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

Заместитель директора по научной работе

ГНМЦ ФГУП «ВНИИМ им. Д.И.Менделеева»

_____ **Е.П. Кривцов**

"12" ноя 2009 г.

РЕКОМЕНДАЦИЯ

Государственная система обеспечения единства измерений

Ультразвуковые преобразователи расхода.

Методика поверки на месте эксплуатации

МИ 3265-2010

Санкт-Петербург

2009

gost.e-ecolog.ru

ПРЕДИСЛОВИЕ

1 РАЗРАБОТАНА	ФГУП «ВНИИМ им.Д.И. Менделеева»
ИСПОЛНИТЕЛИ:	Гуткин М.Б., Снегов В.С.
2 РАЗРАБОТАНА	ООО «ИМС Индастриз»
ИСПОЛНИТЕЛИ:	Аблина Л.В., Приймак Е.Н., Усманов Р.Х., Ремеева А.Ф.
3 УТВЕРЖДЕНА	ФГУП «ВНИИМ им.Д.И. Менделеева» 02 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 2
4 Операции поверки 2
5 Средства поверки 3
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 11
11 Оформление результатов поверки 20
Приложение А Форма протокола поверки УПР с помощью ПУ 22
Приложение Б Форма протокола определения коэффициентов преобразования ПР 24
Приложение В Форма протокола поверки УПР с помощью ПУ и ПР 26
Приложение Г Определение коэффициентов преобразования ПР 29
Приложение Д Определение коэффициентов CTL и CPL 35
Д.1 Определение коэффициента CTL 35
Д.2 Определение коэффициента CPL 35
Д.3 Определение коэффициента β 36
Д.4 Определение плотности ρ_{15} 36
Приложение Е Методика анализа результатов измерений на наличие промахов 38
Приложение Ж Справочные материалы 39
Ж.1 Квантиль распределения Стьюдента 39
Ж.2 Коэффициенты расширения и модули упругости 39

РЕКОМЕНДАЦИЯ

ГОСУДАРСТВЕННАЯ СИСТЕМА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЕДИНСТВА ИЗМЕРЕНИЙ Ультразвуковые преобразователи расхода. Методика поверки на месте эксплуатации	МИ 3265- 2010

1 Область применения

Настоящая рекомендация распространяется на ультразвуковые преобразователи расхода, применяемые в системах 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 или трубопоршневой поверочной установки или компакт-прувера и преобразователей объемного расхода.

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 1974-2004 ГСИ. Преобразователи расхода турбинные. Методика поверки.

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;

ИЛ – измерительная линия;

КП – компакт-прувер;

МХ – метрологические характеристики;

ПВ – поточный вискозиметр;

ПР – преобразователь объемного расхода;

ПП – преобразователь плотности;

ПУ – поверочная установка (ТПУ или КП);

Рабочая жидкость – нефть или нефтепродукты;

СИ – средства измерений;

СИКН– система измерений количества и показателей качества нефти;

СИКНП – система измерений количества нефтепродуктов;

СКО – среднеквадратическое отклонение;

ТПУ – трубопоршневая поверочная установка;

УПР – ультразвуковой преобразователь расхода.

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 2-го разряда	Пределы допускаемой относительной погрешности определения вместимости калиброванного участка ± 0,1 %.
ПР	СКО результатов измерений при определении коэффициента преобразования не более ± 0,02 %.
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
Манометр	Класс точности 0,6
Термометр ртутный стеклянный	Пределы допускаемой абсолютной погрешности ± 0,2 °С
ИВК	Пределы допускаемой относительной погрешности преобразования входных электрических сигналов в значение коэффициента преобразования ± 0,025 %
ПП	Пределы допускаемой абсолютной погрешности ± 0,3 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 УПР 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, в ПР и в поверяемом УПР 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 применяемых ПР .

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

7.1.7 Содержание свободного газа не допускается.

7.1.8 Для обеспечения безкавитационной работы избыточное давление в трубопроводе после поверяемого УПР и 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 УПР или ПР, указанный в технической документации, МПа.

7.2 Регулирование объемного расхода проводят при помощи регуляторов расхода, расположенных на выходе ИЛ. 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 УПР.

8.3 Подготавливают средства поверки согласно указаниям технической документации.

8.4 Проводят чистку фильтров на ИЛ.

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

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

8.7 При рабочем давлении проверяют герметичность системы, состоящей из поверяемого УПР, ПУ и ПР. При этом не допускается появление капель или утечек рабочей жидко-

сти через сальники, фланцевые, резьбовые или сварные соединения при наблюдении в течение 5 мин.

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

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

8.10 Проводят установку нуля поверяемого УПР согласно технической документации.

