

Товарищ
с.и.и. №1

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ
ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ РАСХОДОМЕТРИИ
ГОССТАНДАРТА РОССИИ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ МЕТРОЛОГИЧЕСКИЙ ЦЕНТР

УТВЕРЖДАЮ
Зам. директора ФГУП ВНИИР
по [] работе



М.С.Немиров

2004 г.

РЕКОМЕНДАЦИЯ

Государственная система обеспечения единства измерений

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ РАСХОДА ТУРБИННЫЕ

Методика поверки

МИ 1974 - 2004



Казань
2004

Предисловие

РАЗРАБОТАНА	Федеральным государственным унитарным предприятием Всероссийским научно – исследовательским институтом расходомерии Государственным научным метрологическим центром (ФГУП ВНИИР - ГНМЦ)
ИСПОЛНИТЕЛИ:	Мусин И.А. – кандидат технических наук, Немиров М.С. – кандидат технических наук
РАЗРАБОТАНА	Уфимским инженерно – метрологическим центром МОАО «Нефтеавтоматика»
ИСПОЛНИТЕЛИ:	Глушков Э.И., Магданов Р.Ф., Фаткуллин А.А.
РАЗРАБОТАНА	Западно-Сибирским наладочным управлением МОАО «Нефтеавтоматика»
ИСПОЛНИТЕЛИ:	Юсупов О.Р.
РАЗРАБОТАНА	ООО «Корпорация ИМС»
ИСПОЛНИТЕЛИ:	Аблина Л.В., Усманов Р.Х.
УТВЕРЖДЕНА	ФГУП ВНИИР – ГНМЦ 9 февраля 2004 г.
ЗАРЕГИСТРИРОВАНА	ФГУП ВНИИМС 10 февраля 2004 г.
ВЗАМЕН*	МИ 1974–95

*) Настоящая рекомендация вводится в действие:
- с 01.10.2004 г. на действующих системах измерений количества и показателей качества нефти, узлах учета сырой нефти с содержанием объемной доли воды в нефти не более 5%, узлах учета нефтепродуктов;
- с 01.03.2004 г. на вновь вводимых и реконструируемых.

ИЗДАНА С ИЗМЕНЕНИЕМ №1

Настоящая рекомендация не может быть полностью или частично воспроизведена, тиражирована и (или) распространена без разрешения УИМЦ МОАО «Нефтеавтоматика»

Содержание

1	Операции поверки.....	1
2	Средства поверки.....	2
3	Требования безопасности, охраны труда и к квалификации поверителей.....	3
4	Условия поверки.....	4
5	Подготовка к поверке.....	5
6	Проведение поверки.....	8
7	Обработка результатов измерений.....	12
8	Оформление результатов поверки.....	21
	Приложение А Форма протокола поверки преобразователя расхода с помощью поверочной установки.....	24
	Приложение Б Определение коэффициентов объемного расширения и сжимаемости жидкости и коэффициентов расширения и модулей упругости материала стенок ПУ.....	27
	Приложение В Установление и контроль значения поверочного расхода по показаниям поверяемого ПР.....	28
	Приложение Г Расчет количества импульсов выходного сигнала преобразователя расхода с учетом долей периода.....	29
	Приложение Д Методика анализа результатов измерений и значения коэффициентов Стьюдента.....	31
	Библиография	32

ГОСУДАРСТВЕННАЯ СИСТЕМА ОБЕСПЕЧЕНИЯ
ЕДИНСТВА ИЗМЕРЕНИЙ
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ РАСХОДА ТУРБИННЫЕ
Методика поверки

МИ 1974–2004

Дата введения – 2004–03–01
– для действующих систем измерений – 2004–10–01

Настоящая рекомендация распространяется на турбинные преобразователи расхода жидкости (далее - ПР), используемые в составе системы измерений количества и показателей качества нефти, узла учета сырой нефти с содержанием объемной доли воды в нефти не более 5%, узла учета нефтепродуктов (далее – системы измерений), и устанавливает методику их первичной и периодической поверок на месте эксплуатации с помощью поверочной установки (далее - ПУ).

В качестве ПУ применяют трубопоршневую поверочную установку или компакт-прувер.

Настоящая рекомендация не распространяется на ПР, входящие в состав оперативного узла учета нефти и узла учета сырой нефти с содержанием объемной доли воды в нефти более 5%.

Межповерочный интервал: не более одного года.

1 Операции поверки

1.1 При проведении поверки выполняют следующие операции:

- внешний осмотр (6.1);
- опробование (6.2);
- определение метрологических характеристик (6.3).

1.2 Метрологические характеристики рабочего и контрольного ПР определяют в рабочем диапазоне измерений, установленного для ПР.

П р и м е ч а н и е – Рабочий диапазон измерений ПР (далее – рабочий диапазон) устанавливают для каждого ПР в зависимости от количества рабочих измерительных линий и верхнего предела измерений системы измерений ($\text{м}^3/\text{ч}$) таким, что он не выходит за пределы измерений, указанные в сертификате утверждения типа поверяемого ПР.

2 Средства поверки

2.1 При проведении поверки применяют следующие средства поверки:

2.1.1 ПУ 1-го или 2-го разряда с пределами допускаемой относительной погрешности: $\pm 0,05\%$ и $\pm 0,1\%$; соответственно, согласно ГОСТ 8.510.

Примечание - Верхний предел измерений ПУ: не менее максимального значения рабочего диапазона измерений поверяемого ПР ($\text{м}^3/\text{ч}$).

2.1.2 Преобразователи давления с электрическим выходным сигналом с пределами допускаемой приведенной погрешности: $\pm 0,5\%$. Допускается использовать манометры класса точности 0,6.

2.1.3 Преобразователи температуры с электрическим выходным сигналом с пределами допускаемой абсолютной погрешности: $\pm 0,2\text{ }^\circ\text{C}$. Допускается использовать термометры с пределами допускаемой абсолютной погрешности: $\pm 0,2\text{ }^\circ\text{C}$.

2.1.4 Электронный блок (контроллер-вычислитель) ПУ или система обработки информации (далее – СОИ); обеспечивающая измерения количества импульсов (при необходимости с учетом долей периода) и входящая в состав системы измерений, с пределами допускаемой относительной погрешности определений коэффициентов преобразования ПР: $\pm 0,025\%$.

Примечание – При отсутствии средств поверки, указанных в 2.1.4, применяют:

- Частотомер электронно-счетный с диапазоном измерений от 1 Гц до 100 кГц, работающий в режиме измерений частоты, интервала времени и периода, с пределами допускаемой основной относительной погрешности: $\pm 2,5 \times 10^{-7}\%$;

- Счетчик импульсов с диапазоном частот входных сигналов от 1 Гц до 100 кГц и пределами допускаемой абсолютной погрешности: ± 1 имп.

2.1.5 Автоматический поточный преобразователь плотности (далее – поточный ПП), входящий в состав системы измерений, или лабораторный плотномер с пределами допускаемой абсолютной погрешности: $\pm 0,3\text{ кг/м}^3$, или средства измерений плотности жидкости по ГОСТ 3900 и ГОСТ Р 51069.

2.1.6 Автоматический поточный вискозиметр, входящий в состав системы измерений, или средства измерений вязкости жидкости по ГОСТ 33.

2.1.7 Для узлов учета сырой нефти применяют автоматический поточный влагомер, входящий в состав системы измерений, или средства измерений объемной доли воды в нефти по ГОСТ 2477.

2.1.8 При использовании компакт-прувера в качестве ПУ для измерений температуры окружающей среды применяют преобразователь температуры с электрическим выходным сигналом или термометр метеорологический стеклянный по ГОСТ 112.

2.2 Все средства измерений поверены и имеют действующие свидетельства о поверке или оттиски поверительных клейм.

3 Требования безопасности, охраны труда и к квалификации поверителей

3.1 При проведении поверки соблюдают требования:

- ПБ 08-624-03 «Правила безопасности в нефтяной и газовой промышленности»;
- безопасности, приведенные в эксплуатационной документации средств поверки;
- «Правил технической эксплуатации электроустановок потребителей»;
- ПОТ Р М-016-2001 (РД 153.34.0-03.150-00) (с изм. 2003) «Межотраслевые правила по охране труда (правила безопасности) при эксплуатации электроустановок»;
- ПБ 03-585-03 «Правила устройства и безопасной эксплуатации технологических трубопроводов»;
- «Правил устройства электроустановок (ПУЭ) потребителей» (6-е издание);
- инструкции по охране труда, действующей на системе измерений;
- ВППБ 01-03-96 «Правила пожарной безопасности для предприятий АК «Транснефтепродукт»;
- ВППБ 01-05-99 «Правила пожарной безопасности при эксплуатации магистральных трубопроводов АК «Транснефть».

3.2 При проведении поверки не используют ПУ и другое оборудование при давлении, превышающем рабочее давление, указанное в их паспортах или эксплуатационной документации.

3.3 При применении передвижной ПУ не используют оборудование для технологической обвязки ПУ с системой измерений, не имеющее соответствующих разрешительных документов и свидетельства о гидроиспытаниях с действующим сроком.

3.4 Средства измерений и электрооборудование, установленные на технологической части системы измерений и на ПУ, имеют взрывозащищенное исполнение и обеспечивают уровень взрывозащиты, соответствующий классу зоны В-1а, а вид взрывозащиты – по категории взрывоопасной смеси к группе ТЗ в соответствии с классификацией ГОСТ Р 51330.0 (МЭК 60079-0-98).

3.5 К средствам измерений и оборудованию, требующим обслуживания при поверке, обеспечивают свободный доступ. При необходимости предусматривают лестницы и площадки или переходы с ограничениями, соответствующие требованиям безопасности.

3.6 Управление оборудованием и средствами поверки выполняют лица, прошедшие обучение и проверку знаний и допущенные к обслуживанию ПУ, системы измерений.

3.7 К проведению поверки допускают лиц, аттестованных в качестве поверителя, изучивших эксплуатационную документацию на ПР и средства их поверки, настоящую рекомендацию и прошедших инструктаж по технике безопасности.

3.8 При появлении течи жидкости, загазованности и других ситуаций, нарушающих нормальный ход поверочных работ, поверку прекращают.

4 Условия поверки

4.1 Поверку ПР проводят на месте эксплуатации в комплекте с элементами измерительной линии (струевыпрямителем, прямым участком и фильтром, если он установлен на каждой измерительной линии).

4.2 Рабочая жидкость: нефть (товарная или сырая), нефтепродукты.

4.3 Вязкость жидкости находится в пределах тех диапазонов вязкости, которые указаны в эксплуатационной документации ПР.

4.4 Содержание свободного газа в жидкости не допускается.

4.5 Для обеспечения бескавитационной работы ПР в процессе поверки устанавливают избыточное давление в трубопроводе после ПР ($P^{наим}$, МПа) не менее значения, вычисляемого по формуле

$$P^{наим} = 2,06 \times P^н + \Delta P, \quad (1)$$

где $P^н$ - давление насыщенных паров, определенное в соответствии с ГОСТ 1756 при максимальной температуре жидкости в системе измерений, МПа (берут из справки произвольной формы, представленной испытательной лабораторией поставщика или покупателя и подписанной руководителем лаборатории);

ΔP - перепад давления на ПР, МПа (берут из его паспорта).

