

Приложение
к приказу Федерального агентства
по техническому регулированию
и метрологии
от «24» июля 2025 г. № 1495

Рекомендация
Государственная система обеспечения единства измерений
Преобразователи объемного расхода эталонные
Методика поверки
МИ 3266-2010

Рекомендация
Государственная система обеспечения единства измерений
Преобразователи объемного расхода
Методика поверки
МИ 3287-2010
с Изменением № 1
с Изменением № 2

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ
Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии
им. Д.И.Менделеева
(ФГУП «ВНИИМ им. Д.И.Менделеева»)
Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель директора

ФГУП «ВНИИМ им. Д.И.Менделеева»

В.С. Александров

«16»

2009 г.



РЕКОМЕНДАЦИЯ

Государственная система обеспечения единства измерений
Преобразователи объемного расхода эталонные
Методика поверки

МИ 3266-2010

Санкт-Петербург

2009

1 РАЗРАБОТАНА	ФГУП «ВНИИМ им.Д.И. Менделеева»
ИСПОЛНИТЕЛИ:	Приймак Е.Н.
2 РАЗРАБОТАНА	ООО «ИМС Индастриз»
ИСПОЛНИТЕЛИ:	Сафонов А.В., Аблина Л.В., Усманов Р.Х.
3 УТВЕРЖДЕНА	ФГУП «ВНИИМ им.Д.И. Менделеева»
	16 ноября 2009 г.
4 ЗАРЕГИСТРИРОВАНА	ФГУП ВНИИМС
	27 февраля 2010 г.

Настоящая рекомендация не может быть полностью или частично воспроизведена, тиражирована и распространена без разрешения ООО «ИМС Индастриз» и ФГУП «ВНИИМ им.Д.И. Менделеева».

СОДЕРЖАНИЕ

1 Область применения.....	1
2 Нормативные ссылки.....	1
3 Термины, определения и сокращения	1
4 Операции поверки.....	2
5 Средства поверки	2
6 Требования безопасности	3
7 Условия поверки	4
8 Подготовка к поверке	5
9 Проведение поверки	6
9.1 Внешний осмотр.....	6
9.2 Опробование	6
9.3 Определение метрологических характеристик	6
10 Обработка результатов измерений.....	9
11 Оформление результатов поверки	16
Приложение А Форма протокола поверки ЭПР	17
Приложение Б Определение коэффициентов CTL, CPL и β	19
Б.1 Определение коэффициента CTL.....	19
Б.2 Определение коэффициента CPL.....	19
Б.3 Определение коэффициента β	20
Б.4 Определение плотности ρ_{15}	20
Приложение В Методика анализа результатов измерений на наличие промахов	22
Приложение Г Справочные материалы	23
Г.1 Квантиль распределения Стьюдента	23
Г.2 Коэффициенты расширения и модули упругости	23

РЕКОМЕНДАЦИЯ

ГОСУДАРСТВЕННАЯ СИСТЕМА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЕДИНСТВА ИЗМЕРЕНИЙ	МИ 3266-2010
Преобразователи объемного расхода эталонные. Методика поверки	

1 Область применения

Настоящая рекомендация распространяется на преобразователи объемного расхода эталонные, применяемые для поверки преобразователей расхода, входящих в состав систем измерений количества и показателей качества нефти и нефтепродуктов и устанавливает методику первичной и периодической поверок в условиях эксплуатации при помощи трубопоршневой поверочной установки или компакт-прувера.

Межповерочный интервал – не более одного года.

2 Нормативные ссылки

В настоящей рекомендации использованы ссылки на следующие нормативные документы:

ГОСТ 8.207-76 ГСИ. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений. Основные положения.

ГОСТ 33-2000 Нефтепродукты. Метод определения кинематической и расчет динамической вязкости.

ГОСТ 1756-2000 Нефтепродукты. Методы определения давления насыщенных паров.

ГОСТ 3900-85 Нефть и нефтепродукты. Методы определения плотности.

ПР 50.2.006-94 ГСИ. Порядок проведения поверки средств измерений.

МИ 2153-2004 с Изм. №1 от 2008г. Рекомендация. ГСИ. Плотность нефти. Требования к методике выполнения измерений ареометром при учетных операциях.

МИ 2632-2001 ГСИ. Плотность нефти, нефтепродуктов и коэффициенты объемного расширения и сжимаемости. Методы и программы расчета.

МИ 3002-2006 ГСИ. Рекомендация. Правила пломбирования и клеймения средств измерений и оборудования, применяемых в составе систем измерений количества и показателей качества нефти и поверочных установок.

3 Термины, определения и сокращения

В настоящей рекомендации приняты следующие термины, их определения и сокращения:

ГХ – градуировочная характеристика;

ИВК – измерительно-вычислительный комплекс, в том числе вычислители расхода, измерительные контроллеры;

КП – компакт-прувер;

МХ – метрологические характеристики;

ПВ – поточный вискозиметр;

ПП – преобразователь плотности;

ПР – преобразователь объемного расхода;

ПУ – поверочная установка (трубопоршневая поверочная установка или КП);

Рабочая жидкость – нефть или нефтепродукты;

СИ – средства измерений;

СИКН – система измерений количества и показателей качества нефти;

СИКНП – система измерений количества нефтепродуктов;

СКО – среднее квадратическое отклонение;

ТПУ – трубопоршневая поверочная установка;

ЭПР – преобразователь объемного расхода эталонный.

4 Операции поверки

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

Таблица 1 - Операции поверки

Наименование операций	Номер пункта документа по поверке
Внешний осмотр	9.1
Опробование	9.2
Определение метрологических характеристик	9.3
Обработка результатов измерений	10

5 Средства поверки

5.1 При проведении поверки применяют средства поверки, приведенные в таблице 2.

Таблица 2 - Средства поверки и их метрологические характеристики

Средства поверки	Метрологические характеристики
ПУ 1 –го разряда	Пределы допускаемой относительной погрешности определения вместимости калиброванного участка $\pm 0,05 \%$.
Преобразователи избыточного давления с унифицированным выходным сигналом	Пределы допускаемой приведенной погрешности $\pm 0,5 \%$

Средства поверки	Метрологические характеристики
Термопреобразователи сопротивления с унифицированным выходным сигналом	Пределы допускаемой абсолютной погрешности $\pm 0,2$ °C
Манометры	Пределы допускаемой приведенной погрешности $\pm 0,6$ %
Термометры ртутные стеклянные	Пределы допускаемой абсолютной погрешности $\pm 0,2$ °C
ИВК	Пределы допускаемой относительной погрешности преобразования входных электрических сигналов в значение коэффициента преобразования $\pm 0,025$ %
ПП	Пределы допускаемой абсолютной погрешности $\pm 0,30$ кг/м ³
ПВ	Пределы допускаемой приведенной погрешности $\pm 1,0$ %

5.2 Используемые средства поверки должны быть поверены и иметь действующие свидетельства о поверке или знаки поверки.

5.3 Допускается применять средства поверки с лучшими метрологическими характеристиками.

6 Требования безопасности

6.1 При проведении поверки соблюдают требования безопасности:

- ПБ 08-624-03 «Правила безопасности в нефтяной и газовой промышленности»;
- «Правил технической эксплуатации электроустановок потребителей» (утверждены приказом № 6 Минэнерго РФ от 13.01.03 г.);
- ПОТ Р М-016-2001, РД 153-34.0-03.150-00 (с изм. 2003) «Межотраслевые правила по охране труда (правилами безопасности) при эксплуатации электроустановок»;
- «Правил устройства электроустановок (ПУЭ) потребителей» (6-е изд., 7-е изд.);
- ПБ 03-585-03 «Правила устройства и безопасной эксплуатации технологических трубопроводов»;
- ВППБ 01-03-96 «Правила пожарной безопасности для предприятий АК «Транснефть-тепродукт»;
- ВППБ 01-05-99 «Правила пожарной безопасности при эксплуатации магистральных трубопроводов АК «Транснефть»;
- правил безопасности при эксплуатации средств поверки, приведенными в эксплуатационной документации;
- инструкций по охране труда, действующих на объекте и СИКН (СИКНП).

6.2 Наибольшее давление рабочей жидкости при поверке не должно превышать значения, указанного в эксплуатационной документации на оборудование и применяемые СИ. Ис-

пользование элементов монтажа или шлангов, не прошедших гидравлические испытания, запрещается.

6.3 На трубопроводах, заполненных рабочей жидкостью, применяют приборы взрывозащищенного исполнения, на которых нанесены четкие надписи и маркировка, подтверждающие безопасность их применения.

6.4 К средствам поверки и используемому при поверке оборудованию обеспечивают свободный доступ. При необходимости предусматривают лестницы и площадки, соответствующие требованиям безопасности.

6.5 Освещенность в СИКН (СИКНП) соответствует санитарным нормам согласно СНиП П-4-79.

6.6 Управление оборудованием и средствами поверки производят лица, прошедшие обучение и проверку знаний требований безопасности и допущенные к обслуживанию СИКН (СИКНП).

6.7 При появлении течи рабочей жидкости, загазованности и других ситуаций, нарушающих процесс поверки, поверка должна быть прекращена.

7 Условия поверки

7.1 При проведении поверки ЭПР соблюдают следующие условия:

7.1.1 Поверку проводят на месте эксплуатации в комплекте с элементами измерительных линий.

7.1.2 Отклонение объемного расхода рабочей жидкости от установленного значения в процессе поверки не должно превышать 2,5 %.

7.1.3 Изменение температуры рабочей жидкости на входе и выходе ПУ и в поверяемом ЭПР за время измерения не должно превышать 0,2 °С.

7.1.4 Температура, влажность окружающей среды и физико-химические показатели рабочей жидкости соответствуют условиям эксплуатации СИКН (СИКНП).

7.1.5 Отклонение вязкости рабочей жидкости за время поверки находится в допустимых пределах для поверяемого ЭПР.

7.1.6 Диапазоны рабочего давления и объемного расхода определяются типоразмером ЭПР и технологическими требованиями.

7.1.7 Для обеспечения безкавитационной работы избыточное давление в трубопроводе после ЭПР, $P_{\min}$, МПа, должно быть не менее вычисленного по формуле

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

где $P_{\text{НП}}$ – давление насыщенных паров, определенное в соответствии с ГОСТ 1756 при максимально возможной температуре рабочей жидкости, МПа;

ΔP – перепад давления на поверяемом ЭПР, указанный в технической документации, МПа.