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

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

8.13 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 УПР следующим требованиям:

– комплектность соответствует указанной в технической документации;

– отсутствуют механические повреждения и дефекты, препятствующие применению;

– надписи и обозначения на поверяемом УПР четкие и соответствуют требованиям технической документации.

9.2 Опробование

9.2.1 Опробование поверяемого УПР проводят совместно со средствами поверки.

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

9.2.3 Результаты опробования считают удовлетворительными, если при увеличении (уменьшении) расхода рабочей жидкости соответственно изменялись показания на дисплее ИВК.

9.3 Определение метрологических характеристик

9.3.1 При поверке УПР определяют следующие МХ:

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

– границу относительной погрешности УПР в рабочем диапазоне измерений объемного расхода.

9.3.2 Определение МХ поверяемого УПР 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 УПР. 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 Определение МХ поверяемого УПР при поверке по ПУ

9.3.4.1 Для определения коэффициента преобразования поверяемого УПР устанавливают выбранное значение объемного расхода по показаниям поверяемого УПР 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 УПР.

Объемный расход рабочей жидкости через поверяемый УПР вычисляют по формуле (8).

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

9.3.4.2 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.

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

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

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

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

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

– температуры рабочей жидкости в поверяемом УПР;

– давления рабочей жидкости в поверяемом УПР;

– 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).

9.3.4.4 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.

9.3.5 Определение МХ поверяемого УПР при поверке по ПУ и ПР

9.3.5.1 Для каждой выбранной точки объемного расхода из рабочего диапазона измерений объемного расхода, определяют необходимое для поверки количество ПР и значение объемного расхода через ПР для обеспечения заданного объемного расхода через УПР.

9.3.5.2 Определяют коэффициенты преобразования выбранных ПР при выбранных значениях объемного расхода. При каждом выбранном значении объемного расхода проводят не менее пяти измерений.

Устанавливают выбранное значение объемного расхода через выбранные ПР по показаниям выбранного ПР и проводят предварительное измерение для уточнения значения установленного объемного расхода.

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 ПР и времени прохождения поршня между детекторами, при прохождении второго детектора – заканчивает.

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

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

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

Результаты измерений заносят в отдельные протоколы для каждого ПР. Рекомендуемая форма протокола определения коэффициента преобразования ПР приведена в приложении Б. Допускается в таблицах протокола удалять ненужные и добавлять необходимые столбцы и строки.

Полученные коэффициенты преобразования ПР устанавливают в ИВК.

9.3.5.3 Для определения коэффициента преобразования поверяемого УПР устанавливают выбранное значение объемного расхода по показаниям выбранных ПР. Значение объемного расхода рабочей жидкости через выбранные ПР должно откланяться не более 2,5 % от расхода, при котором были определены коэффициенты преобразования ПР.

9.3.5.4 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.

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

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

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

- температуры рабочей жидкости в поверяемом УПР;
- давления рабочей жидкости в поверяемом УПР;
- температуры рабочей жидкости в выбранных ПР;
- давления рабочей жидкости в выбранных 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.

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

9.3.6 При заполнении протоколов, 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	

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 УПР за время i-го измерения в j-ой точке рабочего диапазона измерений объемного расхода, V_{ji}, $м^3$, вычисляют по формулам

$$V_{ji} = \begin{cases} V_0 \cdot CTS_{ji} \cdot CPS_{ji} \cdot \dfrac{CTL_{ПУ\,ji} \cdot CPL_{ПУ\,ji}}{CTL_{УПР\,ji} \cdot CPL_{УПР\,ji}} & \text{при поверке по ПУ} \\ \sum\limits_{k=1}^{n_k} \left(V_{jik} \cdot \dfrac{CTL_{ПР\,jik} \cdot CPL_{ПР\,jik}}{CTL_{УПР\,ji} \cdot CPL_{УПР\,ji}} \right) & \text{при поверке по ПУ и ПР} \end{cases}, \quad (2)$$

$$CTS_{ji} = \begin{cases} 1 + 3 \cdot \alpha_t \cdot (t_{ПУ\,ji} - 20) & \text{для ТПУ} \\ (1 + \alpha_{k1} \cdot (t_{ПУ\,ji} - 20)) \cdot (1 + \alpha_д \cdot (t_{Дji} - 20)) & \text{для КП} \end{cases}, \quad (3)$$

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

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

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

$$V_{jik} = \frac{N_{jik}}{K_{jk}}, \tag{7}$$

где V_0 – вместимость калиброванного участка ПУ при стандартных условиях (t = 20 °С и Р = 0 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 Д);

$CPL_{ПУji}$ – 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 Д);

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

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

α_t – коэффициент линейного расширения материала стенок калиброванного участка ТПУ (берут из технической документации на ТПУ или определяют по таблице Ж.2 приложения Ж), 1/°С;

