

СОГЛАСОВАНО

**Директор ОП ГНМЦ
АО «Нефтеавтоматика»**



М.В. Крайнов

2023 г.

Государственная система обеспечения единства измерений

Система измерений количества и показателей качества

нефтепродуктов нефтебазы Челябинск

ООО «ЛУКОЙЛ-Уралнефтепродукт»

Методика поверки

НА.ГНМЦ.0770-23 МП

РАЗРАБОТАНА

Обособленным подразделением Головной научный
метрологический центр АО «Нефтеавтоматика» в
г. Казань
(ОП ГНМЦ АО «Нефтеавтоматика»)

ИСПОЛНИТЕЛИ:

Стеряков О.В.,
Шишлов Д.О.

1 Общие положения

1.1 Настоящий документ распространяется на систему измерений количества и показателей качества нефтепродуктов нефтебазы Челябинск ООО «ЛУКОЙЛ-Уралнефтепродукт» (далее по тексту – СИКНП) и устанавливает методику первичной поверки при вводе в эксплуатацию, а также после ремонта и периодической поверки при эксплуатации.

1.2 Метрологические характеристики (МХ) СИКНП подтверждаются расчетно-экспериментальным методом в соответствии с разделом 9 настоящего документа.

1.3 При определении МХ в рамках проводимой поверки обеспечивается передача единицы массового расхода жидкости, в соответствии с государственной поверочной схемой, утвержденной приказом Росстандарта от 26.09.2022 г. № 2356, подтверждающая прослеживаемость к Государственному первичному специальному эталону ГЭТ 63-2019.

1.4 В результате поверки должны быть подтверждены следующие метрологические требования, приведенные в таблице 1.

Т а б л и ц а 1

Наименование характеристики	Значение
Диапазон измерений массового расхода нефтепродуктов, т/ч: - рабочая измерительная линия №1, - рабочая измерительная линия №2, - контрольно-резервная измерительная линия №3	от 47 до 95 от 20 до 71 от 47 до 95
Пределы допускаемой относительной погрешности измерений массы нефтепродуктов, %: - рабочая измерительная линия - контрольно-резервная измерительная линия	$\pm 0,25$ $\pm 0,20$

1.5 Поверку СИКНП проводят в диапазоне измерений, указанном в описании типа СИКНП, либо в фактически обеспечиваемом диапазоне при поверке, но не более указанного в описании типа.

1.6 Допускается проведение поверки СИКНП в части отдельных автономных блоков (АБ):

- измерительная линия массы нефтепродуктов № 1;
- измерительная линия массы нефтепродуктов № 2;
- измерительная линия массы нефтепродуктов № 3.

2 Перечень операций поверки средства измерений

2.1 При проведении поверки выполняют следующие операции, приведенные в таблице 2.

Т а б л и ц а 2

Наименование операции поверки	Обязательность выполнения операций поверки при		Номер раздела методики поверки, в соответствии с которым выполняется операция поверки
	первичной поверке	периодической поверке	
Внешний осмотр средства измерений	Да	Да	6

Наименование операции поверки	Обязательность выполнения операций поверки при		Номер раздела методики поверки, в соответствии с которым выполняется операция поверки
	первичной поверке	периодической поверке	
Подготовка к поверке и опробование средства измерений	Да	Да	7
Проверка программного обеспечения средства измерений	Да	Да	8
Определение МХ и подтверждение соответствия средства измерений метрологическим требованиям	Да	Да	9

2.2 Поверку СИКНП прекращают при получении отрицательных результатов при проведении той или иной операции.

3 Требования к условиям проведения поверки

3.1 При проведении поверки характеристики измеряемой среды и условия эксплуатации должны соответствовать описанию типа СИКНП.

3.2 При определении относительной погрешности АБ (измерительных линий) соблюдают следующие условия:

3.2.1 Определение относительной погрешности АБ (измерительных линий) проводят на месте эксплуатации.

3.2.2 Отклонение массового расхода рабочей жидкости от установленного значения в процессе определения относительной погрешности АБ (измерительных линий) не должно превышать 2,5 %.

3.2.3 Изменение температуры рабочей жидкости в измерительной линии, на входе и выходе ТПУ за время измерения не должно превышать 0,2°C.

3.2.4 Температура окружающей среды и рабочей жидкости должна соответствовать условиям эксплуатации счетчика расходомера массового (СРМ).

3.2.5 Диапазоны рабочего давления и массового расхода определяются типоразмером СРМ и технологическими требованиями.

3.2.6 Регулирование массового расхода проводят при помощи регулятора расхода, расположенного на выходном коллекторе.

4 Метрологические и технические требования к средствам поверки

4.1 Основные и вспомогательные средства поверки приведены в таблице 3.

Т а б л и ц а 3 – Перечень основных и вспомогательных средств поверки

Операции поверки, требующие применение средств поверки	Метрологические и технические требования к средствам поверки, необходимые для проведения поверки	Перечень рекомендуемых средств поверки
9.2	Рабочий эталон 1-го разряда (установки трубопоршневые) (далее по тексту – ТПУ) в соответствии с ГПС (часть 2), утвержденной приказом Росстандарта от 07.02.2018 г. № 256, с пределами допускаемой относительной погрешности не более $\pm 0,05$ %	Установка трубопоршневая Сапфир МН
9.2	Преобразователь плотности поточный (далее по тексту – ПП) с пределами допускаемой абсолютной погрешности $\pm 0,3$ кг/м ³	Преобразователь плотности жидкости измерительный модели 7835
9.2	Преобразователи избыточного давления с унифицированным выходным сигналом с пределами допускаемой приведенной погрешности $\pm 0,5$ %	Преобразователи давления измерительные 3051
9.2	Термопреобразователи сопротивления с унифицированным выходным сигналом с пределами допускаемой абсолютной погрешности $\pm 0,2$ °C	Датчики температуры Rosemount 644
9.2	Манометр с классом точности 0,6	Манометр показывающий ТМ-6 10Р
9.2	Термометр ртутный стеклянный с пределами допускаемой абсолютной погрешности $\pm 0,2$ °C	Термометры ртутные стеклянные лабораторные ТЛ-4
9.2	Комплекс измерительно-вычислительный с пределами допускаемой относительной погрешности расчета массового расхода и массы $\pm 0,001$ %	Контроллер измерительный Floboss S600+

4.2 Используемые средства поверки должны иметь действующие сведения о поверке (с положительными результатами) в Федеральном информационном фонде по обеспечению единства измерений (ФИФОЕИ).

