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

по науке и инновациям

ФГУП «ВНИИМ им. Д.И.Менделеева»

_____ В.С. Александров

«16» ноября 2009 г.

РЕКОМЕНДАЦИЯ

Государственная система обеспечения единства измерений

Преобразователи объемного расхода

Методика поверки с помощью эталонного преобразователя объемного расхода

МИ 3267-2010

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.

Издана с изменением №1

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 5
9.1 Внешний осмотр 5
9.2 Опробование 6
9.3 Определение метрологических характеристик 6
10 Обработка результатов измерений 8
11 Оформление результатов поверки 14
Приложение А Форма протокола поверки ПР 16
Приложение Б Определение коэффициентов CTL, CPL и β 18
Б.1 Определение коэффициента CTL 18
Б.2 Определение коэффициента CPL 18
Б.3 Определение коэффициента β 19
Б.4 Определение плотности ρ_{15} 19
Приложение В Методика анализа результатов измерений на наличие промахов 21
Приложение Г Справочные материалы 22
Г.1 Квантиль распределения Стьюдента 22

РЕКОМЕНДАЦИЯ

ГОСУДАРСТВЕННАЯ СИСТЕМА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЕДИНСТВА ИЗМЕРЕНИЙ Преобразователи объемного расхода. Методика поверки с помощью эталонного преобразователя объемного расхода	МИ 3267-2010

1 Область применения

Настоящая рекомендация распространяется на преобразователи объемного расхода, используемые в составе систем измерений количества и показателей качества нефти и нефтепродуктов и устанавливает методику первичной и периодической поверок в условиях эксплуатации при помощи преобразователя объемного расхода эталонного.

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;

МХ – метрологические характеристики;

ПВ – поточный вискозиметр;

ПП – преобразователь плотности;

ПР – преобразователь объемного расхода;

Рабочая жидкость – нефть или нефтепродукты;

СИ – средства измерений;

СИКН – система измерений количества и показателей качества нефти;

СИКНП – система измерений количества нефтепродуктов;

СКО – среднеквадратическое отклонение;

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
ЭПР 2-го разряда	Пределы допускаемой относительной погрешности в рабочем диапазоне измерений объемного расхода ± 0,10 %.
Преобразователи избыточного давления с унифицированным выходным сигналом	Пределы допускаемой приведенной погрешности ± 0,5 %
Термопреобразователи сопротивления с унифицированным выходным сигналом	Пределы допускаемой абсолютной погрешности ± 0,2 °С
Манометры	Пределы допускаемой приведенной погрешности ± 0,6 %
Термометры ртутные стеклянные	Пределы допускаемой абсолютной погрешности ± 0,2 °С

Средства поверки	Метрологические характеристики
ИВК	Пределы допускаемой относительной погрешности преобразования входных электрических сигналов в значение коэффициента преобразования ± 0,025 %
ПП	Пределы допускаемой абсолютной погрешности ± 0,30 кг/м^3
ПВ	Пределы допускаемой приведенной погрешности ± 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 «Транснефтепродукт»;

– 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. 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 (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 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 поверяемом ПР и 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 допускаемых пределах для поверяемого ПР и ЭПР.

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

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

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

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

ΔP – перепад давления на поверяемом ПР, 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 с поверяемым ПР или на выходе измерительной

ной линии с ЭПР. 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 измерительных линиях с поверяемым ПР и ЭПР, 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 измерительных линиях с поверяемым ПР и ЭПР. 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 ЭПР. 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 стабильность температуры рабочей жидкости. Температуру рабочей жидкости считают стабильной, если ее изменение в ЭПР и в поверяемом ПР не превышает 0,2 °С за время измерения.

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

8.10 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 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 объемного расхода поверяемого ПР.

9.2.3 Наблюдают на дисплее ИВК значения следующих параметров:

– частоты выходного сигнала поверяемого ПР и ЭПР;

– объемного расхода рабочей жидкости;

– температуры и давления рабочей жидкости в поверяемом ПР и ЭПР;

– вязкости рабочей жидкости;

– плотности, температуры и давления рабочей жидкости в ПП.

9.2.4 Начинают измерение. Наблюдают за началом отсчета импульсов выходных сигналов ЭПР и поверяемого ПР и окончанием отсчета импульсов при достижении заданного количества импульсов выходного сигнала ЭПР или истечении заданного времени измерения.

9.3 Определение метрологических характеристик

9.3.1 При поверке ПР определяют следующие МХ:

– коэффициенты преобразования и частоту выходного сигнала ПР в точках рабочего диапазона измерений объемного расхода;

– границы относительной погрешности ПР в рабочем диапазоне 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) выбирают с интервалом не более 20 % от максимального значения объемного расхода поверяемого ПР. В каждой точке рабочего диапазона измерений объемного расхода проводят не менее пяти 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 ЭПР.

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.

9.3.6 Начинают измерение. ИВК одновременно начинает отсчет импульсов выходных сигналов ЭПР и поверяемого ПР. При достижении заданного количества импульсов выходного сигнала ЭПР или истечении заданного времени измерения ИВК одновременно заканчивает отсчет импульсов выходных сигналов ЭПР и поверяемого ПР.

