательными актами на территории Российской Федерации;
- правилами безопасности при эксплуатации используемых средств измерений, приведенными в их эксплуатационной документации.

6 Внешний осмотр средства измерений

При внешнем осмотре должно быть установлено соответствие СИКН следующим требованиям:

- состав СИКН должен соответствовать эксплуатационной документации;
- на компонентах СИКН не должно быть механических повреждений и дефектов, препятствующих применению СИКН;
- надписи и обозначения на компонентах СИКН должны быть четкими и соответствовать их эксплуатационной документации.

Результат считают положительным, если СИКН соответствует вышеперечисленным требованиям.

7 Подготовка к поверке и опробование средства измерений

7.1 Контроль условий поверки (при подготовке к поверке и опробовании СИ) проводят с применением средств поверки в соответствии с таблицей 2. Параметры измеряемой среды контролируем по автоматизированным рабочем местам (АРМ) оператора СИКН с применением соответствующих СИ из состава СИКН.

7.2 Подготовка к поверке

Подготовку и установку средств поверки (таблица 2) и СИКН осуществляют в соответствии с их эксплуатационной документацией.

Проверяют наличие в ФИФ ОЕИ информации о положительных результатах поверки средств поверки, а также наличие на средствах поверки действующих знаков поверки, если это предусмотрено их описанием типа.

Для средств поверки, аттестованных в качестве эталонов, в ФИФ ОЕИ проверяют информацию о периодической аттестации.

Собирают и заполняют нефтью технологическую схему. Оперативным персоналом

путем визуального осмотра проверяется отсутствие утечек нефти через фланцевые, резьбовые и уплотнительные соединения элементов технологической схемы СИКН. На элементах технологической схемы СИКН не должно наблюдаться следов нефти. При обнаружении следов нефти поверку прекращают и принимают меры по устранению утечки.

Вводят в память ИВК или проверяют введенные ранее данные, необходимые для обработки результатов поверки.

Проверяют отсутствие газа в ИК и ПУ, а также в верхних точках трубопроводов. Для этого устанавливают объемный расход рабочей жидкости в пределах диапазона измерений ИК и открывают краны, расположенные в высших точках измерительной линии и ПУ. Проводят 1-3 раза запуск поршня, удаляя после каждого запуска газ. Считают, что газ (воздух) отсутствует полностью, если из кранов вытекает струя рабочей жидкости без газовых пузырьков.

При рабочем давлении проверяют герметичность системы, состоящей из ИК и ПУ. При этом не допускается появление капель или утечек рабочей жидкости через сальники, фланцевые, резьбовые или сварные соединения при наблюдении в течение 5 мин.

Проверяют герметичность задвижек, через которые возможны утечки рабочей жидкости, влияющие на результаты измерений при определении МХ ИК.

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

Проверяют стабильность температуры рабочей жидкости. Температуру рабочей жидкости считают стабильной, если ее изменение в ПУ и в ИК не превышает 0,2 °С за время измерения.

Определяют плотность рабочей жидкости за время определения МХ с помощью ПП или в испытательной лаборатории по ГОСТ 3900-2022 с учетом ГОСТ 8.636-2013.

Определяют вязкость рабочей жидкости за время определения МХ с помощью ПВ или в испытательной лаборатории по ГОСТ 33-2016.

7.3 Опробование

7.3.1 Проверяют действие и взаимодействие СИ в составе СИКН в соответствии с эксплуатационной документацией СИКН, а также проверяют наличие связи между первичными преобразователями, вторичной аппаратурой и ИВК и компьютером автоматизированного рабочего места (АРМ) оператора СИКН путем визуального контроля меняющихся значений измеряемых величин на дисплее компьютера АРМ оператора.

7.3.2 Результат опробования считают положительным, если получены положительные результаты по п. 7.3.1 методики поверки.

8 Проверка программного обеспечения средства измерений

Подтверждение соответствия программного обеспечения (ПО) СИКН проводят в соответствии с руководством оператора.

Результат считают положительным, если идентификационные данные ПО СИКН соответствуют указанным в описании типа СИКН.

