

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ  
УРАЛЬСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ МЕТРОЛОГИИ  
(ФГУП «УНИИМ»)

УТВЕРЖДАЮ



Директор ФГУП «УНИИМ»

С.В. Медведевских

03 августа 2015 г.

ГОСУДАРСТВЕННАЯ СИСТЕМА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЕДИНСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

**Преобразователи плотности газа GDM, SGM**

**МЕТОДИКА ПОВЕРКИ**

**МП 28-221-2014**

*и.р. 62150-15*

Екатеринбург

2015

## **ПРЕДИСЛОВИЕ**

- 1 РАЗРАБОТАНА** ФГУП «Уральский научно-исследовательский институт метрологии» (ФГУП «УНИИМ»)
- 2 ИСПОЛНИТЕЛЬ** к.х.н., зав. лаб. 251 Собина Е.П.
- 3 УТВЕРЖДЕНА** директором ФГУП «УНИИМ» в 2015 г.

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>1</b>	<b>ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ.....</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ.....</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>ОПЕРАЦИИ ПОВЕРКИ.....</b>	<b>4</b>
<b>4</b>	<b>СРЕДСТВА ПОВЕРКИ.....</b>	<b>5</b>
<b>5</b>	<b>ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ.....</b>	<b>5</b>
<b>6</b>	<b>УСЛОВИЯ ПОВЕРКИ.....</b>	<b>5</b>
<b>7</b>	<b>ПОДГОТОВКА К ПОВЕРКЕ.....</b>	<b>6</b>
<b>8</b>	<b>ПРОВЕДЕНИЕ ПОВЕРКИ.....</b>	<b>6</b>
	8.1 ВНЕШНИЙ ОСМОТР.....	6
	8.2 ОПРОБОВАНИЕ.....	6
	8.3 ПРОВЕРКА МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК.....	7
<b>9</b>	<b>ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОВЕРКИ.....</b>	<b>13</b>

Государственная система обеспечения единства измерений Преобразователи плотности газа GDM, SGM. Методика поверки	МП 28-221-2014
---	----------------

## 1 Область применения

Настоящая методика поверки распространяется на преобразователи плотности газа GDM, SGM выпускаемых фирмами «Rosemount Measurement Ltd.», Великобритания и «Emerson SRL», Румыния (далее - плотномеры) и устанавливает методы и средства первичной и периодической поверок.

Первичная поверка производится до ввода в эксплуатацию и после ремонта. Периодическая поверка производится в процессе эксплуатации.

Поверка плотномеров должна производиться в соответствии с требованиями настоящей методики.

Интервал между поверками – 1 год.

## 2 Нормативные ссылки

В настоящей методике поверки использованы ссылки на следующие документы:

Обозначение	Наименование
ГОСТ 12.2.007.0-75	ССБТ. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности
ПР 50.2.006-94	ГСИ. Порядок проведения поверки средств измерений
ПР 50.2.007-2001	ГСИ. Поверительные клейма
ПОТ Р М-016-2001, РД 153-34.0-03.150-00	Межотраслевые правила по охране труда (Правила безопасности) при эксплуатации электроустановок
ПБ 10-115-03	Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением

## 3 Операции поверки

3.1 При поверке должны быть выполнены операции, указанные в таблице 1.

Таблица 1 - Операции поверки

Наименование операции	Номер пункта НД по поверке	Обязательность проведения операций при поверке:	
		первичной	периодической
1	2	3	4
1 Внешний осмотр	8.1	да	да
2 Опробование	8.2	да	да
3 Проверка метрологических характеристик	8.3	да	да
3.1 Проверка относительного СКО, погрешности и диапазона измерений плотности газа (для модели GDM)	8.3.1	да	да

продолжение таблицы 1

1	2	3	4
3.2 Проверка относительного СКО, основной относительной погрешности и диапазона измерений относительной плотности газа (для модели SGM)	8.3.2	да	да
3.3 Проверка абсолютной погрешности измерений температуры	8.3.3	да	да

3.2 В случае невыполнения требований хотя бы к одной из операций, проводится настройка и градуировка плотномера в соответствии с эксплуатационной документацией (далее-РЭ). В дальнейшем все операции повторяются в полном объеме. В случае повторного невыполнения требований хотя бы к одной из операций поверка прекращается, плотномер бракуется.

