

Приложение
к приказу Федерального агентства
по техническому регулированию
и метрологии
от «12» декабря 2024 г. № 2949

Рекомендация

Государственная система обеспечения единства измерений

Преобразователи плотности поточные

Методика поверки на месте эксплуатации

МИ 2816-2012

Изменение № 1

Государственный научный метрологический центр
ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии
им. Д.И. Менделеева»
(ГНМЦ ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»)
Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель директора по научной работе
ГНМЦ ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»


Кривцов Е.П.
« 6 » 12 2012 г.



РЕКОМЕНАЦИЯ

Государственная система обеспечения единства измерений

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ПЛОТНОСТИ ПОТОЧНЫЕ

Методика поверки на месте эксплуатации

МИ 2816-2012

Санкт-Петербург

2012

ПРЕДИСЛОВИЕ

1 РАЗРАБОТАНА
ИСПОЛНИТЕЛИ

ГМНЦ ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»
Снегов В.С., кандидат технических наук, Домостроев А.В.

2 РАЗРАБОТАНА
ИСПОЛНИТЕЛИ:
3 УТВЕРЖДЕНА

ООО «ИМС Индастриз»
Сафонов А.В.; Каррамов И.Р.; Сагдеев Р.С.
ГНМЦ ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»

4 ЗАРЕГИСТРИРОВАНА

ФГУП Всероссийский научно-исследовательский институт
метрологической службы

5 ВВЕДЕНА ВЗАМЕН

МИ 2816-2011

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

СОДЕРЖАНИЕ

1 Область применения.....	4
2 Нормативные ссылки.....	4
3 Термины, определения и сокращения	5
4 Операции поверки.....	5
5 Средства поверки и вспомогательное оборудование.....	5
6 Требования безопасности	6
7 Условия поверки	7
8 Подготовка к поверке	7
9 Проведение поверки и обработка результатов измерений	8
10 Оформление результатов поверки	13
Приложение А Определение коэффициентов CTL, CPL и плотности ρ_{15}	14
Приложение Б Эскиз термокармана	17
Приложение В Форма протокола поверки	18

Т88.5
РЕКОМЕНДАЦИЯ

ГОСУДАРСТВЕННАЯ СИСТЕМА ОБЕСПЕЧЕНИЯ
ЕДИНСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ПЛОТНОСТИ ПОТОЧНЫЕ
МЕТОДИКА ПОВЕРКИ НА МЕСТЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

МИ 2816 - 2012

1 Область применения

Настоящая рекомендация распространяется на поточные преобразователи плотности, предназначенные для измерений плотности нефти и нефтепродуктов в диапазоне от 650 до 1100 кг/м³, и устанавливает методику их первичной и периодической поверок на месте эксплуатации.

Интервал между поверками – в соответствии с установленным при испытаниях в целях утверждения типа.

2 Нормативные ссылки

- [1] ГОСТ 8.024 – 2002 ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерений плотности.
- [2] ТУ 25-2021.003-98 Термометры ртутные стеклянные лабораторные. Технические условия.
- [3] ТУ 25.05.1481-77 Манометры, мановакуумметры и вакуумметры для точных измерений типов МТИ и ВТИ. Технические условия.
- [4] ГОСТ 18300-87 Спирт этиловый ректифицированный технический. Технические условия.
- [5] ГОСТ 8505-80 Нефрас-С 50/170. Технические условия.
- [6] ТУ 38.401-67-108-92 (взамен ГОСТ 443-76 Бензин-растворитель для резиновой промышленности. Технические условия)
- [7] РД 39-0147103-354-89. Руководящий документ. Типовое положение о лаборатории, производящей анализы нефти при приемо-сдаточных операциях.
- [8] ГОСТ 12.4.009-83 ССБТ. Пожарная техника для защиты объектов. Основные виды. Размещение и обслуживание.

[9] ПР 50.2.006-94 ГСИ. Порядок проведения поверки средств измерений.

3 Термины, определения и сокращения

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

ПП – преобразователь плотности;

Продукт – нефть и нефтепродукты;

СИ – средство измерений;

Эталонное СИ – установка пикнометрическая переносная, допущенная к применению в качестве рабочего эталона 1-го разряда в соответствии с ГОСТ 8.024 [1].

4 Операции поверки

При проведении поверки выполняют следующие операции:

- внешний осмотр (9.1);
- опробование (9.2);
- определение метрологических характеристик (9.3).

5 Средства поверки и вспомогательное оборудование

При проведении поверки применяют следующие средства поверки:

5.1 Эталонное СИ с диапазоном измерений от 650 до 1100 кг/м³ и пределами допускаемой абсолютной погрешности не более $\pm 0,1$ кг/м³ в диапазоне температур от 0 °C до 50 °C и не более $\pm 0,15$ кг/м³ в диапазоне температур от 50 °C до 110 °C.

Комплектность эталонного СИ – в соответствии с описанием типа.

5.2 Если эталонное СИ не имеет встроенных термокарманов для установки датчика(-ов) температуры или стеклянных термометров, то оно комплектуется дополнительно:

- двумя переносными термокарманами на входе и выходе продукта эталонного СИ;
- термометром цифровым в комплекте с термопреобразователем (термопреобразователями) сопротивления или термометром (термометрами) стеклянными для диапазона температуры продукта в трубопроводе с ценой деления шкалы 0,1 °C и пределами допускаемой абсолютной погрешности не более $\pm 0,2$ °C.

Допускается измерение температуры по термопреобразователям сопротивления, вмонтированным в кейс (теплоизолирующий футляр пикнометров эталонного СИ).

Эскиз термокармана представлен в Приложении Б.