7.1.8 Содержание свободного газа не допускается.

7.2 Регулирование объемного расхода проводят при помощи регуляторов расхода, расположенных на выходе измерительной линии или на выходе ПУ. Допускается вместо регуляторов расхода использовать запорную арматуру.

8 Подготовка к поверке

8.1 Проверяют наличие действующих свидетельств о поверке или знаков поверки на все средства поверки.

8.2 Проверяют правильность монтажа средств поверки и поверяемого ЭПР.

8.3 Подготавливают средства поверки согласно указаниям технической документации.

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

8.5 Проверяют отсутствие газа в измерительной линии с поверяемым ЭПР и ПУ, а также в верхних точках трубопроводов. Для этого устанавливают объемный расход рабочей жидкости в пределах диапазона измерений поверяемого ЭПР 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.

8.6 При рабочем давлении проверяют герметичность системы, состоящей из поверяемого ЭПР 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.

8.7 Проверяют герметичность задвижек, через которые возможны утечки рабочей жидкости, влияющие на результаты измерений при поверке.

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

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

8.10 Определяют плотность рабочей жидкости за время поверки с помощью поточного плотномера или в испытательной лаборатории по ГОСТ 3900 с учетом МИ 2153.

8.11 Определяют вязкость рабочей жидкости за время поверки с помощью поточного вискозиметра или в испытательной лаборатории по ГОСТ 33

9 Проведение поверки

9.1 Внешний осмотр

При внешнем осмотре устанавливают соответствие поверяемого ЭПР следующим требованиям:

- комплектность соответствует указанной в технической документации;
- отсутствуют механические повреждения и дефекты, препятствующие применению;
- надписи и обозначения на поверяемом ЭПР четкие и соответствуют требованиям технической документации.

9.2 Опробование

9.2.1 Опробование поверяемого ЭПР проводят совместно со средствами поверки.

9.2.2 Устанавливают объемный расход рабочей жидкости в пределах рабочего диапазона измерений расхода поверяемого ЭПР.

9.2.3 Наблюдают на дисплее ИВК значения следующих параметров:

- частоты выходного сигнала поверяемого ЭПР;
- объемного расхода рабочей жидкости;
- температуры и давления рабочей жидкости в поверяемом ЭПР;
- температуры и давления рабочей жидкости на входе и выходе ТПУ или температуры и давления рабочей жидкости в КП;
- температуры планки крепления детекторов или инварового стержня КП;
- вязкости рабочей жидкости;
- плотности, температуры и давления рабочей жидкости в ПП.

9.2.4 Запускают поршень ПУ. При прохождении поршня через первый детектор наблюдают за началом отсчета импульсов выходного сигнала поверяемого ЭПР, при прохождении поршня через второй детектор - за окончанием отсчета импульсов. Для двунаправленных ТПУ проводят те же операции при движении поршня в обратном направлении.

9.3 Определение метрологических характеристик

9.3.1 При поверке ЭПР определяют следующие МХ:

- коэффициенты преобразования ЭПР в точках рабочего диапазона измерений объемного расхода;
- границы относительной погрешности ЭПР в рабочем диапазоне измерений объемного расхода.

9.3.2 Определение МХ поверяемого ЭПР проводят не менее чем в трёх точках рабочего диапазона измерений объемного расхода. Значения объемного расхода (точки рабочего диа-

пазона) выбирают с интервалом не более 20 % от максимального значения объемного расхода поверяемого ЭПР. В каждой точке рабочего диапазона измерений объемного расхода проводят не менее семи измерений.

9.3.3 Последовательность выбора точек расхода может быть произвольной.

9.3.4 Для определения коэффициента преобразования поверяемого ЭПР устанавливают выбранное значение объемного расхода по показаниям поверяемого ЭПР 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 поверяемого ЭПР.

Объемный расход рабочей жидкости через поверяемый ЭПР вычисляют по формуле (7).

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

9.3.5 После стабилизации объемного расхода в соответствии с 7.1.2 и стабилизации температуры рабочей жидкости в соответствии с 7.1.3 проводят необходимое количество измерений.

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

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

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

- температуры рабочей жидкости на входе и выходе ТПУ или в КП;
- давления рабочей жидкости на входе и выходе ТПУ или в КП;
- температуры планки крепления детекторов или инварового стержня КП;
- температуры рабочей жидкости в поверяемом ЭПР;
- давления рабочей жидкости в поверяемом ЭПР;
- 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 однонаправленной ТПУ прохождение поршня от одного детектора до другого принимают за одно измерение.

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

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

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

При использовании КП допускается за результат измерения считать среднее значение результатов измерений для нескольких проходов поршня (не более 20).

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

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

Таблица 3 - Точность представления результатов измерений и вычислений

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

П р и м е ч а н и е – если количество цифр в целой части числа больше рекомендованного количества значащих цифр, то число округляют до целого.

10 Обработка результатов измерений

10.1 Объем рабочей жидкости, прошедшей через поверяемый ЭПР за время i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений объемного расхода, V_{ji} , м^3 , вычисляют по формулам

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

$$CTS_{ji} = \begin{cases} 1 + 3 \cdot \alpha_t \cdot (t_{ПУji} - 20) & \text{при поверке по ТПУ} \\ (1 + \alpha_{k1} \cdot (t_{ПУji} - 20)) \cdot (1 + \alpha_d \cdot (t_{Дji} - 20)) & \text{при поверке по КП} \end{cases}, \quad (3)$$

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

$$t_{ПУji} = \frac{t_{ВхПУji} + t_{ВыхПУji}}{2} \quad (\text{для ТПУ}), \quad (5)$$

$$P_{ПУji} = \frac{P_{ВхПУji} + P_{ВыхПУji}}{2} \quad (\text{для ТПУ}), \quad (6)$$

где V_0 – вместимость калиброванного участка ПУ при стандартных условиях ($t = 20^\circ\text{C}$ и $P = 0 \text{ МПа}$), м^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;

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

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

$CTL_{ЭПРji}$ – коэффициент, учитывающий влияние температуры на объем рабочей жидкости, определенный для температуры рабочей жидкости в поверяемом ЭПР для i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений объемного расхода (вычисляют по приложению Б);

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

α_t – коэффициент линейного расширения материала стенок калиброванного участка ТПУ (берут из технической документации на ТПУ или определяют по таблице Г.2 приложения Г), $1/^\circ\text{C}$;

α_{k1} – квадратичный коэффициент расширения стали калиброванного участка КП, (берут из технической документации на КП или определяют по таблице Г.2 приложения Г), $1/^\circ\text{C}$;

α_d – коэффициент линейного расширения материала планки крепления детекторов КП или инварового стержня, (берут из технической документации на КП или определяют по таблице Г.2 приложения Г), $1/^\circ\text{C}$;

t_{dji} – температура планки крепления детекторов или инварового стержня за время i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений объемного расхода (при отсутствии датчика температуры принимают равной температуре окружающей среды), $^\circ\text{C}$;

$t_{пуji}$ – температура рабочей жидкости в ПУ за время i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений объемного расхода, $^\circ\text{C}$;

$t_{вхПУji}$, $t_{выхПУji}$ – температура рабочей жидкости на входе и выходе ТПУ за время i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений объемного расхода, $^\circ\text{C}$;

$P_{пуji}$ – давление рабочей жидкости в ПУ за время i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений объемного расхода, МПа;

$P_{вхПУji}$, $P_{выхПУji}$ – давление рабочей жидкости на входе и выходе ТПУ за время i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений объемного расхода, МПа;

D – внутренний диаметр калиброванного участка 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 Г.2 приложения Г), МПа.

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

10.2 Объемный расход рабочей жидкости через поверяемый ЭПР за время i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений объемного расхода, Q_{ji} , $\text{м}^3/\text{ч}$, вычисляют по формуле

$$Q_{ji} = \frac{V_{ji}}{T_{ji}} \cdot 3600, \quad (7)$$

где V_{ji} – объем рабочей жидкости, прошедшей через поверяемый ЭПР за время i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений объемного расхода, м^3 ;
 T_{ji} – время i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений объемного расхода, с.

10.3 Объемный расход рабочей жидкости через поверяемый ЭПР в j -ой точке рабочего диапазона измерений объемного расхода, Q_j , $\text{м}^3/\text{ч}$, вычисляют по формуле

$$Q_j = \frac{\sum_{i=1}^{n_j} Q_{ji}}{n_j}, \quad (8)$$

где Q_{ji} – объемный расход рабочей жидкости через поверяемый ЭПР за время i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений объемного расхода, $\text{м}^3/\text{ч}$;
 n_j – количество измерений в j -ой точке рабочего диапазона измерений объемного расхода.

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

$$f_{ji} = \frac{N_{ji}}{T_{ji}}, \quad (9)$$

где N_{ji} – количество импульсов от поверяемого ЭПР 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.

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

$$f_j = \frac{\sum_{i=1}^{n_j} f_{ji}}{n_j}, \quad (10)$$

где f_{ji} – частота выходного сигнала поверяемого ЭПР 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.

10.6 Коэффициент преобразования поверяемого ЭПР для i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений объемного расхода, K_{ji} , имп/м^3 , вычисляют по формуле

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

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

V_{ji} – объем рабочей жидкости, прошедшей через поверяемый ЭПР за время i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений объемного расхода, м^3 .

10.7 Коэффициент преобразования поверяемого ЭПР в j -ой точке рабочего диапазона измерений объемного расхода, K_j , имп/м^3 вычисляют по формуле

$$K_j = \frac{\sum_{i=1}^{n_j} K_{ji}}{n_j}, \quad (12)$$

где K_{ji} – коэффициент преобразования поверяемого ЭПР для i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений объемного расхода, имп/м^3 ;

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

10.8 Оценка СКО результатов измерений

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

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

где K_j – коэффициент преобразования поверяемого ЭПР в j -ой точке рабочего диапазона измерений объемного расхода, имп/м^3 ;

K_{ji} – коэффициент преобразования поверяемого ЭПР для i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений объемного расхода, имп/м^3 ;

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

Проверяют выполнение следующего условия

$$S_j \leq 0,02 \% \quad (14)$$

При выполнении данного условия продолжают обработку результатов измерений.