9 Определение метрологических характеристик средства измерений

9.1 Проверка результатов поверки СИ, входящих в состав СИКН

Проверяют у СИ, входящих в состав СИКН (за исключением ЛПР, входящего в состав ИК), наличие информации о положительных результатах поверки в ФИФ ОЕИ и действующих знаков поверки, если нанесение знаков поверки на СИ предусмотрено их описаниями типа.

Перечень СИ, входящих в состав СИКН, приведен в описании типа СИКН.

Результат проверки считают положительным, если СИ, входящие в состав СИКН (за исключением ЛПР, входящего в состав ИК), имеют запись в ФИФ ОЕИ о положительных результатах поверки, а также действующие знаки поверки.

9.2 Определение МХ ИК

Алгоритм определения МХ ЛПР, входящего в состав ИК, соответствует алгоритму поверки преобразователей объемного расхода, приведенному в МИ 3266-2010 «ГСИ. Преобразователи объемного расхода эталонные. Методика поверки».

9.2.1 При определении МХ ИК, определяют следующие МХ:

- коэффициенты преобразования и частоту выходного сигнала ИК в точках рабочего диапазона измерений объемного расхода;
- границы относительной погрешности ИК в рабочем диапазоне измерений объемного расхода.

9.2.2 Определение МХ ИК проводят не менее чем в трех точках рабочего диапазона измерений объемного расхода. Значения объемного расхода (точки рабочего диапазона) выбирают с интервалом не более 20 % от максимального значения объемного расхода ИК. В каждой точке рабочего диапазона измерений объемного расхода проводят не менее семи измерений.

9.2.3 Последовательность выбора точек расхода может быть произвольной.

9.2.4 Для определения коэффициента преобразования ИК устанавливают выбранное значение объемного расхода по показаниям ИК 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 ИК.

Объемный расход рабочей жидкости через ИК вычисляют по формуле (12).

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

9.2.5 После стабилизации объемного расхода и стабилизации температуры рабочей жидкости в соответствии с 3.3 проводят необходимое количество измерений.

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

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

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

- температуры рабочей жидкости на входе и выходе ПУ;
- давления рабочей жидкости на входе и выходе ПУ;
- температуры рабочей жидкости в ИК;
- давления рабочей жидкости в ИК;
- плотность рабочей жидкости, измеренную ПП;
- температуру рабочей жидкости в ПП;
- давление рабочей жидкости в ПП;
- кинематическую вязкость рабочей жидкости, измеренную ПВ.

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

Для односторонней ПУ прохождение поршня от одного детектора до другого принимают за одно измерение.

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

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

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

9.2.6 Объем рабочей жидкости, прошедшей через ИК за время i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений объемного расхода, V_{ji} , m^3 , вычисляют по формуле

$$V_{ji} = V_0 \cdot CTS_{ji} \cdot CPS_{ji} \cdot \frac{CTL_{ПУ ji} \cdot CPL_{ПУ ji}}{CTL_{ИК ji} \cdot CPL_{ИК ji}}, \quad (2)$$

$$CTS_{ji} = 1 + 3 \cdot \alpha_t \cdot (t_{ПУ ji} - 20), \quad (3)$$

$$CPS_{ji} = 1 + 0,95 \cdot \frac{P_{ПУ ji} \cdot D}{E \cdot S}, \quad (4)$$

$$T_{ПУ ji} = \frac{T_{Вх ПУ ji} + T_{Вых ПУ ji}}{2}, \quad (5)$$

$$P_{ПУ ji} = \frac{P_{Вх ПУ ji} + P_{Вых ПУ ji}}{2}, \quad (6)$$

где V_0 - вместимость калиброванного участка ПУ при стандартных условиях $t = 20^\circ\text{C}$ и $P = 0 \text{ МПа}$, m^3 ;