5.3 На трубопроводе в месте установки поверяемого ПП должны быть следующие средства измерений:

- термопреобразователь сопротивления с преобразователем измерительным с пределами допускаемой абсолютной погрешности не более $\pm 0,2$ $^{\circ}\text{C}$;
- термометр стеклянный ртутный типа ТЛ-4Б по ТУ25-2021.003 [2], цена деления шкалы $0,1$ $^{\circ}\text{C}$, пределы допускаемой абсолютной погрешности не более $\pm 0,2$ $^{\circ}\text{C}$;
- преобразователь избыточного давления измерительный, пределы допускаемой приведенной погрешности не более $\pm 0,5$ %;
- манометр точных измерений МТИ – 0,6 по ТУ25.05.1481 [3].

5.4 ИВК с каналами связи, по которым передаются выходные сигналы поверяемого ПП и преобразователей избыточного давления и температуры.

5.5 Барометр метеорологический с пределами допускаемой абсолютной погрешности $\pm 1,5$ мм рт.ст. ($\pm 0,2$ кПа).

5.6 Психрометр аспирационный по ТУ 52-07-ГРПИ-405132-001-92.

5.7 Пылесос (фен) электрический бытовой, компрессор или другой источник подачи сухого воздуха.

Примечание - Допускается вместо сухого воздуха применять азот.

5.8 Промывочные жидкости: спирт этиловый ректифицированный технический по ГОСТ 18300 [4], нефрас по ГОСТ 8505 [5] или бензин-растворитель для резиновой промышленности по ТУ 38-401-67-108 [6].

5.9 Салфетки хлопчатобумажные, ветошь.

Допускается применение других средств поверки с аналогичными или лучшими характеристиками.

6 Требования безопасности

При проведении поверки соблюдаются следующие требования безопасности:

6.1 Требования безопасности - в соответствии с инструкцией по эксплуатации объекта, на котором установлен поверяемый ПП, и требования безопасности при работе в химико-аналитической лаборатории [7], в которой проводят работы по поверке ПП.

6.2 При работе с эталонным СИ соблюдаются меры безопасности в соответствии с требованиями технической документации.

6.3 Помещения, в которых проводят работы с легковоспламеняющимися жидкостями, оборудуют установками пожарной сигнализации и пожаротушения в соответствии с ГОСТ 12.4.009 [8] и оснащают приточно-вытяжной вентиляцией и вытяжными шкафами.

6.4 Не допускается хранить пикнометры в заполненном состоянии после завершения измерений. Невыполнение этого требования может привести к неконтролируемому повышению давления в них выше допустимой величины, вследствие естественного нагрева продукта в пикнометрах и к последующему повреждению пикнометров.

7 Условия поверки

При проведении поверки соблюдаются следующие условия:

- диапазон температуры окружающего воздуха, °С:
 - при отборе пробы продукта в пикнометры, °С от минус 25 до 50;
 - при взвешивании пикнометров, °С от 15 до 25;
- диапазон температуры продукта, °С от 0 до 110;
- избыточное давление продукта при отборе проб в пикнометры, МПа не более 10,0;
- расход продукта через пикнометры при отборе проб, м³/ч не менее 0,1

8 Подготовка к поверке

8.1 Перед проведением поверки выполняют следующие работы:

при необходимости перед проведением поверки внутренняя полость ПП должна быть промыта бензином или нефрасом, используя шомпол с ершиком из мягкого материала или ткань;

- электронные весы подготавливают в соответствии с инструкцией по эксплуатации;
- взвешивают пустые пикнометры:
 - методом прямого взвешивания, если используемые весы имеют функцию калибровки по массе;
 - методом сравнения с известной массой, если весы не имеют функции калибровки по массе и используются в качестве компаратора.

8.2 При прямом взвешивании, непосредственно перед взвешиванием пикнометров калибруют весы в соответствии с инструкцией по эксплуатации. Каждый пикнометр взвешивают не менее трех раз, вычисляют среднее значение результатов взвешиваний.

8.3 При использовании метода сравнения с известной массой, кроме пикнометров взвешивают известную массу (набор гирь) также не менее трех раз и вычисляют средние значения результатов взвешиваний каждого пикнометра и среднее значение результатов взвешиваний набора гирь. Сходимость результатов взвешиваний - не более 0,02 г, в противном случае повторяют взвешивания;

- измеряют температуру атмосферного воздуха и барометрическое давление в комнате, где проводились взвешивания;
- для эталонного СИ, у которого нет встроенных термокарманов, подсоединяют термокарманы на входе продукта в пикнометры, и на выходе из пикнометров;
- пикнометры подсоединяют к трубопроводу в соответствии с инструкцией по их эксплуатации;
- устанавливают расход продукта через ПП в пределах его рабочего диапазона расхода;
- устанавливают расход продукта через пикнометры - не менее $0,1 \text{ м}^3/\text{ч}$, но не более установленного для эталонного СИ;
- в термокарманы устанавливают термометры или термопреобразователи сопротивления.

9 Проведение поверки и обработка результатов измерений

9.1 Внешний осмотр

При проведении внешнего осмотра устанавливают:

- соответствие комплектности и маркировки ПП требованиям технической документации;
- отсутствие на ПП механических повреждений и дефектов покрытий, ухудшающих его внешний вид и мешающих работе;
- соответствие надписей и обозначений на ПП требованиям технической документации;
- правильность монтажа ПП и эталонного СИ, отсутствие протечек через фланцевые и резьбовые соединения.

9.2 Опробование

Проверяют общее функционирование ПП с ИВК в соответствии с инструкцией по эксплуатации, а для ПП с частотным выходным сигналом проверяют соответствие введенных в ИВК градуировочных коэффициентов заводскому сертификату или предыдущему свидетельству о поверке (градуировке) и правильность вычисляемых значений плотности.

9.3 Определение абсолютной погрешности ПП

Абсолютную погрешность ПП определяют, как разность результатов измерений плотности продукта одновременно ПП и эталонным СИ.