#### 4 Средства поверки

При поверке плотномера необходимо применять следующие средства измерения и материалы:

4.1 Эталон единицы температуры 3-го разряда в диапазоне от минус 25 до 125 °С, пределы допускаемой абсолютной погрешности  $\pm 0,05$  °С (далее – термометр эталонный).

4.2 Эталон единицы давления 1-го разряда в диапазоне от 0 до 25 МПа, пределы допускаемой относительной погрешности  $\pm 0,02$  % (далее -- датчик давления эталонный).

4.3 Газы Ar, He, N<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub> (и другие) чистотой не менее 99,99 %.

4.4 Термостат суховоздушный, обеспечивающий размещение плотномера и возможность подключения магистрали с газами особой чистоты в диапазоне от 20 до 100 °С, нестабильность поддержания температуры  $\pm 0,2$  °С.

4.5 Термогигрометр для контроля условий окружающей среды (диапазон измерений относительной влажности от 30 до 80 %, пределы допускаемой абсолютной погрешности относительной влажности  $\pm 2,5$  %; и температуры в диапазоне от 15 до 35 °С, пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений температуры  $\pm 0,7$  °С).

4.6 Допускается применять другие средства поверки, обеспечивающие определение метрологических характеристик с требуемой точностью.

#### 5 Требования безопасности

При проведении поверки должны быть соблюдены «Правила эксплуатации электроустановок потребителем», «Правила технической безопасности при эксплуатации электроустановок потребителем», требования ГОСТ 12.2.007.0, ПОТ РМ-016-2001, ПБ 10-115-03, а также требования РЭ.

## 6 Условия поверки

При проведении поверки в лаборатории должны быть соблюдены следующие условия:

- температура окружающего воздуха, °С (15-25)
- относительная влажность, %, не более 80
- изменение температуры за время проведения измерений в одной точке, °С, не более 0,2.

## 7 Подготовка к поверке

7.1 Плотномер подготовить к работе в соответствии с РЭ.

7.2 Перед проведением поверки плотномер помещают в воздушный или жидкостный термостат и подключают к магистрали для подачи газов особой чистоты по п. 4.3. Если поверяемый плотномер укомплектован своей системой подготовки пробы с теплоизолирующим шкафом, то дополнительный термостат не требуется, газы подаются на вход системы подготовки пробы. GDM поверяется в статическом режиме (при отсутствии расхода), SGM поверяется в его штатном рабочем режиме (при наличии расхода).

## 8 Проведение поверки

8.1 Внешний осмотр

8.1.1. Представленный на поверку плотномер должен быть полностью укомплектован в соответствии с РЭ.

8.1.2. Внешний осмотр плотномера проводится без включения электропитания.

8.2 Опробование

8.2.1 Проверить работоспособность органов управления и регулировки плотномера в соответствии с РЭ.

8.2.2 Провести проверку идентификационных данных программного обеспечения (ПО) плотномера. Идентификационное наименование ПО идентифицируется при запуске ПО путем вывода на экран наименования ПО и номера версии. Идентификационное наименование ПО и номер версии должно соответствовать наименованию, приведенному в таблице 2. Наименование версии внутреннего ПО хранится в файлах с расширением hex в папке, где установлено основное ПО.

Таблица 2 - Идентификационные данные программного обеспечения

Идентификационные данные (признаки)	Значение
Идентификационное наименование ПО	Встроенное ПО
Номер версии (идентификационный номер) ПО	Не ниже 1.62
Цифровой идентификатор ПО	Не доступно для отображения
Другие идентификационные данные (алгоритм вычисления цифрового идентификатора ПО)	-

### 8.3 Проверка метрологических характеристик

8.3.1 Проверка относительного СКО, погрешности и диапазона измерений плотности газа (для моделей **GDM, GDM-5**).