4.3 Допускается применение аналогичных средств поверки, обеспечивающих определение МХ поверяемой СИКНП с требуемой точностью.

5 Требования (условия) по обеспечению безопасности проведения поверки

5.1 При проведении поверки соблюдают требования, определяемые: в области охраны труда и промышленной безопасности:

– «Правила безопасности в нефтяной и газовой промышленности», утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 15.12.2020г. № 534;

– Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 № 197-ФЗ; в области пожарной безопасности:

– СНиП 21-01-97 «Пожарная безопасность зданий и сооружений»;

– «Правила противопожарного режима в Российской Федерации», утверждены постановлением Правительства РФ от 16.09.2020 г. № 1479;

– Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств», утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 15.12.2020 г. № 533;

в области соблюдения правильной и безопасной эксплуатации электроустановок:

– «Об утверждении правил по охране труда при эксплуатации электроустановок», утв. приказом Министерства труда и социальной защиты РФ от 15.12.2020г. № 903н;

– ПУЭ «Правила устройства электроустановок»;

в области охраны окружающей среды:

– Федерального закона от 10.01.2002 г. № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» и других законодательных актов по охране окружающей среды, действующих на территории РФ.

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

6 Внешний осмотр средства измерений

6.1 При внешнем осмотре должно быть установлено соответствие СИКНП следующим требованиям:

- комплектность СИКНП должна соответствовать технической документации;

- на компонентах СИКНП не должно быть механических повреждений и дефектов покрытия, ухудшающих внешний вид и препятствующих применению;

- надписи и обозначения на компонентах СИКНП должны быть четкими и соответствующими технической документации.

6.2 Средства измерений (СИ), входящие в состав СИКНП, должны быть опломбированы в соответствии с описаниями типа СИ, либо в соответствии с МИ 3002-2006 (при отсутствии информации о пломбировании в описании типа СИ).

7 Подготовка к поверке и опробование средства измерений

7.1 Подготовка к поверке проводят в соответствии с инструкцией по эксплуатации СИКНП.

7.2 Перед определением относительной погрешности АБ выполняют следующее:

7.2.1 Проверяют или устанавливают в ИВК значение массового расхода и соответствующее ему значение частоты выходного сигнала СРМ или коэффициент преобразования СРМ $K_{ПМ}$, имп/т, соответствующий установленному значению в преобразователе СРМ или вычисленный по формуле

$$KF_{ПМ} = \frac{f_M \cdot 3600}{Q_M}, \quad (1)$$

где f_M - значение частоты, установленное в преобразователе СРМ, Гц;

Q_M - значение массового расхода, установленное в преобразователе СРМ, т/ч.

7.2.2 Вводят в память ИБК или проверяют введенные ранее данные, необходимые для обработки результатов определения МХ АБ.

7.2.3 Проверяют отсутствие газа в ИЛ, ТПУ и ПП, а также в верхних точках трубопроводов. Для этого устанавливают массовый расход рабочей жидкости в пределах рабочего диапазона измерений массового расхода СРМ и открывают краны, расположенные в верхних точках ИЛ и ТПУ. 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.

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

7.2.5 Проверяют герметичность задвижек, через которые возможны утечки рабочей жидкости, влияющие на результаты измерений при определении относительной погрешности АБ.

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

7.2.7 Проверяют стабильность температуры рабочей жидкости. Для этого запускают поршень ТПУ и регистрируют температуру в ПП, на входе и выходе ТПУ. Температуру рабочей жидкости считают стабильной, если ее изменение в системе не превышает $0,2^{\circ}\text{C}$ за время прохождения поршня от одного детектора до другого (в двунаправленных ТПУ - в обоих направлениях).

7.2.8 Проводят установку нуля СРМ согласно технической документации.

7.3 Результаты опробования считают положительными, если на экране АРМ оператора отображаются измеренные СИ значения, отчет (двухчасовой или сменный) формируется и отсутствуют аварийные сообщения о работе СИКНП.

8 Проверка программного обеспечения средства измерений

8.1 Проверка идентификационных данных ПО контроллера измерительного Floboss S600+ (далее по тексту – ИБК).

Проверка идентификационных данных ПО ИБК проводится по номеру версии ПО и цифровому идентификатору ПО.

Чтобы определить идентификационные данные ПО ИБК необходимо выполнить нижеперечисленные процедуры.

С помощью кнопок на передней панели ИБК выбрать на дисплее пункт меню №5 «SYSTEM SETTINGS», далее №7 «SOFTWARE VERSION». В открывшемся меню необходимо найти страницы со следующими заголовками:

- APPLICATION SW (Номер версии (идентификационный номер) ПО);
- FILE CSUM (Цифровой идентификатор ПО).

8.2 Проверка идентификационных данных ПО автоматизированного рабочего места оператора ПО «ФОРВАРД» (далее по тексту – АРМ оператора) (основного и резервного).

Чтобы определить идентификационные данные ПО АРМ оператора необходимо выполнить нижеперечисленные процедуры.

В верхней строчке основной мнемосхемы монитора АРМ оператора нажать «О программе». В появившемся окне «О программе...» нажать «Модули», после чего появится окно с идентификационными данными АРМ оператора.