9.3.1 Измерения начинают после стабилизации параметров продукта в ПП и эталонном СИ, когда изменение температуры продукта во времени не превышает $0,1^{\circ}\text{C}/\text{мин}$, изменение давления – $0,05 \text{ МПа}/\text{мин}$, изменение периода – $0,02 \text{ мкс}/\text{мин}$.

Результат измерения плотности продукта, в зависимости от модели поверяемого ПП, считывают с ИВК или вычисляют по результатам измерений параметров выходного сигнала.

Фиксируют показания поверяемого ПП (для ПП с частотным выходным сигналом – значения периода колебаний выходного сигнала), значения температуры и давления продукта в трубопроводе и одновременно снимают показания СИ температуры в термокарманах на входе и выходе эталонного СИ. Если используется одноканальный цифровой термометр с одним термопреобразователем сопротивления (один стеклянный термометр), то его погружают поочерёдно в термокарманы на входе продукта в эталонное СИ и на его выходе.

Закрывают краны пикнометров, начиная с выходного крана второго по потоку пикнометра.

Отсоединяют пикнометры, промывают наружную поверхность нефрасом или бензином и продувают сухим воздухом или азотом, до полного удаления остатков промывочной жидкости.

9.3.2 Взвешивают заполненные пикнометры аналогично взвешиванию пустых пикнометров согласно разделу 8.

9.3.3 Опорожняют пикнометры, разбирают их, моют корпус пикнометра и детали кранов нефрасом или бензином и продувают сухим воздухом до полного удаления остатков промывочной жидкости. При наличии воды в продукте рекомендуется предварительно промыть пикнометры и детали кранов этанолом.

9.3.4 Собирают пикнометры и взвешивают согласно разделу 8. Сходимость результатов взвешивания пустых пикнометров до и после измерения плотности – не более $0,02 \text{ г}$, в противном случае измерения плотности повторяют.

Примечание – Допускается разбирать, проводить взвешивание пустых пикнометров по пп. 9.3.3-9.3.4 не при каждом измерении плотности, а после серии до 5 измерений. После окончания поверки ПП выполнение работ по пп. 9.3.3-9.3.4 обязательно.

9.3.5 При прямом методе взвешивания результат измерений плотности одним из пикнометров $\rho_{1(2)}$, $\text{кг}/\text{м}^3$, вычисляют по формуле

$$\rho_{1(2)} = \frac{[W_3 - W_{12}] \cdot \left[1 - \frac{\rho_a}{\rho_f} \right] + \rho_a \cdot V_{1P}}{V_{1P}} \cdot 10^3, \text{ кг}/\text{м}^3 \quad (1)$$

где W_3 и W_p – средние арифметические значения показаний весов при взвешиваниях заполненного и пустого пикнометра соответственно, г;
 ρ_a – плотность атмосферного воздуха, $\text{г}/\text{см}^3$, вычисленная по формуле

$$\rho_a = \frac{(0,34848 \cdot P_a - 0,009024 \cdot h \cdot e^{0,0612 t_a}) \cdot 10^{-3}}{273,15 + t_a}, \quad (2)$$

где P_a – барометрическое давление, гПа , (допускается использовать данные метеослужб для данного региона);

t_a – температура атмосферного воздуха, $^{\circ}\text{C}$;

h – относительная влажность воздуха, %, (допускается использовать данные метеослужб для данного региона);

ρ_r – плотность материала гирь (если нет данных, принимают $\rho_r = 8,0 \text{ г}/\text{см}^3$);

V_{tp} – вместимость пикнометра, приведенная к условиям отбора пробы продукта, см^3 , вычисленная по формуле в соответствии с руководством по эксплуатации или методикой измерений или по формуле

$$V_{tp} = V + F_t \cdot (t_p - t_0) + F_p \cdot P_p \cdot 10, \quad (3)$$

где V – вместимость пикнометра, указанная в свидетельстве о поверке, см^3 ;

F_t – коэффициент изменения вместимости пикнометра при изменении температуры продукта, указанный в свидетельстве о поверке, $\text{см}^3/{}^{\circ}\text{C}$;

t_p – среднее арифметическое значение показаний СИ температуры в термокарманах на входе продукта в пикнометры и на выходе или по термопреобразователям сопротивления, вмонтированным в кейс, $^{\circ}\text{C}$;

t_0 – температура поверки пикнометра, указанная в свидетельстве о поверке, $^{\circ}\text{C}$;

F_p – коэффициент изменения вместимости пикнометра при изменении давления продукта, указанный в свидетельстве о поверке, $\text{см}^3/\text{бар}$;

P_p – давление в пикнометре при отборе пробы продукта (по показанию преобразователя давления или манометра на трубопроводе), МПа.

9.3.6 При взвешиваниях пикнометров методом сравнения с известной массой (гирь) результат измерений плотности $\rho_{1(2)}$, $\text{кг}/\text{м}^3$, вычисляют по формуле

$$\rho_{1(2)} = \frac{\left[\frac{W_3}{W_{\Gamma 3}} \cdot M_3 - \frac{W_{\Pi}}{W_{\Gamma \Pi}} \cdot M_{\Pi} \right] \cdot \left[\frac{1 - \frac{0,0012}{8,0}}{1 - \frac{\rho_a}{\rho_e}} \right] + \rho_a \cdot V_{t\Pi}}{V_{t\Pi}} \cdot 10^3, \text{ кг/м}^3, \quad (4)$$

где $W_{\Gamma 3}$ и $W_{\Gamma \Pi}$ – средние арифметические значения показаний весов при взвешиваниях гирь, замещающих массу заполненного и пустого пикнометра, соответственно, г;
 ρ_e – плотность гирь, г/см³;
 M_3 и M_{Π} – известная условная масса гирь (из свидетельств о поверке), замещающих массу заполненного и пустого пикнометра, соответственно, г.

