

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

В.С. Александров



РЕКОМЕНДАЦИЯ
Государственная система обеспечения единства измерений

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ПЛОТНОСТИ ПОТОЧНЫЕ
Методика поверки на месте эксплуатации

МИ 2816-2008

Санкт-Петербург
2008

ПРЕДИСЛОВИЕ

1 РАЗРАБОТАНА	ГМНЦ ФГУП Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д.И. Менделеева
ИСПОЛНИТЕЛИ	Снегов В.С., кандидат технических наук; Домостроев А.В.
РАЗРАБОТАНА	ООО «ИМС Индастриз»
ИСПОЛНИТЕЛИ:	Дворяшин А.А., кандидат физико-математических наук; Сафонов А.В.; Ягунин Г.А.
2 УТВЕРЖДЕНА	ГНМЦ ФГУП “ВНИИМ им. Д.И. Менделеева” 18 февраля 2008 г.
3 ЗАРЕГИСТРИРОВАНА	ФГУП Всероссийский научно-исследовательский институт метрологической службы 04 июня 2008 г.
4 ВВЕДЕНА ВЗАМЕН	МИ 2816-2003

Настоящая рекомендация не может быть полностью или частично воспроизведена, тиражирована и (или) распространена без разрешения ООО «ИМС Индастриз»

СОДЕРЖАНИЕ

1	Операции поверки.....	1
2	Средства поверки.....	1
3	Требования безопасности.....	2
4	Условия поверки.....	2
5	Подготовка к поверке.....	3
6	Проведение поверки и обработка результатов измерений.....	3
7	Оформление результатов поверки.....	7
	Приложение А Значения коэффициента объемного расширения нефтепродуктов в зависимости от их плотности.....	8
	Приложение Б Форма протокола поверки преобразователя плотности.....	9
	Библиография	10

РЕКОМЕНДАЦИЯ

ГОСУДАРСТВЕННАЯ СИСТЕМА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЕДИНСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ПЛОТНОСТИ ПОТОЧНЫЕ
МЕТОДИКА ПОВЕРКИ НА МЕСТЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

МИ 2816 - 2008

Настоящая рекомендация распространяется на вибрационные поточные преобразователи плотности (далее – преобразователи плотности), предназначенные для измерений плотности нефти и нефтепродуктов (далее – продукт) в диапазоне от 700 до 1100 кг/м³, и устанавливает методику их первичной и периодической поверки на месте эксплуатации.

Межповерочный интервал – не более одного года.

1 Операции поверки

При проведении поверки выполняют следующие операции:

- внешний осмотр (п.6.1);
- опробование (п.6.2);
- определение абсолютной погрешности преобразователя плотности (п.6.3).

2 Средства поверки

При проведении поверки применяют следующие средства поверки:

2.1 Установку пикнометрическую переносную с пределами допускаемой погрешности измерений плотности $\pm 0,15$ кг/м³ в диапазоне плотности от 700 до 1100 кг/м³, включающую в себя:

– комплект металлических напорных пикнометров (не менее двух штук) с пределами допускаемой погрешностью по вместимости $\pm 0,025$ см³;

– два термопреобразователя сопротивления, вмонтированных в теплоизолирующий футляр, в комплекте с индикатором температуры, пределы допускаемой абсолютной погрешности $\pm 0,2^\circ\text{C}$,

Примечание – Допускается вместо термопреобразователей использовать два термометра с ценой деления $0,1^\circ\text{C}$, пределы допускаемой абсолютной погрешности $\pm 0,2^\circ\text{C}$, на входе и на выходе пикнометрической установки;

– индикатор расхода продукта через пикнометры с верхним пределом индикации не ниже $1,5$ м³/час, с дискретностью шкалы не более $0,5$ м³/час (погрешность не нормируют);

– весы электронные с наибольшим пределом взвешивания не менее $5,5$ кг, дискретность показаний $0,01$ г, пределы допускаемой погрешности взвешивания $\pm 0,03$ г;

– набор гирь (1; 2; 2 кг) класса точности F₁ по ГОСТ 7328 [1],

Примечание – При использовании электронных весов с внутренней калибровкой наличие гирь не обязательно;

– теплоизолирующий футляр для двух пикнометров;

– рукава (шланги) маслостойкие, на давление не ниже 10 МПа, с муфтами.