8.3 Если идентификационные данные, полученные в ходе выполнения п. 8.1 и п. 8.2 соответствуют указанным в описании типа СИКНП, то делают вывод о

подтверждении соответствия ПО СИКНП ПО, зафиксированному во время проведения испытаний в целях утверждения типа. В противном случае результаты поверки признают отрицательными. Сведения о подтверждении соответствия/не соответствия ПО СИКНП приводятся в протоколе поверки (Приложение А).

9 Определение МХ и подтверждение соответствия средства измерений метрологическим требованиям

9.1 Определение МХ СИ, входящих в состав СИКНП.

Проверяют соответствие фактически установленных средств измерений, СИ указанным в описании типа СИКНП, наличие сведений о поверке в ФИФОЕИ с действующим сроком поверки у проверяемых СИ. В случае отсутствия сведений о поверке на счетчики-расходомеры массовые Micro Motion модели CMF (регистрационный № в ФИФОЕИ 13425-06) выполняют операции по п. 9.2 настоящей методики поверки.

Сведения результатов проверки указанных СИ заносят в таблицу А.1 протокола поверки (Приложение А).

Если очередной срок поверки СИ из состава СИКНП наступает до очередного срока поверки СИКНП, поверяется только это СИ, при этом поверку СИКНП не проводят.

9.2 Определение относительной погрешности АБ.

9.2.1 Определение относительной погрешности АБ проводят комплектным способом с применением ТПУ.

При определении относительной погрешности АБ выполняют следующие операции:

- опробование (п.п. 9.2.2);
- определение МХ (п. 9.2.3);
- обработка результатов измерений (п. 9.2.4).

9.2.2 Опробование.

9.2.2.1 Опробование проводят совместно со средствами поверки.

9.2.2.2 Устанавливают массовый расход рабочей жидкости в пределах рабочего диапазона измерений массового расхода СРМ.

9.2.2.3 Наблюдают на дисплее ИВК значения следующих параметров:

- частоты выходного сигнала СРМ, K_{PM} , Гц;
- массового расхода рабочей жидкости в СРМ, Q_M , т/ч;
- температуры и давления рабочей жидкости на входе и выходе ТПУ, $t_{ВхПУji}$, $t_{ВыхПУji}$, °С и $P_{ВхПУji}$, $P_{ВыхПУji}$, МПа соответственно;
- плотности, $\rho_{плji}$, кг/м³, температуры, $t_{пуji}$, °С, и давления, $P_{пуji}$, МПа рабочей жидкости в ПП.

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

9.2.3 Определение МХ.

9.2.3.1 Определяют следующие МХ:

- градуировочный коэффициент СРМ в рабочем диапазоне измерений массового расхода или коэффициент коррекции СРМ в рабочем диапазоне измерений массового расхода, K_M , г/с/мкс;
- границу относительной погрешности СРМ в рабочем диапазоне измерений, Θ , %.

9.2.3.2 Определение МХ АБ проводят не менее чем при трёх значениях массового расхода рабочей жидкости из диапазона измерений массового расхода, установленного для СРМ (далее – точках расхода), включая минимальное и максимальное значение. В каждой точке расхода для рабочих СРМ проводят не менее пяти измерений, для контрольных СРМ проводят не менее семи измерений. Последовательность выбора точек расхода может быть произвольной.

9.2.3.3 Устанавливают выбранное значение массового расхода по показаниям СРМ.

9.2.3.4 Проводят предварительное измерение для уточнения значения установленного массового расхода.

Запускают поршень ТПУ. После прохождения поршнем второго детектора регистрируют время прохождения поршнем от одного детектора до другого, количество импульсов выходного сигнала СРМ, температуру, давление и плотность рабочей жидкости.

Массовый расход рабочей жидкости через СРМ вычисляют по формуле (7).

При необходимости проводят корректировку значения массового расхода регулятором расхода.

9.2.3.5 После стабилизации массового расхода в соответствии с 7.2.7 проводят необходимое количество измерений.

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

Для определения средних значений за время измерения (время прохождения поршня между детекторами) ИВК периодически фиксирует значения следующих параметров:

- температуры рабочей жидкости на входе и выходе ТПУ, $t_{\text{вхПУ}ji}$, $t_{\text{выхПУ}ji}$, °C;
- давления рабочей жидкости на входе и выходе ТПУ, $P_{\text{вхПУ}ji}$, $P_{\text{выхПУ}ji}$, МПа;
- температуры рабочей жидкости в ПП, $t_{\text{пп}ji}$, °C;
- давления рабочей жидкости в ПП, $P_{\text{пп}ji}$, МПа;
- плотности рабочей жидкости в ПП, $\rho_{\text{пп}ji}$, кг/м³
- температура, $t_{\text{п}}$, °C и давление рабочей жидкости ИЛ, $P_{\text{п}}$, МПа.

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

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 из направлений.

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

9.2.3.7 Результаты измерений заносят в протокол. Форма протокола поверки приведена в приложении Б.

При заполнении протокола полученные результаты измерений и

вычислений округляют в соответствии с таблицей 4.

Т а б л и ц а 4 – Точность представления результатов измерений и вычислений

Параметр	Единица измерения	Количество цифр после запятой	Количество значащих цифр
Массовый расход	т/ч	1	
Объем	м ³		6
Масса	т		6
Температура	°С	2	
Давление	МПа	2	
Плотность	кг/м ³	2	
Количество импульсов	имп		5
Интервал времени	с	2	
Погрешность, СКО	%	3	
Коэффициент преобразования	имп/т		5
Коэффициент коррекции		5	
Градуировочный коэффициент	г/с/мкс		5
Коэффициент объемного	1/°С	6	