(Измененная редакция, изм. №1)

4.6 Изменение температуры жидкости за время одного измерения не превышает 0,2 °С.

4.7 Отклонение расхода жидкости от установленного значения в процессе поверки за время одного измерения не превышает 2,5 %.

П р и м е ч а н и е – Запрещается проводить поверку ПР при расходе рабочей жидкости ниже значения расхода ($Q_{\text{протеч}}$, м³/ч), при котором проведена проверка ПУ на отсутствие протечек во время ее последней поверки. Значение $Q_{\text{протеч}}$ берут из протокола последней поверки ПУ.

4.8 Во время поверки расход жидкости регулируют с помощью регулятора расхода, установленного согласно рисунку 1 в конце схемы соединений средств поверки по потоку жидкости (после ПУ, если она установлена после ПР, или после ПР, если ПУ установлена до ПР). Допускается вместо регулятора расхода использовать запорную арматуру.

5 Подготовка к поверке

5.1 Проверяют правильность монтажа и соединений ПР, ПУ и средств поверки в соответствии со схемой, приведенной на рисунке 1.

5.2 Устраняют возможность протечек жидкости на участке между ПР и ПУ и в переключателе потока (четырёхходового крана) ПУ.

П р и м е ч а н и е - Задвижки, расположенные на линиях, соединяющих этот участок с другими трубопроводами, и четырёхходовой кран ПУ имеют устройства контроля протечек.

5.3 Проверяют отсутствие газа и воздуха в ПУ и фильтре измерительной линии поверяемого ПР, а также в верхних точках трубопроводов, соединяющих ПР и ПУ. Для этого устанавливают расход жидкости через ПР и ПУ в пределах рабочего диапазона и открывают краны, расположенные в верхних точках трубопроводов и ПУ. Проводят несколько раз пуск поршня в ПУ до полного прекращения выделения пузырьков воздуха или газа из этих кранов и закрывают их.

5.4 Проверяют герметичность системы, состоящей из ПУ, ПР, задвижек и трубопроводов. Для этого устанавливают в системе давление, равное рабочему. Не допускают появления капель или утечек жидкости через сальники, фланцевые, резьбовые или сварные соединения при наблюдении в течение 5 минут.

5.5 Проверяют герметичность устройства пуска и приема поршня ПУ в соответствии с эксплуатационной документацией. Проверку герметичности четырёхходового крана проводят в двух направлениях.

5.6 Проверяют герметичность задвижек, через которые возможны протечки жидкости, влияющие на результаты измерений при поверке. При невозможности устранения протечек такие задвижки заглушают (проверяют наличие заглушек).

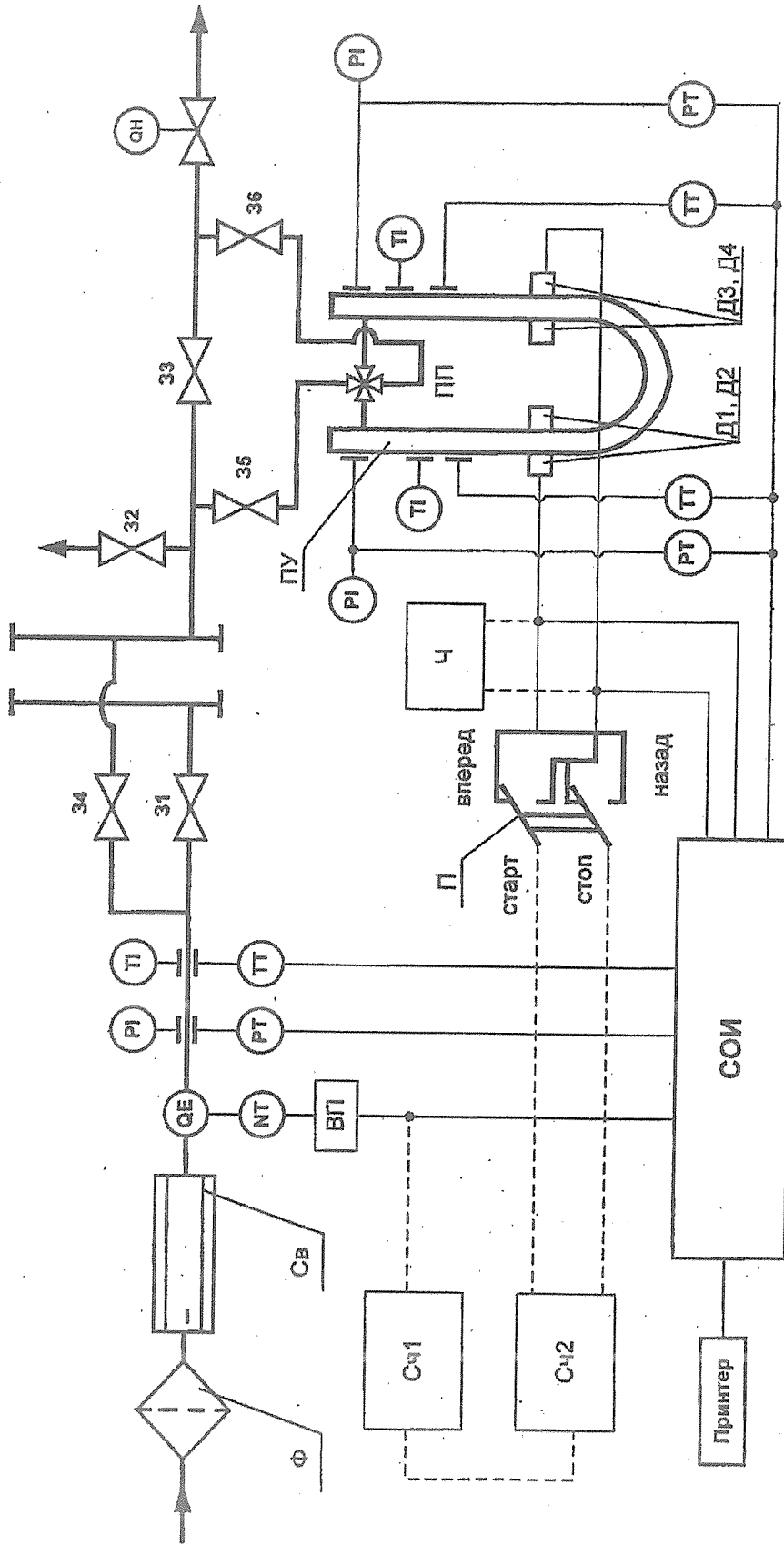


Рисунок 1 - Схема соединенный средств поверки и ПР

QE - поверяемый ПР; NT - магнитно-индукционный датчик; РТ - преобразователи давления; П1 - преобразователи температуры; Т1 - термометры стеклянные; QH - регулятор расхода; Ф - фильтр; Св - струевыпрямитель; 31, 32, 33, 34, 35, 36 - задвижки; ПП - переключатель потока; Сч1 и Сч2 - счетчики импульсов; П - переключатель; Ч - частотомер; Д1, Д2, Д3, Д4 - детекторы ПУ; СОИ - система обработки информации; ВП - преусилитель-формирователь или вторичный прибор ПР

5.7 Проверяют стабильность температуры жидкости. Температуру жидкости считают стабильной, если ее изменение в измерительной линии поверяемого ПР, на входе и выходе ПУ за время движения поршня от одного детектора до другого (в двунаправленных ПУ – в обоих направлениях) не превышает $0,2^{\circ}\text{C}$.

5.8 Подготавливают средства поверки к работе согласно указаниям в эксплуатационной документации на них.

5.9 Вводят в память СОИ необходимые данные согласно протоколу поверки (приложение А) или проверяют ранее введенные.

П р и м е ч а н и е - В таблицу «Исходные данные» (приложение А) записывают:

– для узла учета сырой нефти - значение содержания воды в нефти в объемных долях ($W, \%$), измеренное с помощью поточного влагомера или средств измерений объемной доли воды в нефти по ГОСТ 2477;

- при использовании компакт-прувера – значение температуры окружающего воздуха (при отсутствии термометра сопротивления, встроенного в стенку компакт-прувера);

- при отсутствии или отказе поточного ПП – значение плотности жидкости и коэффициенты объемного расширения и сжимаемости, определенные по 5.10;

- при отсутствии или отказе поточного вискозиметра - значение вязкости жидкости, определенное по 5.11.

(Измененная редакция, изм. №1)

5.10 При отсутствии или отказе поточного ПП определяют плотность жидкости лабораторным методом в начале поверки. Отбирают пробу жидкости по ГОСТ 2517, измеряют плотность ($\rho, \text{кг/м}^3$) по ГОСТ 3900 или ГОСТ Р 51069 или лабораторным плотномером и температуру жидкости ($t, ^{\circ}\text{C}$). По измеренным значениям плотности и температуры определяют коэффициенты объемного расширения ($\beta, ^{\circ}\text{C}^{-1}$) и сжимаемости ($\gamma, \text{МПа}^{-1}$) жидкости согласно приложению Б.

П р и м е ч а н и е - Значение плотности приводят к рабочим условиям в ПУ согласно МИ 2153 (для нефти) и МИ 2823 (для нефтепродуктов), если абсолютное значение разности температуры жидкости в ПУ и при измерении плотности: более $5,0^{\circ}\text{C}$ и избыточное давление в ПУ: более $2,0 \text{ МПа}$.

5.11 При отсутствии или отказе поточного вискозиметра отбирают пробу жидкости по ГОСТ 2517 в начале поверки, определяют кинематическую вязкость по ГОСТ 33 при температуре жидкости в ПР и вводят в память СОИ.

При наличии поточного вискозиметра СОИ регистрирует значение кинематической вязкости в начале поверки или согласно 6.3.4.7.

6 Проведение поверки

6.1 Внешний осмотр

При внешнем осмотре устанавливают соответствие поверяемого ПР следующим требованиям:

- комплектность соответствует указанной в эксплуатационной документации;
- на ПР и магнитно-индукционном датчике (МИД) отсутствуют механические повреждения и дефекты покрытий, препятствующие его применению;
- надписи и обозначения на ПР четкие и соответствуют требованиям эксплуатационной документации;
- отсутствуют нарушения герметичности кабельного ввода в МИД.

6.2 Опробование

При опробовании проводят одно измерение при любом значении расхода в пределах рабочего диапазона. Запускают поршень ПУ и при прохождении поршня через первый детектор наблюдают за началом отсчета импульсов, а при прохождении второго детектора – за окончанием отсчета импульсов. Если ПУ двунаправленная, то проводят те же операции при обратном направлении движения поршня. Результаты измерений количества импульсов наблюдают на дисплее СОИ или счетчика импульсов.