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

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

$CTL_{ПУ ji}$ - коэффициент, учитывающий влияние температуры на объем рабочей жидкости, определенный для температуры рабочей жидкости в ПУ для i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений объемного расхода вычисляют по формулам

$$CTL_{ИК ji} = \exp[-\alpha_{15} \cdot \Delta t \cdot (1 + 0,8 \cdot \alpha_{15} \cdot \Delta t)], \quad (7)$$

$$\alpha_{15} = \frac{613,97226}{\rho_{15}^2}, \quad (8)$$

$$\Delta t = t - 15, \quad (9)$$

где ρ_{15} - значение плотности рабочей жидкости при $t = 15^\circ\text{C}$ и $P = 0 \text{ МПа}$, $\text{кг}/\text{м}^3$;

t - значение температуры рабочей жидкости, $^\circ\text{C}$;

α_{15} - значение коэффициента объемного расширения рабочей жидкости при $t = 15^\circ\text{C}$ и $P = 0 \text{ МПа}$, $1/\text{ }^\circ\text{C}$;

$CPL_{ПУ ji}$ - коэффициент, учитывающий влияние давления на объем рабочей жидкости, определенный для давления рабочей жидкости в ПУ для i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений объемного расхода вычисляют по формулам

$$CPL_{ИК ji} = \frac{1}{1 - b \cdot P \cdot 10^3}, \quad (10)$$

$$b=10^{-4} \cdot \exp \left(-1,62080 + 0,0002159 \cdot t + \frac{0,87096 \cdot 10^6}{\rho_{15}^2} + \frac{4,2092 \cdot 10^3 \cdot t}{\rho_{15}^2} \right), \quad (11)$$

- где ρ_{15} - значение плотности рабочей жидкости при $t = 15$ °C и $P=0$ МПа, кг/м³;
- t - значение температуры рабочей жидкости, °C;
- P - значение избыточного давления рабочей жидкости. МПа;
- 10 - коэффициент перевода единиц измерения давления МПа в бар;
- $CTL_{IK,ji}$ - коэффициент, учитывающий влияние температуры на объем рабочей жидкости, определенный для температуры рабочей жидкости в ИК для i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений объемного расхода вычисляют по формулам (7), (8) и (9);
- $CPL_{IK,ji}$ - коэффициент, учитывающий влияние давления на объем рабочей жидкости, определенный для давления рабочей жидкости в ИК для i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений объемного расхода вычисляют по формулам (10) и (11);
- a_t - коэффициент линейного расширения материала стенок калиброванного участка ПУ (берут из технической документации на ПУ или определяют по таблице 2), 1/°C;
- $T_{PU,ji}$ - температура рабочей жидкости в ПУ за время i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений объемного расхода, °C;
- $T_{Вх PU,ji}$ - температура рабочей жидкости на входе и выходе ПУ за время i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений объемного расхода, °C;
- $P_{PU,ji}$ - давление рабочей жидкости в ПУ за время i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений объемного расхода, МПа;
- $P_{Вх PU,ji}, P_{Вых PU,ji}$ - давление рабочей жидкости на входе и выходе ПУ за время i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений 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 5), ГПа.

Таблица 5 - Коэффициенты линейного расширения и модули упругости материалов стенок калиброванного участка ПУ

Материал	$a_t, 1/^\circ C$	$a_{kl}, 1/^\circ C$	$a_d, 1/^\circ C$	E, MPa
Сталь углеродистая	$1,12 \times 10^{-5}$	$2,23 \times 10^{-5}$	$1,12 \times 10^{-5}$	$2,07 \times 10^{-5}$
Сталь нержавеющая 304	$1,73 \times 10^{-5}$	$3,46 \times 10^{-5}$	$1,73 \times 10^{-5}$	$1,93 \times 10^{-5}$
Сталь нержавеющая 316	$1,59 \times 10^{-5}$	$3,18 \times 10^{-5}$	$1,59 \times 10^{-5}$	$1,93 \times 10^{-5}$
Сталь нержавеющая 17-4	$1,08 \times 10^{-5}$	$2,16 \times 10^{-5}$	$1,08 \times 10^{-5}$	$1,97 \times 10^{-5}$

Вычисление объема рабочей жидкости, прошедшей через ИК за время измерения, допускается проводить согласно алгоритму, реализованному в ИВК, прошедшему испытания для целей утверждения типа.

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

$$Q_{ji} = \frac{V_{ji}}{T_{ji}} \cdot 3600, \quad (12)$$

- где V_{ji} - объем рабочей жидкости, прошедшей через ИК 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.