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

9.2.4 Обработка результатов измерений

9.2.4.1 Массу рабочей жидкости, определенную с помощью средств поверки за время i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода $M_{пуji}$, т, вычисляют по формуле

$$M_{пуji} = V_0 \cdot K_{tji} \cdot K_{Pji} \cdot \rho_{ппji} \cdot \frac{CTL_{пуji} \cdot CPL_{пуji}}{CTL_{ппji} \cdot CPL_{ппji}} \cdot 10^{-3}, \quad (2)$$

$$K_{tji} = 1 + 3 \cdot \alpha_t \cdot (t_{пуji} - 20), \quad (3)$$

$$K_{Pji} = 1 + 0,95 \cdot \frac{P_{пуji} \cdot D}{E \cdot S}, \quad (4)$$

$$t_{пуji} = \frac{t_{вхпуji} + t_{выхпуji}}{2}, \quad (5)$$

$$P_{пуji} = \frac{P_{вхпуji} + P_{выхпуji}}{2}, \quad (6)$$

- где V_0 – вместимость калиброванного участка ТПУ при стандартных условиях ($t = 20^\circ\text{C}$ и $P = 0$ МПа), м³;
- K_{tji} – коэффициент, учитывающий влияние температуры на вместимость ТПУ, для i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода;
- K_{Pji} – коэффициент, учитывающий влияние давления на вместимость ТПУ, для i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода;
- $\rho_{ппji}$ – плотность рабочей жидкости за время i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода, кг/м³;
- $CTL_{пуji}$ – коэффициент, учитывающий влияние температуры на объем рабочей жидкости, определенный для температуры рабочей жидкости в ТПУ для i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода (вычисляют по

- приложению В);
- $CPL_{пуji}$ - коэффициент, учитывающий влияние давления на объем рабочей жидкости, определенный для давления рабочей жидкости в ТПУ для i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода (вычисляют по приложению В);
- $CTL_{ппji}$ - коэффициент, учитывающий влияние температуры на объем рабочей жидкости, определенный для температуры рабочей жидкости в ПП для i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода (вычисляют по приложению В);
- $CPL_{ппji}$ - коэффициент, учитывающий влияние давления на объем рабочей жид- кости, определенный для давления рабочей жидкости в ПП для i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода (вычисляют по приложению В);
- α_t - коэффициент линейного расширения материала стенок калиброванного участка ТПУ (берут из технической документации на ТПУ или определяют по таблице Д.2 приложения Д), $1/^\circ C$;
- $t_{пуji}$ - среднее значение температуры рабочей жидкости в ТПУ за время i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода, $^\circ C$;
- $t_{вхпуji}$,
 $t_{выхпуji}$ - температура рабочей жидкости на входе и выходе ТПУ за время i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода, $^\circ C$;
- $P_{пуji}$ - среднее значение избыточного давления рабочей жидкости в ТПУ за время i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений массового 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 массового расхода, МПа;
- D - внутренний диаметр калиброванного участка ТПУ (берут из технической документации на ТПУ), мм;
- S - толщина стенок калиброванного участка ТПУ (берут из технической документации на ТПУ), мм;
- E - модуль упругости материала стенок калиброванного участка ТПУ (берут из технической документации на ТПУ или определяют по таблице Д.2 приложения Д), МПа.

Вычисление массы рабочей жидкости допускается проводить согласно алгоритму, реализованному в ИВК, прошедшем испытания в целях утверждения типа.

9.2.4.2 Массовый расход рабочей жидкости через СРМ за время i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода Q_{ji} , т/ч, вычисляют по формуле

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

- где $M_{пуji}$ - масса рабочей жидкости, определенная с помощью средств поверки за время i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода, т;
- T_{ji} - время i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода, с.

9.2.4.3 Массовый расход рабочей жидкости через СРМ в j -ой точке рабочего

диапазона измерений массового расхода Q_j , т/ч, вычисляют по формуле

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

где Q_{ji} - массовый расход рабочей жидкости через СРМ за время i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода, т/ч;

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

9.2.4.4 Нижний и верхний предел рабочего диапазона измерений массового расхода Q_{min} и Q_{max} , т/ч, вычисляют по формулам

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

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

где Q_j - массовый расход рабочей жидкости через СРМ в j -ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода, т/ч.

9.2.4.5 Массу рабочей жидкости, определенную с помощью СРМ за время i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода M_{ji} , т, вычисляют по формуле

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

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

$K_{ПМ}$ - коэффициент преобразования СРМ, имп/т.

9.2.4.6 Градуировочный коэффициент СРМ в рабочем диапазоне измерений массового расхода K_M , г/с/мкс, вычисляют по формуле

$$K_M = \frac{\sum_{j=1}^m K_{Mj}}{m}, \quad (12)$$

$$K_{Mj} = \frac{\sum_{i=1}^{n_j} K_{Mji}}{n_j} \quad (13)$$

$$K_{Mji} = \frac{M_{пуji}}{M_{ji}} \cdot K_{Муст} \quad (14)$$

где K_{Mj} - среднее значение градуировочного коэффициента СРМ в j -ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода, г/с/мкс;

m - количество точек рабочего диапазона измерений массового расхода;

K_{Mji} - значение градуировочного коэффициента СРМ для i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода, г/с/мкс;

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

$M_{пуji}$ - масса рабочей жидкости, определенная с помощью средств поверки за время i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода, т;

M_{ji} - масса рабочей жидкости, определенная с помощью СРМ за время i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода, т;

$K_{Муст}$ - градуировочный коэффициент, установленный в СРМ на момент

проведения поверки СРМ, г/с/мкс.

9.2.4.7 Коэффициент коррекции СРМ в рабочем диапазоне измерений массового расхода MF вычисляют по формуле

$$MF = \frac{\sum_{j=1}^m MF_j}{m}, \quad (15)$$

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

$$MF_{ji} = \frac{M_{п\dot{y}ji}}{M_{ji}} \cdot MF_{уст}, \quad (17)$$

- где MF_j - среднее значение коэффициента коррекции СРМ в j-ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода;
 m - количество точек рабочего диапазона измерений массового расхода;
 MF_{ji} - значение коэффициента коррекции СРМ для i-го измерения в j-ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода;
 n_j - количество измерений в j-ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода;
 M_{п\dot{y}ji} - масса рабочей жидкости, определенная с помощью средств поверки за время i-го измерения в j-ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода, т;
 M_{ji} - масса рабочей жидкости, определенная с помощью СРМ за время i-го измерения в j-ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода, т;
 MF_{уст} - коэффициент коррекции, установленный в СРМ на момент проведения поверки СРМ.