α_{k1} – квадратичный коэффициент расширения стали калиброванного участка КП, (берут из технической документации на КП или определяют по таблице Ж.2 приложения Ж), 1/°С;

$\alpha_{д}$ – коэффициент линейного расширения материала планки крепления детекторов КП или инварового стержня, (берут из технической документации на КП или определяют по таблице Ж.2 приложения Ж), 1/°С;

$t_{Дji}$ – 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), °С;

$t_{ПУji}$ – температура рабочей жидкости в ПУ за время i-го измерения в j-ой точке рабочего диапазона измерений объемного расхода, °С;

$t_{ВхПУji}$, $t_{ВыхПУji}$ – температура рабочей жидкости на входе и выходе ТПУ за время i-го измерения в j-ой точке рабочего диапазона измерений объемного расхода, °С;

$P_{ПУji}$ – 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 Ж.2 приложения Ж), МПа;

V_{jik} – объем рабочей жидкости, прошедшей через k-й ПР за время i-го измерения в j-ой точке рабочего диапазона измерений объемного расхода, $м^3$;

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

$CPL_{ПРjik}$ – коэффициент, учитывающий влияние давления на объем рабочей жидкости, определенный для давления рабочей жидкости в k-ом ПР для i-го измере-

ния в j-ой точке рабочего диапазона измерений объемного расхода (вычисляют по приложению Д);

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

K_{jk} – коэффициент преобразования k-го ПР, определенный для j-ой точки рабочего диапазона измерений объемного расхода (вычисляют по приложению Г), имп/м^3.

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

10.2 Расход рабочей жидкости через k-й ПР, соответствующий j-ой точке рабочего диапазона измерений объемного расхода при i-ом измерении, Q_{jik}, м^3/ч, вычисляют по формуле

$$Q_{jik} = \frac{V_{jik}}{T_{ji}} \cdot 3600, \quad (8)$$

где V_{jik} – объем рабочей жидкости, прошедший через k-й 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 УПР за время i-го измерения в j-ой точке рабочего диапазона измерений объемного расхода, Q_{ji}, м^3/ч, вычисляют по формуле

$$Q_{ji} = \frac{V_{ji}}{T_{ji}}, \quad (9)$$

где V_{ji} – объем рабочей жидкости, прошедшей через поверяемый УПР 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.

10.4 Объемный расход рабочей жидкости через поверяемый УПР в j-ой точке рабочего диапазона рабочего диапазона измерений объемного расхода, Q_j, м^3/ч, вычисляют по формуле

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

где Q_{ji} – объемный расход рабочей жидкости через поверяемый УПР 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.

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

$$f_{ji} = \frac{N_{ji}}{T_{ji}}, \tag{11}$$

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

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

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

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

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

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

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

$$K_j = \frac{1}{n_j} \sum_{i=1}^{n_j} K_{ji}, \tag{13}$$

$$K_{ji} = \frac{N_{ji}}{V_{ji}}, \tag{14}$$

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

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

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

10.8 Коэффициент преобразования поверяемого УПР в рабочем диапазоне измерений объемного расхода, К, имп/м^3, вычисляют по формуле

$$K = \frac{1}{m}\sum_{j=1}^{m} K_j, \qquad (15)$$

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

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

10.9 Оценка СКО результатов измерений

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

$$S_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_j}(K_{ji} - K_j)^2}{n_j - 1}} \cdot \frac{1}{K_j} \cdot 100, \qquad (16)$$

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

K_{ji} – коэффициент преобразования УПР 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

$$S_j \le 0{,}05\,\% \qquad (17)$$

При выполнении данного условия продолжают обработку результатов измерений.

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

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

$$\Theta_\Sigma = \begin{cases} 1{,}1 \cdot \sqrt{\Theta_{\Sigma o}^{\,2} + \Theta_{V o}^{\,2} + \Theta_A^{\,2} + \Theta_t^{\,2} + \Theta_{ИВК}^{\,2}} & \text{при поверке по ПУ} \\ 1{,}1 \cdot \sqrt{\Theta_V^{\,2} + \Theta_A^{\,2} + \Theta_t^{\,2} + \Theta_{ИВК}^{\,2}} & \text{при поверке по ПУ и ПР} \end{cases} \qquad (18)$$

$$\Theta_V = \max(\delta_k), \qquad (19)$$

$$\Theta_A = \begin{cases} \max\left(0{,}5 \cdot \left|\frac{K_j - K_{j+1}}{K_j + K_{j+1}}\right| \cdot 100\right) & \text{при кусочно - линейной апроксимации} \\ \max\left(\left|\frac{K_j - K}{K}\right| \cdot 100\right) & \text{при постоянном коэффициенте преобразования} \end{cases} \quad (20)$$