8.3.1.1 Плотномер GDM помещают в термостат, подключают к магистрали, в которую подается один из газов особой чистоты, и выдерживают при температуре  $(20 \pm 0,1)^\circ\text{C}$  не менее 60 минут. В систему встраивается датчик давления эталонный, также в непосредственной близости со встроенным термометром сопротивления помещается термометр эталонный.

8.3.1.2 Провести измерения плотности не менее чем в пяти точках различных давлений газа в магистрали, равномерно распределенных по диапазону измерения. При проверке по  $\text{N}_2$  от 0 до  $250 \text{ кг/м}^3$  или по  $\text{Ar}$  от 40 до  $400 \text{ кг/м}^3$ , точки рекомендуется выбирать из приведенных в таблице 3. При каждом давлении газа выполнить не менее пяти измерений плотности с помощью плотномера.

8.3.1.3 Если применяемый газ или выбранные точки давлений и температуры при проверке отличаются от рекомендуемых таблицей 3, то действительные значения плотности газа  $\rho_o$ ,  $\text{кг/м}^3$ , рассчитывают, используя результаты измерений давления, температуры, справочные IUPAC и CODATA, по формуле

$$\rho_o = \frac{PM}{ZRT} \quad (1)$$

где  $R$  - универсальная газовая постоянная, Дж·моль/К (справочные данные CODATA, погрешность справочных данных незначима по сравнению с погрешностью измерений);

$P$  - давление газа, Па (измеряется с помощью датчика давления эталонного, встроенных в магистраль, с параметрами, указанными в разделе 4.2 настоящей методики);

$M$  - молярная масса газа, кг/моль (справочные данные Международного союза прикладной и теоретической химии IUPAC, погрешность справочных данных незначима по сравнению с погрешностью измерений);

$Z$  - коэффициент сжимаемости газа (справочные данные Международного союза прикладной и теоретической химии IUPAC, погрешность справочных данных незначима по сравнению с погрешностью измерений);

$T$  - температура газа, К (измеряется с помощью термометра эталонного с характеристиками, указанными в разделе 4.1 настоящей методики).

Таблица 3 - Рекомендуемые значения давления газов при поверке плотномера GDM при температуре газа ( $20 \pm 0,1$ ) °С

Наименование используемого газа	Диапазон измерений, кг/м <sup>3</sup>	Задаваемые значения давления, МПа	Действительное значение плотности на основе справочных данных, кг/м <sup>3</sup>
1	2	3	4
N <sub>2</sub>	от 0 до 3	0,043202	0,5000
		0,086399	1,0000
		0,130471	1,5000
		0,173944	2,0000
		0,215917	2,5000
		0,260863	3,0000
N <sub>2</sub>	от 1 до 10	0,086399	1,0000
		0,173944	2,0000
		0,260863	3,0000
		0,347748	4,0000
		0,521420	6,0000
		0,694968	8,0000
		0,868399	10,0000
N <sub>2</sub>	от 9 до 90	0,77627	9,0000
		1,30152	15,0000
		1,73408	20,0000
		2,59801	30,0000
		3,46117	40,0000
		4,32455	50,0000
		5,18917	60,0000
		6,05606	70,0000
		6,92628	80,0000
		7,80092	90,0000
N <sub>2</sub>	от 25 до 250	2,1662	25,000
		4,3246	50,000
		6,4907	75,000
		8,6811	100,000
		10,9136	125,000
		13,2076	150,000
		15,5846	175,000
		18,0687	200,000
		20,6866	225,000
		23,4686	250,000

окончание таблицы 3

1	2	3	4
Ar	от 40 до 400	2,4027	40,000
		2,9925	50,000
		5,8898	100,000
		8,7248	150,000
		11,5322	200,000
		14,3490	250,000
		17,2153	300,000
		20,1749	350,000
		23,2774	400,000