6.3 Определение метрологических характеристик

6.3.1 Метрологические характеристики (далее - МХ) рабочего ПР и его градуировочную характеристику (далее - ГХ) определяют при крайних значениях рабочего диапазона и значениях, выбранных внутри него. Значения поверочного расхода (точки рабочего диапазона) выбирают с интервалом не более 20 % от верхнего предела измерений поверяемого ПР (Q_{\max} , м³/ч). Количество точек рабочего диапазона выбирают, исходя из возможностей СОИ. Разбиение рабочего диапазона на поддиапазоны проводят в зависимости от крутизны ГХ ПР, величины рабочего диапазона и вида реализации ГХ в СОИ согласно 7.3.2, 7.3.4.

6.3.2 В зависимости от вида реализации ГХ в СОИ рабочих ПР метрологические характеристики контрольного ПР определяют:

- в крайних точках рабочего диапазона, в котором проведена поверка рабочих ПР, если их ГХ реализована согласно 7.3.1; *- const в Д*
- в тех же точках рабочего диапазона, в котором проведена поверка рабочих ПР, если их ГХ реализована согласно 7.3.2.1; *- const в поддиап.*

– в средних точках поддиапазонов, установленных при поверке рабочих ПР, если их ГХ реализована согласно 7.3.2.2, 7.3.3, 7.3.4.

6.3.3 В случае использования контрольного ПР в качестве резервно-контрольного (контрольный ПР при необходимости используют временно в качестве рабочего ПР) дополнительно определяют его МХ в крайних точках рабочего диапазона, в котором поверены рабочие ПР.

Примечание – Для резервно-контрольного ПР обработку результатов измерений согласно разделу 7 и оформление результатов поверки согласно разделу 8 проводят как для контрольного ПР, так и для рабочего ПР.

6.3.4 Для определения МХ рабочих и контрольных ПР выполняют следующие операции.

(Измененная редакция, изм. №1)

6.3.4.1 Проводят предварительное измерение для установления выбранного значения поверочного расхода жидкости.

Примечания

1 Прохождение поршня ПУ от одного детектора до другого считают за одно измерение, а для двунаправленной ПУ за одно измерение считают движение поршня в прямом и обратном направлении.

2 Если в свидетельстве о поверке ПУ указаны МХ для каждого направления движения поршня, то пуск поршня в каждом направлении считают за одно измерение.

3 Если в свидетельстве о поверке ПУ указаны МХ для двух пар детекторов, то описанные выше операции проводят, используя одновременно обе пары детекторов. При этом пуск поршня считают за два измерения.

4 При использовании компакт-прувера, электронный блок которого имеет функцию арифметического усреднения результатов измерений, допускается за одно измерение считать количество проходов поршня компакт-прувера, равное l ($l \geq 5$), при этом обеспечивают выполнение условий 4.6 и 4.7 за заданное количество проходов поршня.

6.3.4.2 Запускают поршень ПУ и после прохождения поршнем второго детектора регистрируют время прохождения поршнем от одного детектора до другого (T_{0j} , с) и расход жидкости, измеренный с помощью ПУ за это время ($Q_{0j}^{ПУ}$, м³/ч), вычисляемый по формуле

$$Q_{0j}^{ПУ} = \frac{V_{0j} \times 3600}{T_{0j}}, \quad (2)$$

где V_{0j} – вместимость ПУ, м³, при предварительном измерении в j -й точке рабочего диапазона, приведенная к условиям поверки ПР и вычисляемая по формуле (4) после подстановки вместо величин с индексом « ij » величин с индексом « $0j$ »;

T_{0j} - время прохождения поршнем от одного детектора до другого при предварительном измерении в j -й точке рабочего диапазона ($j = 1, 2, \dots, m$, где m - количество точек в рабочем диапазоне).

(Измененная редакция, изм. №1)

П р и м е ч а н и е - Если в качестве ПУ применяют компакт-прувер, то в расчетах используют объем V_{01}^U , полученный при поверке компакт-прувера в режиме Upstream (против потока), если ПР установлен перед ПУ по потоку жидкости, или объем V_{01}^D , полученный при поверке компакт-прувера в режиме Downstream (по потоку), если ПР установлен после ПУ по потоку жидкости.

6.3.4.3 При необходимости проводят корректировку значения поверочного расхода регулятором расхода или запорной арматурой, контролируя его значение согласно 6.3.4.2.

П р и м е ч а н и е - Допускается устанавливать и контролировать значение поверочного расхода согласно приложению В.

6.3.4.4 После стабилизации расхода в соответствии с 4.7 вновь запускают поршень ПУ и проводят серию измерений.

(Измененная редакция, изм. №1)

6.3.4.5 По окончании каждого измерения регистрируют и записывают в протокол поверки (приложение А):

- а) номер точки рабочего диапазона (j);
- б) номер измерения (i);
- в) количество импульсов (N_{ij} , имп);
- г) время движения поршня (T_{ij} , с);
- д) расход жидкости, измеренный с помощью ПУ ($Q_{ij}^{ПУ}$, м³/ч);
- е) частоту выходного сигнала ПР (f_{ij} , Гц);
- жс) температуру (t_{ij} , °С) и давление (P_{ij} , МПа) жидкости в ПР;
- и) средние арифметические значения температуры ($t_{ij}^{пв}$, °С) и давления ($P_{ij}^{пв}$, МПа) жидкости на входе и выходе ПУ.

П р и м е ч а н и я

1 При использовании ТПУ с двумя парами детекторов за один полный цикл прохождения шарового поршня регистрируют и записывают в протокол поверки (приложение А) в две строки результаты двух измерений одновременно (вручную или автоматически, автоматически - при наличии в СОИ соответствующего алгоритма). Например, результаты измерений, соответствующие объемам калиброванных участков 1-3-1 и 2-4-2.

2 При использовании компакт-прувера с функцией согласно примечанию 4 к 6.3.4.1 в протокол поверки (приложение А) для каждого измерения записывают средние арифметические значения параметров, изложенных в перечислениях в), г), д), е), жс), и).

(Измененная редакция, изм. №1)

6.3.4.6 При наличии поточного ПП и/или поточного вискозиметра для каждого измерения дополнительно регистрируют и записывают в протокол поверки (приложение А):

- температуру жидкости в поточном ПП ($t_{ij}^{ПП}$, °С);
- плотность жидкости, измеренную поточным ПП (ρ_{ij} , кг/м³);
- вязкость жидкости, измеренную поточным вискозиметром (ν_{ij} , сСт).

Плотность жидкости, измеренную поточным ПП, приводят к рабочим условиям в ПУ согласно алгоритму, реализованному в СОИ или АРМ-оператора. По приведенному значению плотности и температуры жидкости в ПУ определяют коэффициенты объемного расширения (β , °С⁻¹) и сжимаемости (γ , МПа⁻¹) жидкости согласно приложению Б.

Примечание - При отсутствии в СОИ или АРМ-оператора алгоритма приведения допускаются коэффициенты β_{ij} (°С⁻¹) и γ_{ij} (МПа⁻¹) определять по измеренным значениям ρ_{ij} и $t_{ij}^{ПП}$.

6.3.4.7 Если СОИ проводит коррекцию коэффициента преобразования ПР по отношению частоты выходного сигнала ПР к вязкости жидкости (f/ν), то по окончании измерения СОИ дополнительно регистрирует:

- отношение частоты к вязкости ($(f/\nu)_{ij}$, Гц/сСт).

(Измененная редакция, изм. №1)

6.3.4.8 Если количество импульсов выходного сигнала поверяемого ПР, соответствующее одному измерению, меньше 10 000, то измеряют и вычисляют доли периода следования импульсов (далее – доли периода) с точностью до:

- 0,1 периода, если целая часть измеренного количества импульсов составляет четырехзначное число;
- 0,01 периода, если целая часть измеренного количества импульсов составляет трехзначное число;
- 0,001 периода, если целая часть измеренного количества импульсов составляет двузначное число.

Доли периода измеряют и вычисляют автоматически с помощью СОИ (вычислителя расхода или ИВК, входящего в состав СОИ) или электронного блока ПУ. В противном случае измерения и вычисления долей периода проводят в соответствии с приложением Г.

6.3.4.9 Для каждой точки рабочего диапазона при поверке рабочих ПР проводят не менее пяти измерений, а контрольных ПР – не менее семи измерений.

Примечание – При поверке ПР, работающих в комплекте с СОИ фирмы «NICHIMEN» (Япония), для сокращения числа измерений (при разбиении рабочего диапазона на четыре поддиапазона согласно 7.3.4) допускается в каждой точке рабочего диапазона для рабочих ПР проводить не менее четырех измерений, а для контрольных ПР – не менее шести измерений.

6.3.4.10 Операции по 6.3.4.1–6.3.4.9 проводят во всех точках рабочего диапазона.

6.3.5 При отсутствии или отказе поточного вискозиметра отбирают пробу жидкости по ГОСТ 2517 в конце поверки, определяют кинематическую вязкость по ГОСТ 33 при температуре жидкости в ПР и вводят значение вязкости в память СОИ.

7 Обработка результатов измерений

При обработке результатов измерений определяют коэффициенты преобразования, оценивают среднее квадратическое отклонение (далее - СКО) случайной составляющей погрешности определения коэффициентов преобразования, параметры ГХ, неисключенную систематическую и случайную составляющие погрешности и оценивают относительную погрешность.

(Измененная редакция, изм. №1)

7.1 Вычисление коэффициентов преобразования в точках рабочего диапазона

7.1.1 Коэффициент преобразования (K_{ij} , имп/м^3) при i -м измерении в j -й точке рабочего диапазона вычисляют по формуле

$$K_{ij} = \frac{N_{ij}}{V_{ij}}, \quad (3)$$

где V_{ij} - значение вместимости ПУ при i -м измерении в j -й точке рабочего диапазона, приведенное к условиям поверки ПР и вычисляемое по формуле

$$V_{ij} = V_0 \times k_{ij}^{ip}, \quad (4)$$

где k_{ij}^{ip} - поправочный коэффициент для приведения вместимости ПУ к условиям поверки ПР при i -м измерении в j -й точке рабочего диапазона, вычисляемый по формуле

$$k_{ij}^{ip} = k_{ij}^t \times k_{ij}^p \times k_{ij}^{tx} \times k_{ij}^{px}, \quad (5)$$

где k_{ij}^t - коэффициент, учитывающий влияние температуры стенок ПУ на вместимость ПУ при i -м измерении в j -й точке рабочего диапазона, вычисляемый по формуле (6) для трубопоршневой поверочной установки и по формуле (7) для компакт-прувера;

k_{ij}^p - коэффициент, учитывающий влияние давления жидкости на вместимость ПУ при i -м измерении в j -й точке рабочего диапазона, вычисляемый по формуле (8);

k_{ij}^{tx} - коэффициент, учитывающий разность температур жидкости в ПР и ПУ при i -м измерении в j -й точке рабочего диапазона, вычисляемый по формуле (9);

k_{ij}^{px} - коэффициент, учитывающий разность давлений жидкости в ПР и в ПУ при i -м измерении в j -й точке рабочего диапазона и вычисляемый по формуле (10).