$$\Theta_t = \begin{cases} \beta_{max} \cdot 100 \cdot \sqrt{\Delta t_{ПУ}^{\ 2} + \Delta t_{УПР}^{\ 2}} & \text{при поверке по ПУ} \\ \beta_{max} \cdot 100 \cdot \sqrt{\Delta t_{ПР}^{\ 2} + \Delta t_{УПР}^{\ 2}} & \text{при поверке по ПУ и ПР} \end{cases}, \quad (21)$$

$$\beta_{max} = \begin{cases} \max(\beta_{ji}) & \text{при поверке по ПУ} \\ \max(\beta_{jik}) & \text{при поверке по ПУ и ПР} \end{cases}, \quad (22)$$

$$\Theta_{ИВК} = \delta_{ИВК}, \quad (23)$$

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

Θ_{Vo} – граница неисключенной систематической погрешности определения среднего значения вместимости ПУ (берут из свидетельства о поверке или протокола поверки ПУ; для ТПУ с двумя парами детекторов берут наибольшее значение), %;

Θ_V – граница неисключенной систематической погрешности определения объема рабочей жидкости с помощью ПР, %;

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

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

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

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

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

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

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 Д или определяют по МИ 2153), 1/°С;

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

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

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

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

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

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

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

$$S_{0j} = \frac{S_j}{\sqrt{n_j}}, \tag{24}$$

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.

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

$$\varepsilon = \max(\varepsilon_j), \tag{25}$$

$$\varepsilon_j = t_{0,95j} \cdot S_{0j}, \tag{26}$$

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

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

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

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

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

$$\delta = \begin{cases} \varepsilon & \text{если} \quad \dfrac{\Theta_\Sigma}{S_0} < 0{,}8 \\ t_\Sigma \cdot S_\Sigma & \text{если} \quad 0{,}8 \le \dfrac{\Theta_\Sigma}{S_0} \le 8 \\ \Theta_\Sigma & \text{если} \quad \dfrac{\Theta_\Sigma}{S_0} > 8 \end{cases} \qquad (27)$$

$$t_\Sigma = \frac{\varepsilon + \Theta_\Sigma}{S_0 + S_\Theta}, \qquad (28)$$

$$S_\Sigma = \sqrt{S_\Theta^{\,2} + S_0^{\,2}}, \qquad (29)$$

$$S_\Theta = \begin{cases} \sqrt{\dfrac{\Theta_{\Sigma o}^{\,2} + \Theta_{Vo}^{\,2} + \Theta_A^{\,2} + \Theta_t^{\,2} + \Theta_{ИВК}^{\,2}}{3}} & \text{при поверке по ПУ} \\ \sqrt{\dfrac{\Theta_V^{\,2} + \Theta_A^{\,2} + \Theta_t^{\,2} + \Theta_{ИВК}^{\,2}}{3}} & \text{при поверке по ПУ и ПР} \end{cases}, \qquad (30)$$

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

Θ_Σ – граница неисключенной систематической погрешности поверяемого УПР в рабочем диапазонм 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, %.

10.15 Оценивание границы относительной погрешности.

УПР допускается к применению, если границы относительной погрешности не превышают пределов допускаемой относительной погрешности, указанных в описании типа на УПР.

Если условие не выполняются, то рекомендуется:

– увеличить количество точек в рабочем диапазоне измерений объемного расхода;

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

– увеличить количество проходов поршня за одно измерение (при поверке по КП);

– увеличить время измерения (при поверке по ПУ и ПР).

При повторном невыполнении данных условий поверку прекращают.

11 Оформление результатов поверки

11.1 Результаты поверки УПР оформляют протоколом в двух экземплярах по рекомендуемым формам, приведенным в приложении А или В, в зависимости от средств поверки.

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

11.2 При положительных результатах поверки УПР 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 УПР признан годным и допущен к применению, а также пределы допускаемой относительной погрешности.

11.3 Протокол поверки является обязательным приложением к свидетельству о поверке. При поверке по ПУ и ПР протоколы определения коэффициентов преобразования ПР так же является обязательным приложением к свидетельству о поверке.

11.4 Проводят пломбирование УПР в соответствии с МИ 3002.