Если количество импульсов выходного сигнала ЭПР или поверяемого ПР за время измерения меньше 10000, то ИВК должен определять количество импульсов с долями.

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

- температуры рабочей жидкости в поверяемом ПР;
- давления рабочей жидкости в поверяемом ПР;
- температуры рабочей жидкости в ЭПР;
- давления рабочей жидкости в 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 измерения.

9.3.7 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

Параметр	Единица измерения	Количество цифр после запятой	Количество значащих цифр, не менее
Коэффициент объемного расширения	1/°С	6	

Примечание – 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}, $м^3$, вычисляют по формуле

$$V_{ji} = \frac{N_{ЭПРji}}{K_{ЭПРji}} \cdot \frac{CTL_{ЭПРji} \cdot CPL_{ЭПРji}}{CTL_{ПРji} \cdot CPL_{ПРji}}, \quad (2)$$

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

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

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

$CTL_{ПРji}$ – коэффициент, учитывающий влияние температуры на объем 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 Б);

$CPL_{ПРji}$ – 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 Б).

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}, $м^3/ч$, вычисляют по формуле

$$Q_{ji} = \frac{V_{ji}}{T_{ji}} \cdot 3600, \quad (3)$$

где V_{ji} – объем рабочей жидкости, прошедшей через поверяемый ПР 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 ПР в j-ой точке рабочего диапазона измерений объемного расхода, Q_j, $м^3/ч$, вычисляют по формуле

$$Q_j = \frac{\sum_{i=1}^{n_j} Q_{ji}}{n_j}, \quad (4)$$

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

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

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

$$f_{ji} = \frac{N_{ji}}{T_{ji}}, \quad (5)$$

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.

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

$$f_j = \frac{\sum_{i=1}^{n_j} f_{ji}}{n_j}, \quad (6)$$

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.

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

$$K_{ji} = \frac{N_{ji}}{V_{ji}}, \quad (7)$$

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, м^3.

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

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

где K_{ji} – коэффициент преобразования поверяемого ПР 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 Среднее значение кинематической вязкости рабочей жидкости за время поверки, ν, мм^2/с вычисляют по формуле

$$\nu = \begin{cases} \dfrac{\sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n_j} \nu_{ji}}{\sum_{j=1}^{m} n_j} & \text{при наличии ПВ} \\ \dfrac{\nu_H + \nu_K}{2} & \text{при отсутствии ПВ} \end{cases}, \quad (9)$$

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

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, мм^2/с.

10.9 Нижний и верхний предел рабочего диапазона кинематической вязкости рабочей жидкости ν_{min}, ν_{max}, мм^2/с вычисляют по формулам

$$\nu_{min} = \nu - \Delta\nu \quad (10)$$

$$\nu_{max} = \nu + \Delta\nu \quad (11)$$

где ν – среднее значение кинематической вязкости рабочей жидкости за время поверки, мм^2/с;

$\Delta\nu$ – допускаемый предел изменения кинематической вязкости рабочей жидкости, установленный для данного типа ПР (берут из описания типа или технической и нормативной документации), мм^2/с.

Примечание - При $\nu_{min} < 0$ принимают $\nu_{min} = 0$.

10.10 Если в течение межповерочного интервала значение вязкости рабочей жидкости выходит за пределы рабочего диапазона, указанного в протоколе поверки ПР, то проводят внеочередную поверку без аннулирования действующего свидетельства о поверке ПР.

10.11 Оценка СКО результатов измерений

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

$$S_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_j}\left(K_{ji} - K_j\right)^2}{n_j - 1}} \cdot \frac{1}{K_j} \cdot 100, \quad (12)$$

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

K_{ji} – коэффициент преобразования поверяемого ПР 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

$$S_j \le 0{,}02\,\% \quad (13)$$

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.

10.12 Границу неисключенной систематической погрешности поверяемого ПР в рабочем диапазоне измерений объемного расхода, Θ_Σ, %, вычисляют по формулам

$$\Theta_\Sigma = 1{,}1 \cdot \sqrt{\Theta_{ЭПР}^{\ 2} + \Theta_t^{\ 2} + \Theta_A^{\ 2} + \Theta_{ИВК}^{\ 2}}, \quad (14)$$

$$\Theta_{ЭПР} = \delta_{ЭПР}, \quad (15)$$

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

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

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

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

где $\Theta_{ЭПР}$ – граница суммарной неисключенной систематической погрешности, обусловленной погрешностью ЭПР, %;

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

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

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

$\delta_{ЭПР}$ – граница относительной погрешности ЭПР в рабочем диапазоне измерений объемного расхода (берут из свидетельства или протокола поверки ЭПР), %;

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

β_{max} – максимальное значение коэффициента объемного расширения рабочей жидкости за время поверки, 1/°С;

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

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

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

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

10.13 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.

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

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

$$\varepsilon_j = t_{0,95j} \cdot S_{0j}, \quad (22)$$

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 Г.1 приложения Г).