Вычисляют результат измерений плотности продукта вторым пикнометром по формуле (1) или (4). Если разность результатов измерений плотности продукта первым и вторым пикнометрами не превышает 0,20 кг/м³, результаты считают достоверными. В противном случае повторяют измерения по п.9.3.

Вычисляют среднее арифметическое значение этих двух результатов измерений плотности по формуле

$$\rho_{\Pi} = \frac{1}{2} \cdot (\rho_1 + \rho_2), \quad (5)$$

где ρ_{Π} – результат измерения плотности эталонным СИ, кг/м³;

ρ_1, ρ_2 – результаты измерений плотности первым и вторым пикнометрами соответственно, кг/м³.

Если температура продукта в эталонном СИ отличается от температуры продукта в ПП более чем на 0,1°C, значение плотности ρ_{Π} приводят к температуре продукта в ПП по формуле

$$\rho_{\Pi_{\text{прив}}} = \rho_{15} \cdot CTL_{\Pi\Pi} \cdot CPL_{\Pi\Pi} \quad (6)$$

где $\rho_{\Pi_{\text{прив}}}$ – результат измерения плотности эталонным СИ, приведенный к температуре продукта в ПП, кг/м³;

ρ_{15} – значение плотности продукта при $t = 15$ °C и $P = 0$ МПа, кг/м³;

$CTL_{\Pi\Pi}$ – коэффициент, учитывающий влияние температуры на объем продукта, определенный для $t_{\Pi\Pi}$ и ρ_{15} ;

$CPL_{\Pi\Pi}$ – коэффициент, учитывающий влияние давления на объем продукта, определенный для $t_{\Pi\Pi}$, $P_{\Pi\Pi}$ и ρ_{15}

$t_{\text{ПП}}$ – температура продукта в поверяемом ПП, $^{\circ}\text{C}$;

$P_{\text{ПП}}$ – давление продукта в поверяемом ПП, МПа.

Методика определения коэффициентов CTL, CPL и плотности ρ_{15} дана в приложении А.

Операции поверки по пунктам 9.3.1, 9.3.2 и 9.3.4 проводят не менее трех раз, результаты заносят в протокол поверки (Приложение В).

9.3.7 Абсолютную погрешность ПП при каждом измерении вычисляют по формуле

$$\Delta\rho = \rho_{t,p} - \rho_{P_{\text{ПП, прив}}}, \quad (7)$$

где $\rho_{t,p}$ – плотность, измеренная ПП при температуре и давлении поверки, $\text{кг}/\text{м}^3$.

9.3.8 Для моделей ПП 7835/45/47 значение $\rho_{t,p}$ при поверке вычисляют по формулам

$$\rho_{t,p} = \rho_t \cdot (1 + K20 \cdot P_{\text{ПП}} \cdot 10) + K21 \cdot P_{\text{ПП}} \cdot 10, \quad (8)$$

$$\rho_t = \rho \cdot [1 + K18 \cdot (t_{\text{ПП}} - 20)] + K19 \cdot (t_{\text{ПП}} - 20), \quad (9)$$

$$\rho = K0 + K1 \cdot T + K2 \cdot T^2, \quad (10)$$

$$K20 = K20A + K20B \cdot P_{\text{ПП}} \cdot 10, \quad (11)$$

$$K21 = K21A + K21B \cdot P_{\text{ПП}} \cdot 10, \quad (12)$$

где $K0, K1, K2$ – коэффициенты ПП (из сертификата его градуировки);

ρ – плотность продукта, вычисленная без коррекции на температуру и давление в ПП при его поверке;

ρ_t – плотность продукта, вычисленная с коррекцией на температуру ПП;

$K20, K21$ – коэффициенты коррекции по давлению;

$K18$ и $K19$ – коэффициенты коррекции по температуре (из сертификата градуировки ПП);

$K20A, K20B, K21A, K21B$ – коэффициенты коррекции по давлению (из сертификата градуировки ПП);

T – период колебаний выходного сигнала ПП, мкс.

9.3.9 Для моделей ПП SARASOTA FD950, FD960 с сертификатом градуировки, в котором не используют коэффициенты $K0, K1, \dots, K21$, плотность $\rho_{t,p}$ вычисляют по формулам

$$\rho_{t,p} = 2D_0 \frac{(T - T_{0\text{corrected}})}{T_{0\text{corrected}}} \left[1 + \frac{K}{2} \frac{(T - T_{0\text{corrected}})}{T_{0\text{corrected}}} \right], \quad (13)$$

$$T_{0\text{corrected}} = T_0 + \text{TEMPCO}(t_{\text{ПП}} - t_{\text{cal}}) + \text{PRESKO}(P_{\text{ПП}} - P_{\text{cal}}) \cdot 10, \quad (14)$$

где D_0 , K – коэффициенты ПП (из сертификата его градуировки);

$T_{0\text{corrected}}$ – коэффициент, учитывающий влияние температуры и давления в ПП при его поверке;

T_0 – коэффициент ПП (из сертификата его градуировки), мкс;

TEMPCO – температурный коэффициент ПП (из сертификата градуировки), мкс/°C;

t_{cal} – температура градуировки ПП (из сертификата градуировки), °C;

PRESKO – коэффициент давления (из сертификата градуировки), мкс/бар;

P_{cal} – абсолютное давление градуировки ПП (из сертификата градуировки), МПа.

9.3.10 Для других моделей ПП значение $\rho_{t,p}$ определяют в соответствии с технической документацией на поверяемую модель ПП.

9.3.11 Абсолютная погрешность, вычисленная по формуле (7) для каждого измерения плотности при поверке ПП, используемых при учетных операциях, не должна превышать $\pm 0,30 \text{ кг}/\text{м}^3$.