При невыполнении данного условия выявляют наличие промахов в полученных результатах измерений, согласно приложению В. Выявленный промах исключают и проводят

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

10.9 Границу неисклученной систематической погрешности поверяемого ЭПР в рабочем диапазоне измерений объемного расхода, Θ_{Σ} , %, вычисляют по формулам

$$\Theta_{\Sigma} = 1,4 \cdot \sqrt{\Theta_{\Sigma 0}^2 + \Theta_{V 0}^2 + \Theta_t^2 + \Theta_A^2 + \Theta_{ИВК}^2}, \quad (15)$$

$$\Theta_t = \beta_{\max} \cdot 100 \cdot \sqrt{\Delta t_{\text{ПУ}}^2 + \Delta t_{\text{ЭПР}}^2}, \quad (16)$$

$$\beta_{\max} = \max(\beta_{ji}), \quad (17)$$

$$\Theta_A = \max \left(0,5 * \left| \frac{K_j - K_{j+1}}{K_j + K_{j+1}} \right| \cdot 100 \right), \quad (18)$$

$$\Theta_{ИВК} = \delta_{ИВК}, \quad (19)$$

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

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

Θ_t – граница неисклученной систематической погрешности, обусловленной погрешностью преобразователей температуры при измерениях температуры рабочей жидкости в ПУ и поверяемом ЭПР, %;

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

Θ_A – граница неисклученной систематической погрешности, обусловленной аппроксимацией градуировочной характеристики поверяемого ЭПР в рабочем диапазоне измерений объемного расхода, %;

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

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

β_{ji} – коэффициент объемного расширения рабочей жидкости при температуре $t_{\text{ПУ}ji}$ для i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений объемного расхода (вычисляют по приложению Б или определяют по МИ 2153), $1/^\circ\text{C}$;

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

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

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

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

$$S_{0j} = \frac{S_j}{\sqrt{n_j}}, \quad (20)$$

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.

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

$$\varepsilon = \max(\varepsilon_j), \quad (21)$$

$$\varepsilon_j = t_{0,99j} \cdot S_{0j}, \quad (22)$$

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 Г.1 приложения Г).

10.12 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 .

10.13 Границу относительной погрешности поверяемого ЭПР в рабочем диапазоне измерений объемного расхода δ , %, определяют по формулам

$$\delta = \begin{cases} \varepsilon & \text{если } \frac{\Theta_{\Sigma}}{S_0} < 0,8 \\ t_{\Sigma} \cdot S_{\Sigma} & \text{если } 0,8 \leq \frac{\Theta_{\Sigma}}{S_0} \leq 8 \\ \Theta_{\Sigma} & \text{если } \frac{\Theta_{\Sigma}}{S_0} > 8 \end{cases} \quad (23)$$

$$t_{\Sigma} = \frac{\varepsilon + \Theta_{\Sigma}}{S_0 + S_{\Theta}}, \quad (24)$$

$$S_{\Sigma} = \sqrt{S_{\Theta}^2 + S_0^2}, \quad (25)$$

$$S_{\Theta} = \sqrt{\frac{\Theta_{\Sigma 0}^2 + \Theta_{V0}^2 + \Theta_t^2 + \Theta_A^2 + \Theta_{\text{ИВК}}^2}{3}}, \quad (26)$$

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

Θ_{Σ} – граница неисключенной систематической погрешности поверяемого ЭПР 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, %.

10.14 Оценивание границы относительной погрешности

ЭПР допускается к применению при выполнении условия

$$\delta \leq 0,10\% \quad (27)$$

Если данное условие не выполняется, то рекомендуется:

- увеличить количество точек в рабочем диапазоне измерений объемного расхода;
- увеличить количество измерений в точках рабочего диапазона измерений объемного расхода;
- увеличить количество проходов поршня за одно измерение (при поверке по КП).

При повторном невыполнении данных условий поверку прекращают.

11 Оформление результатов поверки

11.1 Результаты поверки ЭПР оформляют протоколом в двух экземплярах по форме, приведенной в приложении А.

При оформлении протоколов средствами вычислительной техники и вручную допускается формы протоколов представлять в измененном виде.

11.2 При положительных результатах поверки ЭПР оформляют свидетельство о поверке в соответствии с требованиями приложения 1а правил по метрологии ПР 50.2.006 «ГСИ. Поверка средств измерений. Организация и порядок проведения». В свидетельстве указывают, что ЭПР признан пригодным к применению с пределами допускаемой относительной погрешности $\pm 0,10 \%$.

11.3 Протокол поверки является обязательным приложением к свидетельству о поверке.

11.4 Проводят пломбирование ЭПР в соответствии с МИ 3002.

11.5 При отрицательных результатах поверки ЭПР к эксплуатации не допускают, свидетельство о поверке аннулируют и оформляют извещение о непригодности в соответствии с ПР 50.2.006.

Приложение А
Форма протокола поверки ЭПР

ПРОТОКОЛ № ____

поверки ЭПР с помощью ПУ по МИ ... -2009

Место проведения поверки: _____

ЭПР : Тип _____ Зав. № _____

ПУ: Тип _____ Зав. № _____

ИВК: Тип _____ Зав. № _____

Рабочая жидкость _____ Температура, °C , _____ Вязкость, мм²/с, _____

Таблица 1- Исходные данные

Детекторы	V_0 , м ³	D , мм	S , мм	E , МПа	α_t , 1/°C	α_{k1} , 1/°C	α_d , 1/°C
1	2	3	4	5	6	7	8

Окончание таблицы 1

$\Theta_{\Sigma 0}$, %	Θ_{V0} , %	$\Delta t_{пу}$, °C	$\Delta t_{ЭПР}$, °C	$\delta_{ИВК}$, %
9	10	11	12	13

Таблица 2 - Результаты измерений и вычислений

№ точ / № изм	Q_{ji} , м ³ /ч	Детекто- ры	T_{ji} , с	$t_{пуji}$, °C	$P_{пуji}$, МПа	$t_{дji}$, °C	$\rho_{ппji}$, кг/м ³	$t_{ппji}$, °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.	$P_{ппji}$, МПа	β_{ji} , 1/°C	v_{ji} , мм ² /с	$t_{ЭПРji}$, °C	$P_{ЭПРji}$, МПа	f_{ji} , Гц	N_{ji} , имп	K_{ji} , имп/м ³
1	10	11	12	13	14	15	16	17
1/1								
...		...	...	...	...	...	...	...
1/n ₁								

...		...	...	...	...	...	...	...
m/l								
...		...	...	...	...	...	...	...
m/n _m								

Таблица 3 - Результаты поверки в точках рабочего диапазона

№ точ.	Q _j , м ³ /ч	f _j , Гц	K _j , имп/м ³	S _j , %	n _j	S _{0j} , %	t _{0.99j}	ε _j , %
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1								
...	...	...	...	...	...	...	...	...
m								

Таблица 4 - Результаты поверки в рабочем диапазоне

Q _{min} , м ³ /ч	Q _{max} , м ³ /ч	S ₀ , %	ε, %	Θ _A , %	Θ _t , %	Θ _Σ , %	δ, %
1	2	3	4	5	6	7	8

Заключение: ЭПР к дальнейшей эксплуатации _____
(годен, не годен)

Подпись лица, проводившего поверку _____ / _____
подпись И. О. Фамилия

Дата проведения поверки «____» _____ 20____ г.

П р и м е ч а н и е – столбец 6 таблицы 1 заполняют только при поверке ЭПР по ТПУ;
столбцы 7, 8 таблицы 1 и столбец 7 таблицы 2 заполняют только при поверке ЭПР по КП.
При отсутствии ПВ столбец 12 таблицы 2 не заполняют.

Приложение Б

Определение коэффициентов CTL, CPL и β

Б.1 Определение коэффициента CTL

Значение коэффициента CTL, учитывающего влияние температуры на объем рабочей жидкости для диапазона плотности рабочей жидкости (при $t = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $P = 0\text{ МПа}$) от 611 до 1164 кг/м³ определяют по формулам

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

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

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

где ρ_{15} – значение плотности рабочей жидкости при $t = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $P = 0\text{ МПа}$, кг/м³;

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

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

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

Таблица Б.1 - Значения коэффициентов K_0 и K_1 в зависимости от типа рабочей жидкости

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

П р и м е ч а н и е – Для нефтепродуктов коэффициенты K_0, K_1 выбираются не по названию типа рабочей жидкости, а в зависимости от значения ρ_{15} .

Б.2 Определение коэффициента CPL

Значение коэффициента CPL, учитывающего влияние давления на объем рабочей жидкости для диапазона плотности рабочей жидкости (при $t = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $P = 0\text{ МПа}$) от 611 до 1164 кг/м³ определяют по формулам

$$CPL = \frac{1}{1 - b \cdot P \cdot 10^6}, \quad (\text{Б.4})$$

$$b = 10^{-4} \cdot \exp\left(-1.62080 + 0.00021592 \cdot t + \frac{0.87096 \cdot 10^6}{\rho_{15}^2} + \frac{4.2092 \cdot 10^3 \cdot t}{\rho_{15}^2}\right), \quad (\text{Б.5})$$

где ρ_{15} – значение плотности рабочей жидкости при $t = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $P = 0\text{ МПа}$, кг/м³;

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

P – значение избыточного давления рабочей жидкости, МПа;

10 – коэффициент перевода единиц измерения давления МПа в бар.

Б.3 Определение коэффициента β

Значение коэффициента объемного расширения рабочей жидкости, β , $1/^\circ\text{C}$:

$$\beta = \alpha_{15} + 1.6 \cdot \alpha_{15}^2 \cdot (t - 15), \quad (\text{Б.6})$$

где α_{15} – значение коэффициента объемного расширения рабочей жидкости при 15°C , $1/^\circ\text{C}$;

t – значение температуры рабочей жидкости, при которой определяется коэффициент объемного расширения рабочей жидкости, $^\circ\text{C}$.

Б.4 Определение плотности ρ_{15}

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

$$\rho_{15} = \frac{\rho_{\text{ПП}}}{\text{CTL}_{\text{ПП}} \cdot \text{CPL}_{\text{ПП}}}, \quad (\text{Б.7})$$

где $\rho_{\text{ПП}}$ – значение плотности рабочей жидкости в ПП, кг/м^3 ;

$\text{CTL}_{\text{ПП}}$ – коэффициент, учитывающий влияние температуры на объем рабочей жидкости, определенный для $t_{\text{ПП}}$ и ρ_{15} ;

$\text{CPL}_{\text{ПП}}$ – коэффициент, учитывающий влияние давления на объем рабочей жидкости, определенный для $t_{\text{ПП}}$, $P_{\text{ПП}}$ и ρ_{15} .