11.5 При отрицательных результатах поверки УПР 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 УПР с помощью ПУ

ПРОТОКОЛ №____

поверки УПР с помощью ПУ по МИ … -2009

Место проведения поверки: _____

УПР: Тип _____ Зав. № _____

ПУ: Тип _____ Зав. № _____

ИВК: Тип _____ Зав. № _____

Рабочая жидкость _____ Температура, °С , _____

Таблица 1- Исходные данные

Детекторы	V_0, $м^3$	D, мм	S, мм	E, МПа	α_t, 1/°С	α_{k1}, 1/°С	$\alpha_д$, 1/°С
1	2	3	4	5	6	7	8

Окончание таблицы 1

$\Theta_{\Sigma o}$, %	Θ_{Vo}, %	$\Delta t_{ПУ}$, °С	$\Delta t_{УПР}$, °С	$\delta_{ИВК}$, %
9	10	11	12	13

Таблица 2 - Результаты измерений и вычислений

№ точ / № изм	Q_{ji}, $м^3/ч$	Детекто-ры	T_{ji}, с	$t_{ПУji}$, °С	$P_{ПУji}$, МПа	$t_д$, °С	$\rho_{ППji}$, $кг/м^3$	$t_{ППji}$, °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	$t_{УПРji}$, °С	$P_{УПРji}$, МПа	f_{ji}, Гц	N_{ji}, имп	K_{ji}, $имп/м^3$
1	10	11	12	13	14	15	16
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}, $м^3/ч$	K, $имп/м^3$	S_0, %	ε, %	Θ_A, %	Θ_t, %	Θ_Σ, %	δ, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9

Заключение: УПР 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 УПР по ТПУ; столбцы 7, 8 таблицы 1 и столбец 7 таблицы 2 заполняют только при поверке УПР по КП; столбец 3 таблицы 4 заполняют только при определении коэффициента преобразования УПР в рабочем диапазоне измерений объемного расхода.

Приложение Б

Форма протокола определения коэффициентов преобразования ПР

ПРОТОКОЛ №____

определения коэффициента преобразования ПР с помощью ПУ по МИ … -2009

Место проведения калибровки: _____

ПР: Тип _____ Зав. № _____ Линия № _____

ПУ: Тип _____ Зав. № _____

ИВК: Тип _____ Зав. № _____

Рабочая жидкость _____ Температура, °С , _____ Вязкость, мм^2/с, _____

Таблица 1- Исходные данные

Детекторы	V_0, м^3	D, мм	S, мм	E, МПа	α_t, 1/°С	α_{k1}, 1/°С	$\alpha_д$, 1/°С
1	2	3	4	5	6	7	8

Окончание таблицы 1

$\Theta_{\Sigma o}$, %	Θ_{Vo}, %	$\Delta t_{ПУ}$, °С	$\Delta t_{ПР}$, °С	$\delta_{ИВК}$, %
9	10	11	12	13

Таблица 2 - Результаты измерений и вычислений

№ точ / № изм	Q_{jik}, м^3/ч	Детекторы	T_{jik}, с	$t_{ПУjik}$, °С	$P_{ПУjik}$, МПа	$t_{Дjik}$, °С	$\rho_{ППjik}$, кг/м^3	$t_{ППjik}$, °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.	$P_{ППjik}$, МПа	β_{jik}, 1/°С	ν_{jik}, мм^2/с	$t_{ПРjik}$, °С	$P_{ПРjik}$, МПа	N_{jik}, имп	K_{jik}, имп/м^3
1	10	11	12	13	14	15	16
1/1							
…		…	…	…	…	…	…
$1/n_1$							
…		…	…	…	…	…	…

m/1							
…		…	…	…	…	…	…
m/n_m							

Таблица 3 - Результаты измерений и вычислений в точках рабочего диапазона

№ точ.	Q_{jk}, $м^3/ч$	K_{jk}, $имп/м^3$	S_{jk}, %	n_{jk}	S_{0jk}, %	$t_{0.95jk}$	ε_{jk}, %
1	2	3	4	5	6	7	8
1							
…	…	…	…	…	…	…	…
m							

Окончание таблицы 3

№ точ.	Θ_{tk}, %	$\Theta_{\Sigma k}$, %	δ_{jk}	δ_k
1	9	10	11	12
1				
…			…	
m				

Подпись лица, проводившего измерения _____ / _____

подпись И. О. Фамилия

Дата «____» _____ 20____ г.