9.2.8 Объемный расход рабочей жидкости через ИК в j-ой точке рабочего диапазона измерений объемного расхода, Q_j , м³/ч, вычисляют по формуле

$$Q_j = \frac{\sum_{i=1}^{n_j} Q_{ji}}{n_j}, \quad (13)$$

где Q_{ji} - объемный расход рабочей жидкости через ИК 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.

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

$$f_{ji} = \frac{N_{ji}}{T_{ji}}, \quad (14)$$

где N_{ji} - количество импульсов от ИК 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.

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

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

где f_{ji} - частота выходного сигнала ИК 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.

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

$$K_{ji} = \frac{N_{ji}}{V_{ji}}, \quad (16)$$

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

V_{ji} - объем рабочей жидкости, прошедшей через ИК за время i-го измерения в j-ой точке рабочего диапазона измерений объемного расхода, м³.

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

$$K_j = \frac{\sum_{i=1}^{n_j} K_{ji}}{n_j}, \quad (17)$$

где K_{ji} - коэффициент преобразования ИК 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.

9.2.13 Среднее значение кинематической вязкости рабочей жидкости за время определения МХ, v , $\text{мм}^2/\text{с}$ вычисляют по формуле

$$v = \begin{cases} \frac{\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^{n_j} v_{ji}}{\sum_{j=1}^m n_j} & \text{при наличии ПВ} \\ \frac{v_h + v_k}{2} & \text{при отсутствии ПВ} \end{cases}, \quad (18)$$

где v_{ji} - кинематическая вязкость рабочей жидкости для i -го измерения в j -й точке рабочего диапазона измерений объемного расхода, $\text{мм}^2/\text{с}$;
 n_j - количество измерений в j -й точке рабочего диапазона измерений объемного расхода;
 m - количество точек расхода;
 v_h, v_k - кинематическая вязкость рабочей жидкости, определенная в испытательной лаборатории в начале и в конце определения МХ, $\text{мм}^2/\text{с}$.

9.2.14 Нижний и верхний предел рабочего диапазона кинематической вязкости рабочей жидкости v_{\min}, v_{\max} , $\text{мм}^2/\text{с}$ вычисляют по формулам

$$v_{\min} = v - \Delta v, \quad (19)$$

$$v_{\max} = v + \Delta v, \quad (20)$$

где v - среднее значение кинематической вязкости рабочей жидкости за время определения МХ, $\text{мм}^2/\text{с}$;
 Δv - допускаемый предел изменения кинематической вязкости рабочей жидкости, установленный для данного типа ИК (берут из описания типа или технической и нормативной документации), $\text{мм}^2/\text{с}$.

П р и м е ч а н и е - При $v_{\min} < 0$ принимают $v_{\min} = 0$.

9.2.15 Если в течение межповерочного интервала СИКН значение вязкости рабочей жидкости выходит за пределы рабочего диапазона, указанного в протоколе определения МХ ИК, то проводят внеочередную поверку СИКН без аннулирования действующего свидетельства о поверке СИКН.

9.2.16 Оценка СКО результатов измерений

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

$$S_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_j} (K_{ji} - K_j)^2}{n_j - 1}} \cdot \frac{1}{K_j} \cdot 100, \quad (21)$$

где K_j - коэффициент преобразования ИК в j -й точке рабочего диапазона измерений объемного расхода, имп/ м^3 ;
 K_{ji} - коэффициент преобразования ИК для i -го измерения в j -й точке рабочего диапазона измерений объемного расхода, имп/ м^3 ;
 n_j - количество измерений в j -й точке рабочего диапазона измерений объемного расхода.

Проверяют выполнение следующего условия

$$S_j \leq 0,02 \%, \quad (22)$$

При выполнении данного условия продолжают обработку результатов измерений.