7.1.1.1 Для трубопоршневой поверочной установки (k_{ij}^t) вычисляют по формуле

$$k_{ij}^t = 1 + 3\alpha_i \chi(t_{ij}^{PV} - 20), \quad (6)$$

где α_i - коэффициент линейного расширения материала стенок ПУ, $^{\circ}\text{C}^{-1}$ (определяют по таблице Б.3 приложения Б);

t_{ij}^{PV} - среднее арифметическое значение температуры жидкости на входе и выходе ПУ при i -м измерении в j -й точке рабочего диапазона, $^{\circ}\text{C}$.

7.1.1.2 Для компакт-прувера (k_{ij}^t) вычисляют по формуле

$$k_{ij}^t = 1 + \alpha_{кл} \chi(t_{ij}^{PV} - 20) + 1,44 \times 10^{-6} \chi(t^{ст} - 20), \quad (7)$$

где $\alpha_{кл}$ - квадратичный коэффициент расширения стали, $^{\circ}\text{C}^{-1}$ (определяют по таблице Б.4 приложения Б);

$1,44 \cdot 10^{-6}$ - коэффициент линейного расширения инваровых стержней, $^{\circ}\text{C}^{-1}$;

$t^{ст}$ - температура инваровых стержней, $^{\circ}\text{C}$ (принимают равной температуре окружающей среды).

7.1.2 Коэффициент (k_{ij}^P) вычисляют по формуле

$$k_{ij}^P = 1 + \frac{0,95 \times D}{E \times S} \chi P_{ij}^{PV}, \quad (8)$$

где P_{ij}^{PV} - среднее арифметическое значение давления жидкости на входе и выходе ПУ при i -м измерении в j -й точке рабочего диапазона, МПа;

D, S - внутренний диаметр и толщина стенок калиброванного участка ПУ, соответственно, мм (берут из эксплуатационной документации ПУ);

E - модуль упругости материала стенок ПУ, МПа (определяют по таблицам Б.3, Б.4 приложения Б).

7.1.3 Коэффициент (k_{ij}^{tx}) вычисляют по формуле

$$k_{ij}^{tx} = 1 + \beta_{ij} \chi(t_{ij} - t_{ij}^{PV}), \quad (9)$$

где t_{ij} - значение температуры жидкости в ПР при i -м измерении в j -й точке рабочего диапазона, $^{\circ}\text{C}$;

β_{ij} - коэффициент объемного расширения жидкости, $^{\circ}\text{C}^{-1}$ (определяют по приложению Б).

7.1.4 Коэффициент ($k_{ij}^{Pж}$) вычисляют по формуле

$$k_{ij}^{Pж} = 1 - \gamma_{ij} \chi(P_{ij} - P_{ij}^{PV}), \quad (10)$$

где P_{ij} - значение давления жидкости в ПР при i -м измерении в j -й точке рабочего диапазона, МПа;

γ_{ij} - коэффициент сжимаемости жидкости, МПа⁻¹ (определяют по приложению Б).

7.1.5 Вычисления значений V_{ij} (м³) проводят согласно соответствующим алгоритмам, реализованным в СОИ (вычислителя расхода или ИВК, входящем в состав СОИ) или электронном блоке ПУ, если перечисленные средства измерений имеют сертификаты об утверждении типа.

Примечание - При использовании компакт-прувера с функцией согласно примечанию 4 к 6.3.4.1 при вычислениях используют средние арифметические значения параметров за заданное (l) количество проходов поршня, принимаемое за одно измерение:

- в формуле (3): количества импульсов ($N_{ij} \Rightarrow \bar{N}_{(ij)}$);
- в формуле (7): температуры жидкости в компакт-прувере ($t_{ij}^{пв} \Rightarrow \bar{t}_{(ij)}^{пв}$);
- в формуле (8): давления жидкости в компакт-прувере ($P_{ij}^{пв} \Rightarrow \bar{P}_{(ij)}^{пв}$);
- в формуле (9): температуры жидкости в компакт-прувере и в ПР ($t_{ij} \Rightarrow \bar{t}_{(ij)}$ и $t_{ij}^{пв} \Rightarrow \bar{t}_{(ij)}^{пв}$);
- в формуле (10): давления жидкости в компакт-прувере и в ПР ($P_{ij}^{пв} \Rightarrow \bar{P}_{(ij)}^{пв}$ и $P_{ij} \Rightarrow \bar{P}_{(ij)}$).

7.2 Определение средних значений измеренных и вычисленных величин и оценивание СКО случайной составляющей погрешности в каждой точке рабочего диапазона

(Измененная редакция, изм. №1)

7.2.1 Средние значения коэффициентов преобразования (\bar{K}_j , имп/м³) в каждой точке рабочего диапазона вычисляют по формуле

$$\bar{K}_j = \frac{1}{n_j} \sum_{i=1}^{n_j} K_{ij}, \quad (1)$$

где n_j - количество измерений в j -й точке рабочего диапазона.

7.2.2 Для определения средних значений в j -й точке измеренных и вычисленных величин: частоты выходного сигнала ПР (f_j , Гц), расхода жидкости ($Q_j^{пв}$, м³/ч), отношения частоты к вязкости (f/ν) _{j} используют выражение (11), подставляя в эту формулу вместо K_{ij} частоту f_{ij} , расход Q_{ij} и отношение (f/ν) _{ij} , соответственно, полученные при i -м измерении в j -й точке рабочего диапазона.

7.2.3 СКО случайной составляющей погрешности определений коэффициентов преобразования в каждой точке рабочего диапазона (S_j , %) вычисляют по формуле

$$S_j = \sqrt{\frac{1}{n_j - 1} \sum_{i=1}^{n_j} (K_{ij} - \bar{K}_j)^2} \times \frac{100}{\bar{K}_j}. \quad (12)$$

7.2.4 Проверяют выполнение условия

$$S_j \leq 0,02. \quad (13)$$

(Измененная редакция, изм. №1)

7.2.5 Если условие (13) не выполнено, анализируют причины и выявляют промахи согласно приложению Д настоящей рекомендации.

Допускают не более одного промаха из количества измерений, выполненных в точке расхода. В противном случае поверку прекращают.

7.2.6 После исключения промахов при необходимости количество измерений доводят до значения, указанного в 6.3.4.9.

7.2.7 Проводят повторное оценивание СКО по 7.2.1-7.2.4.

7.2.8 При повторном невыполнении условия (13) поверку прекращают.

7.2.9 При соблюдении условия (13) после выполнения операций по 7.2.4 или 7.2.7 проводят дальнейшую обработку результатов измерений.

7.3 Определение параметров градуировочной характеристики

Градуировочная характеристика ПР – функция, описывающая зависимость между коэффициентом преобразования ПР (K , имп/м³) и одной из величин: расхода жидкости (Q , м³/ч), частоты выходного сигнала ПР (f , Гц), отношения частоты к вязкости жидкости (f/ν , Гц/сСт).

В зависимости от вида реализации ГХ в СОИ параметры ГХ определяют согласно 7.3.1-7.3.4.

7.3.1 При реализации ГХ в виде постоянного значения коэффициента преобразования в рабочем диапазоне коэффициент преобразования (K_d , имп/м³) вычисляют по формуле

$$K_d = \frac{1}{m} \times \sum_{j=1}^m \bar{K}_j, \quad (14)$$

где m – количество точек рабочего диапазона;

\bar{K}_j – коэффициенты преобразования, вычисленные по формуле (11), имп/м³.

7.3.2 При реализации ГХ согласно 7.3.2.1-7.3.2.2 рабочий диапазон разбивают на поддиапазоны. Границами поддиапазонов являются точки рабочего диапазона, в которых проведена поверка. Количество поддиапазонов: на единицу меньше количества точек рабочего диапазона.

(Измененная редакция, изм. №1)

7.3.2.1 При реализации ГХ в виде постоянных значений коэффициентов преобразования в поддиапазонах коэффициенты преобразования в каждом поддиапазоне ($K_{пдк}$, имп/м^3) вычисляют по формуле

$$K_{пдк} = \frac{\bar{K}_j + \bar{K}_{j+1}}{2}, \quad (15)$$

где \bar{K}_j, \bar{K}_{j+1} - коэффициенты преобразования, вычисленные по формуле (11), в граничных точках поддиапазона, имп/м^3 .

7.3.2.2 При реализации ГХ в виде ломаной линии зависимость коэффициента преобразования в каждом поддиапазоне от одной из величин (Q , f или f/v) имеет вид прямой линии, соединяющей значения коэффициентов преобразования, вычисленных по формуле (11), в граничных точках поддиапазона. В память СОИ вводят вычисленные по формуле (11) значения коэффициентов преобразования и соответствующие значения (Q , f или f/v) в точках рабочего диапазона.

7.3.3 При реализации ГХ в виде полинома в рабочем диапазоне в память СОИ вводят вычисленные по формуле (11) значения коэффициентов преобразования и соответствующие значения расхода в точках рабочего диапазона. СОИ автоматически вычисляет по значениям коэффициентов преобразования в точках рабочего диапазона параметры полиномиальной зависимости.

7.3.4 При реализации ГХ в виде кусочно-параболической аппроксимации зависимости коэффициента преобразования от отношения (f/v), как в СОИ фирмы «NICHIMEN» (Япония), рабочий диапазон разбивают на поддиапазоны, включающие не менее трех точек. Выбор границ разделения проводят индивидуально для каждого рабочего ПР с учетом крутизны ГХ. Количество поддиапазонов принимают равным двум, трем или четырем в зависимости от крутизны ГХ и величины рабочего диапазона. Зависимость коэффициента преобразования от отношения (f/v) в поддиапазоне имеет вид параболы второго порядка

$$K_k = A_k \cdot \lg^2(f/v)_j + B_k \cdot \lg(f/v)_j + C_k, \quad (16)$$

где A_k, B_k, C_k - коэффициенты параболы в k -м поддиапазоне;

$\lg(f/v)_j$ - логарифм отношения частоты к вязкости в j -й точке рабочего диапазона.

В память СОИ вводят границы разделения на поддиапазоны. Поскольку жесткой программой СОИ фирмы «NICHIMEN» предусмотрено строго четыре поддиапазона и соответственно три граничных значения (f/v) между ними, для меньшего количества поддиапазонов в память вводят повторяющиеся значения (f/v).

Пример – В рабочем диапазоне параметра (f/v) (10-40) определение коэффициентов преобразования проведено в точках 10, 15, 20, 25, 30, 40 и принято решение разбить рабочий диапазон на два поддиапазона граничным значением (f/v) = 22. В память СОИ, кроме граничных точек 10 и 40, три раза вводят число 22.

Примечание – Определение параметров ГХ выполняют автоматически с помощью программы обработки результатов измерений, реализованной в СОИ.