9.2.4.8 Оценка СКО результатов измерений в поверяемых точках.

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

$$S_j = \begin{cases} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_j} (K_{Mji} - K_{Mj})^2}{n_j - 1}} \cdot \frac{1}{K_{Mj}} \cdot 100 & \text{при определении } K_M \\ \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_j} (MF_{ji} - MF_j)^2}{n_j - 1}} \cdot \frac{1}{MF_j} \cdot 100 & \text{при определении } MF \end{cases} \quad (18)$$

- где K_{Mj} - среднее значение градуировочного коэффициента СРМ в j-ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода, г/с/мкс;
 K_{Mji} - значение градуировочного коэффициента СРМ для i-го измерения в j-ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода, г/с/мкс;
 MF_j - среднее значение коэффициента коррекции СРМ в j-ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода;
 MF_{ji} - значение коэффициента коррекции СРМ для i-го измерения в j-ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода;
 n_j - количество измерений в j-ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода.

Проверяют выполнение следующего условия

$$S_j \leq 0,05\%. \quad (19)$$

При выполнении данного условия продолжают обработку результатов измерений.

При невыполнении условия (19) выявляют наличие промахов в полученных результатах вычислений, согласно приложению Г. Выявленный промах исключают и проводят дополнительное измерение. При отсутствии промахов выясняют и устраняют причины, обуславливающие невыполнение условия (19) и повторно проводят измерения.

9.2.4.9 Границу неисключенной систематической погрешности СРМ в рабочем диапазоне измерений расхода Θ , %, вычисляют по формулам

$$\Theta = 1,1 \cdot \sqrt{\Theta_{\Sigma 0}^2 + \Theta_{V_0}^2 + \Theta_t^2 + \Theta_p^2 + \Theta_A^2 + \Theta_{ИВК}^2 + \Theta_Z^2 + \Theta_{Mt}^2 + \Theta_{MP}^2}, \quad (20)$$

$$\Theta_t = \beta_{max} \cdot 100 \cdot \sqrt{\Delta t_{\Pi Y}^2 + \Delta t_{\Pi \Pi}^2}, \quad (21)$$

$$\beta_{max} = \max(\beta_{ji}), \quad (22)$$

$$\Theta_p = \frac{\Delta \rho_{\Pi \Pi}}{\rho_{\Pi \Pi min}} \cdot 100, \quad (23)$$

$$\rho_{\Pi \Pi min} = \min(\rho_{\Pi \Pi ji}), \quad (24)$$

$$\Theta_A = \begin{cases} \max\left(\left|\frac{K_{Mj} - K_M}{K_M}\right| \cdot 100\right), & \text{при определении } K_M \\ \max\left(\left|\frac{MF_j - MF}{MF}\right| \cdot 100\right), & \text{при определении } MF \end{cases} \quad (25)$$

$$\Theta_Z = \begin{cases} 0, & \text{для СРМ с коррекцией стабильности нуля} \\ \frac{ZS}{Q_{min}} \cdot 100, & \text{для СРМ без коррекции стабильности нуля} \end{cases} \quad (26)$$

$$\Theta_{ИВК} = \delta_{ИВК}, \quad (27)$$

$$\Theta_{Mt} = \frac{\delta_{t доп} \cdot Q_{ном} \cdot \Delta t}{Q_{min}}, \quad (28)$$

$$\Delta t = \max[(t_{max} - t_{\Pi}), (t_{\Pi} - t_{min})], \quad (29)$$

$$\Theta_{MP} = \begin{cases} 0, & \text{для СРМ с коррекцией по давлению} \\ 10 \cdot \delta_{P доп} \cdot \Delta P, & \text{для СРМ без коррекции по давлению} \end{cases} \quad (30)$$

$$\Delta P = \max[(P_{max} - P_{\Pi}), (P_{\Pi} - P_{min})], \quad (31)$$

где $\Theta_{\Sigma 0}$ - граница суммарной неисключенной систематической погрешности ТПУ (берут из свидетельства о поверке ТПУ; для ТПУ с двумя парами детекторов берут наибольшее значение), %;

Θ_{V_0} - граница неисключенной систематической погрешности определения среднего значения вместимости ТПУ (берут из свидетельства о поверке ТПУ; для ТПУ с двумя парами детекторов берут наибольшее значение), %;

Θ_t - граница неисключенной систематической погрешности, обусловленной погрешностью преобразователей температуры при измерениях температуры рабочей жидкости в ТПУ и ПП, %;

Θ_p - граница неисключенной систематической погрешности, обусловленной погрешностью ПП, %;

Θ_A - граница неисключенной систематической погрешности, обусловленной аппроксимацией градуировочной характеристики СРМ в рабочем диапазоне измерений массового расхода СРМ, %;