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

9.2.17 Границу неисключенной систематической погрешности ИК в рабочем диапазоне измерений объемного расхода, θ_{Σ} %, вычисляют по формулам

$$\theta_{\Sigma} = 1,4 \cdot \sqrt{\theta_{\Sigma 0}^2 + \theta_{V0}^2 + \theta_t^2 + \theta_A^2 + \theta_{IVK}^2}, \quad (23)$$

$$\theta_t = \beta_{max} \cdot 100 \cdot \sqrt{\Delta t_{Py}^2 + \Delta t_{IK}^2}, \quad (24)$$

$$\beta_{max} = \max(\beta_{ji}), \quad (25)$$

$$\theta_A = \max \left(0,5 \cdot \left| \frac{K_j - K_{j+1}}{K_j + K_{j+1}} \right| \cdot 100 \right), \quad (26)$$

$$\theta_{IVK} = \delta_{IVK}, \quad (27)$$

- где
- $\theta_{\Sigma 0}$ - граница суммарной неисключенной систематической погрешности ПУ (берут из свидетельства или протокола поверки ПУ), %;
 - θ_{V0} - граница неисключенной систематической погрешности определения среднего значения вместимости ПУ (берут из свидетельства или протокола поверки ПУ; для ПУ с двумя парами детекторов берут наибольшее значение), %;
 - θ_t - граница неисключенной систематической погрешности, обусловленной погрешностью преобразователей температуры при измерениях температуры рабочей жидкости в ПУ и ИК, %;
 - θ_{IVK} - граница неисключенной систематической погрешности, обусловленной погрешностью ИВК, %;
 - θ_A - граница неисключенной систематической погрешности, обусловленной аппроксимацией градуировочной характеристики ИК в рабочем диапазоне измерений объемного расхода, %;
 - δ_{IVK} - предел допускаемой относительной погрешности преобразования входных электрических сигналов в значение коэффициента преобразования ИВК (берут из свидетельства или протокола поверки ИВК), %;
 - β_{max} - максимальное значение коэффициента объемного расширения рабочей жидкости за время определения МХ, $1/{}^{\circ}\text{C}$;
 - β_{ji} - коэффициент объемного расширения рабочей жидкости при температуре $T_{Py ji}$ для i -го измерения в j -й точке рабочего диапазона измерений объемного расхода, $1/{}^{\circ}\text{C}$, определяют по ГОСТ 8.636-2013 или вычисляют по формуле

$$\beta = a_{15} + 1,6 \cdot a_{15}^2 \cdot (t - 15), \quad (28)$$

- где a_{15} - значение коэффициента объемного расширения рабочей жидкости при $15 {}^{\circ}\text{C}$, $1/{}^{\circ}\text{C}$;
 t - значение температуры рабочей жидкости, при которой определяется коэффициент объемного расширения рабочей жидкости, ${}^{\circ}\text{C}$.

- Δt_{Py} - предел допускаемой абсолютной погрешности преобразователя температуры, установленных в ПУ (берут из свидетельства о поверке преобразователя температуры), ${}^{\circ}\text{C}$;
- Δt_{IK} - предел допускаемой абсолютной погрешности преобразователя температуры, установленного около ИК (берут из свидетельства о поверке преобразователя температуры), ${}^{\circ}\text{C}$;
- K_j, K_{j+1} - коэффициенты преобразования ИК в j -ой и $(j+1)$ -ой точках рабочего диапазона измерений объемного расхода, $\text{имп}/\text{м}^3$.

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

$$S_{0j} = \frac{S_j}{\sqrt{n_j}}, \quad (29)$$

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.

9.2.19 Границу случайной погрешности ИК в рабочем диапазоне измерений объемного расхода при доверительной вероятности $P=0,99$, ε , %, вычисляют по формулам

$$\varepsilon = \max(\varepsilon_j), \quad (30)$$

$$\varepsilon_j = t_{0,99j} \cdot S_{0j}, \quad (31)$$

где S_{0j} - СКО среднего значения результатов измерений в j-ой точке рабочего диапазона измерений объемного расхода, %;
 $t_{0,99j}$ - квантиль распределения Стьюдента для количества измерений n_j в j-ой точке рабочего диапазона измерений объемного расхода (определяют по таблице 6)

Таблица 6 - 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	2,766	2,571	2,447	2,365	2,306	2,262	2,228	2,201

9.2.20 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 .