7.4 Определение неисключенной систематической погрешности

(Измененная редакция, изм. №1)

7.4.1 Неисключенную систематическую погрешность (Θ_{Σ} , %) вычисляют:

- для контрольных ПР по формуле (17);
- для рабочих ПР с реализацией ГХ в СОИ согласно 7.3.1, ~~7.3.3~~ по формуле (18);
- для рабочих ПР с реализацией ГХ в СОИ согласно 7.3.2, ~~7.3.4~~ по формуле (19).

$$\Theta_{\Sigma} = 1,1 \times \sqrt{\Theta_{\Sigma 0}^2 + \Theta_{V_0}^2 + \Theta_t^2 + (\delta_{\text{СОИ}}^{(K)})^2}, \quad \text{или } \beta \quad (17)$$

$$\Theta_{\Sigma Д} = 1,1 \times \sqrt{\Theta_{\Sigma 0}^2 + \Theta_{V_0}^2 + \Theta_t^2 + (\delta_{\text{СОИ}}^{(K)})^2 + \Theta_{\text{АД}}^2}, \quad \text{или } \beta \quad (18)$$

$$\Theta_{\Sigma \text{ПДК}} = 1,1 \times \sqrt{\Theta_{\Sigma 0}^2 + \Theta_{V_0}^2 + \Theta_t^2 + (\delta_{\text{СОИ}}^{(K)})^2 + \Theta_{\text{АПДК}}^2}, \quad \text{или } \beta \quad (19)$$

- где $\Theta_{\Sigma 0}$ - граница суммарной составляющей неисключенной систематической погрешности ПУ, % (берут из свидетельства о поверке ПУ);
- Θ_{V_0} - граница составляющей неисключенной систематической погрешности определения среднего значения вместимости ПУ, % (берут из свидетельства о поверке ПУ);
- $\delta_{\text{СОИ}}^{(K)}$ - предел допускаемой относительной погрешности определений коэффициентов преобразования в СОИ, % (берут из свидетельства о поверке или из протокола поверки СОИ);
- Θ_t - граница составляющей неисключенной систематической погрешности, обусловленная погрешностью измерений температуры, %, вычисляемая по формуле (20);

$$\Theta_t = \beta_{\text{max}} \times \sqrt{\Delta t_{\text{ПР}}^2 + \Delta t_{\text{ПУ}}^2} \times 100, \quad (20)$$

- где β_{max} - максимальное значение, выбранное из ряда коэффициентов объемного расширения жидкости, определенных согласно приложению Б по значениям плотности и температуры жидкости при всех измерениях в точках рабочего диапазона, $^{\circ}\text{C}^{-1}$;

$\Delta t_{\text{ПР}}, \Delta t_{\text{ПУ}}$ - пределы допускаемой абсолютной погрешности преобразователей

температуры в измерительной линии ПР и ПУ (берут из свидетельств проверки преобразователей температуры), °С;

$\Theta_{\text{АД}}$, $\Theta_{\text{АДк}}$ - границы составляющей неисключенной систематической погрешности, обусловленные погрешностью аппроксимации ГХ для рабочего диапазона и поддиапазона, соответственно, (определяют по формулам (21)–(23) в зависимости от вида реализации ГХ в СОИ), %.

(Измененная редакция, изм. №1)

7.4.2 При реализации ГХ в СОИ согласно 7.3.1 границу составляющей неисключенной систематической погрешности ($\Theta_{\text{АД}}$, %) в рабочем диапазоне вычисляют по формуле

$$\Theta_{\text{АД}} = \max \left| \frac{\bar{K}_j - K_{\text{Д}}}{K_{\text{Д}}} \right| \times 100, \quad (21)$$

где \bar{K}_j - значение коэффициента преобразования, имп/м³, в j-й точке рабочего диапазона, вычисленное по формуле (11);

$K_{\text{Д}}$ - среднее значение коэффициента преобразования, имп/м³, в рабочем диапазоне, вычисленное по формуле (14).

(Измененная редакция, изм. №1)

7.4.3 При реализации ГХ в СОИ согласно 7.3.2.1 границу составляющей неисключенной систематической погрешности ($\Theta_{\text{АДк}}$, %) в каждом поддиапазоне вычисляют по формуле

$$\Theta_{\text{АДк}} = \left| \frac{\bar{K}_j - K_{\text{к}}}{K_{\text{к}}} \right| \times 100, \quad (22)$$

где $K_{\text{к}}$ - среднее значение коэффициента преобразования, имп/м³, в поддиапазоне, вычисленное по формуле (15).

(Измененная редакция, изм. №1)

7.4.4 При реализации ГХ в СОИ согласно 7.3.2.2 и 7.3.3, границу составляющей неисключенной систематической погрешности ($\Theta_{\text{АДк}}$, %) в каждом поддиапазоне вычисляют по формуле

$$\Theta_{\text{АДк}} = \frac{1}{2} \times \left| \frac{\bar{K}_j - \bar{K}_{j+1}}{\bar{K}_j + \bar{K}_{j+1}} \right| \times 100 \quad (23)$$

7.4.5 При реализации ГХ в СОИ согласно 7.3.4 СОИ автоматически вычисляет и выводит на дисплей значения границ составляющих неисключенной систематической погрешности аппроксимации ГХ.

(Измененная редакция, изм. №1)

7.5 Определение случайной составляющей погрешности

7.5.1 Для каждой j -й точки расхода вычисляют случайную составляющую погрешности определения коэффициента преобразования ПР (далее – случайная погрешность) при доверительной вероятности $P = 0,95$ (ε_j , %) по формуле

$$\varepsilon_j = t_{0,95j} \times S_j, \quad (24)$$

где $t_{0,95j}$ - коэффициент Стьюдента (определяют по таблице Д.2 приложения Д).

7.5.2 Случайную погрешность определяют следующим образом:

7.5.2.1 Для контрольных ПР: для каждой j -й точки по формуле (24).

7.5.2.2 Для рабочих ПР с реализацией ГХ в СОИ согласно 7.3.1: для всего рабочего диапазона по формуле

$$\varepsilon_D = \max(\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_m), \quad (25)$$

где ε_D - значение случайной погрешности в рабочем диапазоне, %;

$\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_m$ - значения случайных погрешностей в первой, второй (и далее) точках расхода соответственно рабочего диапазона.

7.5.2.3 Для рабочих ПР с реализацией ГХ в СОИ согласно 7.3.2, 7.3.3 и 7.3.4: для каждого k -го поддиапазона по формуле

$$\varepsilon_{ПДk} = \max(\varepsilon_{1k}, \varepsilon_{2k}, \dots, \varepsilon_{nk}), \quad (26)$$

где $\varepsilon_{ПДk}$ - значение случайной погрешности в k -м поддиапазоне, %;

$\varepsilon_{1k}, \varepsilon_{2k}, \dots, \varepsilon_{nk}$ - значения случайных погрешностей в первой, второй (и далее) точках расхода для k -го поддиапазона.

Примечания

1 В формуле (25) используют максимальное значение случайной погрешности из ряда значений, определенных для точек расхода рабочего диапазона.

2 В формуле (26) используют максимальное значение случайной погрешности из ряда значений, определенных для точек расхода k -го поддиапазона.

7.6 Определение относительной погрешности

(Измененная редакция, изм. №1)

7.6.1 Относительную погрешность рабочих и контрольных ПР вычисляют следующим образом:

7.6.1.1 Для контрольных ПР: в каждой j -й точке расхода (δ_j , %) по формуле

$$\delta_j = \begin{cases} Z_j \times (\Theta_z + \varepsilon_j) & \text{при } 0,8 \leq \Theta_z / S_j \leq 8, \\ \Theta_z & \text{при } \Theta_z / S_j > 8; \end{cases} \quad (27)$$

7.6.1.2 Для рабочих ПР с реализацией ГХ в СОИ согласно 7.3.1 и 7.3.3: в рабочем диапазоне (δ_D , %) по формуле

$$\delta_D = \begin{cases} Z_D \times (\Theta_{zD} + \varepsilon_D) & \text{при } 0,8 \leq \Theta_{zD} / S_D \leq 8, \\ \Theta_{zD} & \text{при } \Theta_{zD} / S_D > 8; \end{cases} \quad (28)$$

7.6.1.3 Для рабочих ПР с реализацией ГХ в СОИ согласно 7.3.2 и 7.3.3: в каждом k -м поддиапазоне ($\delta_{пдк}$, %) по формуле

$$\delta_{пдк} = \begin{cases} Z_{пдк} \times (\Theta_{\Sigma пдк} + \varepsilon_{пдк}) & \text{при } 0,8 \leq \Theta_{\Sigma пдк} / S_{пдк} \leq 8, \\ \Theta_{\Sigma пдк} & \text{при } \Theta_{\Sigma пдк} / S_{пдк} > 8; \end{cases} \quad (29)$$

где $Z_j, Z_d, Z_{пдк}$ - коэффициенты, зависящие от значений отношений $\Theta_{\Sigma} / S_j, \Theta_{\Sigma d} / S_d, \Theta_{\Sigma пдк} / S_{пдк}$ соответственно (определяют по таблице Д.3 приложения Д).

Примечания

1 В формуле (27) используют значение СКО (S_j), вычисленное по формуле (12) для каждой точки расхода.

2 В формуле (28) используют значение СКО (S_d) из ряда значений, вычисленных по формуле (12) для каждой точки в рабочем диапазоне, и соответствующее значению ε_d .

3 В формуле (29) используют значение СКО ($S_{пдк}$) из ряда значений, вычисленных по формуле (12) для каждой точки в k -м поддиапазоне, и соответствующее значению $\varepsilon_{пдк}$.

7.6.2 Вычисленные по формулам (27) – (29) значения относительной погрешности ПР должны быть в пределах допустимой относительной погрешности:

для рабочих ПР: $\pm 0,15$ % (в рабочем диапазоне или в каждом поддиапазоне в зависимости от способа реализации ГХ в СОИ);

для контрольных ПР: $\pm 0,10$ % (в выбранных точках рабочего диапазона).

7.6.3 Положительным результатом поверки считают выполнение условия 7.6.2.

7.6.4 При невыполнении условия 7.6.2 для контрольных ПР в какой-либо точке рабочего диапазона и для рабочих ПР во всех поддиапазонах при реализации ГХ в СОИ согласно 7.3.2, 7.3.4 или в рабочем диапазоне при реализации ГХ в СОИ согласно 7.3.1, 7.3.3 поверку прекращают.

7.6.5 Если условие 7.6.2 для рабочих ПР не выполнено, то при наличии возможности в СОИ увеличения количества точек рабочего диапазона те поддиапазоны, где не выполнено условие 7.6.2, делят на два поддиапазона и проводят операции по 6.3.4 и разделу 7 в дополнительных точках рабочего диапазона и новых поддиапазонах.

7.6.6 Если условие 7.6.2 для рабочих ПР не выполнено только в одном поддиапазоне и отсутствует возможность в СОИ увеличения количества точек рабочего диапазона, то поддиапазон, где не выполнено условие 7.6.2, сужают, то есть вводят новые точки разбиения этого поддиапазона (при сохранении заданного количества точек) и проводят операции по 6.3.4 и разделу 7 в новых точках рабочего диапазона и новых поддиапазонах.