$\Theta_{\text{ИВК}}$	- граница неисключенной систематической погрешности, обусловленной погрешностью ИВК, %;
$\delta_{\text{ИВК}}$	- предел допустимой относительной погрешности преобразования входных электрических сигналов в значение коэффициента преобразования СРМ ИВК (берут из свидетельства о поверке ИВК), %;
Θ_Z	- граница неисключенной систематической погрешности, обусловленной нестабильностью нуля СРМ, %;
Θ_{Mt}	- граница неисключенной систематической погрешности, обусловленной влиянием отклонения температуры рабочей жидкости в условиях эксплуатации СРМ от температуры рабочей жидкости при поверке, %;
Θ_{MP}	- граница неисключенной систематической погрешности, обусловленной влиянием отклонения давления рабочей жидкости в условиях эксплуатации СРМ от давления рабочей жидкости при поверке, %;
β_{max}	- максимальное значение коэффициента объемного расширения рабочей жидкости за время поверки, $1/^\circ\text{C}$;
β_{ji}	- коэффициент объемного расширения рабочей жидкости для i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода (определяют по МИ 2632), $1/^\circ\text{C}$;
$\Delta t_{\text{пу}}$	- предел допускаемой абсолютной погрешности преобразователей температуры, установленных в ТПУ (берут из свидетельства о поверке преобразователя температуры), $^\circ\text{C}$;
$\Delta t_{\text{пп}}$	- предел допускаемой абсолютной погрешности преобразователя температуры, установленного около ПП (берут из свидетельства о поверке преобразователя температуры), $^\circ\text{C}$;
$\Delta \rho_{\text{пп}}$	- предел допускаемой абсолютной погрешности ПП (берут из свидетельства о поверке преобразователя плотности), кг/м^3 ;
$\rho_{\text{ппmin}}$	- минимальное значение плотности рабочей жидкости за время поверки, кг/м^3 ;
$\rho_{\text{ппji}}$	- плотность рабочей жидкости за время i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода, кг/м^3 ;
ZS	- стабильность нуля СРМ (берут из технической документации на СРМ), т/ч ;
Q_{min}	- нижний предел рабочего диапазона измерений массового расхода СРМ, т/ч ;
$\delta_{\text{тдоп}}$	- значение дополнительной погрешности, обусловленной отклонением температуры рабочей жидкости при эксплуатации СРМ от температуры рабочей жидкости при поверке (берут из описания типа или технической документации на СРМ), $\%/^\circ\text{C}$;
$Q_{\text{ном}}$	- номинальное значение массового расхода СРМ (берут из технической документации на СРМ), т/ч ;
Δt	- максимальное отклонение температуры рабочей жидкости при эксплуатации СРМ от температуры рабочей жидкости при поверке, $^\circ\text{C}$;
$t_{\text{п}}$	- среднее значение температуры рабочей жидкости при поверке (допускается использовать среднее значение температуры рабочей жидкости в ТПУ), $^\circ\text{C}$;
$t_{\text{min}},$ t_{max}	- нижний и верхний предел рабочего диапазона температур рабочей жидкости при эксплуатации СРМ, $^\circ\text{C}$;
$\delta_{\text{Рдоп}}$	- значение дополнительной погрешности, обусловленной

- отклонением давления рабочей жидкости при эксплуатации СРМ от давления рабочей жидкости при поверке (берут из описания типа или технической документации на СРМ), %/0,1 МПа;
- ΔP - максимальное отклонение давления рабочей жидкости при эксплуатации СРМ от давления рабочей жидкости при поверке, МПа;
- P_{\min}, P_{\max} - нижний и верхний предел рабочего диапазона давлений рабочей жидкости при эксплуатации СРМ, МПа;
- P_{Π} - среднее значение давления рабочей жидкости при поверке (допускается использовать среднее значение давления рабочей жидкости в ТПУ), МПа.

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

$$S_{0j} = \frac{S_j}{\sqrt{n_j}}, \quad (32)$$

- где S_j - СКО результатов измерений в j -ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода, %;
- n_j - количество измерений в j -ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода.

9.2.4.11 Границу случайной погрешности СРМ в рабочем диапазоне измерений массового расхода при доверительной вероятности $P=0,95$ ε, %, вычисляют по формулам

$$\varepsilon = \max(\varepsilon_i), \quad (33)$$

$$\varepsilon_i = t_{0,95j} \cdot S_{0j}, \quad (34)$$

- где ε_j - граница случайной погрешности в j -ой точке рабочего диапазона, %;
- $t_{0,95j}$ - квантиль распределения Стьюдента для количества измерений n_j в j -ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода (определяют по таблице Д.1 приложения Д).

9.2.4.12 СКО среднего значения результатов измерения в рабочем диапазоне измерений массового расхода S_0 принимают равным значению СКО среднего значения результатов измерения в точке рабочего диапазона измерений массового расхода с максимальным значением границы случайной погрешности ε_j .

9.2.4.13 Границу относительной погрешности СРМ в рабочем диапазоне измерений массового расхода δ , %, определяют по формулам

$$\delta = \begin{cases} \varepsilon & \text{если } \frac{\theta}{S_0} < 0,8 \\ K \cdot S_{\Sigma} & \text{если } 0,8 \leq \frac{\theta}{S_0} \leq 8 \\ \theta & \text{если } \frac{\theta}{S_0} > 8 \end{cases} \quad (35)$$

$$K = \frac{\varepsilon + \theta}{S_0 + S_{\theta}}, \quad (36)$$

$$S_{\Sigma} = \sqrt{S_0^2 + S_{\theta}^2}, \quad (37)$$

$$S_{\theta} = \sqrt{\frac{\theta_{\Sigma 0}^2 + \theta_{V_0}^2 + \theta_{\rho}^2 + \theta_A^2 + \theta_{\text{ИВК}}^2 + \theta_Z^2 + \theta_{Mt}^2 + \theta_{MP}^2}{3}}, \quad (38)$$

- где ε - граница случайной погрешности СРМ в рабочем диапазоне измерений массового расхода, %;

- Θ - граница неисключенной систематической погрешности СРМ в рабочем диапазоне измерений массового расхода, %;
- K - коэффициент, зависящий от соотношения случайной и неисключенной систематической погрешностей;
- S_{Σ} - суммарное СКО результата измерений, %;
- S_{Θ} - СКО суммы неисключенных систематических погрешностей, %;
- S_0 - СКО среднего значения результатов измерений в рабочем диапазоне измерений массового расхода, %.