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

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

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

$$\rho_{15(1)} = \frac{\rho_{\text{ПП}}}{\text{CTL}_{\text{ПП}(1)} \cdot \text{CPL}_{\text{ПП}(1)}} \quad (\text{Б.8})$$

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

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

$$\rho_{15(2)} = \frac{\rho_{\text{ПП}}}{\text{CTL}_{\text{ПП}(2)} \cdot \text{CPL}_{\text{ПП}(2)}} \quad (\text{Б.9})$$

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

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

где $\rho_{15(i)}$, $\rho_{15(i-1)}$ – значения ρ_{15} , определенные, соответственно, за последний и предпоследний цикл вычислений, кг/м^3 .

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

Приложение В

Методика анализа результатов измерений на наличие промахов

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

СКО результатов измерений в j -ой точке рабочего диапазона измерений расхода, S_j определяют по формуле

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

где K_j – значение коэффициента преобразования в j -ой точке рабочего диапазона измерений объемного расхода, имп/м^3 ;

K_{ji} – значение коэффициента преобразования для i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений объемного расхода, имп/м^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 $S_j < 0,001$ принимаем $S_j = 0,001$.

Наиболее выделяющееся соотношение U :

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

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

Таблица В.1 - Критические значения для критерия Граббса

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

Приложение Г

Справочные материалы

Г.1 Квантиль распределения Стьюдента

Значения квантиля распределения Стьюдента $t_{0,99}$ при доверительной вероятности $P=0,99$ в зависимости от количества измерений приведены в таблице Г.1.

Таблица Г.1 - Значения квантиля распределения Стьюдента при доверительной вероятности $P=0,99$

n-1	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
$t_{0,99}$	4,604	4,032	3,707	3,499	3,355	3,250	3,169	3,106	3,055	3,012	2,977

Г.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 Г.2.

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

Материал	$\alpha_t, 1/^\circ\text{C}$	$\alpha_{kl}, 1/^\circ\text{C}$	$\alpha_d, 1/^\circ\text{C}$	E, МПа
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	$1,08 \times 10^{-5}$	$2,16 \times 10^{-5}$	$1,08 \times 10^{-5}$	$1,97 \times 10^5$
Инвар			$1,44 \times 10^{-6}$	

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ
Всероссийский научно-исследовательский институт расходомерии
(ФГУП «ВНИИР»)

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель директора по науке

ФГУП «ВНИИР»

И. И. Фишман

2010 г.



РЕКОМЕНДАЦИЯ

Государственная система обеспечения единства измерений

Преобразователи объемного расхода

Методика поверки

МИ 3287 - 2010

КАЗАНЬ

2010

1 РАЗРАБОТАНА	ФГУП «ВНИИР»
ИСПОЛНИТЕЛИ:	Груздев Р.Н.
2 РАЗРАБОТАНА	ООО «ИМС Индастриз»
ИСПОЛНИТЕЛИ:	Аблина Л.В., Каррамов И.Р., Ремеева А.Ф., Усманов Р.Х.
3 УТВЕРЖДЕНА	ФГУП «ВНИИР»
	14 сентября 2010 г.
4 ЗАРЕГИСТРИРОВАНА	ФГУП «ВНИИМС»

Настоящая рекомендация не может быть полностью или частично воспроизведена, тиражирована и распространена без разрешения ООО «ИМС Индастриз» и ФГУП «ВНИИР».

СОДЕРЖАНИЕ

1 Область применения.....	1
2 Нормативные ссылки.....	1
3 Термины, определения и сокращения	2
4 Операции поверки.....	2
5 Средства поверки	2
6 Требования безопасности	3
7 Условия поверки	4
8 Подготовка к поверке	5
9 Проведение поверки	6
9.1 Внешний осмотр.....	6
9.2 Опробование	6
9.3 Определение метрологических характеристик	6
10 Обработка результатов измерений.....	9
11 Оформление результатов поверки	18
Приложение А Форма протокола поверки рабочего ПР.....	20
Приложение Б Форма протокола поверки контрольного ПР	22
Приложение В Определение коэффициентов C _{TL} , C _{PL} и β	24
В.1 Определение коэффициента C _{TL}	24
В.2 Определение коэффициента C _{PL}	24
В.3 Определение коэффициента β	25
В.4 Определение плотности ρ_{15}	25
Приложение Г Методика анализа результатов измерений на наличие промахов.....	27
Приложение Д Справочные материалы.....	29
Д.1 Квантиль распределения Стьюдента	29
Д.2 Коэффициенты расширения и модули упругости.....	29

РЕКОМЕНДАЦИЯ

ГОСУДАРСТВЕННАЯ СИСТЕМА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЕДИНСТВА ИЗМЕРЕНИЙ Преобразователи объемного расхода. Методика поверки	МИ ...-2010
--	-------------

Дата введения – 2010 – 09 – 14

1 Область применения

Настоящая рекомендация распространяется на преобразователи объемного расхода, применяемые в системах измерений количества и показателей качества нефти, сырой нефти и нефтепродуктов и устанавливает методику первичной, периодической и внеочередной поверок в условиях эксплуатации при помощи трубопоршневой поверочной установки или компакт-прувера.

Интервал между поверками – не более одного года.

2 Нормативные ссылки

В настоящей рекомендации использованы ссылки на следующие нормативные документы:

РМГ 29-99 ГСИ. Метрология. Основные термины и определения.

ГОСТ 8.207-76 ГСИ. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений. Основные положения.

ГОСТ 33-2000 Нефтепродукты. Метод определения кинематической и расчет динамической вязкости.

ГОСТ 1756-2000 Нефтепродукты. Методы определения давления насыщенных паров.

ГОСТ 3900-85 Нефть и нефтепродукты. Методы определения плотности.

ПР 50.2.006-94 ГСИ. Порядок проведения поверки средств измерений.

МИ 2632-2001 ГСИ. Плотность нефти, нефтепродуктов и коэффициенты объемного расширения и сжимаемости. Методы и программы расчета.

МИ 3002-2006 ГСИ. Рекомендация. Правила пломбирования и клеймения средств измерений и оборудования, применяемых в составе систем измерений количества и показателей качества нефти и поверочных установок.

СНиП П-4-79 Естественное и искусственное освещение. Нормы проектирования.

3 Термины, определения и сокращения

В настоящей рекомендации приняты следующие термины, их определения и сокращения:

ГХ – градуировочная характеристика;

ИВК – измерительно-вычислительный комплекс, в том числе вычислитель расхода, измерительный контроллер;

ТПУ – трубопоршневая поверочная установка;

КП – компакт-прувер;

МХ – метрологические характеристики;

ПВ – поточный вискозиметр;

ПП – преобразователь плотности;

ПР – преобразователь объемного расхода;

ПУ – поверочная установка (ТПУ или КП);

Рабочая жидкость – нефть, сырая нефть или нефтепродукты;

СИ – средство измерений;

СИКН – система измерений количества и показателей качества нефти;

СИКНП – система измерений количества нефтепродуктов;

СИКНС – система измерений количества и параметров нефти сырой;

СКО – среднее квадратическое отклонение.

4 Операции поверки

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

Таблица 1 - Операции поверки

Наименование операций	Номер пункта документа по поверке
Внешний осмотр	9.1
Опробование	9.2
Определение МХ	9.3
Обработка результатов измерений	10

5 Средства поверки

5.1 При проведении поверки применяют средства поверки, приведенные в таблице 2.

Таблица 2 - Средства поверки и их метрологические характеристики

Средства поверки	Метрологические характеристики
ПУ	Пределы допускаемой относительной погрешности $\pm 0,1 \%$.

Средства поверки	Метрологические характеристики
Преобразователи избыточного давления с унифицированным выходным сигналом	Пределы допускаемой приведенной погрешности $\pm 0,5 \%$
Термопреобразователи сопротивления с унифицированным выходным сигналом	Пределы допускаемой абсолютной погрешности $\pm 0,2 ^\circ\text{C}$
Манометры	Класс точности 0,6
Термометры ртутные стеклянные	Пределы допускаемой абсолютной погрешности $\pm 0,2 ^\circ\text{C}$
ИВК	Пределы допускаемой относительной погрешности преобразования входных электрических сигналов в значение коэффициента преобразования $\pm 0,025 \%$
ПП	Пределы допускаемой абсолютной погрешности $\pm 0,36 \text{ кг/м}^3$
ПВ	Пределы допускаемой приведенной погрешности $\pm 1,0 \%$

5.2 Используемые средства поверки должны быть поверены и иметь действующие свидетельства о поверке или знаки поверки.

5.3 Допускается применять средства поверки с лучшими МХ.

6 Требования безопасности

6.1 При проведении поверки соблюдают требования безопасности, определяемые следующими документами:

- Трудовой Кодекс Российской Федерации;
- ПБ 08-624-03 «Правила безопасности в нефтяной и газовой промышленности»;
- «Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей» (утверждены приказом № 6 Минэнерго РФ от 13.01.03 г.);
- ПОТ Р М-016-2001, РД 153-34.0-03.150-00 (с изм. 2003) «Межотраслевые правила по охране труда (правила безопасности) при эксплуатации электроустановок»;
- «Правила устройства электроустановок (ПУЭ) потребителей» (6-е изд., 7-е изд.);
- ПБ 03-585-03 «Правила устройства и безопасной эксплуатации технологических трубопроводов»;
- ВППБ 01-03-96 «Правила пожарной безопасности для предприятий АК «Транснефтепродукт»;
- ВППБ 01-05-99 «Правила пожарной безопасности при эксплуатации магистральных трубопроводов АК «Транснефть»;
- правила безопасности при эксплуатации средств поверки, приведенные в эксплуатационной документации;

– инструкции по охране труда, действующие на объекте и СИКН (СИКНС, СИКНП).

6.2 Наибольшее давление рабочей жидкости при поверке не должно превышать значения, указанного в эксплуатационной документации на оборудование и применяемые СИ. Использование элементов монтажа или шлангов, не прошедших гидравлические испытания, запрещается.