8.3.1.4 Рассчитать в каждой точке диапазона СКО случайной составляющей относительной погрешности измерений плотности  $S$ , %, по формуле

$$S = \frac{100}{\rho_j} \sqrt{\frac{\sum (\rho_{ij} - \rho_j)^2}{n-1}}, \quad (2)$$

где  $\rho_{ij}$  -  $i$ -результат измерений плотности  $j$ -газа в условиях, соответствующих условиям поверки, кг/м<sup>3</sup>;

$\rho_j$  - среднее арифметическое результатов измерений плотности  $j$ -газа в условиях, соответствующих условиям поверки, кг/м<sup>3</sup>;

$n$  - число измерений.

Полученные значения относительного СКО случайной составляющей относительной погрешности измерений плотности не должны превышать предела, указанного в таблице 4.

8.3.1.5 По результатам измерений, полученным по 8.3.1.1-8.3.1.3, рассчитать основную относительную погрешность измерений плотности каждого результата измерений  $\delta_{ij}$ , %, в каждой точке диапазона по формуле

$$\delta_{ij} = 100 \left| \frac{\rho_{ij} - \rho_{oj}}{\rho_{oj}} \right|, \quad (3)$$

где  $\rho_{oj}$  - действительное значение плотности  $j$ -газа, рассчитанное по формуле (1),

с использованием результатов измерений давления, температуры и справочных данных IUPAC и CODATA, кг/м<sup>3</sup>.

Полученные значения основной относительной погрешности измерений плотности газа не должны превышать пределов допускаемой основной погрешности, указанных в таблице 4.

Для модели GDM-5 рассчитать основную абсолютную погрешность измерений плотности  $\Delta_{ij}$ , %, в каждой точке диапазона (0-3) кг/м<sup>3</sup> по формуле

$$\Delta_{ij} = \rho_{ij} - \rho_{0j}, \quad (4)$$

Полученные значения основной абсолютной погрешности измерений плотности газа не должны превышать пределов допускаемой основной погрешности, указанных в таблице 4.

8.3.1.6 Проверку диапазона измерений плотности газа считать положительной, если для всех результатов измерений плотности газа относительное СКО случайной составляющей погрешности и основная относительная погрешность измерений плотности не превышают пределов, указанных в таблице 4.

Таблица 4 - Метрологические характеристики

Характеристика	GDM	GDM-5	SGM
Диапазон измерений плотности газа, кг/м <sup>3</sup>	от 1 до 400	от 0 до 3	-
Диапазон измерений относительной плотности газа	-	-	от 0,05 до 3,0
Предел допускаемого СКО случайной составляющей относительной погрешности, %	0,02		
Пределы допускаемой основной относительной погрешности, %	± 0,1 при совпадении измеряемого газа с калибровочным ± 0,15 при несовпадении измеряемого газа с калибровочным	-	± 0,1
Пределы допускаемой основной абсолютной погрешности, кг/м <sup>3</sup>	-	± 0,0015	-
Диапазон измерений температуры газа в плотномере, °С	от минус 25 до 125		
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерения температуры газа в плотномере (t), °С	±(0,15+0,002·t)		

8.3.2 Проверка относительного СКО, основной относительной погрешности и диапазона измерений относительной плотности газа (для модели SGM)

8.3.2.1 При отсутствии системы подготовки пробы, плотномер SGM помещают в термостат. Плотномер выдерживают при температуре последней калибровки не менее 60 минут для обеспечения стабильности показаний температуры.

Во внутренней камере плотномера SGM перед поверкой должен находиться газ сравнения, который был закачен на заводе изготовителе или пользователем при последней калибровке (в данном случае термин употребляется в понимании установления калибровочной кривой по РМГ 29-2013). Если внутренняя камера не содержит газ, то перед поверкой проводят закачку газа и калибровку плотномера SGM в соответствии с РЭ. Рекомендуется заполнять камеру сравнения чистым газом по п.4.3, либо отобранной пробой газа с места эксплуатации прибора.