10.15 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.

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

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

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

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

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

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

Θ_Σ – граница неисключенной систематической погрешности поверяемого ПР 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, %.

10.17 Оценивание границы относительной погрешности

ПР допускается к применению при выполнении условия

$$\delta \le 0{,}15\% \quad (27)$$

Если данное условие не выполняются, то рекомендуется:

– увеличить количество точек в рабочем диапазоне измерений объемного расхода;

– увеличить количество измерений в точках рабочего диапазона измерений объемного расхода;

– увеличить время измерения.

При повторном невыполнении данных условий поверку прекращают.

10.8-10.17 (Измененная редакция, Изм. №1)

11 Оформление результатов поверки

11.1 Результаты поверки ПР 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 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 пригодным к применению с пределами допускаемой относительной погрешности ± 0,15 %.

Для расширения рабочего диапазона вязкости рабочей жидкости допускается использовать градуировочные характеристики ПР, приведенные в протоколах поверки, прилагаемых к действующим свидетельствам о поверке ПР по пункту 10.10.

(Измененная редакция, Изм. №1)

11.3 Протокол поверки является обязательным приложением к свидетельству о поверке.

11.4 Проводят пломбирование ПР в соответствии с МИ 3002.

11.5 При отрицательных результатах поверки ПР 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 ПР

П Р О Т О К О Л №____

поверки ПР с помощью ЭПР по МИ 3267-2010

Место проведения поверки: _____

ПР: Тип _____ Зав. № _____ Линия № _____

ЭПР : Тип _____ Зав. № _____

ИВК: Тип _____ Зав. № _____

Рабочая жидкость _____ Вязкость, мм^2/с, _____

Таблица 1- Исходные данные

$\delta_{ЭПР}$, %	$\Delta t_{ЭПР}$, °С	$\Delta t_{ПР}$, °С	$\delta_{ИВК}$, %	$\Delta\nu$, мм^2/с
1	2	3	4	5

Таблица 2 - Результаты измерений и вычислений

№ точ / № изм	Q_{ji}, м^3/ч	T_{ji}, с	$t_{ЭПРji}$, °С	$P_{ЭПРji}$, МПа	$N_{ЭПРji}$, имп	$K_{ЭПРji}$, имп/м^3	$\rho_{ППji}$, кг/м^3	$t_{ППji}$, °С
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/°С	ν_{ji}, мм^2/с	$t_{ПРji}$, °С	$P_{ПРji}$, 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/1								
…		…	…	…	…	…	…	…
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}, %	$t_{0.95j}$	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}, $м^3/ч$	ν_{min}, $мм^2/с$	ν_{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.

Примечание – при отсутствии ПВ столбец 12 таблицы 2 не заполняют.

Приложение А (Измененная редакция, Изм. №1)

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 °С и Р = 0 МПа) от 611 до 1164 кг/м^3 определяют по формулам

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

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

$$\Delta t = t - 15, \quad (Б.3)$$

где ρ_{15} – значение плотности рабочей жидкости при t = 15 °С и Р = 0 МПа, кг/м^3;

t – значение температуры рабочей жидкости, °С;

α_{15} – значение коэффициента объемного расширения рабочей жидкости при t = 15 °С и Р = 0 МПа, 1/°С;

K0, K1 – 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

Примечание – 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 °С и Р = 0 МПа) от 611 до 1164 кг/м^3 определяют по формулам

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

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

где ρ_{15} – значение плотности рабочей жидкости при t = 15 °С и Р = 0 МПа, кг/м^3;

t – значение температуры рабочей жидкости, °С;

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/°С:

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

где α_{15} – значение коэффициента объемного расширения рабочей жидкости при 15 °С, 1/°С;

t – значение температуры рабочей жидкости, при которой определяется коэффициент объемного расширения рабочей жидкости, °С.

Б.4 Определение плотности ρ_{15}

Значение плотности рабочей жидкости при t = 15 °С и P = 0 МПа, ρ_{15}, кг/м^3 определяют по формуле

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

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

$CTL_{пп}$ – коэффициент, учитывающий влияние температуры на объем рабочей жидкости, определенный для $t_{пп}$ и ρ_{15};

$CPL_{пп}$ – коэффициент, учитывающий влияние давления на объем рабочей жидкости, определенный для $t_{пп}$, $P_{пп}$ и ρ_{15}.

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

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

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

$$\rho_{15(1)} = \frac{\rho_{пп}}{CTL_{пп(1)} \cdot CPL_{пп(1)}} \quad (Б.8)$$

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

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

$$\rho_{15(2)} = \frac{\rho_{пп}}{CTL_{пп(2)} \cdot CPL_{пп(2)}} \quad (Б.9)$$

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:

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

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

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

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.

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

Наиболее выделяющееся соотношение U:

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

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 $t_{0,95}$ при доверительной вероятности P=0,95 в зависимости от количества измерений приведены в таблице Г.1.

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

n-1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$t_{0,95}$	12,706	4,303	3,182	2,766	2,571	2,447	2,365	2,306	2,262	2,228	2,201