6.3 На трубопроводах, заполненных рабочей жидкостью, применяют приборы взрывозащищенного исполнения, на которых нанесены четкие надписи и маркировка, подтверждающие безопасность их применения.

6.4 К средствам поверки и используемому при поверке оборудованию обеспечивают свободный доступ. При необходимости предусматривают лестницы и площадки, соответствующие требованиям безопасности.

6.5 Освещенность в СИКН (СИКНС, СИКНП) соответствует санитарным нормам согласно СНиП П-4-79.

6.6 Управление оборудованием и средствами поверки производят лица, прошедшие обучение и проверку знаний требований безопасности и допущенные к обслуживанию СИКН (СИКНС, СИКНП).

6.7 При появлении течи рабочей жидкости, загазованности и других ситуаций, нарушающих процесс поверки, поверка должна быть прекращена.

7 Условия поверки

7.1 При проведении поверки ПР соблюдают следующие условия:

7.1.1 Поверку проводят на месте эксплуатации в комплекте с элементами измерительных линий.

7.1.2 Отклонение объемного расхода рабочей жидкости от установленного значения в процессе поверки не должно превышать 2,5 %.

7.1.3 Изменение температуры рабочей жидкости в ПУ и в поверяемом ПР за время измерения не должно превышать 0,2 °С.

7.1.4 Температура, влажность окружающей среды и физико-химические показатели рабочей жидкости соответствуют условиям эксплуатации СИКН (СИКНС, СИКНП).

7.1.5 Диапазоны рабочего давления и объемного расхода определяются типоразмером поверяемого ПР, рабочим диапазоном объемного расхода средств поверки и технологическими требованиями.

7.1.6 Объемная доля воды в рабочей жидкости не должна превышать 5 %.

7.1.7 Содержание свободного газа не допускается.

7.1.8 Для обеспечения бескавитационной работы избыточное давление в трубопроводе после поверяемого ПР, $P_{\min}$, МПа, должно быть не менее вычисленного по формуле

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

где $P_{\text{НП}}$ – давление насыщенных паров, определенное в соответствии с ГОСТ 1756 при максимально возможной температуре рабочей жидкости, МПа;

ΔP – перепад давления на поверяемом ПР, указанный в технической документации, МПа.

7.2 Регулирование объемного расхода проводят при помощи регуляторов расхода, расположенных на выходе ПУ и (или) на измерительных линиях. Допускается вместо регуляторов расхода использовать запорную арматуру.

8 Подготовка к поверке

8.1 Проверяют наличие действующих свидетельств о поверке или знаков поверки на все средства поверки.

8.2 Проверяют правильность монтажа средств поверки и поверяемого ПР.

8.3 Подготавливают средства поверки согласно указаниям технической документации.

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

8.5 Проверяют отсутствие газа в измерительной линии с поверяемым ПР и ПУ, а также в верхних точках трубопроводов. Для этого устанавливают объемный расход рабочей жидкости в пределах диапазона измерений поверяемого ПР 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.

8.6 При рабочем давлении проверяют герметичность системы, состоящей из поверяемого ПР 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.

8.7 Проверяют герметичность задвижек, через которые возможны утечки рабочей жидкости, влияющие на результаты измерений при поверке.

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

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

8.10 Определяют плотность рабочей жидкости за время поверки с помощью поточного плотномера или в испытательной лаборатории по ГОСТ 3900 с учетом МИ 2153.

8.11 Определяют кинематическую вязкость рабочей жидкости за время поверки с помощью поточного вискозиметра или в испытательной лаборатории по ГОСТ 33.

9 Проведение поверки

9.1 Внешний осмотр

При внешнем осмотре устанавливают соответствие поверяемого ПР следующим требованиям:

- комплектность соответствует указанной в технической документации;
- отсутствуют механические повреждения и дефекты, препятствующие применению;
- надписи и обозначения на поверяемом ПР четкие и соответствуют требованиям технической документации.

9.2 Опробование

9.2.1 Опробование поверяемого ПР проводят совместно со средствами поверки.

9.2.2 Устанавливают объемный расход рабочей жидкости в пределах рабочего диапазона измерений расхода поверяемого ПР.

9.2.3 Наблюдают на дисплее ИВК значения следующих параметров:

- частоты выходного сигнала поверяемого ПР;
- объемного расхода рабочей жидкости;
- температуры и давления рабочей жидкости в поверяемом ПР;
- температуры и давления рабочей жидкости на входе и выходе ТПУ или температуры и давления рабочей жидкости в КП;
- температуры планки крепления детекторов или инварового стержня КП;
- кинематической вязкости рабочей жидкости;
- плотности, температуры и давления рабочей жидкости в ПП.

9.2.4 Запускают поршень ПУ. При срабатывании первого детектора наблюдают за началом отсчета импульсов выходного сигнала поверяемого ПР, при срабатывании второго детектора - за окончанием отсчета импульсов. Для двунаправленных ТПУ проводят те же операции при движении поршня в обратном направлении.

9.3 Определение метрологических характеристик

9.3.1 При поверке ПР определяют следующие МХ:

- коэффициенты преобразования или коэффициенты коррекции ПР в точках рабочего диапазона измерений объемного расхода;
- границы относительной погрешности рабочего ПР в рабочем диапазоне измерений объемного расхода;
- границы относительной погрешности контрольного ПР в точках рабочего диапазона измерений объемного расхода.

9.3.2 Определение МХ поверяемого ПР проводят не менее чем в трёх точках рабочего диапазона измерений объемного расхода. Значения объемного расхода (точки рабочего диапазона) рекомендуется выбирать с интервалом не более 20 % от максимального значения объемного расхода поверяемого ПР. В каждой точке рабочего диапазона измерений объемного расхода для рабочего ПР проводят не менее пяти измерений, для контрольного ПР проводят не менее семи измерений.

9.3.3 Последовательность выбора точек расхода может быть произвольной.

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

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

Объемный расход рабочей жидкости через поверяемый ПР вычисляют по формуле (7).

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

9.3.5 После стабилизации объемного расхода в соответствии с 7.1.2 и стабилизации температуры рабочей жидкости в соответствии с 7.1.3 проводят необходимое количество измерений.

Запускают поршень ПУ. При срабатывании первого детектора ИВК начинает отсчет импульсов выходного сигнала поверяемого ПР и времени, при срабатывании второго детектора – заканчивает.

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

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

- температуры рабочей жидкости на входе и выходе ТПУ или в КП;
- давления рабочей жидкости на входе и выходе ТПУ или в КП;

- температуры планки крепления детекторов или инварового стержня КП;
- температуры рабочей жидкости в поверяемом ПР;
- давления рабочей жидкости в поверяемом ПР;
- 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 измерения.

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

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

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

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

При использовании КП допускается за результат измерения считать среднее значение результатов измерений для нескольких проходов поршня (не более 20).

9.3.6 Результаты измерений заносят в протокол. Рекомендуемая форма протокола поверки рабочего ПР приведена в приложении А, контрольного ПР – в приложении Б. Допускается в таблицах протокола удалять ненужные и добавлять необходимые столбцы и строки.

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

Таблица 3 - Точность представления результатов измерений и вычислений

Параметр	Единица измерения	Количество цифр после запятой	Количество значащих цифр, не менее
Объем	м ³	-	6
Температура	°С	2	-
Давление	МПа	2	-
Плотность	кг/м ³	1	-
Кинематическая вязкость	мм ² /с	1	-

Параметр	Единица измерения	Количество цифр после запятой	Количество значащих цифр, не менее
Количество импульсов	имп	-	5
Интервал времени	с	2	-
Погрешность, СКО	%	3	-
Коэффициент преобразования	имп/м ³	-	5
Коэффициент коррекции		5	-
Коэффициент объемного расширения	1/°C	6	-

П р и м е ч а н и е – если количество цифр в целой части числа больше рекомендованного количества значащих цифр, то число округляют до целого.

10 Обработка результатов измерений

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

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

$$CTS_{ji} = \begin{cases} 1 + 3 \cdot \alpha_t \cdot (t_{ПУ\,ji} - 20) & \text{при поверке по ТПУ} \\ (1 + \alpha_{k1} \cdot (t_{ПУ\,ji} - 20)) \cdot (1 + \alpha_d \cdot (t_{dj} - 20)) & \text{при поверке по КП} \end{cases}, \quad (3)$$

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

$$t_{ПУ\,ji} = \frac{t_{ВхПУ\,ji} + t_{ВыхПУ\,ji}}{2} \quad (\text{для ТПУ}), \quad (5)$$

$$P_{ПУ\,ji} = \frac{P_{ВхПУ\,ji} + P_{ВыхПУ\,ji}}{2} \quad (\text{для ТПУ}), \quad (6)$$

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

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 из-

- мерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений объемного расхода (вычисляют по приложению В);
- $CPL_{пуji}$ – коэффициент, учитывающий влияние давления на объем рабочей жидкости, определенный для давления рабочей жидкости в ПУ для i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений объемного расхода (вычисляют по приложению В);
- $CTL_{прji}$ – коэффициент, учитывающий влияние температуры на объем рабочей жидкости, определенный для температуры рабочей жидкости в поверяемом ПР для i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений объемного расхода (вычисляют по приложению В);
- $CPL_{прji}$ – коэффициент, учитывающий влияние давления на объем рабочей жидкости, определенный для давления рабочей жидкости в поверяемом ПР для i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений объемного расхода (вычисляют по приложению В);
- α_t – коэффициент линейного расширения материала стенок калиброванного участка ТПУ (берут из технической документации на ТПУ или определяют по таблице Д.2 приложения Д), $1/^\circ\text{C}$;
- α_{k1} – квадратичный коэффициент расширения материала стенок калиброванного участка КП, (берут из технической документации на КП или определяют по таблице Д.2 приложения Д), $1/^\circ\text{C}$;
- α_d – коэффициент линейного расширения материала планки крепления детекторов КП или инварового стержня, (берут из технической документации на КП или определяют по таблице Д.2 приложения Д), $1/^\circ\text{C}$;
- $t_{дji}$ – температура планки крепления детекторов или инварового стержня за время i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений объемного расхода (при отсутствии датчика температуры принимают равной температуре окружающей среды), $^\circ\text{C}$;
- $t_{пуji}$ – температура рабочей жидкости в ПУ за время i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений объемного расхода, $^\circ\text{C}$;
- $t_{вхпуji}$, $t_{выхпуji}$ – температура рабочей жидкости на входе и выходе ТПУ за время i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений объемного расхода, $^\circ\text{C}$;
- $P_{пуji}$ – давление рабочей жидкости в ПУ за время i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений объемного расхода, МПа;
- $P_{вхпуji}$, $P_{выхпуji}$ – давление рабочей жидкости на входе и выходе ТПУ за время i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений объемного расхода, МПа;

D – внутренний диаметр калиброванного участка 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 Д.2 приложения Д), МПа.