9.2.5 Результаты поверки по п. 9.2 считаются положительными, если значения относительных погрешностей:

- для СРМ, используемого в качестве контрольного

$$\delta \leq 0,20\%, \quad (39)$$

- для СРМ, используемого в качестве рабочего

$$\delta \leq 0,25\%. \quad (40)$$

Если данные условия не выполняются, то рекомендуется:

- увеличить количество измерений в точках рабочего диапазона измерений массового расхода;
- уменьшить рабочий диапазон измерений массового расхода;
- установить коррекцию СРМ по давлению (при отсутствии коррекции).

При повторном невыполнении данных условий определение относительной погрешности СРМ прекращают.

9.3 Определение относительной погрешности измерений массы нефтепродуктов.

Относительная погрешность СРМ на рабочей измерительной линии (ИЛ) не должна превышать $\pm 0,25\%$, относительная погрешность СРМ на контрольно-резервной ИЛ не должна превышать $\pm 0,20\%$.

Значения относительной погрешности измерений массы нефтепродуктов не должны превышать $\pm 0,25\%$.

10 Оформление результатов поверки

10.1 При положительных результатах поверки СИКНП оформляется свидетельство о поверке. Результаты поверки оформляют протоколом по форме, приведенной в приложении А.

10.2 Сведения о результатах поверки СИКНП направляют в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений в соответствии с документом «Порядок проведения поверки средств измерений», утвержденным приказом Минпромторга России № 2510 от 31.07.2020 г.

10.3 В Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений передаются данные о фактическом диапазоне измерений и об объеме проведенной поверки (поверенных измерительных линиях).

10.4 Знак поверки наносится на свидетельство о поверке СИКНП.

10.5 При отрицательных результатах поверки СИКНП к эксплуатации не допускают и выписывают извещение о непригодности к применению.

10.6 В соответствии с эксплуатационными документами в преобразователь СРМ устанавливают новое значение MF , в ИВК – значение давления при определении метрологических характеристик или поверки СРМ.

Приложение А
(рекомендуемое)

ПРОТОКОЛ № _____

поверки системы измерений количества и показателей качества нефтепродуктов
нефтебазы Челябинск ООО «ЛУКОЙЛ-Уралнефтепродукт»
номер в Федеральном информационном фонде по обеспечению единства
измерений _____

Диапазон измерений: _____

Пределы допускаемой относительной погрешности измерений:

- массы нефтепродуктов, %, не более _____

Заводской номер: _____

Принадлежит: _____ ИНН: _____

Место проведения поверки: _____

Поверка выполнена с применением эталонов: _____

_____ регистрационный № _____

Методика поверки: _____

Условия проведения поверки СИКНП: _____

Температура окружающей среды: _____

Атмосферное давление: _____

Относительная влажность: _____

Результаты поверки:

1. Внешний осмотр средства измерений (раздел 6 МП) _____
(соответствует/не соответствует)

2. Подготовка к поверке и опробование СИ (раздел 7 МП) _____
(соответствует/не соответствует)

3. Проверка программного обеспечения СИ (раздел 8 МП) _____
(соответствует/не соответствует)

4. Определение МХ СИ, входящих в состав СИКНП (п. 9.1 МП)

Таблица А.1 - Сведения о поверке СИ, входящих в состав СИКНП

Средство измерения	Регистрационный №	Заводской №	Сведения о поверке

5 Определение относительной погрешности АБ (п. 9.2 МП)

6 Определение относительной погрешности измерений массы нефтепродуктов
(п. 9.3 МП)

Заключение: система измерений количества и показателей качества нефтепродуктов
нефтебазы Челябинск ООО «ЛУКОЙЛ-Уралнефтепродукт» _____
к дальнейшей эксплуатации. пригодной/не пригодной

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

Дата поверки: «_____» _____ 20__ г.

Приложение Б
(рекомендуемое)

Форма протокола определения МХ АБ (измерительной линии массы нефтепродукта) с помощью ТПУ и ПП

ПРОТОКОЛ № _____
определения МХ АБ (измерительной линии массы нефтепродукта)

Место проведения: _____

СРМ: датчик: _____, тип _____, зав. № _____
преобразователь _____, тип _____, зав. № _____

ТПУ: тип _____, зав. № _____

ПП: тип _____, зав. № _____

ИВК: тип _____, зав. № _____

Рабочая жидкость _____

Т а б л и ц а Б.1 – Исходные данные

Детекторы	V_0 , м ³	D, мм	S, мм	E, МПа	α_t , °C ⁻¹	Θ_{Σ_0} , %	Θ_{V_0} , %
1	2	3	4	5	6	7	8

Продолжение таблицы Б.1

$\Delta t_{\text{ТПУ}}$, °C	$\Delta t_{\text{ПП}}$, °C	$\Delta \rho_{\text{ПП}}$, кг/м ³	$\delta_{\text{ИВК}}$, %	$K_{\text{ПМ}}$, имп/т	$K_{\text{Муст}}$, г/с/мкс	MF _{уст}	Q _{ном} , т/ч
9	10	11	12	13	14	15	16

Окончание таблицы Б.1

ZS, т/ч	$\delta_{\text{доп}}$, %/°C	$\delta_{\text{Рдоп}}$, %/0,1МПа	t_{min} , °C	t_{max} , °C	P_{min} , МПа	P_{max} , МПа
17	18	19	20	21	22	23

Т а б л и ц а Б.2 – Результаты единичных измерений и вычислений

№ точ / № изм.	Q _{ji} , т/ч	Детекторы	T _{ji} , с	t _{ТПУji} , °C	P _{ТПУji} , МПа	$\rho_{\text{ППji}}$, кг/м ³	t _{ППji} , °C	P _{ППji} , МПа
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1/1								
...								
1/n ₁								
...								
m/1								
...								
m/n _m								

Окончание таблицы Б.2

№ точ. / № изм.	$\beta_{ji}, 1/^\circ\text{C}$	N_{ji} , имп	$M_{пуji}$, т	M_{ji} , т	$MF_{ji} (K_{Mji})$, (г/с/мкс)
1	10	11	12	13	14
1/1					
...					
1/ n_1					
...					
$m/1$					
...					
m/n_m					