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

$$\delta = \begin{cases} \varepsilon & \text{если } \frac{\theta_\Sigma}{S_0} < 0,8, \\ t_\Sigma \cdot S_\Sigma & \text{если } 0,8 \leq \frac{\theta_\Sigma}{S_0} < 8, \\ \theta_\Sigma & \text{если } \frac{\theta_\Sigma}{S_0} > 8, \end{cases} \quad (32)$$

$$t_\Sigma = \frac{\varepsilon + \theta_\Sigma}{S_0 + S_\theta}, \quad (33)$$

$$S_\Sigma = \sqrt{S_0^2 + S_\theta^2} \quad (34)$$

$$S_\theta = \sqrt{\frac{\theta_\Sigma^2 + \theta_{V0}^2 + \theta_t^2 + \theta_{ИВК}^2}{3}} \quad (35)$$

где ε - граница случайной погрешности ИК в рабочем диапазоне измерений объемного расхода, %;
 θ_Σ - граница неисключенной систематической погрешности ИК 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_0 - СКО суммы неисключенных систематических погрешностей в рабочем диапазоне измерений объемного расхода, %;
- S_0 - СКО среднего значения результатов измерений в рабочем диапазоне измерений объемного расхода, %.

9.2.22 Оценивание границы относительной погрешности ИК допускается к применению при выполнении условия

$$\delta \leq 0,10 \%, \quad (36)$$

Если данное условие не выполняются, то рекомендуется:

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

При повторном невыполнении данных условий определение МХ прекращают.

9.3 Определение диапазона измерений объемного расхода нефти СИКН

Определение диапазона измерений объемного расхода СИКН проводят путем анализа результатов поверки преобразователей расхода (далее – ПР) установленных на рабочих измерительных линиях. За минимальное значение расхода через СИКН принимают наименьшее значение объемного расхода ПР или значение минимального расхода, указанного в описании типа СИКН, если оно больше. За максимальное значение расхода через СИКН принимают наибольшее значение объемного расхода ПР или значение максимального расхода, указанного в описании типа СИКН, если оно меньше.

9.4 Определение относительной погрешности СИКН при измерении массы брутто нефти проводят расчетным методом. Для вычисления относительной погрешности СИКН, используют метрологические характеристики СИ, применяемых в составе СИКН для вычисления массы брутто нефти.

Относительную погрешность измерений массы брутто нефти СИКН δ_{M6} , %, вычисляют по формуле

$$\delta_{M6} = \pm 1,1 \cdot \sqrt{\delta_v^2 + G^2 \cdot (\delta_p^2 + \beta^2 \cdot 10^4 \cdot \Delta_{T_p}^2) + \beta^2 \cdot 10^4 \cdot \Delta_{T_v}^2 + \delta_N^2}, \quad (37)$$

где δ_v – относительная погрешность измерений объема нефти, %. Принимают равной значению относительной погрешности измерений объема ПР, входящего в состав СИКН;

G – коэффициент, вычисляемый по формуле

$$G = \frac{1 + 2 \cdot \beta \cdot T_v}{1 + 2 \cdot \beta \cdot T_p}, \quad (38)$$

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

T_v – температура нефти при измерениях ее объема, $^\circ\text{C}$, принимают равной температуре нефти ИЛ в момент проведения поверки;

T_p – температура нефти при измерениях ее плотности, $^\circ\text{C}$, принимают равной температуре нефти в блоке показателей качества нефти (далее – БИК) СИКН;

δ_p – относительная погрешность измерений плотности нефти, %;

Δ_{T_p} – абсолютная погрешность измерений температуры нефти при измерениях ее плотности, $^\circ\text{C}$, принимают равной значению абсолютной погрешности измерений температуры преобразователями температуры, установленными в БИК СИКН;

Δ_{T_v} – абсолютная погрешность измерений температуры нефти при измерениях ее объема, $^\circ\text{C}$, принимают равной значению абсолютной погрешности измерений температуры преобразователем температуры, установленным на измерительной линии СИКН;

δ_N – пределы допускаемой относительной погрешности ИВК при преобразовании сигналов от первичных преобразователей в значение массы нефти, %.