2.2 Блок измерений показателей качества продукта (далее - БИК), на месте установки поверяемого преобразователя плотности, оборудованный следующими средствами измерений:

–термопреобразователем сопротивления с преобразователем измерительным, пределы допускаемой абсолютной погрешности: $\pm 0,2$ $^{\circ}\text{C}$;

– термометром стеклянным ртутным типа ТЛ-4Б по ТУ25-2021.003 [2], цена деления $0,1$ $^{\circ}\text{C}$, пределы допускаемой абсолютной погрешности $\pm 0,2$ $^{\circ}\text{C}$;

–преобразователем избыточного давления измерительным, пределы допускаемой приведенной погрешности: $\pm 0,5$ %;

– манометром точных измерений МТИ-0,6 по ТУ25.05.1481 [3].

2.3 Устройство обработки информации системы измерений количества и показателей качества продукта (далее - УОИ), на которое по каналам связи передаются выходные сигналы поверяемого преобразователя плотности, преобразователей избыточного давления и температуры.

Примечание – Допускается вместо УОИ использовать частотомер электронно-счетный ЧЗ-38 по ГОСТ 7590 (МЭК 51-4) [4], диапазон измерений от 10 Гц до 10 МГц; источник постоянного тока и напряжения Б5-38 с нестабильностью 0,01 %.

2.4 Барометр метеорологический с пределами допускаемой абсолютной погрешности ± 1 мм рт.ст. или $\pm 0,1$ кПа.

2.5 Пылесос (фен) электрический бытовой.

2.6 Промывочные жидкости: спирт этиловый ректифицированный технический по ГОСТ 18300 [5], нефрас по ГОСТ 8505 [6] или бензин-растворитель для резиновой промышленности по ТУ 38-401-67-108 [7].

2.7 Салфетки хлопчатобумажные, ветошь.

Допускается применение других средств поверки с аналогичными или лучшими характеристиками.

3 Требования безопасности

При проведении поверки соблюдают следующие требования безопасности:

3.1 При проведении поверки соблюдают «Правила техники безопасности при эксплуатации установок потребителей», утвержденные Главгосэнергонадзором.

3.2 При проведении поверки соблюдают требования безопасности в БИК и в операторной в соответствии с инструкцией по эксплуатации соответствующей СИКН, утвержденной его владельцем, а также требования безопасности при работе в химико-аналитической лаборатории по анализу нефти и нефтепродуктов в соответствии с РД 39-0147103-354 [8].

3.3 При работе с пикнометрами соблюдают меры безопасности в соответствии с требованиями технической документации, а также меры безопасности, определяемые «Правилами технической эксплуатации сосудов, работающих под давлением».

3.4 Помещения, в которых проводят работы с легковоспламеняющимися жидкостями, оборудуют установками пожарной сигнализации и пожаротушения в соответствии с ГОСТ 12.4.009 [9] и оснащают общеобменной приточно-вытяжной вентиляцией и вытяжными шкафами.

4 Условия поверки

При проведении поверки соблюдают следующие условия:

– температура окружающего воздуха, $^{\circ}\text{C}$ от 5 до 45;

– температура продукта, $^{\circ}\text{C}$ от 0 до 100;

- давление продукта, бар, не более 80;
- температура в помещении, где проводят промывку, продувку воздухом, взвешивание и опорожнение пикнометров, $^{\circ}\text{C}$ от 15 до 35.

5 Подготовка к поверке

Перед проведением поверки выполняют следующие работы:

- промывают внутреннюю полость преобразователя плотности растворителем (бензином, нефрасом), используя шомпол с ершиком из мягкого материала или ткань;
- подготавливают пикнометры к проведению измерений, для этого их разбирают, промывают, собирают и продувают воздухом;
- подготавливают электронные весы в соответствии с инструкцией по эксплуатации;
- взвешивают пустые пикнометры: методом прямого взвешивания на весах с функцией калибровки по массе или при использовании весов в качестве компаратора (метод сравнения с известной массой). 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 взвешивания. При использовании метода сравнения с известной массой кроме пикнометров взвешивают известную массу (набор гирь) также не менее трех раз и вычисляют среднее значение результатов взвешивания. Сходимость результатов взвешивания - не более 0,02 г, в противном случае взвешивание повторяют;
- измеряют температуру атмосферного воздуха и барометрическое давление в комнате, где проводилось взвешивание;
- пикнометрическую установку с установленными пикнометрами подсоединяют к трубопроводу в БИК. Устанавливают расход продукта в БИК в пределах рабочего диапазона расхода, расход через пикнометрическую установку должен быть не менее $0,2 \text{ м}^3/\text{ч}$.