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

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

$$Q_{ji} = \frac{V_{ji}}{T_{ji}} \cdot 3600, \quad (7)$$

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

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

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

$$Q_j = \frac{\sum_{i=1}^{n_j} Q_{ji}}{n_j}, \quad (8)$$

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

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

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

$$Q_{\min} = \min(Q_j), \quad (9)$$

$$Q_{\max} = \max(Q_j), \quad (10)$$

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

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

$$f_{ji} = \frac{N_{ji}}{T_{ji}}, \quad (11)$$

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

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

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

$$f_j = \frac{\sum_{i=1}^{n_j} f_{ji}}{n_j}, \quad (12)$$

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

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

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

$$K_{ji} = \frac{N_{ji}}{V_{ji}}, \quad (13)$$

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

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

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

$$K_j = \frac{\sum_{i=1}^{n_j} K_{ji}}{n_j}, \quad (14)$$

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

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

10.9 Коэффициент коррекции поверяемого ПР для i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений объемного расхода, MF_{ji} , вычисляют по формуле

$$MF_{ji} = \frac{V_{ji}}{N_{ji}} \cdot KF, \quad (15)$$

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

V_{ji} – объем рабочей жидкости, прошедшей через поверяемый ПР за время i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений объемного расхода, m^3 ;

KF – базовый коэффициент преобразования ПР (берут из технической документации на ПР), имп/ m^3 .

10.10 Коэффициент коррекции поверяемого ПР в j -ой точке рабочего диапазона измерений объемного расхода, MF_j , вычисляют по формуле

$$MF_j = \frac{\sum_{i=1}^{n_j} MF_{ji}}{n_j}, \quad (16)$$

где K_{ji} – коэффициент коррекции поверяемого ПР для i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений объемного расхода;

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

10.11 Среднее значение кинематической вязкости рабочей жидкости за время поверки, ν , mm^2/c вычисляют по формуле

$$\nu = \begin{cases} \frac{\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^{n_j} \nu_{ji}}{\sum_{j=1}^m n_j} & \text{при наличии ПВ} \\ \frac{\nu_H + \nu_K}{2} & \text{при отсутствии ПВ} \end{cases}, \quad (17)$$

где ν_{ji} – кинематическая вязкость рабочей жидкости для i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений объемного расхода, mm^2/c ;

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

m – количество точек расхода;

ν_H, ν_K – кинематическая вязкость рабочей жидкости, определенная в испытательной лаборатории в начале и в конце поверки, mm^2/c .

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

$$v_{\min} = v - \Delta v \quad (18)$$

$$v_{\max} = v + \Delta v \quad (19)$$

где v – среднее значение кинематической вязкости рабочей жидкости за время поверки, $\text{мм}^2/\text{с}$;

Δv – допускаемый предел изменения кинематической вязкости рабочей жидкости, установленный для данного типа ПР (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 $v_{\min} = 0$.

10.13 Оценка СКО результатов измерений

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

$$S_j = \begin{cases} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_j} (K_{ji} - K_j)^2}{n_j - 1}} \cdot \frac{1}{K_j} \cdot 100 & \text{при определении } K \\ \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_j} (MF_{ji} - MF_j)^2}{n_j - 1}} \cdot \frac{1}{MF_j} \cdot 100 & \text{при определении } MF \end{cases}, \quad (20)$$

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

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

MF_j – коэффициент коррекции поверяемого ПР в j -ой точке рабочего диапазона измерений объемного расхода;

MF_{ji} – коэффициент коррекции поверяемого ПР для i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений объемного расхода;

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

Проверяют выполнение следующего условия

$$S_j \leq 0,02 \% \quad (21)$$

При выполнении данного условия продолжают обработку результатов измерений.

При невыполнении данного условия выявляют наличие промахов в полученных результатах измерений, согласно приложению Г. Выявленный промах исключают и проводят

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

10.14 Границу неисключенной систематической погрешности поверяемого ПР, Θ_{Σ} , %, вычисляют по формулам

$$\Theta_{\Sigma} = \begin{cases} 1,1 \cdot \sqrt{\Theta_{\Sigma 0}^2 + \Theta_{V 0}^2 + \Theta_t^2 + \Theta_A^2 + \Theta_{ИВК}^2} & \text{для рабочего ПР} \\ 1,1 \cdot \sqrt{\Theta_{\Sigma 0}^2 + \Theta_{V 0}^2 + \Theta_t^2 + \Theta_{ИВК}^2} & \text{для контрольного ПР} \end{cases}, \quad (22)$$

$$\Theta_t = \beta_{\max} \cdot 100 \cdot \sqrt{\Delta t_{\text{ПУ}}^2 + \Delta t_{\text{ПР}}^2}, \quad (23)$$

$$\beta_{\max} = \max(\beta_{ji}), \quad (24)$$

$$\Theta_A = \begin{cases} \max \left(0,5 * \left| \frac{K_j - K_{j+1}}{K_j + K_{j+1}} \right| \cdot 100 \right) & \text{при определении } K \\ \max \left(0,5 * \left| \frac{MF_j - MF_{j+1}}{MF_j + MF_{j+1}} \right| \cdot 100 \right) & \text{при определении } MF \end{cases}, \quad (25)$$

$$\Theta_{ИВК} = \delta_{ИВК}, \quad (26)$$

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

$\Theta_{V 0}$ – граница неисключенной систематической погрешности определения среднего значения вместимости ПУ (берут из свидетельства или протокола поверки ПУ; для ТПУ 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 поверяемом ПР, %;

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

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

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

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

β_{ji} – коэффициент объемного расширения рабочей жидкости при температуре $t_{пуji}$ для i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений объемного расхода (вычисляют по приложению В или определяют по МИ 2153), $1/^\circ\text{C}$;

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

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

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

MF_j, MF_{j+1} – коэффициенты коррекции поверяемого ПР в j -ой и $(j+1)$ -ой точках рабочего диапазона измерений объемного расхода.

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

$$S_{0j} = \frac{S_j}{\sqrt{n_j}}, \quad (27)$$

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.

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

$$\epsilon = \max(\epsilon_j), \quad (28)$$

$$\epsilon_j = t_{0,95j} \cdot S_{0j}, \quad (29)$$

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

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

10.17 СКО среднего значения результатов измерений в рабочем диапазоне измерений объемного расхода S_0 принимают равным значению СКО среднего значения результатов из-

мерений S_{0j} в точке рабочего диапазона измерений объемного расхода с максимальным значением границы случайной погрешности ε_j .

10.18 Границу относительной погрешности поверяемого рабочего ПР в рабочем диапазоне измерений объемного расхода δ , %, определяют по формулам

$$\delta = \begin{cases} \varepsilon & \text{если} \quad \frac{\Theta_{\Sigma}}{S_0} < 0,8 \\ t_{\Sigma} \cdot S_{\Sigma} & \text{если} \quad 0,8 \leq \frac{\Theta_{\Sigma}}{S_0} \leq 8 \\ \Theta_{\Sigma} & \text{если} \quad \frac{\Theta_{\Sigma}}{S_0} > 8 \end{cases} \quad (30)$$

$$t_{\Sigma} = \frac{\varepsilon + \Theta_{\Sigma}}{S_0 + S_{\Theta}}, \quad (31)$$

$$S_{\Sigma} = \sqrt{S_{\Theta}^2 + S_0^2}, \quad (32)$$

$$S_{\Theta} = \sqrt{\frac{\Theta_{\Sigma 0}^2 + \Theta_{V 0}^2 + \Theta_t^2 + \Theta_A^2 + \Theta_{\text{ИВК}}^2}{3}}, \quad (33)$$

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

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

t_{Σ} – коэффициент, зависящий от соотношения случайной и неисключенной систематической погрешностей;

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

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

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

10.19 Границу относительной погрешности поверяемого контрольного ПР в j -ой точке рабочего диапазона измерений объемного расхода, δ_j , %, определяют по формулам

$$\delta_j = \begin{cases} \varepsilon_j & \text{если} \quad \frac{\Theta_{\Sigma}}{S_{0j}} < 0,8 \\ t_{\Sigma j} \cdot S_{\Sigma j} & \text{если} \quad 0,8 \leq \frac{\Theta_{\Sigma}}{S_{0j}} \leq 8 \\ \Theta_{\Sigma} & \text{если} \quad \frac{\Theta_{\Sigma}}{S_{0j}} > 8 \end{cases} \quad (34)$$

$$t_{\Sigma j} = \frac{\varepsilon_j + \Theta_{\Sigma}}{S_{0j} + S_{\Theta}}, \quad (35)$$

$$S_{\Sigma j} = \sqrt{S_{\Theta}^2 + S_{0j}^2}, \quad (36)$$

$$S_{\Theta} = \sqrt{\frac{\Theta_{\Sigma 0}^2 + \Theta_{V 0}^2 + \Theta_t^2 + \Theta_{\text{ИБК}}^2}{3}}, \quad (37)$$

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

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

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

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

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

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

10.20 Оценивание границы относительной погрешности

ПР допускается к применению в качестве рабочего при выполнении условия

$$\delta \leq 0,15\% \quad (38)$$

в качестве контрольного при выполнении условия

$$\delta_j \leq 0,10\% \quad (39)$$

Если данное условие не выполняется, то рекомендуется:

- увеличить количество точек в рабочем диапазоне измерений объемного расхода;
- увеличить количество измерений в точках рабочего диапазона измерений объемного расхода;
- увеличить количество проходов поршня за одно измерение (при поверке по КП);
- уменьшить рабочий диапазон измерений объемного расхода.

При повторном невыполнении данных условий поверку прекращают.

11 Оформление результатов поверки

11.1 Результаты поверки рабочего ПР оформляют протоколом в двух экземплярах по форме, приведенной в приложении А, для контрольного ПР – в приложении Б. Для контрольно-резервного ПР оформляют оба протокола.