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

Приложение В

Форма протокола поверки УПР с помощью ПУ и ПР

П Р О Т О К О Л №____

поверки УПР с помощью ПУ и ПР по МИ … -2009

Место проведения поверки: _____

УПР: Тип _____ Зав. № _____

ПУ: Тип _____ Зав. № _____

ПР 1: Тип _____ Зав. № _____ Линия № _____

…

ПР k: Тип _____ Зав. № _____ Линия № _____

ИВК: Тип _____ Зав. № _____

Рабочая жидкость _____ Температура, °С , _____ Вязкость, мм^2/с, _____

Таблица 1- Исходные данные

Θ_V, %	$\Delta t_{ПР}$, °С	$\Delta t_{УПР}$, °С	$\delta_{ИВК}$, %
1	2	3	4

Таблица 2 - Результаты измерений и вычислений, ПР

№ точ / № изм	№ ПР	Q_{jik}, м^3/ч	N_{jik}, имп	K_{jik}, имп/м^3	$t_{ПРjik}$, °С	$P_{ПРjik}$, МПа	β_{jik}, 1/°С
1	2	3	4	5	6	7	8
1/1	1						
	…	…	…	…	…	…	…
	q						
…	…	…	…	…	…	…	…
$1/n_1$	1						
	…	…	…	…	…	…	…
	q						
…	…	…	…	…	…	…	
m/1	1						
	…	…	…	…	…	…	
	q						
…	…	…	…	…	…	…	
m/n_m	1						
	…	…	…	…	…	…	
	q						

Таблица 3 - Результаты измерений и вычислений, УПР

№ точ / № изм	Q_{ji}, $м^3/ч$	T_{ji}, с	$\rho_{ППji}$, $кг/м^3$	$t_{ППji}$, °С	$P_{ППji}$, МПа	ν_{ji}, $мм^2/с$	$t_{УПРji}$, °С
1	2	3	4	5	6	7	8
1/1							
…	…	…	…	…		…	…
$1/n_1$							
…	…	…	…	…		…	…
m/1							
…	…	…	…	…		…	…
m/n_m							

Окончание таблицы 3

№ точ./ № изм.	$P_{УПРji}$, МПа	f_{ji}, Гц	N_{ji}, имп	K_{ji}, $имп/м^3$
1	9	10	11	12
1/1				
…	…	…	…	…
$1/n_1$				
…	…	…	…	…
m/1				
…	…	…	…	…
m/n_m				

Таблица 4 - 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 5 - Результаты поверки в рабочем диапазоне

Q_{min}, $м^3/ч$	Q_{max}, $м^3/ч$	K, $имп/м^3$	S_0, %	ε, %	Θ_A, %	Θ_t, %	Θ_Σ, %	δ, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9

Заключение: УПР 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 3 таблицы 5 заполняют только при определении коэффициента преобразования УПР в рабочем диапазоне измерений объемного расхода; при отсутствии ПВ столбец 7 таблицы 3 не заполняют.

Приложение Г

Определение коэффициентов преобразования ПР

Г.1 Объем рабочей жидкости, прошедшей через k-й ПР за время i-го измерения в j-ой точке объемного расхода, V_{jik}, м^3, вычисляют по формулам

$$V_{jik} = V_0 \cdot CTS_{jik} \cdot CPS_{jik} \cdot \frac{CTL_{ПУ\,jik} \cdot CPL_{ПУ\,jik}}{CTL_{ПР\,jik} \cdot CPL_{ПР\,jik}}, \quad (Г.1)$$

$$CTS_{jik} = \begin{cases} 1 + 3 \cdot \alpha_t \cdot \left(t_{ПУ\,jik} - 20\right) & \text{для ТПУ} \\ \left(1 + \alpha_{k1} \cdot \left(t_{ПУ\,jik} - 20\right)\right) \cdot \left(1 + \alpha_Д \cdot \left(t_{Д\,jik} - 20\right)\right) & \text{для КП} \end{cases}, \quad (Г.2)$$

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

$$t_{ПУjik} = \frac{t_{ВхПУ\,jik} + t_{ВыхПУ\,jik}}{2} \quad \text{(для ТПУ)}, \quad (Г.4)$$

$$P_{ПУjik} = \frac{P_{ВхПУ\,jik} + P_{ВыхПУ\,jik}}{2} \quad \text{(для ТПУ)}, \quad (Г.5)$$

где V_0 – вместимость калиброванного участка ПУ при стандартных условиях (t = 20 °С и Р = 0 МПа), м^3;

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

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

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

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

$CTL_{ПРjik}$ – коэффициент, учитывающий влияние температуры на объем рабочей жидкости, определенный для температуры рабочей жидкости в k-ом ПР для i-го измерения в j-ой точке объемного расхода (вычисляют по приложению Д);

$CPL_{ПРjik}$ – коэффициент, учитывающий влияние давления на объем рабочей жидкости, определенный для давления рабочей жидкости в k-ом ПР для i-го измерения в j-ой точке объемного расхода (вычисляют по приложению Д);

α_t – коэффициент линейного расширения материала стенок калиброванного участка ТПУ (берут из технической документации на ТПУ или определяют по таблице Ж.2 приложения Ж), 1/°С;

α_{k1} – квадратичный коэффициент расширения стали калиброванного участка КП, (берут из технической документации на КП или определяют по таблице Ж.2 приложения Ж), 1/°С;