6 Проведение поверки и обработка результатов измерений

6.1 Внешний осмотр

При проведении внешнего осмотра устанавливают:

- соответствие комплектности и маркировки преобразователя плотности требованиям технической документации;
- отсутствие на преобразователе плотности механических повреждений и дефектов покрытий, ухудшающих его внешний вид и мешающих работе;
- соответствие надписей и обозначений на преобразователе требованиям технической документации;
- правильность монтажа преобразователя плотности и пикнометрической установки в БИК и отсутствие протечек через фланцевые и резьбовые соединения.

6.2 Опробование

Проверяют общее функционирование преобразователя плотности с УОИ в соответствии с инструкцией по эксплуатации, соответствие введенных в УОИ градуировочных коэффициентов сертификату преобразователя плотности и правильность вычисляемых значений плотности.

6.3 Определение абсолютной погрешности преобразователя плотности

Абсолютную погрешность преобразователя плотности определяют при измерениях плотности продукта одновременно преобразователем плотности и комплектом пикнометров при температуре и давлении из рабочего диапазона в БИК в месте установки поверяемого преобразователя плотности.

6.3.1 Плотность продукта вычисляют по результатам измерений периода колебаний выходного сигнала преобразователя плотности.

Измерения начинают после стабилизации параметров продукта в преобразователе плотности и пикнометрах, когда изменение температуры продукта во времени не превышает 0,1 °С/мин, изменение давления – 0,5 бар/мин, изменение периода – 0,02 мкс/мин.

Период выходного сигнала преобразователя плотности, температуру и давление продукта измеряют в следующей последовательности: снимают показания термометра и манометра в БИК, показания преобразователей температуры и давления в БИК, преобразователя температуры в пикнометрической установке. Затем закрывают выходной кран второго по потоку пикнометра, снимают показания манометра в БИК, после этого закрывают остальные краны пикнометров. За 1-2 минуты до закрытия кранов начинают фиксировать период колебаний выходного сигнала преобразователя плотности и продолжают до момента закрытия выходного крана. Значение периода колебаний выходного сигнала преобразователя плотности снимают с УОИ СИКН., допускается измерять частоту (период колебаний) выходного сигнала преобразователя плотности с помощью частотометра.

Отсоединяют пикнометры, промывают наружную поверхность растворителем и продувают сухим сжатым воздухом до полного удаления остатков растворителя.

6.3.2 Взвешивают заполненные пикнометры аналогично взвешиванию пустых пикнометров согласно разделу 5.

6.3.3 Опорожняют пикнометры, разбирают их, моют корпус пикнометра и детали кранов в растворителе и продувают сухим воздухом до полного удаления остатков растворителя. При наличии воды в продукте для быстрого удаления остатков воды из пикнометров рекомендуется предварительно промыть корпусы пикнометров и детали кранов спиртом.

Собирают пикнометры и взвешивают согласно разделу 5. Сходимость результатов взвешивания пустых пикнометров до и после измерения плотности – не более 0,02 г., в противном случае измерения плотности повторяют.

Примечание – Допускается проводить взвешивание пустых пикнометров по п. 6.3.3 не при каждом измерении плотности, а после серии из 3-5 измерений.

6.3.4 При прямом методе взвешивания результат измерений плотности одним из пикнометров $\rho_{1(2)}$, кг/м³, вычисляют по формуле

$$\rho_{1(2)} = \frac{[W_3 - W_{\pi}] \cdot \left[1 - \frac{e}{\rho_f} \right] + e \cdot V_{tp}}{V_{tp}} \cdot 10^3, \quad (1)$$

где W_3 и W_{π} – средние арифметические значения результатов взвешивания заполненного и пустого пикнометра соответственно, г;

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

$$e = [1198,4 + 1,6 \cdot (P_a - 760) - 4 \cdot (t_a - 20)] \cdot 10^{-6}, \quad (2)$$

где P_a – барометрическое давление, мм рт.ст.;

t_a – температура атмосферного воздуха, °С;

ρ_f – плотность материала гирь ($\rho_f = 8$ г/см³);

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

$$V_{tp} = V + F_t \cdot (t - t_0) + F_p \cdot P, \quad (3)$$

где V – вместимость пикнометра, указанная в свидетельстве о поверке, см³;

F_t – коэффициент изменения вместимости пикнометра при изменении температуры продукта, указанный в свидетельстве о поверке, см³/°С;

t – температура пикнометра при отборе пробы продукта, °С;

t_0 – температура поверки пикнометра (берут из свидетельства о поверке), °С;

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

P – давление в пикнометре при отборе пробы продукта (по показанию преобразователя давления или манометра в БИК), бар.