9.3.12 Для ПП, не используемых при учетных операциях, абсолютная погрешность не должна превышать предела допускаемой абсолютной погрешности, установленного в описании типа для данной модели.

10 Оформление результатов поверки

10.1 Результаты поверки оформляют протоколом по форме, приведенной в Приложении В.

10.2 При положительных результатах поверки оформляют свидетельство в соответствии с ПР 50.2.006 [9].

10.3 При отрицательных результатах поверки преобразователь плотности не допускают, к применению, свидетельство аннулируют и выдают извещение о непригодности в соответствии с ПР 50.2.006 [9].

Приложение А

Определение коэффициентов CTL, CPL и плотности ρ_{15}

A.1 Определение коэффициентов CTL, CPL и плотности ρ_{15}

A.1.1 Определение коэффициента CTL

Значение коэффициента CTL, учитывающего влияние температуры на объем продукта (при $t = 15^{\circ}\text{C}$ и $P = 0 \text{ МПа}$) определяют по формулам

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

$$\alpha_{15} = \frac{K_0 + K_1 \cdot \rho_{15} + K_2}{\rho_{15}^2}, \quad (\text{A.2})$$

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

где ρ_{15} – значение плотности продукта при $t = 15^{\circ}\text{C}$ и $P = 0 \text{ МПа}$, $\text{кг}/\text{м}^3$;

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

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

K_0, K_1, K_2 – коэффициенты выбираются из таблицы А.1.

Таблица А.1 - Значения коэффициентов K_0, K_1 и K_2 в зависимости от типа продукта

		Диапазон плотности при 15°C , $\text{кг}/\text{м}^3$	K_0	K_1	K_2
Нефть		$611,2 \leq \rho_{15} < 1163,8$	613,9723	0,0000	0,0000
Группы нефтепродуктов	Бензины	$611,2 \leq \rho_{15} < 770,9$	346,4228	0,43884	0,0000
	Топлива, занимающие по плотности промежуточное место между бензинами и керосинами	$770,9 \leq \rho_{15} < 788,0$	2690,7440	0,00000	-0,0033762
	Топлива для реактивных двигателей, керосины для реактивных двигателей, авиационное реактивное топливо ДЖЕТ А, керосины	$788,0 \leq \rho_{15} < 838,7$	594,5418	0,0000	0,0000
	Дизельные топлива, печные топлива, мазуты	$838,7 \leq \rho_{15} < 1163,9$	186,9696	0,4862	0,0000
Смазочные масла нефтяного происхождения, полученные из дистиллятных масляных фракций с температурой кипения выше 370°C		$801,3 \leq \rho_{15} < 1163,9$	0,0000	0,6278	0,0000

П р и м е ч а н и я

1 Нефтепродукты разделены на группы, имеющие внутри подгруппы, в указанном в таблице диапазоне плотности, аналогичные характеристики зависимости между коэффициентом объемного расширения α_{15} и плотностью нефтепродукта ρ_{15} . Наименование групп носит услов-

ный характер.

2 Если значение плотности нефтепродукта ρ_{15} попадает в диапазон плотности, соответствующей другой группе нефтепродуктов, то при расчете плотности конкретного нефтепродукта, в связи с условным наименованием групп, следует применять значения коэффициентов K_0 , K_1 и K_2 той подгруппы нефтепродуктов, которой соответствует его плотность ρ_{15} . Так, например бензин с плотностью ρ_{15} более 770,9 кг/м³ следует относить к подгруппе «топлива, занимающие по плотности промежуточное место между бензинами и керосинами» и расчет плотности проводить по коэффициентам, соответствующим данной подгруппе.

3 При наличии уточненных и утвержденных в установленном порядке коэффициентов K_0 , K_1 и K_2 для нефти и нефтепродуктов рекомендуется для расчета плотности применять уточненные коэффициенты.

A.1.2 Определение коэффициента CPL

Значение коэффициента CPL, учитывающего влияние давления на объем продукта (при $t = 15$ °С и $P = 0$ МПа) определяют по формулам

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

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

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

t – значение температуры продукта, °С;

P – значение избыточного давления продукта, МПа;

10 – коэффициент перевода единиц измерения давления МПа в бар.

A.1.3 Определение плотности ρ_{15}

Значение плотности продукта при $t = 15$ °С и $P = 0$ МПа, ρ_{15} , кг/м³ определяют по формуле

$$\rho_{15} = \frac{\rho_{\Pi}}{CTL_{\Pi} \cdot CPL_{\Pi}}, \quad (A.6)$$

где ρ_{Π} – значение плотности продукта в эталонном СИ, кг/м³;

CTL_{Π} – коэффициент, учитывающий влияние температуры на объем продукта, определенный для t_{Π} и ρ_{15} ;

CPL_{Π} – коэффициент, учитывающий влияние давления на объем продукта, определенный для t_{Π} , P_{Π} и ρ_{15} ;

t_{Π} – значение температуры продукта в эталонном СИ, °С;

P_{Π} – значение давления продукта в эталонном СИ, МПа (по показаниям преобразователя давления или манометра на трубопроводе);

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

- 1) Определяют значения $CTL_{\Pi(1)}$ и $CPL_{\Pi(1)}$, принимая значение ρ_{15} равным значению ρ_{Π} .
- 2) Определяют значения $\rho_{15(1)}$, кг/м³:

$$\rho_{15(1)} = \frac{\rho_{\Pi}}{CTL_{\Pi(1)} \cdot CPL_{\Pi(1)}} \quad (A.7)$$

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

- 4) Определяют значение $\rho_{15(2)}$, кг/м³:

$$\rho_{15(2)} = \frac{\rho_{\Pi}}{CTL_{\Pi(2)} \cdot CPL_{\Pi(2)}} \quad (A.8)$$