Относительную погрешность измерений плотности нефти δ_ρ , %, вычисляют по формуле

$$\delta_\rho = \frac{\Delta_\rho \cdot 100}{\rho}, \quad (39)$$

где Δ_ρ – абсолютная погрешность измерений плотности нефти, кг/м³;

ρ – нижний предел рабочего диапазона плотности нефти, кг/м³.

Результат считают положительным, если полученное значение относительной погрешности измерений массы брутто нефти с применением СИКН не превышает установленные пределы $\pm 0,25 \%$.

9.5 Определение относительной погрешности СИКН при измерениях массы нетто нефти

Определение относительной погрешности измерений массы нетто нефти СИКН проводят расчетным методом.

Пределы относительной погрешности измерений массы нетто нефти δ_{Mn} , %, вычисляют по формуле

$$\delta_{Mn} = \pm 1,1 \cdot \sqrt{\left(\frac{\delta_{M6}}{1,1}\right)^2 + \frac{\left(\Delta_{W_b}\right)^2 + \left(\Delta_{W_{mp}}\right)^2 + \left(\Delta_{W_{xc}}\right)^2}{\left[1 - \frac{W_b + W_{mp} + W_{xc}}{100}\right]^2}}, \quad (40)$$

где δ_{M6} – относительная погрешность измерений массы брутто нефти, %;

Δ_{W_b} – абсолютная погрешность определений массовой доли воды в нефти, %;

$\Delta_{W_{mp}}$ – абсолютная погрешность определений массовой доли механических примесей в нефти, %;

$\Delta_{W_{xc}}$ – абсолютная погрешность определений массовой доли хлористых солей в нефти, %;

W_b – массовая доля воды в нефти, %;

W_{mp} – массовая доля механических примесей в нефти, %;

W_{xc} – массовая доля хлористых солей в нефти, %.

Абсолютные погрешности измерений массовой доли механических примесей, массовой доли хлористых солей и массовой доли воды в испытательной лаборатории определяют в соответствии с ГОСТ 33701-2015. Для доверительной вероятности $P=0,95$ и при двух измерениях соответствующего показателя качества нефти абсолютную погрешность измерений Δ , % массовая доля, вычисляют по формуле

$$\Delta = \pm \frac{\sqrt{R^2 - 0,5 \cdot r^2}}{\sqrt{2}}, \quad (41)$$

где R – воспроизводимость метода определения соответствующего показателя качества нефти, выраженная в массовых долях, %;

r – сходимость метода определения соответствующего показателя качества нефти, выраженная в массовых долях, %.

Абсолютную погрешность определений массовой доли воды в нефти Δ_{W_b} , %, вычисляют по формуле

$$\Delta_{W_b} = \sqrt{\frac{R_b^2 - 0,5 \cdot r_b^2}{2}}, \quad (42)$$

- где R_b – воспроизводимость метода определения массовой доли воды в нефти по ГОСТ 2477-2014, выраженная в массовых долях, %;
 r_b – сходимость метода определения массовой доли воды в нефти по ГОСТ 2477-2014, выраженная в массовых долях, %.

Абсолютную погрешность определений массовой доли механических примесей в нефти $\Delta_{W_{mn}}$, %, вычисляют по формуле

$$\Delta_{W_{mn}} = \frac{\sqrt{R_{mn}^2 - 0,5 \cdot r_{mn}^2}}{\sqrt{2}}, \quad (43)$$

- где R_{mn} – воспроизводимость метода определения массовой доли механических примесей в нефти по ГОСТ 6370-2018, выраженная в массовых долях, %;
 r_{mn} – сходимость метода определения массовой доли механических примесей в нефти по ГОСТ 6370-2018, выраженная в массовых долях, %.

Воспроизводимость метода определения концентрации хлористых солей R_{xc} по ГОСТ 21534-2021 принимают равной удвоенному значению сходимости r_{xc} .

Значение сходимости r_{xcm} , выраженное по ГОСТ 21534-2021 в мг/дм³, переводят в массовые доли % по формуле

$$r_{xc} = \frac{0,1 \cdot r_{xcm}}{\rho_{изм}^d}, \quad (44)$$

- где $\rho_{изм}^d$ – плотность нефти, приведенная к условиям измерений, кг/м³.