При оформлении протоколов средствами вычислительной техники и вручную допускается формы протоколов представлять в измененном виде.

11.2 При положительных результатах поверки ПР оформляют свидетельство о поверке в соответствии с требованиями правил по метрологии ПР 50.2.006 «ГСИ. Поверка средств измерений. Организация и порядок проведения». В свидетельстве указывают, что ПР признан годным и допущен к применению с пределами допускаемой относительной погрешности $\pm 0,15$ % в качестве рабочего или с пределами допускаемой относительной погрешности $\pm 0,10$ % в качестве контрольного.

Для расширения рабочего диапазона вязкости рабочей жидкости допускается использовать семейство градуировочных характеристик, определенных в межповерочный интервал при нескольких значениях вязкости. В этом случае свидетельства оформляют для каждого диапазона вязкости со сроком действия, соответствующим межповерочному интервалу.

Протокол поверки является обязательным приложением к свидетельству о поверке.

11.3 Проводят пломбирование ПР в соответствии с МИ 3002.

11.4 При отрицательных результатах поверки ПР к эксплуатации не допускают, действующее свидетельство о предыдущей поверке аннулируют и оформляют извещение о непригодности в соответствии с ПР 50.2.006.

Приложение А
Форма протокола поверки рабочего ПР

ПРОТОКОЛ № ____

поверки ПР с помощью ПУ по МИ ... -2010

Место проведения поверки: _____

ПР : Тип _____ Зав. № _____ Линия № _____

ПУ: Тип _____ Зав. № _____

ИВК: Тип _____ Зав. № _____

Рабочая жидкость _____ Вязкость, мм²/с, _____

Таблица 1- Исходные данные

Детекто- ры	V ₀ , м ³	D, мм	S, мм	E, МПа	α _t , 1/°C	α _{k1} , 1/°C	α _d , 1/°C	Θ _{Σ0} , %
1	2	3	4	5	6	7	8	9

Окончание таблицы 1

Θ _{V0} , %	Δt _{ПУ} , °C	Δt _{ПР} , °C	δ _{ИВК} , %	Δv, мм ² /с	КФ, имп/м ³
10	11	12	13	14	15

Таблица 2 - Результаты измерений и вычислений

№ точ / № изм	Q _{ji} , м ³ /ч	Детекто- ры	T _{ji} , с	t _{ПУji} , °C	P _{ПУji} , МПа	t _{дji} , °C	ρ _{ППji} , кг/м ³	t _{ППji} , °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 _{ППji} , МПа	β _{ji} , 1/°C	v _{ji} , мм ² /с	t _{ПРji} , °C	P _{ПРji} , МПа	f _{ji} , Гц	N _{ji} , имп	K _{ji} (MF _{ji}), имп/м ³
1	10	11	12	13	14	15	16	17
1/1								
...		...	...	...	...	...	...	...
1/n ₁								

...		...	...	...	...	...	...	...
m/l								
...		...	...	...	...	...	...	...
m/n _m								

Таблица 3 - Результаты поверки в точках рабочего диапазона

№ точ.	Q _j , м ³ /ч	f _j , Гц	K _j (MF _j), имп/м ³	S _j , %	n _j	S _{0j} , %	t _{0.95j}	ε _j , %
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1								
...	...	...	...	...	...	...	...	...
m								

Таблица 4 - Результаты поверки в рабочем диапазоне

Q _{min} , м ³ /ч	Q _{max} , м ³ /ч	V _{min} , мм ² /с	V _{max} , мм ² /с	S ₀ , %	ε, %	Θ _A , %	Θ _t , %	Θ _Σ , %	δ, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Заключение: ПР к дальнейшей эксплуатации _____
(годен, не годен)

Подпись лица, проводившего поверку _____ / _____
подпись И. О. Фамилия

Дата проведения поверки «____» _____ 20____ г.

Примечания

- 1 Столбец 6 таблицы 1 заполняют только при поверке ПР по ТПУ.
- 2 Столбец 15 таблицы 1 заполняют только при определении коэффициента коррекции.
- 3 Столбцы 7, 8 таблицы 1 и столбец 7 таблицы 2 заполняют только при поверке ПР по КП.
- 4 При отсутствии ПВ столбец 12 таблицы 2 не заполняют.
- 5 При определении коэффициента преобразования в столбец 17 таблицы 2, в столбец 4 таблицы 3 заносят значения коэффициента преобразования, при определении коэффициента коррекции - значения коэффициента коррекции, в шапки таблиц заносят соответствующие названия столбцов.

Приложение Б
Форма протокола поверки контрольного ПР

ПРОТОКОЛ № ____

поверки контрольного ПР с помощью ПУ по МИ ... -2010

Место проведения поверки: _____

ПР : Тип _____ Зав. № _____ Линия № _____

ПУ: Тип _____ Зав. № _____

ИВК: Тип _____ Зав. № _____

Рабочая жидкость _____ Вязкость, мм²/с, _____

Таблица 1- Исходные данные

Детекто- ры	V ₀ , м ³	D, мм	S, мм	E, МПа	α _t , 1/°C	α _{k1} , 1/°C	α _d , 1/°C	Θ _{Σ0} , %
1	2	3	4	5	6	7	8	9

Окончание таблицы 1

Θ _{V0} , %	Δt _{ПУ} , °C	Δt _{ПР} , °C	δ _{ИВК} , %	Δv, мм ² /с	КФ, имп/м ³
10	11	12	13	14	15

Таблица 2 - Результаты измерений и вычислений

№ точ / № изм	Q _{ji} , м ³ /ч	Детекто- ры	T _{ji} , с	t _{ПУji} , °C	P _{ПУji} , МПа	t _{дji} , °C	ρ _{ППji} , кг/м ³	t _{ППji} , °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 _{ППji} , МПа	β _{ji} , 1/°C	v _{ji} , мм ² /с	t _{ПРji} , °C	P _{ПРji} , МПа	f _{ji} , Гц	N _{ji} , имп	K _{ji} (MF _{ji}), имп/м ³
1	10	11	12	13	14	15	16	17
1/1								
...		...	...	...	...	...	...	...
1/n ₁								

...		...	...	...	...	...	...	...
m/l								
...		...	...	...	...	...	...	...
m/n _m								

Таблица 3 - Результаты поверки в точках рабочего диапазона

№ точ.	Q _j , м ³ /ч	f _j , Гц	K _j (MF _j), имп/м ³	v _{min} , мм ² /с	v _{max} , мм ² /с	S _j , %	n _j	S _{0j} , %
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1								
...	...	...	...			...	...	...
m								

Окончание таблицы 3

№ точ.	t _{0.95j}	ε _j , %	Θ _t , %	Θ _Σ , %	δ _j , %
1	10	11	12	13	14
1					
...	...	...			...
m					

Заключение: ПР к дальнейшей эксплуатации _____
(годен, не годен)

Подпись лица, проводившего поверку _____ / _____
подпись И. О. Фамилия

Дата проведения поверки «___» _____ 20___ г.

П р и м е ч а н и я

- 1 Столбец 6 таблицы 1 заполняют только при поверке ПР по ТПУ.
- 2 Столбец 15 таблицы 1 заполняют только при определении коэффициента коррекции.
- 3 Столбцы 7, 8 таблицы 1 и столбец 7 таблицы 2 заполняют только при поверке ПР по КП.
- 4 При отсутствии ПВ столбец 12 таблицы 2 не заполняют.
- 5 При определении коэффициента преобразования в столбец 17 таблицы 2, в столбец 4 таблицы 3 заносят значения коэффициента преобразования, при определении коэффициента коррекции - значения коэффициента коррекции, в шапки таблиц заносят соответствующие названия столбцов.

Приложение В

Определение коэффициентов CTL, CPL и β

В.1 Определение коэффициента CTL

Значение коэффициента CTL, учитывающего влияние температуры на объем рабочей жидкости для диапазона плотности рабочей жидкости (при $t = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $P = 0\text{ МПа}$) от 611 до 1164 кг/м³ определяют по формулам

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

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

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

где ρ_{15} – значение плотности рабочей жидкости при $t = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $P = 0\text{ МПа}$, кг/м³;

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

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

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

Таблица В.1 - Значения коэффициентов K_0 и K_1 в зависимости от типа рабочей жидкости

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

П р и м е ч а н и е – Для нефтепродуктов коэффициенты K_0, K_1 выбираются не по названию типа рабочей жидкости, а в зависимости от значения ρ_{15} .

В.2 Определение коэффициента CPL

Значение коэффициента CPL, учитывающего влияние давления на объем рабочей жидкости для диапазона плотности рабочей жидкости (при $t = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $P = 0\text{ МПа}$) от 611 до 1164 кг/м³ определяют по формулам

$$CPL = \frac{1}{1 - b \cdot P \cdot 10^6}, \quad (B.4)$$

$$b = 10^{-4} \cdot \exp\left(-1.62080 + 0.00021592 \cdot t + \frac{0.87096 \cdot 10^6}{\rho_{15}^2} + \frac{4.2092 \cdot 10^3 \cdot t}{\rho_{15}^2}\right), \quad (B.5)$$

где ρ_{15} – значение плотности рабочей жидкости при $t = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $P = 0\text{ МПа}$, кг/м³;

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

P – значение избыточного давления рабочей жидкости, МПа;

10 – коэффициент перевода единиц измерения давления МПа в бар.

В.3 Определение коэффициента β

Значение коэффициента объемного расширения рабочей жидкости, β , $1/^\circ\text{C}$:

$$\beta = \alpha_{15} + 1.6 \cdot \alpha_{15}^2 \cdot (t - 15), \quad (\text{B.6})$$

где α_{15} – значение коэффициента объемного расширения рабочей жидкости при 15°C , $1/^\circ\text{C}$;

t – значение температуры рабочей жидкости, при которой определяется коэффициент объемного расширения рабочей жидкости, $^\circ\text{C}$.