При использовании метода сравнения с известной массой результат измерений плотности $\rho_{1(2)}$, $\text{кг}/\text{м}^3$, вычисляют по формуле

$$\rho_{1(2)} = \frac{\left[\frac{W_3}{W_{\Gamma 3}} - \frac{W_{\Gamma}}{W_{\Gamma \Gamma}} \right] \cdot M \cdot \left[1 - \frac{e}{\rho_{\Gamma}} \right] + e \cdot V_{\Gamma}}{V_{\Gamma}} \cdot 10^3, \quad (4)$$

где $W_{\Gamma 3}$ и $W_{\Gamma \Gamma}$ – средние арифметические значения результатов взвешивания известной массы (набора гирь) при взвешивании заполненного и пустого пикнометра соответственно, г;

M – известная масса (масса набора гирь из свидетельств о поверке), 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 $0,20 \text{ кг}/\text{м}^3$, результаты считают достоверными.

Вычисляют среднее арифметическое значение этих двух результатов измерений плотности по формуле

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

где ρ_{Γ} – результат измерения плотности комплектом пикнометров, $\text{кг}/\text{м}^3$;

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

Если температура продукта в пикнометрах отличается от температуры продукта в преобразователе плотности более чем на $0,1^{\circ}\text{C}$, значение плотности ρ_{Γ} приводят к температуре продукта в преобразователе плотности по формуле

$$\rho_{\Gamma_{\text{прив}}} = \frac{\rho_{\Gamma}}{1 + \beta(t_{\Gamma \Gamma} - t_{\Gamma})}, \quad (6)$$

где $\rho_{\Gamma_{\text{прив}}}$ – результат измерения плотности комплектом пикнометров, приведенный к температуре продукта в преобразователе плотности, $\text{кг}/\text{м}^3$;

β – коэффициент объемного расширения продукта: по МИ 2153 [10] при измерениях плотности нефти, для нефтепродуктов приведен в приложении А, 1°C ;

$t_{\Gamma \Gamma}$ – температура жидкости в преобразователе плотности, $^{\circ}\text{C}$;

t_{Γ} – средняя температура жидкости в пикнометрах, $^{\circ}\text{C}$.

Операции поверки по п 6.3.1 и 6.3.2 проводят не менее трех раз и результаты заносят в протокол поверки (приложение Б).

6.3.5 Абсолютную погрешность преобразователя плотности при каждом измерении вычисляют по формуле

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

где $\rho_{t,p}$ – плотность продукта, измеренная преобразователем плотности при температуре и давлении поверки, $\text{кг}/\text{м}^3$; значение $\rho_{t,p}$ при поверке вычисляют по формуле

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

где $P_{\text{пл}}$ – давление в преобразователе плотности, бар;

$K20, K21$ – коэффициенты давления, вычисленные по формулам

$$K20 = K20A + K20B \cdot P_{пл}, \quad (9)$$

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

где $K20A$, $K20B$, $K21A$, $K21B$ – коэффициенты, указанные в сертификате градуировки преобразователя плотности;

ρ_t – плотность продукта при температуре поверки, вычисленная по формуле

$$\rho_t = \rho \cdot [1 + K18 \cdot (t_{пл} - 20)] + K19 \cdot (t_{пл} - 20), \quad (11)$$

где $K18$ и $K19$ – температурные коэффициенты, указанные в сертификате градуировки преобразователя плотности;

ρ – плотность жидкости без учета коэффициентов температуры и давления, вычисленная по формуле

$$\rho = K0 + K1 \cdot T + K2 \cdot T^2, \quad (12)$$

где $K0$, $K1$, $K2$ – коэффициенты, указанные в сертификате градуировки преобразователя плотности;

T – период колебаний выходного сигнала преобразователя плотности, мкс.