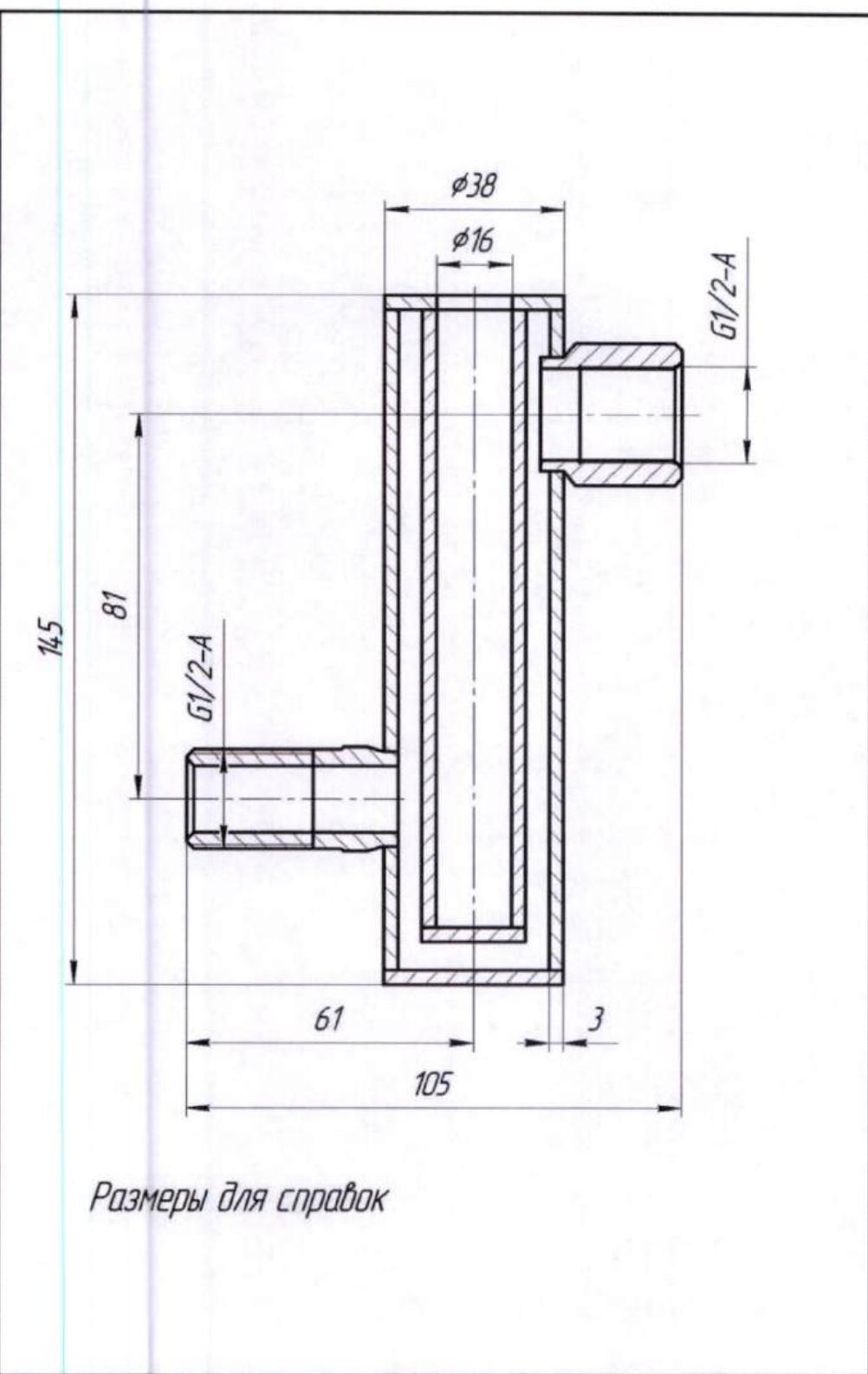
- 5) Аналогично пунктам (3) и (4), определяют значения $CTL_{\Pi(i)}$, $CPL_{\Pi(i)}$ и $\rho_{15(i)}$ для i -го цикла вычислений и проверяют выполнение условия:

$$|\rho_{15(i)} - \rho_{15(i-1)}| \leq 0,001, \quad (A.9)$$

где $\rho_{15(i)}$, $\rho_{15(i-1)}$ – значения ρ_{15} , определенные, соответственно, за последний и предпоследний цикл вычислений, кг/м³.

Процесс вычислений продолжают до выполнения условия (A.9). За значение ρ_{15} принимают последнее значение $\rho_{15(i)}$.

Приложение Б
Эскиз термокармана



Размеры для справок

Рисунок Б.1 – Термокарман

Приложение В
Форма протокола поверки

ПРОТОКОЛ № _____
 поверки преобразователя плотности

Тип преобразователя _____

Заводской номер _____

Владелец _____

Место поверки _____

Температура окружающего воздуха при взвешивании пикнометров _____ °C

Барометрическое давление _____ кПа

Относительная влажность воздуха _____ %

Определение метрологических характеристик

Температура продукта		Давление продукта		Плотность, измеренная пикнометрами	Плотность, измеренная пикнометрами, приведенная	Значение периода колебаний преобразователя плотности	Плотность, измеренная преобразователем плотности	Абсолютная погрешность преобразователя плотности
в преобразователе плотности	в пикнометрах	в преобразователе плотности	в пикнометрах					
°C	°C	МПа	МПа	кг/м ³	кг/м ³	мкс	кг/м ³	кг/м ³

Градуировочные коэффициенты _____

от _____

Должность, подпись, И.О. Фамилия лица, проводившего поверку _____

Дата проведения поверки « ____ » 201 ____

МИ 2816-2012 "Преобразователи плотности поточные. Методика поверки на месте эксплуатации"

Изменение № 1

Раздел 1

Первый абзац дополнить предложением: «Допускается проводить поверку по настоящей методике в условиях лаборатории.».