Абсолютную погрешность определений массовой доли хлористых солей в нефти $\Delta_{W_{xc}}$, %, вычисляют по формуле

$$\Delta_{W_{xc}} = \pm 0,1 \cdot \frac{\sqrt{R_{xc}^2 - 0,5 \cdot r_{xc}^2}}{\rho_{изм}^d \cdot \sqrt{2}}. \quad (45)$$

Массовую долю хлористых солей в нефти W_{xc} , %, вычисляют по формуле

$$W_{xc} = \frac{0,1 \cdot \phi_{xc}}{\rho_{изм}^d}, \quad (46)$$

- где ϕ_{xc} – концентрация хлористых солей в нефти, мг/дм³.

Результат считают положительным, если полученное значение относительной погрешности измерений массы нетто нефти с применением СИКН не превышает установленные пределы $\pm 0,35\%$.

10 Подтверждение соответствия средства измерений метрологическим требованиям

При получении положительных результатов по п. 9 методики поверки, а именно:

- СИ, входящие в состав СИКН, имеют запись в ФИФ ОЕИ о положительных результатах поверки, а также действующие знаки поверки;
- значение относительной погрешности измерений массы брутто нефти с применением СИКН не превышает установленные пределы $\pm 0,25\%$;
- значение относительной погрешности измерений массы нетто нефти с применением СИКН не превышает установленные пределы $\pm 0,35\%$;

СИКН считают соответствующей метрологическим требованиям, установленным при утверждении типа, а результат поверки положительным.

11 Оформление результатов поверки

Результаты поверки СИКН оформляют протоколом поверки произвольной формы с указанием даты проведения поверки, условий проведения поверки, применяемых средств поверки, заключения по результатам поверки.

Аккредитованным на поверку лицом, проводившим поверку СИКН, в ФИФОЕИ передаются сведения о результатах поверки.

При положительных результатах поверки, по письменному заявлению владельца или лица, представившего СИКН на поверку, аккредитованное на поверку лицо, проводившее поверку, оформляет свидетельство о поверке СИКН в соответствии с действующим порядком проведения поверки СИ на территории Российской Федерации.

Знак поверки наносится на свидетельство о поверке СИКН.

При поверке СИКН в части отдельного ИК результаты поверки оформляют протоколом поверки СИКН в части ИК.

Аккредитованным на поверку лицом, проводившим поверку СИКН в части ИК, в ФИФОЕИ передаются сведения о результатах поверки.

При поверке СИКН в части отдельного ИК по заявлению владельца СИКН или лица, предоставившего СИКН на поверку, в случае положительных результатах поверки выдают свидетельство о поверке СИКН в части ИК.

Протокол поверки является обязательным приложением к свидетельству о поверке.

Знак поверки наносится на свидетельство о поверке СИКН в части ИК и на пломбы, установленные на контрольных проволоках, пропущенных через отверстия в шпильках, расположенных на диаметрально противоположных фланцах ЛПР, в соответствии с документом на поверку, установленном при утверждении типа ЛПР.

Согласно эксплуатационных документов в СОИ СИКН заносят полученные при определении МХ ЛПР, входящего в состав ИК коэффициенты преобразования.

При отрицательных результатах поверки СИКН к эксплуатации не допускают. По письменному заявлению владельца или лица, представившего СИКН на поверку, аккредитованное на поверку лицо, проводившее поверку, оформляет извещение о непригодности в соответствии с действующим порядком проведения поверки СИ на территории Российской Федерации.

Приложение А (рекомендуемое)

Методика анализа результатов измерений на наличие промахов

Проверка результатов измерений на один промах по критерию Граббса при определении МХ ИК

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

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

где K_j – значение коэффициента преобразования в j -ой точке рабочего диапазона измерений объемного расхода, имп/ m^3 ;
 K_{ji} – значение коэффициента преобразования для i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений объемного расхода, имп/ m^3 ;
 n_j – количество измерений в j -ой точке рабочего диапазона измерений объемного расхода.

П р и м е ч а н и е – При $S_j < 0,001$ принимают $S_j = 0,001$.

Наиболее выделяющееся соотношение U :

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

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

Таблица А.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