При поверке преобразователей плотности SARASOTA FD950, FD960 с сертификатом градуировки, в котором не используют коэффициенты $K0$, $K1, …, K21$, плотность $\rho_{t,p}$ вычисляют по формуле

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

где D_0 , K , – коэффициенты преобразователя плотности (берут из сертификата градуировки);

$T_{0\text{corrected}}$ – коэффициент преобразователя плотности с учетом температуры и давления жидкости при поверке, рассчитанный по формуле

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

где T_0 – коэффициент преобразователя плотности (берут из сертификата градуировки), мкс;

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

t – температура плотности продукта в преобразователе плотности, °C;

t_{cal} – температура градуировки преобразователя плотности (берут из сертификата градуировки), °C;

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

P – абсолютное давление в преобразователе плотности, бар;

P_{cal} – абсолютное давление градуировки преобразователя плотности (берут из сертификата градуировки), бар.

При поверке преобразователей плотности с другими градуировочными коэффициентами значение $\rho_{t,p}$ вычисляют по алгоритму, приведённому в документации на поверяемую модель преобразователя плотности с учётом поправок на влияние температуры и давления, используя значения периода сигнала, температуры, давления и коэффициенты из сертификата градуировки или предыдущего свидетельства о поверке на поверяемый преобразователь плотности.

Абсолютная погрешность преобразователя плотности, рассчитанная по формуле (7) для каждого измерения плотности при поверке, не должна превышать 0,30 кг/м3 для всех типов преобразователей плотности.

7 Оформление результатов поверки

7.1 Результаты поверки оформляют протоколом по форме, приведенной в приложении Б.

7.2 При положительных результатах поверки оформляют свидетельство в соответствии с ПР 50.2.006 [11].

7.3 При отрицательных результатах поверки преобразователь плотности к применению не допускают, свидетельство аннулируют и выдают извещение о непригодности в соответствии с ПР 50.2.006 [11].

Приложение А

Значения коэффициента объемного расширения нефтепродуктов

в зависимости от их плотности

ρ , кг/м ³	$\beta_{ж}$, 1/°C	ρ , кг/м ³	$\beta_{ж}$, 1/°C	ρ , кг/м ³	$\beta_{ж}$, 1/°C
700 - 719	0,001255	800 - 819	0,000937	900 - 919	0,000688
720 - 739	0,001183	820 - 839	0,000882	920 - 939	0,000645
740 - 759	0,001118	840 - 859	0,000831	940 - 959	0,000604
760 - 779	0,001054	860 - 879	0,000782	960 - 979	0,000564
780 - 799	0,000995	880 - 899	0,000734	980 - 1000	0,000526

Приложение Б

П Р О Т О К О Л № _____
проверки преобразователя плотности
(форма)

Тип _____ Зав.№ _____ Представлен _____

Место поверки _____

РЕЗУЛЬТАТЫ
проверки преобразователя плотности

Температура жидкости		Давление жидкости		Плотность жидкости, измеренная пикнометром	Плотность жидкости, измеренная пикнометром, приведенная	Среднее значение периода колебаний	Плотность жидкости, измеренная преобразователем плотности	Абсолютная погрешность
в преобразователе плотности	в пикнометрах	в преобразователе плотности	в пикнометрах					
°C	°C	бар	бар	кг/м ³	кг/м ³	мкс	кг/м ³	кг/м ³

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

Дата проведения поверки «___» 200 ___ г

Библиография

- [1] ГОСТ 7328-2001 Гири. Общие технические условия.
- [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 7590-93 (МЭК 51-4-84) Приборы аналоговые показывающие электроизмерительные прямого действия и вспомогательные части к ним. Часть 4. Особые требования к частотометрам.
- [5] ГОСТ 18300-87 Спирт этиловый ректифицированный технический. Технические условия.
- [6] ГОСТ 8505-80 Нефрас-С 50/170. Технические условия.
- [7] ТУ 38.401-67-108-92 (взамен ГОСТ 443-76 Бензин-растворитель для резиновой промышленности. Технические условия)
- [8] РД 39-0147103-354-89. Руководящий документ. Типовое положение о лаборатории, производящей анализы нефти при приемо-сдаточных операциях.
- [9] ГОСТ 12.4.009-83 ССБТ. Пожарная техника для защиты объектов. Основные виды. Размещение и обслуживание.
- [10] МИ 2153-2004 ГСИ. Плотность нефти. Требования к методике выполнения измерений ареометром при учетных операциях.
- [11] ПР 50.2.006-94 ГСИ. Порядок проведения поверки средств измерений.