Раздел 2

Удалить нумерацию в квадратных скобках, в том числе по тексту.

Удалить ссылки на следующие документы:

ТУ 25-2021.003-98 Термометры ртутные стеклянные лабораторные. Технические условия.

ТУ 25.05.1481-77 Манометры, мановакуумметры и вакуумметры для точных измерений типов МТИ и ВТИ. Технические условия.

ГОСТ 18300-87 Спирт этиловый ректифицированный технический. Технические условия.

РД 39-0147103-354-89. Руководящий документ. Типовое положение о лаборатории, производящей анализы нефти при приемо-сдаточных операциях.

Дополнить ссылками на следующие документы:

ГОСТ Р 55878–2013 Спирт этиловый технический гидролизный ректифицированный. Технические условия

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

API MPMS 11.1 Manual of Petroleum Measurement Standards. Chapter 11 – Physical Properties Data (Volume Correction Factors)

Дополнить Примечанием в следующей редакции:

«Примечание – При пользовании настоящей рекомендацией следует в установ-

ленном порядке проверить действие нормативных документов, перечисленных в Разделе 2. Если нормативный документ заменен или частично изменен, то следует руководствоваться положениями заменяющего или частично заменяющего документа. Если нормативный документ отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, применяют в части, не затрагивающей эту ссылку".

Раздел 3

Третье перечисление изложить в редакции:

ПП – преобразователь плотности, канал измерений плотности массового преобразователя расхода.

Последнее предложение изложить в редакции:

"Эталонное СИ – установка пикнометрическая, допущенная к применению в качестве рабочего эталона 1 разряда в соответствии с ГОСТ 8.024".

Раздел 5

Пункт 5.2. Изложить в новой редакции:

"Если конструкцией эталонного СИ не предусмотрено измерение температуры тел пикнометров с применением термопреобразователей сопротивления, установленных в теплоизолирующий футляр, то при измерениях температуры используют:

- два переносных термокармана: на входе продукта в эталонное СИ и на его выходе;
- термометры цифровые в комплекте с термопреобразователями сопротивления или термометры стеклянные для диапазона температуры продукта в трубопроводе с ценой деления шкалы $0,1^{\circ}\text{C}$ и пределами допускаемой абсолютной погрешности не более $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$ ".

Пункт 5.4. Изложить в новой редакции:

"ИВК с каналами связи, по которым передаются выходные сигналы поверяемого ПП и преобразователей избыточного давления и температуры. Диапазон измерений частоты входного сигнала от 1 до 10000 Гц (при поверке ПП с частотным выходным сигналом), пределы допускаемой относительной погрешности измерений частоты и (или) периода входного сигнала $\pm 0,002\%$. Диапазон измерений силы постоянного тока от 4 до 20 мА, пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений силы постоянного тока $\pm 0,015\text{ мА}$.

При поверке ПП с цифровым выходным сигналом ИВК должен обладать цифровым интерфейсом, обеспечивающим прием цифрового сигнала ПП".

Пункт 5.7. Примечание изложить в новой редакции:

"Допускается вместо сухого воздуха применять азот или гелий".

Раздел 8 изложить в новой редакции:

8 Подготовка к поверке

Перед проведением поверки выполняют следующие работы:

- промывают внутреннюю полость ПП бензином или нефрасом, используя шомпол с ершиком из мягкого материала или ткань;
- пикнометры разбирают, промывают бензином или нефрасом, сушат на воздухе или продувая их используя источник чистого сухого воздуха, азота или гелия. В качестве источника воздуха допускается применять безмасляный компрессор, пылесос, фен. Также допускается применять для просушки азот или гелий в баллонах под давлением. После просушки пикнометры собирают;
- электронные весы подготавливают в соответствии с инструкцией по эксплуатации;
- взвешивают пустые пикнометры методом сравнения с известной массой набора эталонных гирь. Пикнометр взвешивают не менее трех раз. После взвешивания каждого пикнометра взвешивают известную массу (набор гирь) также не менее трех раз и вычисляют средние значения результатов взвешиваний каждого пикнометра и среднее значение результатов взвешиваний набора замещающих гирь. Номинальная масса набора гирь не должна отличаться от результата взвешивания пикнометра более, чем на 500 г. Сходимость результатов взвешиваний пикнометров и набора гирь - не более 0,02 г, в противном случае повторяют взвешивания;
- измеряют температуру атмосферного воздуха и барометрическое давление в помещении, где проводились взвешивания;
- пикнометры подсоединяют к трубопроводу в соответствии с инструкцией по их эксплуатации;
- устанавливают расход продукта через ПП в пределах его рабочего диапазона расхода;
- устанавливают расход продукта через эталонное СИ – не менее 0,2 м³/ч.

Раздел 9.

Подпункт 9.3.1. Первый абзац изложить в новой редакции:

"Измерения начинают после стабилизации параметров рабочей жидкости в ПП и эталонном СИ, когда изменение температуры рабочей жидкости во времени не превышает 0,1 °С/мин, изменение давления – 0,05 МПа/мин, изменение периода для ПП с частотным выходным сигналом:

- 0,02 мкс/мин для моделей 7835, 7845, 7847, SARASOTA FD950, SARASOTA FD960;
- 0,03 мкс/мин для ПП модели CDM;
- 0,06 мкс/мин для ПП модели Promass Q".