Т а б л и ц а Б.3 – Результаты поверки в точках рабочего диапазона

№ точ.	Q_j , т/ч	$MF_j (K_{Mj})$, (г/с/мкс)	n_i	S_j , %	S_{0j} , %	$t_{0.95j}$	ε_j , %
1	2	3	4	5	6	7	8
1							
...
m							

Т а б л и ц а Б.4 – Результаты поверки в рабочем диапазоне

Q_{\min} , т/ч	Q_{\max} , т/ч	$MF (K_M)$, (г/с/мкс)	S_0 , %	ε , %	Θ_A , %	Θ_Z , %	Θ_p , %
1	2	3	4	5	6	7	8

Окончание таблицы Б.4

Θ_t , %	$t_{п}$, $^\circ\text{C}$	Θ_{Mt} , %	$P_{п}$, МПа	Θ_{MP} , %	Θ , %	δ , %
9	10	11	12	13	14	15

Заключение: СРМ к дальнейшей эксплуатации _____ в качестве _____
(годен, не годен)

рабочего и контрольного, или контрольного, или рабочего

Должностное лицо, проводившее определение МХ АБ: _____
(подпись) (инициалы, фамилия)

Дата проведения МХ АБ «____» _____ 20____ г.

П р и м е ч а н и е - при определении коэффициента коррекции в столбец 14 таблицы 2, столбец 3 таблицы 3 и столбец 3 таблицы 4 заносят значения коэффициента коррекции, при определении градуировочного коэффициента - значения градуировочного коэффициента, в шапки таблиц заносят соответствующие названия столбцов.

Приложение В (справочное) Определение коэффициентов CTL и CPL.

В.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/м³ определяют по формулам

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

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

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

где ρ_{15} - значение плотности рабочей жидкости при $t = 15$ °С и $P = 0$ МПа, кг/м³;

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 В.1.

Т а б л и ц а В.1 - Значения коэффициентов K_0 и K_1 в зависимости от типа рабочей жидкости

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

Примечание - Для нефтепродуктов коэффициенты K_0, K_1 выбираются не по названию типа рабочей жидкости, а в зависимости от значения ρ_{15} .

В.2 Определение коэффициента CPL.

Значение коэффициента CPL, учитывающего влияние давления на объем рабочей жидкости для диапазона плотности рабочей жидкости (при $t = 15$ °С и $P = 0$ МПа) от 611 до 1164 кг/м³ определяют по формулам

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

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

где ρ_{15} - значение плотности рабочей жидкости при $t = 15$ °С и $P = 0$ МПа, кг/м³;

t - значение температуры рабочей жидкости, °С;

P - значение избыточного давления рабочей жидкости, МПа;

10 - коэффициент перевода единиц измерения давления МПа в бар.

В.3 Определение коэффициента β .

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

$$\beta = \beta_{15} + 1,6 \cdot \beta_{15}^2 \cdot (t - 15), \quad (B.6)$$

где β_{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.

В.4 Определение плотности ρ_{15} .

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

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

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 $t_{пп}$, $\rho_{пп}$ и ρ_{15} .

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Приложение Г (справочное)

Методика анализа результатов измерений на наличие промахов.

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

СКО результатов измерений в j-ой точке рабочего диапазона измерений расхода $S_{jk(j)}$ определяют по формуле

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

где K_{Mj} - среднее значение градуировочного коэффициента СРМ в j-ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода, г/с/мкс;
 K_{Mji} - значение градуировочного коэффициента СРМ для i-го измерения в j-ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода, г/с/мкс;
 MF_j - среднее значение коэффициента коррекции СРМ в j-ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода;
 MF_{ji} - значение коэффициента коррекции СРМ для i-го измерения в j-ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода;
 n_j - количество измерений в j-ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода.

Примечание - При $S_{jk(j)} < 0,001$ принимаем $S_{jk(j)} = 0,001$.

Наиболее выделяющееся соотношение U

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

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

Таблица Г - 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 Д

Справочные материалы

Д.1 Значение квантиля распределения Стьюдента при доверительной вероятности $P = 0,95$ в зависимости от количества измерений n определяют из таблицы Д.1.

Т а б л и ц а Д.1 - Значения квантиля распределения Стьюдента при $P = 0,95$

$n - 1$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
$t_{0,95}$	12,706	4,303	3,182	2,776	2,571	2,447	2,365	2,306	2,262	2,228	2,201	2,179	2,160

Продолжение таблицы Д.1

$n - 1$	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
$t_{0,95}$	2,145	2,131	2,120	2,110	2,101	2,093	2,086	2,080	2,074	2,069	2,064	2,060	2,056

Продолжение таблицы Д.1

$n - 1$	27	28	29	30	40	60	120	∞
$t_{0,95}$	2,052	2,048	2,045	2,042	2,021	2,000	1,980	1,960

Д.2 Коэффициент линейного расширения и значение модуля упругости материала стенок ТПУ определяют из таблицы Д.2.

Т а б л и ц а Д.2 - Коэффициенты линейного расширения и значения модуля упругости материала стенок ТПУ

Материал стенок ТПУ	$\alpha_t, ^\circ\text{C}^{-1}$	$E, \text{МПа}$
1	2	3
Сталь углеродистая	$1,12 \times 10^{-5}$	$2,07 \times 10^5$
Сталь нержавеющая 304	$1,73 \times 10^{-5}$	$1,93 \times 10^5$
Сталь нержавеющая 316	$1,59 \times 10^{-5}$	$1,93 \times 10^5$
Сталь нержавеющая 17-4	$1,08 \times 10^{-5}$	$1,97 \times 10^5$

П р и м е ч а н и е - Если значения α_t и E приведены в паспорте ТПУ, то в расчетах используют паспортные значения.