7.6.7 При повторном невыполнении условия 7.6.2 поверку прекращают.

8 Оформление результатов поверки

(Измененная редакция, изм. №1)

8.1 Результаты поверки оформляют протоколом по форме, приведенной в приложении А. Один экземпляр протокола поверки, закрепленный личной подписью и оттиском клейма поверительного, прилагают к свидетельству о поверке как обязательное приложение.

Для СОИ, реализующих ГХ согласно 7.3.4 (СОИ фирмы NICHIMEN и ей аналогичные), к протоколу поверки в качестве обязательного приложения прилагают распечатку со значениями коэффициентов A_k , B_k , C_k для всех поддиапазонов и значениями f/v , соответствующими граничным точкам поддиапазонов.

П р и м е ч а н и е – При оформлении протокола поверки средствами вычислительной техники и вручную допускается форму протокола поверки представлять в измененном виде согласно условиям заполнения колонок протокола поверки приложения А настоящей рекомендации.

8.2 При положительном результате поверки согласно 7.6.3 оформляют свидетельство о поверке ПР в соответствии с ПР 50.2.006.

8.3 На лицевой стороне свидетельства о поверке рабочего ПР записывают, что преобразователь расхода на основании результатов поверки признан годным и допущен к применению с пределами относительной погрешности: $\pm 0,15\%$.

8.4 На лицевой стороне свидетельства о поверке контрольного ПР записывают, что преобразователь расхода на основании результатов поверки признан годным и допущен к применению в качестве контрольного с пределами относительной погрешности: $\pm 0,10\%$.

8.5 На оборотной стороне свидетельства о поверке рабочего ПР указывают:

- рабочий диапазон расходов, в котором поверен ПР;
- значения вязкости в начале и в конце поверки;
- значения относительной погрешности ПР в рабочем диапазоне и коэффициента преобразования ПР при реализации ГХ в СОИ в виде постоянного значения коэффициента преобразования в рабочем диапазоне;
- значения относительных погрешностей в поддиапазонах, значения коэффициентов преобразования ПР в точках рабочего диапазона и соответствующие значения расхода жидкости (частоты) или отношений (f/v) при реализации ГХ в СОИ в виде постоянных значений коэффициентов преобразования в поддиапазонах, или в виде ломаной, или в виде полинома;
- значения относительных погрешностей в поддиапазонах, значения коэффициентов преобразования ПР в точках рабочего диапазона и соответствующие значения отно-

шений (f/v) и границы поддиапазонов при реализации ГХ в СОИ в виде кусочно-параболической аппроксимации.

8.6 На оборотной стороне свидетельства о поверке контрольного ПР указывают значения относительных погрешностей, коэффициентов преобразования и расходов в точках рабочего диапазона.

8.7 Проводят пломбирование ПР согласно рисунку 2. На пломбы наносят оттиск клейма поверителя в соответствии с ПР 50.2.007.

8.8 Согласно инструкции по эксплуатации в СОИ устанавливают значения коэффициента(ов) преобразования ПР, вычисленные по формуле (11) для контрольного ПР, и параметры ГХ для рабочего ПР, вычисленные согласно 7.3 в зависимости от вида реализации ГХ в СОИ.

8.9 При отрицательных результатах поверки ПР к эксплуатации не допускают, свидетельство о поверке аннулируют, клеймо гасят и выдают извещение о непригодности с указанием причин в соответствии с ПР 50.2.006.

П р и м е ч а н и я

1 Значения объемов (m^3) и коэффициентов преобразования (имп/ m^3) вычисляют с точностью до семи значащих цифр (не менее), в протокол поверки (приложение А) записывают значения, округленные до шести значащих цифр.

2 Значения СКО и погрешностей (%) вычисляют с точностью до четвертого знака после запятой (не менее), в протокол поверки (приложение А) записывают значения, округленные до третьего знака после запятой.

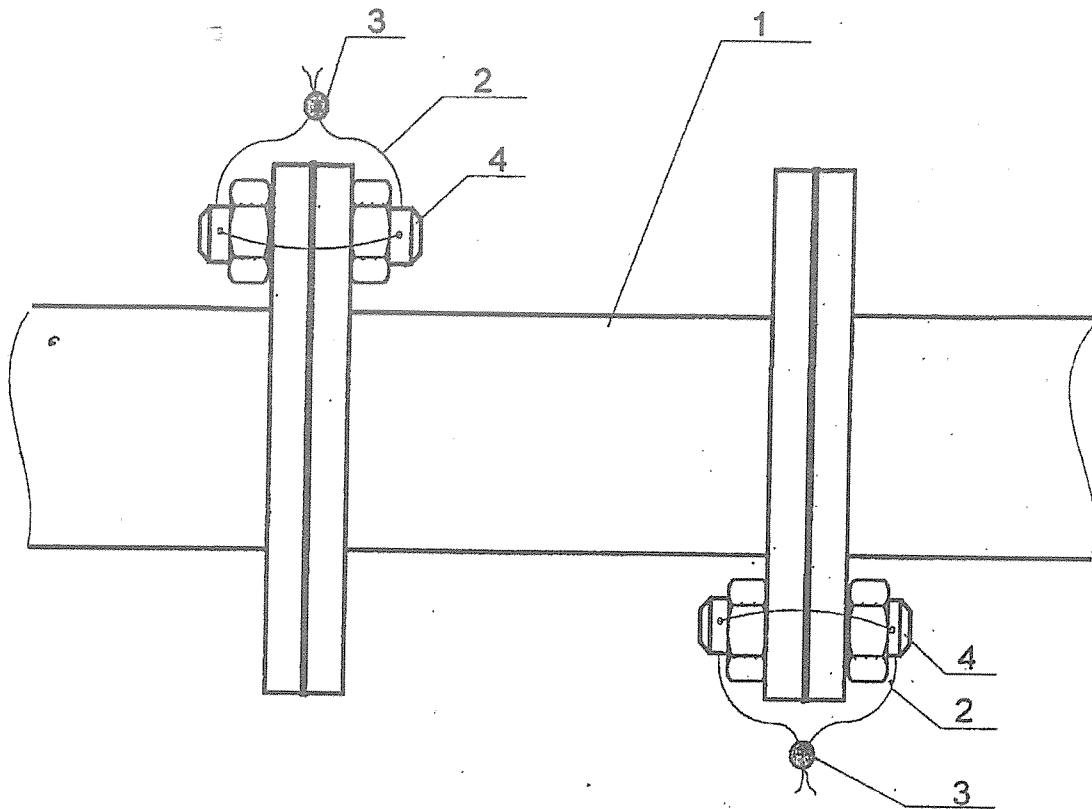
3 Значения поправочных коэффициентов для приведения объема вычисляют с точностью до седьмого знака после запятой (не менее), в протокол поверки (приложение А) записывают значения округленные до шестого знака после запятой.

4 Значения температуры ($^{\circ}C$) количества импульсов (имп), давления (МПа), вязкости (сСт), времени движения поршня от одного детектора до другого (с), и частоты (Гц) записывают в протокол поверки (приложение А) округленными до второго знака после запятой.

5 Значения отношения частоты к вязкости (сСт/Гц) вычисляют до четвертого знака после запятой (не менее), в протокол поверки (приложение А) записывают значения, округленные до третьего знака после запятой.

(Измененная редакция, изм. №1)

6 Значения количества импульсов (N, имп) измеряют с точностью до целого количества импульсов при $N > 10000$ имп и с точностью до пяти значащих цифр (не менее) при $N < 10000$ имп, в протокол поверки (приложение А) записывают измеренные значения количества импульсов.



Примечание - Остальные крепежные шпильки и МИД не показаны

Рисунок 2 - Пломбирование РР

1 - РР; 2 - контрольные проволоки; 3 - пломбы; 4 - шпильки

(Измененная редакция, изм. №1)

Приложение А
(обязательное)

ПРОТОКОЛ № _____

поверки преобразователя расхода с помощью поверочной установки по МИ 1974-2004

Место проведения поверки: СИКН № ПСП (НСП)
 ПР: Тип Зав. № Линия № Принадлежит
 ПУ: Тип Разряд Зав. № Принадлежит
 Рабочая жидкость Вязкость при поверке: мин сСт, макс сСт.
 Содержание воды в нефти (заполняют только для узлов учета сырой нефти) % (в объемных долях)

Таблица 1 – Исходные данные

Детекторы	Поверочной установки (ПУ)										СОИ	ПР	Жидкости	
	$V_0, \text{ м}^3$	$D, \text{ мм}$	$S, \text{ мм}$	$E, \text{ МПа}$	$\alpha_1 (\alpha_{k1}), \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$	$\Theta_{\Sigma \text{от}}, \text{ \%}$	$\Theta_{V_0}, \text{ \%}$	$\Delta t_{\text{ПУ}}, \text{ } ^\circ\text{C}$	$t^{\text{см}}, \text{ } ^\circ\text{C}$	$\delta_{\text{СОИ}}^{(K)}, \text{ \%}$	$\Delta t_{\text{ПР}}, \text{ } ^\circ\text{C}$	$\rho, \text{ кг/м}^3$	$t_p, \text{ } ^\circ\text{C}$	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	

Таблица 2 – Результаты измерений и вычислений

№ точ/ № изм j/i	$Q_j, \text{ м}^3/\text{ч}$	по ПУ					по ПР				
		Детекторы	$T_j, \text{ с}$	$t_{\text{ПУ}}, \text{ } ^\circ\text{C}$	$P_{\text{ПУ}}, \text{ МПа}$	$V_{\text{ип}}, \text{ м}^3$	$f_j, \text{ Гц}$	$t_j, \text{ } ^\circ\text{C}$	$P_j, \text{ МПа}$	$N_j, \text{ имп}$	$K_j, \text{ имп/м}^3$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1/1											
...											
1/n ₁											
...											
m/1											
...											
m/n _m											

Продолжение таблицы 2

№ точ/ № изм j/i	по ПП		по ВИСКОЗИМ.
	$\rho_j, \text{ кг/м}^3$	$t_j^{\text{ПП}}, \text{ } ^\circ\text{C}$	$\nu_j, \text{ сСт}$
1	13	14	15
1/1			
...			
1/n ₁			
...			
m/1			
...			
m/n _m			

Таблица 3 – Результаты поверки в точках рабочего диапазона

№ точки (j)	$Q_j, \text{ м}^3/\text{ч}$	$f_j (f^{\text{н}})_j, \text{ Гц (Гц/сСт)}$	$K_j, \text{ имп/м}^3$	$S_j, \text{ \%}$	$\varepsilon_j, \text{ \%}$	$\Theta_{\Sigma j}, \text{ \%}$	$\delta_j, \text{ \%}$
1	2	3	4	5	6	7	8
1							
...							
m							

Таблица 4 – Результаты поверки в поддиапазонах

№ ПД (k)	$Q_{min k},$ м ³ /ч	$Q_{max k},$ м ³ /ч	$\varepsilon_{пдк},$ %	$\ominus_{АПДк},$ %	$\ominus_{\Sigma ПДк},$ %	$\delta_{пдк},$ %	$K_{пдк},$ имп/м ³
1	2	3	4	5	6	7	8
1							
...							
m-1							

Таблица 5 – Результаты поверки в рабочем диапазоне

$Q_{min},$ м ³ /ч	$Q_{max},$ м ³ /ч	$\varepsilon_D,$ %	$\ominus_{AD},$ %	$\ominus_{\Sigma D},$ %	$\delta_D,$ %	$K_D,$ имп/м ³
1	2	3	4	5	6	7

Заключение: преобразователь расхода к дальнейшей эксплуатации _____ (годен, не годен)

Должность лица, проводившего поверку _____ (подпись) _____ (инициалы, фамилия)

Дата поверки « ___ » _____ 20___ г.