$\alpha_д$ – коэффициент линейного расширения материала планки крепления детекторов КП или инварового стержня, (берут из технической документации на КП или определяют по таблице Ж.2 приложения Ж), 1/°С;

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

$t_{ПУji}$ – температура рабочей жидкости в ПУ за время i-го измерения в j-ой точке объемного расхода, °С;

$t_{ВхПУji}$, $t_{ВыхПУji}$ – температура рабочей жидкости на входе и выходе ПУ за время i-го измерения в j-ой точке объемного расхода, °С;

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

$P_{ВхПУji}$, $P_{ВыхПУji}$ – давление рабочей жидкости на входе и выходе ПУ за время i-го измерения в j-ой точке объемного расхода, МПа;

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

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

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

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

Г.2 Объемный расход рабочей жидкости через k-й ПР за время i-го измерения в j-ой точке объемного расхода, Q_{ji}, $м^3/ч$, вычисляют по формуле

$$Q_{ji} = \frac{V_{ji}}{T_{ji}} \cdot 3600, \qquad (Г.6)$$

где V_{jik} – объем рабочей жидкости, прошедшей через k-й ПР за время i-го измерения в j-ой точке объемного расхода, $м^3$;

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

Г.3 Объемный расход рабочей жидкости через k-й ПР в j-ой точке объемного расхода, Q_{jk}, $м^3/ч$, вычисляют по формуле

$$Q_{jk} = \frac{\sum_{i=1}^{n_{jk}} Q_{jik}}{n_{jk}}, \qquad (Г.7)$$

где Q_{jik} – объемный расход рабочей жидкости через k-й ПР за время i-го измерения в j-ой точке объемного расхода, $м^3/ч$;

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

Г.4 Коэффициент преобразования k-го ПР за время i-го измерения в j-ой точке объемного расхода, K_{jik}, $имп/м^3$, вычисляют по формуле

$$K_{jik} = \frac{N_{jik}}{V_{jik}}, \qquad (Г.8)$$

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

V_{jik} – объем рабочей жидкости, прошедшей через k-й ПР за время i-го измерения в j-ой точке объемного расхода, $м^3$.

Допускается определять коэффициенты преобразования ПР согласно МИ 1974.

Г.5 Коэффициент преобразования k-го ПР в j-ой точке объемного расхода, K_{jk}, $имп/м^3$ вычисляют по формуле

$$K_{jk} = \frac{\sum_{i=1}^{n_{jk}} K_{jik}}{n_{jk}}, \qquad (Г.9)$$

где K_{jik} – коэффициент преобразования k-го ПР для i-го измерения в j-ой точке объемного расхода, $имп/м^3$;

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

Г.6 Оценка СКО результатов измерений

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

$$S_{jk} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_{jk}} (K_{jik} - K_{jk})^2}{n_{jk} - 1}} \cdot \frac{1}{K_{jk}} \cdot 100, \qquad (Г.10)$$

где K_{jk} – коэффициент преобразования k-го ПР в j-ой точке объемного расхода, имп/м^3;

K_{jik} – коэффициент преобразования k-го ПР для i-го измерения в j-ой точке объемного расхода, имп/м^3;

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

Проверяют выполнение следующего условия

$$S_{jk} \le 0{,}02\,\% \qquad (Г.11)$$

При выполнении данного условия продолжают обработку результатов измерений.

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

Г.7 Границу неисключенной систематической погрешности k-го ПР, $\Theta_{\Sigma k}$, %, вычисляют по формулам

$$\Theta_{\Sigma k} = 1{,}1 \cdot \sqrt{\Theta_{\Sigma o}^{\,2} + \Theta_{V o}^{\,2} + \Theta_{tk}^{\,2} + \Theta_{ИВК}^{\,2}}, \qquad (Г.12)$$

$$\Theta_{tk} = \beta_{k\,max} \cdot 100 \cdot \sqrt{\Delta t_{ПУ}^{\,2} + \Delta t_{ПР}^{\,2}}, \qquad (Г.13)$$

$$\beta_{k\,max} = \max\left(\beta_{jik}\right), \qquad (Г.14)$$

$$\Theta_{ИВК} = \delta_{ИВК}, \qquad (Г.15)$$

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

$\Theta_{V o}$ – граница неисключенной систематической погрешности определения среднего значения вместимости ПУ (берут из свидетельства о поверке ПУ; для ТПУ с двумя парами детекторов берут наибольшее значение), %;

Θ_{tk} – граница неисключенной систематической погрешности, обусловленной погрешностью преобразователей температуры при измерениях температуры рабочей жидкости в ПУ и k-ом ПР, %;

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

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

β_{kmax} – максимальное значение коэффициента объемного расширения рабочей жидкости, 1/°С;