В.4 Определение плотности ρ_{15}

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

$$\rho_{15} = \frac{\rho_{\text{ПП}}}{\text{CTL}_{\text{ПП}} \cdot \text{CPL}_{\text{ПП}}}, \quad (\text{B.7})$$

где $\rho_{\text{ПП}}$ – значение плотности рабочей жидкости в ПП, кг/м^3 ;

$\text{CTL}_{\text{ПП}}$ – коэффициент, учитывающий влияние температуры на объем рабочей жидкости, определенный для $t_{\text{ПП}}$ и ρ_{15} ;

$\text{CPL}_{\text{ПП}}$ – коэффициент, учитывающий влияние давления на объем рабочей жидкости, определенный для $t_{\text{ПП}}$, $P_{\text{ПП}}$ и ρ_{15} .

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

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

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

$$\rho_{15(1)} = \frac{\rho_{\text{ПП}}}{\text{CTL}_{\text{ПП}(1)} \cdot \text{CPL}_{\text{ПП}(1)}} \quad (\text{B.8})$$

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

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

$$\rho_{15(2)} = \frac{\rho_{\text{ПП}}}{\text{CTL}_{\text{ПП}(2)} \cdot \text{CPL}_{\text{ПП}(2)}} \quad (\text{B.9})$$

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

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

где $\rho_{15(i)}$, $\rho_{15(i-1)}$ – значения ρ_{15} , определенные, соответственно, за последний и предпоследний цикл вычислений, кг/м^3 .

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

Приложение Г

Методика анализа результатов измерений на наличие промахов

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

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

$$S_{Kj} = \begin{cases} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_j} (K_{ji} - K_j)^2}{n_j - 1}} & \text{при определении } K \\ \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_j} (MF_{ji} - MF_j)^2}{n_j - 1}} & \text{при определении } MF \end{cases}, \quad (\text{Г.1})$$

где K_j – значение коэффициента преобразования в j -ой точке рабочего диапазона измерений объемного расхода, имп/м^3 ;

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

MF_j – значение коэффициента коррекции в j -ой точке рабочего диапазона измерений объемного расхода;

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

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

П р и м е ч а н и е – При $S_{Kj} < 0,001$ принимают $S_{Kj} = 0,001$.

Наиболее выделяющееся соотношение U :

$$U = \begin{cases} \max \left(\left| \frac{K_{ji} - K_j}{S_{Kj}} \right| \right) & \text{при определении } K \\ \max \left(\left| \frac{MF_{ji} - MF_j}{S_{Kj}} \right| \right) & \text{при определении } MF \end{cases}, \quad (\text{Г.2})$$

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

Таблица Г.1 - Критические значения для критерия Граббса

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

Приложение Д

Справочные материалы

Д.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 Д.1.

Таблица Д.1

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

Д.2 Коэффициенты расширения и модули упругости

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

Таблица Д.2

Материал	$\alpha_t, 1/^\circ\text{C}$	$\alpha_{kl}, 1/^\circ\text{C}$	$\alpha_d, 1/^\circ\text{C}$	E, МПа
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	$1,08 \times 10^{-5}$	$2,16 \times 10^{-5}$	$1,08 \times 10^{-5}$	$1,97 \times 10^5$
Инвар	-	-	$1,44 \times 10^{-6}$	-

УТВЕРЖДАЮ

Первый заместитель директора

по научной работе – заместитель директора по
качеству ФГУП ВНИИР

В.А. Фафурин

2015 г.

срок введения « 10 » 12 2015 г.

МИ 3287-2010 Рекомендация. ГСИ.
Преобразователи объемного расхода. Методика
поверки.

Изменение № 1

Раздел 2

Удалить ссылки на следующие документы:

РМГ 29-99 ГСИ. Метрология. Основные термины и определения

ПР 50.2.006-94 ГСИ. Порядок проведения поверки средств измерений

МИ 2632-2001 ГСИ. Плотность нефти, нефтепродуктов и коэффициенты объемного
расширения и сжимаемости. Методы и программы расчета

Дополнить ссылками на следующие документы:

РМГ 29-2013 ГСИ. Метрология. Основные термины и определения

Приказ Министерства промышленности и торговли РФ №1815 от 02.07.2015 Об
утверждении порядка проведения поверки средств измерений, требования к знаку поверки
и содержанию свидетельства о поверке

Р 50.2.076-2010 ГСИ. Плотность нефти и нефтепродуктов. Методы расчета.
Программа и таблицы приведения

Дополнить Примечанием в следующей редакции:

*«Примечание – При пользовании настоящей рекомендацией следует в
установленном порядке проверить действие нормативных документов, перечисленных в
Разделе 2. Если нормативный документ заменен или частично изменен, то следует
руководствоваться положениями заменяющего или частично заменяющего документа.
Если нормативный документ отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка
на него, применяют в части, не затрагивающей эту ссылку».*

Раздел 8

Пункт 8.10

В пункте 8.10 и далее по тексту документ МИ 2153 заменить на Рекомендации по метрологии Р 50.2.076.

Раздел 9

Пункт 9.2.3

Шестое перечисление дополнить словами «(при наличии ПВ)»;

Пункт 9.3.5

В четвертом абзаце девятое перечисление дополнить словами «(при наличии ПВ)»;

Пункт 9.3.5 после четвертого абзаца дополнить абзацем в следующей редакции:

«Перечень параметров допускается изменять в зависимости от алгоритмов, реализованных в ИВК».

Раздел 10

Пункт 10.1

Формулу (4) изложить в редакции:

$$CPS_{ji} = \begin{cases} 1 + 0,95 \cdot \frac{P_{пу\,ji} \cdot D}{E \cdot S} & \text{вариант 1} \\ 1 + \frac{P_{пу\,ji} \cdot D}{E \cdot S} & \text{вариант 2} \end{cases}, \quad (4);$$

Пояснение символа CPS_{ji} изложить в редакции: « CPS_{ji} – коэффициент, учитывающий влияние давления на вместимость ПУ, для i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений объемного расхода (вариант вычислений выбирают в соответствии с методикой, по которой проведена поверка ПУ)»;

Пункт 10.12

Первый абзац пункта 10.12 изложить в редакции: «Нижний и верхний пределы рабочего диапазона кинематической вязкости рабочей жидкости v_{min} , v_{max} , мм²/с, определяют по описанию типа или по техническим и нормативным документам, или вычисляют по формулам».

Пункт 10.13

Условие (21) изложить в редакции:

$$S_j \leq S_{доп} \quad (21)$$

где $S_{доп}$ – предельно допускаемое значение СКО, принимают:

- 0,05 % – для ультразвуковых ПР;
- 0,02 % – для ПР других принципов измерений, если иное не указано в описании типа ПР.

Пункт 10.20

Пункт 10.20 изложить в редакции:

«ПР допускается к применению в качестве рабочего при выполнении условия

$$\delta \leq \delta_{\text{доп}} \quad (38)$$

где δ – граница относительной погрешности поверяемого рабочего ПР в рабочем диапазоне измерений объемного расхода, %;

$\delta_{\text{доп}}$ – предел допускаемой относительной погрешности в рабочем диапазоне измерений объемного расхода, в качестве которого принимают:

- для ультразвукового ПР значение, указанное в описании типа или определенное назначением и областью применения, %;
- 0,15 % для остальных ПР.

ПР допускается к применению в качестве контрольного при выполнении условия

$$\delta_j \leq 0,10\% \quad (39)$$

где δ_j – граница относительной погрешности поверяемого контрольного ПР в j-ой точке рабочего диапазона измерений объемного расхода, %.

Если данные требования не выполняются, то рекомендуется:

- увеличить количество точек в рабочем диапазоне измерений объемного расхода;
- увеличить количество измерений в точках рабочего диапазона измерений объемного расхода;
- увеличить количество проходов поршня за одно измерение (при поверке по КП);
- уменьшить рабочий диапазон измерений объемного расхода.

При повторном невыполнении данных требований поверку прекращают».

Раздел 11

Ссылку на правила по метрологии «ПР 50.2.006-94 ГСИ. Порядок проведения поверки средств измерений» заменить ссылкой на «Приказ Министерства промышленности и торговли РФ №1815 от 02.07.2015».

Приложение А, Приложение Б

Примечания

Дополнить пунктом 6 и изложить в редакции: «6 Столбец 14 Таблицы 1 заполняют при наличии значения Δv ».

Приложение В

В формуле (В.7) пояснение символа $\rho_{\text{ПП}}$ изложить в редакции:

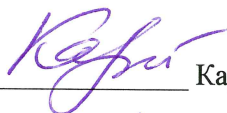
« $\rho_{\text{ПП}}$ – значение плотности рабочей жидкости в ПП или значение плотности, определенное при условиях, отличных от условий в ПП, кг/м^3 »;

Дополнить пояснения символов $t_{\text{ПП}}$, $P_{\text{ПП}}$:

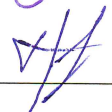
« $t_{\text{ПП}}$ – значение температуры, при которой определяют плотность рабочей жидкости $\rho_{\text{ПП}}$, $^{\circ}\text{C}$;

$P_{\text{ПП}}$ – значение давления, при котором определяют плотность рабочей жидкости $\rho_{\text{ПП}}$, МПа».

Главный метролог
филиала "ИМС Индастриз–Уфа"
ООО "ИМС Индастриз"

 Каррамов И. Р.

Начальник НИО–14 ФГУП "ВНИИР"

 Груздев Р. Н.

УТВЕРЖДАЮ

Первый заместитель директора
по научной работе ФГУП «ВНИИР»

В. А. Фафурин

«01» апреля 2016 г.

со сроком введения «01» апреля 2016 г.

МИ 3287-2010 Рекомендация. ГСИ.

Преобразователи объемного расхода.

Методика поверки.

Изменение № 2

Раздел 10

Пункт 10.1

Формулу (3) изложить в редакции:

$$CTS_{ji} = \begin{cases} 1 + 3 \cdot \alpha_t \cdot (t_{пу\,ji} - t_0) & \text{при поверке по ТПУ} \\ \left(1 + \alpha_{kl} \cdot (t_{пу\,ji} - t_0)\right) \cdot \left(1 + \alpha_d \cdot (t_{д\,ji} - t_0)\right) & \text{при поверке по КП} \end{cases}, \quad (3);$$

Пояснение символа V_0 изложить в редакции: « V_0 – вместимость калиброванного участка ПУ при стандартных условиях ($t_0 = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ или $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $P = 0\text{ МПа}$)».

Главный метролог
филиала «ИМС Индастриз - Уфа»
ООО «ИМС Индастриз»



Каррамов И. Р.

Начальник НИО -14 ФГУП «ВНИИР»



Груздев Р. Н.