(Измененная редакция, изм. №1)

Пояснения к оформлению протокола поверки

A.1 В преамбулу протокола минимальное, максимальное значения вязкости, в колонку 15 таблицы 2 текущие значения вязкости записывают только при наличии в БИК поточного вискозиметра.

При отсутствии или отказе поточного вискозиметра в преамбулу протокола записывают определенные в испытательной лаборатории значения вязкости точечных проб жидкости, отобранных в начале и в конце поверки. При этом колонку 15 таблицы 2 не заполняют.

A.2 Заполнение таблицы 1 (заполняют построчно).

A.2.1 В колонку 1 записывают направление движения шарового поршня ПУ между детекторами, в колонку 2 - значение объема калиброванного участка ПУ между детекторами, в колонки 7 и 8 - значения составляющих погрешности ТПУ.

Если в свидетельстве о поверке ПУ указаны несколько значений объемов, то в колонку 1 записывают построчно направления движения поршня, соответствующие этим объемам. Например, 1-2, 2-1, 1-2-1, 1-3, 2-4, 1-3-1, 2-4-2 и т.д. В колонки 2, 7 и 8 записывают соответствующие значения объемов калиброванных участков и составляющих погрешности.

A.2.2 В колонку 6 записывают значение α_{Σ} при использовании трубопоршневой поверочной установки, при использовании компакт-прувера - значение $\alpha_{\Sigma к1}$.

A.2.3 Колонку 10 заполняют только при использовании компакт-прувера, куда записывают значение температуры окружающей среды согласно 7.1.1.2.

A.2.4 Колонки 13 и 14 заполняют только при отсутствии или отказе поточного плотномера.

A.3 Таблицы 2 и 3 заполняют для всех видов реализации ГХ поверяемого ПР.

A.4 Таблицу 4 заполняют при реализации ГХ поверяемого ПР согласно 7.3.2, 7.3.3, 7.3.4. , при этом колонку 9 заполняют только при реализации ГХ согласно 7.3.2.1.

A.5 Таблицу 5 заполняют при реализации ГХ поверяемого ПР согласно 7.3.1.

A.6 Заполнение таблицы 2 (заполняют построчно).

А.6.1 В колонку 3 записывают направление движения шарового поршня от детектора «старт» до детектора «стоп» согласно записи в колонке 1 таблицы 1 (1-2, 2-1, 1-2-1 – для ТПУ с одной парой детекторов, 1-3, 2-4, 3-1, 4-2, 1-3-1, 2-4-2 – для ТПУ с двумя парами детекторов).

А.6.2 При использовании ТПУ с двумя парами детекторов таблицу заполняют с соблюдением условия согласно примечанию 1 к 6.3.4.5.

Примечание - При применении компакт-прувера с функцией согласно примечанию 4 к 6.3.4.1 в таблицу 2 записывают средние арифметические значения соответствующих параметров за l проходов поршня.

А.7 Заполнение таблицы 3 (заполняют построчно).

А.7.1 В колонку 2 записывают средние арифметическое значение расхода в j -й точке (всего m точек) за n измерений, в остальные колонки (с 3 по 8) - соответствующие этим значениям расхода среднеарифметические значения измеренных и вычисленных параметров.

А.7.2 В колонку 3 записывают значения f/v при реализации ГХ согласно 7.3.4, в остальных случаях – значение f .

А.7.3 Колонки 7 и 8 заполняют только для контрольного ПР.

А.8 Заполнение таблицы 4 (заполняют построчно).

А.8.1 В колонку 1 записывают номер поддиапазона (k). Поддиапазон включает две соседние или три точки расхода в зависимости от вида реализации ГХ ПР в СОИ. При этом: конечная точка предыдущего поддиапазона является начальной точкой последующего поддиапазона.

А.8.2 В колонки 2 и 3 записывают значения расхода (из колонки 2 таблицы 3), соответствующие граничным точкам поддиапазона, при этом: значение $Q_{min\ 1}$ (колонка 2) равняется значению Q_{min} рабочего диапазона, значение $Q_{max\ k}$ (колонка 3) равняется значению $Q_{min\ (k+1)}$ (колонка 2), и т. д.

А.8.3 В колонку 4 записывают максимальное значение случайной погрешности из ряда значений, вычисленных для точек, относящихся к поддиапазону, и записанных в колонку 6 таблицы 3.

А.8.4 В колонку 5 записывают значение, вычисленное по формуле (22) или (23) в зависимости от вида реализации ГХ поверяемого ПР.

А.8.5 В колонки 6 и 7 записывают значения, вычисленные по формулам (19) и (29) соответственно.

А.8.6 В колонку 8 записывают значения, вычисленные по формуле (15).

А.9 Заполнение таблицы 5 (заполняют построчно).

А.9.1 В колонки 1 и 2 записывают минимальное и максимальное значения расхода рабочего диапазона ПР.

А.9.2 В колонку 3 записывают максимальное значение случайной погрешности из ряда значений, вычисленных для точек всего рабочего диапазона, и записанных в колонку 6 таблицы 3.

А.9.3 В колонки 4, 5, 6, 7 записывают значения, вычисленные по формулам (21), (18), (28) и (14) соответственно.

Примечание – допускается протокол оформлять на листе(ах) альбомного формата.»

(Измененная редакция, изм. №1)

Приложение Б

Определение коэффициентов объемного расширения и сжимаемости жидкости, коэффициентов расширения и модулей упругости материала стенок ПУ

Б.1 Коэффициенты объемного расширения (β) и сжимаемости (γ) жидкости определяют:

Б.1.1 При наличии поточного ПП: по алгоритмам, разработанным согласно МИ 2632 (для нефти) и МИ 2823 (для нефтепродуктов) и реализованным в СОИ или АРМ-оператора;

Б.1.2 При отсутствии в СОИ или АРМ-оператора алгоритмов согласно Б.1.1 или отсутствии (отказе) поточных ПП: по таблицам МИ 2153 (для нефти) и МИ 2823 (для нефтепродуктов).

Б.2 Коэффициенты линейного расширения и модули упругости материала стенок ПУ определяют по таблицам Б.1 и Б.2.

Таблица Б.1 - Коэффициенты линейного расширения и модули упругости материала стенок трубопоршневых поверочных установок

Материал	$\alpha_l, ^\circ\text{C}^{-1}$	Е, МПа
Сталь углеродистая	$11,2 \times 10^{-6}$	$2,1 \times 10^5$
Сталь легированная	$11,0 \times 10^{-6}$	$2,0 \times 10^5$
Сталь нержавеющая	$16,6 \times 10^{-6}$	$1,0 \times 10^5$
Латунь	$17,8 \times 10^{-6}$	-
Алюминий	$24,5 \times 10^{-6}$	-
Медь	$17,4 \times 10^{-6}$	-

Примечание - Если значения α_l и Е приведены в паспорте ТПУ, то используют паспортные значения.

Таблица Б.2 - Квадратичные коэффициенты расширения и модули упругости материала стенок компакт-прувера

Материал	$\alpha_{kl}, ^\circ\text{C}^{-1}$	Е, МПа
Сталь углеродистая	$2,23 \times 10^{-5}$	$2,068 \times 10^5$
Сталь нержавеющая 17-4	$2,16 \times 10^{-5}$	$1,965 \times 10^5$
Сталь нержавеющая 304 литая	$3,19 \times 10^{-5}$	$1,965 \times 10^5$
Сталь нержавеющая 304	$3,46 \times 10^{-5}$	$1,965 \times 10^5$

Примечание - Если значения α_{kl} и Е приведены в паспорте компакт-прувера, то используют паспортные значения.

Приложение В

Установление и контроль значения поверочного расхода по результатам измерений поверяемого ПР

В.1 По окончании предварительного измерения согласно 6.3.4.1–6.3.4.3 дополнительно регистрируют значение расхода жидкости (Q_{0j} , м³/ч), измеренного с помощью поверяемого ПР.

В.2 Вычисляют коэффициент коррекции расхода (k_{j0}^Q) для установления и контроля значения поверочного расхода в j -й точке рабочего диапазона по формуле

$$k_{j0}^Q = 1 - \frac{Q_{0j} - Q_{0j}^{пу}}{Q_{0j}^{пу}}, \quad (B.1)$$

где Q_{0j} - значение расхода жидкости, измеренного ПР, за время предварительного измерения при установлении поверочного расхода в j -й точке, м³/ч;

$Q_{0j}^{пу}$ - значение расхода жидкости, измеренного с помощью ПУ и вычисленного по формуле (2), за время предварительного измерения при установлении поверочного расхода в j -й точке, м³/ч.

В.3 Устанавливают в измерительной линии поверяемого ПР значение поверочного расхода ($Q_{ij}^{скоп}$, м³/ч), контролируя его по расходу, измеряемому с помощью поверяемого ПР, с учетом коэффициента коррекции расхода по формуле

$$Q_{ij}^{скоп} = k_{j0}^Q \times Q_{ij}. \quad (B.2)$$

Приложение Г

Расчет количества импульсов выходного сигнала преобразователя расхода с учетом долей периода

Г.1 Количество импульсов с учетом долей периода (N_{ij} , имп) определяют по формуле

$$N_{ij} = N'_{ij} \cdot \left[1 + \frac{(\tau_1 - \tau_2)}{T'_{ij}} \right] \quad (Г.1)$$

- где N'_{ij} - измеренное количество импульсов от преобразователя расхода;
 T'_{ij} - интервал времени измерения, показанный на рисунке Г.1, мкс;
 τ_1 - время от начала интервала измерения до первого импульса, мкс;
 τ_2 - время от конца интервала измерения до последующего импульса, мкс.

Г.2 Для определения долей периода собирают схему, показанную на рисунке Г.2.

Значения τ_1 и τ_2 определяют следующим образом:

- перед запуском поршня ПУ переключатель П ставят в положение «I», показанное на рисунке Г.2. После начала счета импульсов счетчиком Сч с индикатора частотомера Ч1 считывают значение τ_1 ;
- переключатель П ставят в положение «II». После окончания счета импульсов счетчиком с индикатора частотомера Ч1 считывают значение τ_2 . Значения τ_1 и τ_2 измеряют с дискретностью 1 мкс;
- отсчет значения T_{ij} проводят с индикатора частотомера Ч2, работающего в режиме измерений времени (T_{ij} измеряют с дискретностью 1 мкс);
- отсчет значения N'_{ij} проводят с индикатора счетчика Сч.