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

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

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

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

$$S_{0jk} = \frac{S_{jk}}{\sqrt{n_{jk}}}, \qquad (Г.16)$$

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

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

Г.9 Границу случайной погрешности k-го ПР в j-ой точке объемного расхода при доверительной вероятности P=0,95, ε_{jk}, %, вычисляют по формуле

$$\varepsilon_{jk} = t_{0,95jk} \cdot S_{0jk}, \qquad (Г.17)$$

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

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

Г.10 Границу относительной погрешности k-го ПР в j-ой точке объемного расхода, δ_{jk}, %, определяют по формулам

$$\delta_{jk} = \begin{cases} \varepsilon_{jk} & \text{если} \quad \dfrac{\Theta_{\Sigma k}}{S_{0jk}} < 0{,}8 \\ t_{\Sigma jk} \cdot S_{\Sigma jk} & \text{если} \quad 0{,}8 \le \dfrac{\Theta_{\Sigma k}}{S_{0jk}} \le 8 \\ \Theta_{\Sigma k} & \text{если} \quad \dfrac{\Theta_{\Sigma k}}{S_{0jk}} > 8 \end{cases} \qquad (Г.18)$$

$$t_{\Sigma jk} = \frac{\varepsilon_{jk} + \Theta_{\Sigma k}}{S_{0jk} + S_{\Theta k}}, \qquad (Г.19)$$

$$S_{\Sigma jk} = \sqrt{S_{\Theta k}^{\,2} + S_{0jk}^{\,2}}, \qquad (Г.20)$$

$$S_{\Theta k} = \sqrt{\frac{\Theta_{\Sigma o}^{\ 2} + \Theta_{Vo}^{\ 2} + \Theta_{ik}^{\ 2} + \Theta_{ИВК}^{\ 2}}{3}}, \qquad (Г.21)$$

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

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

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

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

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

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

Г.11 Границу относительной погрешности k-го ПР, δ_k, %, определяют по формуле

$$\delta_k = \max(\delta_{jk}) \qquad (Г.22)$$

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

Приложение Д

Определение коэффициентов CTL и CPL

Д.1 Определение коэффициента CTL

Значение коэффициента CTL, учитывающего влияние температуры на объем рабочей жидкости для диапазона плотности рабочей жидкости (при t = 15 °С и P = 0 МПа) от 611 до 1164 кг/м^3 определяют по формулам

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

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

$$\Delta t = t - 15, \quad (Д.3)$$

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

t – значение температуры рабочей жидкости, °С;

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

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

Таблица Д.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}.

Д.2 Определение коэффициента CPL

Значение коэффициента CPL, учитывающего влияние давления на объем рабочей жидкости для диапазона плотности рабочей жидкости (при t = 15 °С и P = 0 МПа) от 611 до 1164 кг/м^3 определяют по формулам

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

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

где ρ_{15} – значение плотности рабочей жидкости при t = 15 °С и P = 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.

Д.3 Определение коэффициента β

Значение коэффициента объемного расширения рабочей жидкости, β, 1/°С:

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

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.

Д.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

$$\rho_{15} = \frac{\rho_{ПП}}{CTL_{ПП} \cdot CPL_{ПП}}, \qquad (Д.7)$$

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:

$$\rho_{15(1)} = \frac{\rho_{ПП}}{CTL_{ПП(1)} \cdot CPL_{ПП(1)}} \qquad (Д.8)$$

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:

$$\rho_{15(2)} = \frac{\rho_{ПП}}{CTL_{ПП(2)} \cdot CPL_{ПП(2)}} \qquad (Д.9)$$

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:

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

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 Е

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, $S_{jk(j)}$ определяют по формуле

$$S_{jk(j)} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_j} \left(K_{jik(ji)} - K_{jk(j)}\right)^2}{n_j - 1}}, \qquad (E.1)$$

где $K_{jk(j)}$ – значение коэффициента преобразования в j-ой точке рабочего диапазона измерений объемного расхода, имп/м^3;

$K_{jik(ji)}$ – 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 $S_{jk(j)} < 0{,}001$ принимаем $S_{jk(j)} = 0{,}001$.

Наиболее выделяющееся соотношение U:

$$U = \max\left(\left|\frac{K_{jik(ji)} - K_{jk(j)}}{S_{jk(j)}}\right|\right), \qquad (E.2)$$

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

Таблица Е.1 - Критические значения для критерия Граббса

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

Приложение Ж

Справочные материалы

Ж.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 Ж.1.

Таблица Ж.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

Ж.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 Ж.2.

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

Материал	α_t, 1/°C	α_{kl}, 1/°C	$\alpha_д$, 1/°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			$1,44 \times 10^{-6}$	

gost.e-ecolog.ru