Подпункт 9.3.5 изложить в новой редакции:

"Результаты измерений плотности первым пикнометром ρ_1 , кг/м³, и вторым пикнометром ρ_2 , кг/м³, вычисляют по формуле:

$$\rho_{1(2)} = \frac{\left(\frac{W_3}{W_{I3}} \cdot M_3 - \frac{W_{II}}{W_{II}} \cdot M_{II} \right) \cdot \left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_e} \right) + \rho_a \cdot V_{IP}}{V_{IP}} \cdot 10^3, \quad (1)$$

где: W_3 и W_{II} – средние арифметические значения показаний весов при взвешиваниях заполненного и пустого пикнометра соответственно, г;

W_{I3} и W_{II} – средние арифметические значения показаний весов при взвешивании гирь, замещающих массу заполненного и пустого пикнометра, соответственно, г;

M_3 и M_{II} – известная условная масса гирь (из свидетельств о поверке), замещающих массу заполненного и пустого пикнометра, соответственно, г;

ρ_a – плотность атмосферного воздуха, г/см³, вычисленная по формуле

$$\rho_a = \frac{(0,34848 \cdot P_a - 0,009024 \cdot h \cdot e^{0,0612 \cdot t_a}) \cdot 10^{-3}}{273,15 + t_a}, \quad (2)$$

где P_a – барометрическое давление, гПа.;

t_a – температура атмосферного воздуха, °С;

h – относительная влажность воздуха, %;

ρ_e – плотность материала гирь (если нет данных, принимают $\rho_e = 8,0$ г/см³);

V_{IP} – вместимость пикнометра, приведенная к условиям отбора пробы продукта, см³, вычисленная по формуле:

$$V_{IP} = V + F_t \cdot (t_{II} - t_0) + F_P \cdot P_{II} \cdot 10, \quad (3)$$

где V – вместимость пикнометра, указанная в свидетельстве о поверке, см^3 ;
 F_t – коэффициент изменения вместимости пикнометра при изменении температуры продукта, указанный в свидетельстве о поверке, $\text{см}^3/\text{°C}$;
 $t_{\text{п}}$ – среднее арифметическое значение показаний СИ температуры эталонного СИ, °C ;
 t_0 – температура поверки пикнометра, указанная в свидетельстве о поверке, °C ;
 F_p – коэффициент изменения вместимости пикнометра при изменении давления продукта, указанный в свидетельстве о поверке, $\text{см}^3/\text{бар}$;
 $P_{\text{п}}$ – давление в пикнометре при отборе пробы продукта (по показанию преобразователя давления или манометра на трубопроводе), МПа".

Подпункт 9.3.6 изложить в новой редакции:

"Если разность результатов измерений плотности продукта первым и вторым пикнометрами не превышает $0,20 \text{ кг}/\text{м}^3$, результаты считают достоверными. В противном случае повторяют измерения по п.9.3.

Вычисляют среднее арифметическое значение двух результатов измерений плотности по формуле:

$$\rho_{\text{п}} = \frac{1}{2} \cdot (\rho_1 + \rho_2), \quad (4)$$

где $\rho_{\text{п}}$ – результат измерения плотности эталонным СИ, $\text{кг}/\text{м}^3$;

ρ_1, ρ_2 – результаты измерений плотности первым и вторым пикнометрами соответственно, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Если температура продукта в эталонном СИ отличается от температуры продукта в ПП более чем на $0,1 \text{ °C}$, значение плотности $\rho_{\text{п}}$ приводят к температуре продукта в ПП по формуле:

$$\rho_{\text{П прив}} = \rho_{15} \cdot CTL_{\text{ПП}} \cdot CPL_{\text{ПП}} \quad (5)$$

где $\rho_{\text{П прив}}$ – результат измерения плотности эталонным СИ, приведенный к температуре продукта в ПП, $\text{кг}/\text{м}^3$;

ρ_{15} – значение плотности продукта при $t = 15 \text{ °C}$ и $P = 0 \text{ МПа}$, $\text{кг}/\text{м}^3$;

$CTL_{\text{ПП}}$ – коэффициент, учитывающий влияние температуры на объем продукта, определенный для $t_{\text{ПП}}$ и ρ_{15} ;

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

$t_{пп}$ – температура продукта в поверяемом ПП, °С;

$P_{пп}$ – давление продукта в поверяемом ПП, МПа.

Методика определения коэффициентов CTL , CPL и плотности ρ_{15} приведена в приложении А.

Операции поверки по пунктам 9.3.1, 9.3.2 и 9.3.4 проводят не менее трех раз, результаты заносят в протокол поверки (Приложение Б)".

В подпункте 9.3.7 изменить номер формулы с (7) на (6).

В подпункте 9.3.8 изменить номера формул:

- с (8) на (7);
- с (9) на (8);
- с (10) на (9);
- с (11) на (10);
- с (12) на (11);

В подпункте 9.3.9 изменить номера формул:

- с (13) на (12);
- с (14) на (13).

Подпункте 9.3.10. Добавить второй абзац, который изложить в редакции;

"Для ПП с цифровым выходным сигналом значение $\rho_{пп}$ регистрируют с дисплея ИВК или электронного блока ПП".

В подпункте 9.3.11 заменить ссылку на формулу (7) ссылкой на формулу (6).

Раздел 10

Изложить в новой редакции:

"10.1 Результаты поверки ПП оформляют протоколом по рекомендуемой форме, приведенной в приложении Б.

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

10.2 При положительных результатах поверки ПП оформляют свидетельство о поверке в соответствии с требованиями Приказа Министерства промышленности и торговли РФ от 02.07.2015 №1815.

10.3 При отрицательных результатах поверки ПП к эксплуатации не допускают, действующее свидетельство о предыдущей поверке аннулируют и оформляют извещение о непригодности".

Приложение А

Дополнить предложением:

"Допускается проводить вычисления в соответствии с алгоритмами, реализованными в ИВК".

Приложение Б исключить.

Приложение В. Обозначение приложения заменить на "Приложение Б (рекомендуемое)".

Содержание

Предпоследнее перечисление: "Приложение Б Эскиз термокармана" - исключить.

Последнее перечисление изложить в новой редакции:

"Приложение Б (рекомендуемое) Форма протокола поверки 17"