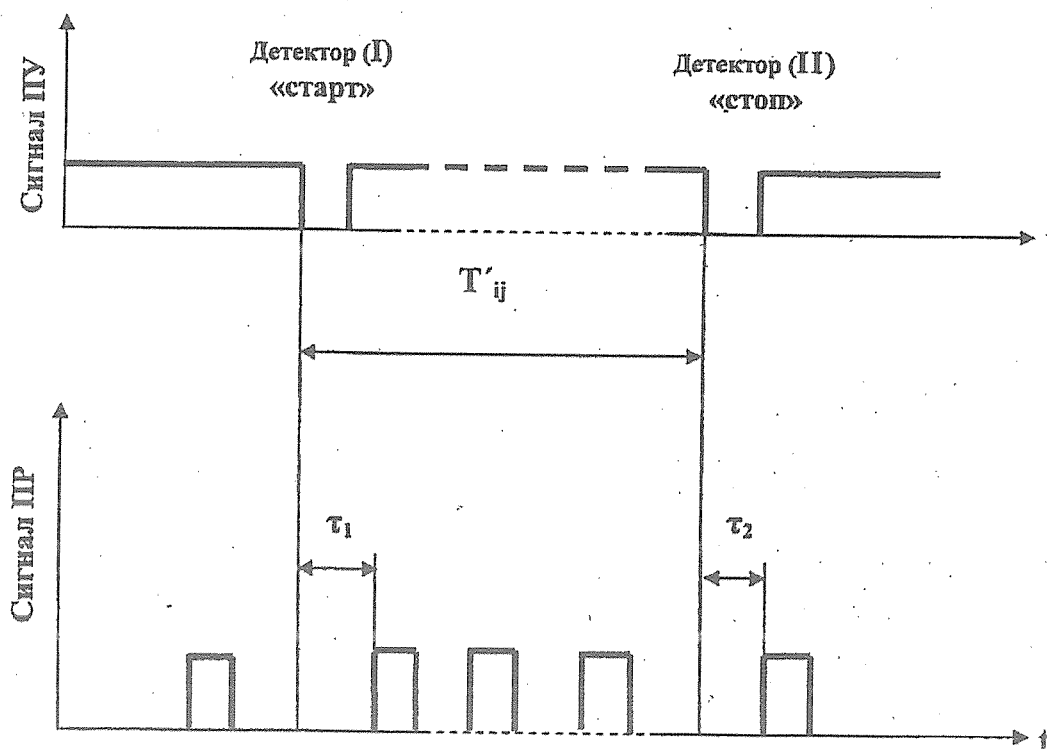


Рисунок Г.1 – Определение долей периода следования импульсов

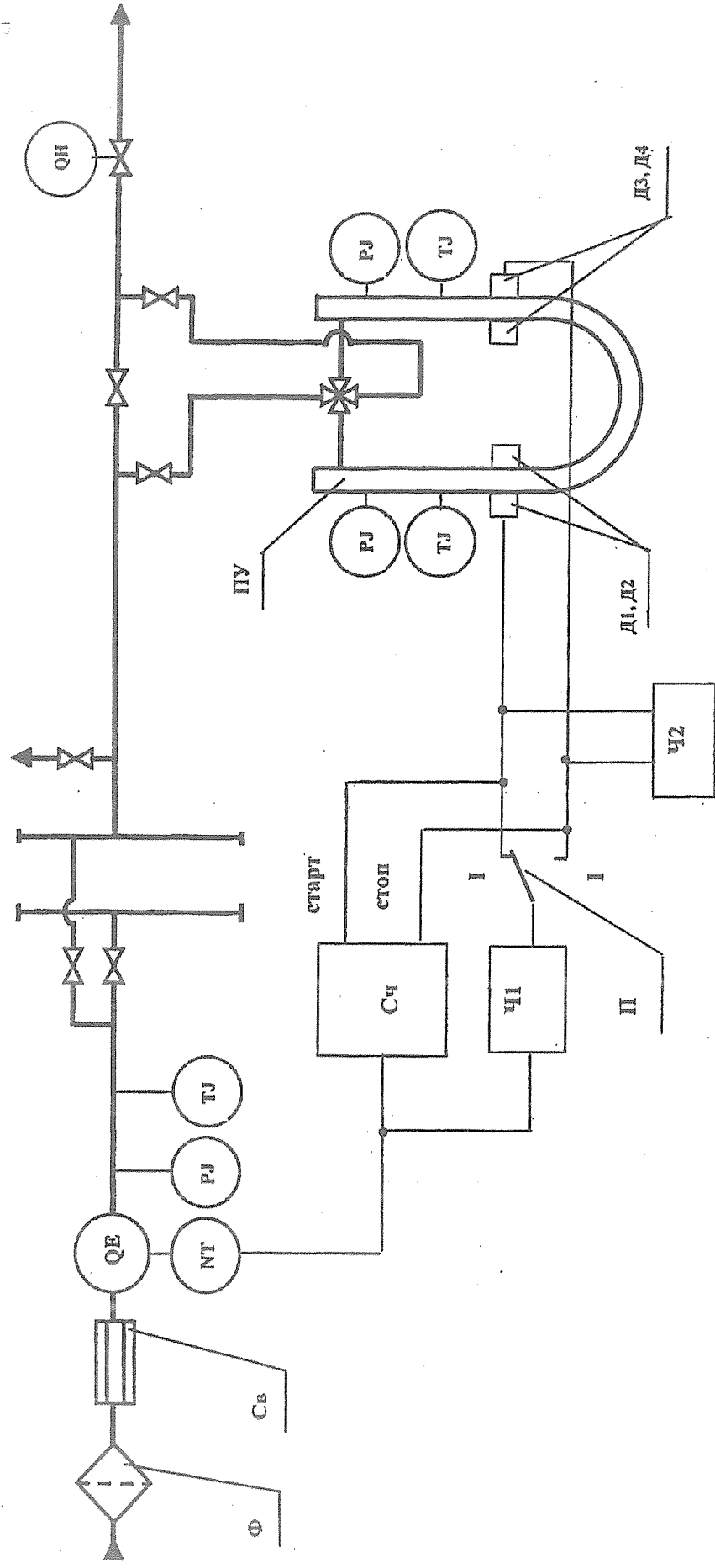


Рисунок Г.2 – Схема подключения средств поверки для определения долей периода

QE – поверяемый ПР; NT – мид; PJ – манометры; TJ – термометры; ПУ – регулятор расхода; Ф – фильтр; Св – струевыпрямитель;
 ПУ – поверяемый ПР; NT – мид; PJ – манометры; TJ – термометры; ПУ – регулятор расхода; Ф – фильтр; Св – струевыпрямитель;
 ПУ – поверяемый ПР; NT – мид; PJ – манометры; TJ – термометры; ПУ – регулятор расхода; Ф – фильтр; Св – струевыпрямитель;

(Измененная редакция, изм. №1)

Приложение Д

Методика анализа результатов измерений и значения коэффициентов Стьюдента

Для выявления промахов выполняют следующие операции:

Д.1 Определяют СКО результатов вычислений коэффициентов преобразования в каждой точке рабочего диапазона по формуле

$$S_{Kj} = \sqrt{\frac{1}{n_j - 1} \cdot \sum_{j=1}^{n_j} (K_{ij} - \bar{K}_j)^2} \quad (\text{Д.1})$$

Примечание - При $S_{Kj} \leq 0,001$ принимают $S_{Kj} = 0,001$.

Д.2 Для каждого измерения вычисляют соотношение по формуле

$$U_{ij} = \left| \frac{K_{ij} - \bar{K}_j}{S_{Kj}} \right| \quad (\text{Д.2})$$

Д.3 Из ряда вычисленных значений U_{ij} для точки расхода выбирают максимальное значение U_{jmax} , которое сравнивают с величиной «h», взятой из таблицы Д.1 для объема выборки «n».

Таблица Д.1- Критические значения для критерия Граббса (ГОСТ Р ИСО 5725)

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

Если $U_{jmax} \geq h$, то подозрительный результат исключают из выборки как промах, в противном случае результат не исключают.

Таблица Д.2 – Значения коэффициентов Стьюдента $t_{0,95}$ (ГОСТ 8.207)

$n_j - 1$	3	4	5	6	7	8	9	10	12
$t_{0,95}$	3,182	2,776	2,571	2,447	2,365	2,306	2,262	2,228	2,179

Таблица Д.3 – Значения коэффициентов Z в зависимости от отношения $\Theta_{\Sigma} / \max(S_j)$ при доверительной вероятности $P = 0,95$ (МИ 2083)

$\Theta_{\Sigma} / \max(S_j)$	0,5	0,75	1	2	3	4	5	6	7	8
Z	0,81	0,77	0,74	0,71	0,73	0,76	0,78	0,79	0,80	0,81

Библиография

- ГОСТ 8.207-76 ГСИ. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений. Основные положения
- ГОСТ 8.510–2002 ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерений объема и массы жидкости
- ГОСТ 33-2000 Нефтепродукты. Прозрачные и непрозрачные жидкости. Определение кинематической вязкости и расчет динамической вязкости
- ГОСТ 112-78 Термометры метеорологические стеклянные. Технические условия
- ГОСТ 1756-2000 Нефтепродукты. Определение давления насыщенных паров
- ГОСТ 2477–65 Нефть и нефтепродукты. Метод определения содержания воды
- ГОСТ 2517-85 Нефть и нефтепродукты. Методы отбора проб
- ГОСТ 3900–85 Нефть и нефтепродукты. Методы определения плотности
- ГОСТ Р ИСО 5725-2002 Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений
- ГОСТ Р 51069-97 Нефть и нефтепродукты. Метод определения плотности, относительной плотности в градусах API ареометром
- ГОСТ Р 51330.0-99 (МЭК 60079-0-98) Электрооборудование взрывозащищенное. Часть 0. Общие требования
- ПР 50.2.006-94 ГСИ. Порядок проведения поверки средств измерений
- ПР 50.2.007-2001 ГСИ. Поверительные клейма
- МИ 2083-90 ГСИ. Измерения косвенные. Определение результатов измерений и оценивание их погрешностей
- МИ 2153-2001 ГСИ. Плотность нефти. Требования к методике выполнения измерений ареометром при учетных операциях
- МИ 2632-2001 ГСИ. Рекомендация. Плотность нефти и нефтепродуктов и коэффициенты объемного расширения и сжимаемости. Методы и программы расчета
- МИ 2823-2003 ГСИ. Рекомендация. Плотность нефтепродуктов при учетно-расчетных операциях. Методика выполнения измерений ареометром. Программа (таблицы) приведения плотности нефтепродуктов к заданной температуре.