8.3.2.2 Провести измерения относительной плотности газов, по возможности, равномерно распределенных по диапазону измерений (при периодической поверке допускается применять не менее чем 2 газа перечисленных в п.4.3, максимально близких по значениям относительной плотности к анализируемому в эксплуатации газу). Число измерений в каждой точке должно быть не менее 5.

8.3.2.3 Рассчитать в каждой точке диапазона измерений СКО случайной составляющей относительной погрешности по формуле

$$S = \frac{100}{\rho_{rj}} \sqrt{\frac{\sum (\rho_{rij} - \rho_{rj})^2}{n-1}}, \quad (5)$$

где  $\rho_{rij}$  -  $i$ -результат измерений относительной плотности  $j$ -газа в условиях, соответствующих условиям поверки;

$\rho_{rj}$  - среднее арифметическое результатов измерений относительной плотности  $j$ -газа в условиях, соответствующих условиям поверки;

$n$  - число измерений.

Полученные значения СКО случайной составляющей относительной погрешности измерений относительной плотности не должны превышать предела, указанного в таблице 4.

8.3.2.4 По результатам, полученным по 8.3.2.1-8.3.2.2, рассчитать основную относительную погрешность каждого результата измерений относительной плотности газа, в каждой точке диапазона по формуле

$$\delta_{rij} = 100 \left| \frac{\rho_{rij} - \rho_{rj}}{\rho_{rj}} \right|, \quad (6)$$

где  $\rho_{rij}$  - действительное значение относительной плотности  $j$ -газа, в соответствии с таблицей 5 или рассчитанное по формулам (7), (8), с использованием результатов измерений давления, температуры газа и справочных данных IUPAC и CODATA.

Действительные значения относительной плотности газа рассчитывают по следующим формулам:

$$\rho_r = G \cdot \frac{Z_A}{Z}, \quad (7)$$

или

$$\rho_r = \frac{\rho_c \cdot Z_A \cdot Z_c}{1,2047 \cdot Z_{cA} \cdot Z}, \quad (8)$$

где  $G$  - относительная молярная масса газа по воздуху (данная величина не зависит от давления и температуры, а зависит только от природы газа и приведена для He, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>, Ar в таблице 5);

$Z$  - коэффициент сжимаемости газа при условиях измерения (справочные данные Международного союза прикладной и теоретической химии IUPAC, погрешность справочных данных незначима по сравнению с погрешностью измерений);

$Z_A$  - коэффициент сжимаемости воздуха при условиях измерения (справочные данные Международного союза прикладной и теоретической химии IUPAC, погрешность справочных данных незначима по сравнению с погрешностью измерений);

$Z_c$  - коэффициент сжимаемости газа при стандартных условиях (справочные данные Международного союза прикладной и теоретической химии IUPAC, погрешность справочных данных незначима по сравнению с погрешностью измерений);

$Z_{cA}$  - коэффициент сжимаемости воздуха при стандартных условиях (справочные данные Международного союза прикладной и теоретической химии IUPAC, погрешность справочных данных незначима по сравнению с погрешностью измерений);

$\rho_c$  - плотность газа, приведенная к стандартным условиям (к 101,325 кПа и 20 °С).

Полученные значения основной относительной погрешности измерений плотности газа не должны превышать пределов допускаемой основной относительной погрешности, указанных в таблице 4.

8.3.2.5 Проверку диапазона измерений плотности газа считать положительной, если для всех результатов измерений относительной плотности газа относительное СКО случайной составляющей относительной погрешности и основная относительная погрешность не превышают пределов, указанных в таблице 4.

Таблица 5 – Справочные данные относительной плотности газов при температуре 20,0 °С и давлении 0.30 МПа

Наименование газа	Молярная масса, г/моль	Плотность в стандартных условиях, кг/м <sup>3</sup>	Плотность газа, кг/м <sup>3</sup>	Относительная молярная масса газа по воздуху, G	Относительная плотность газа
He	4,0026	0,16631	0,49193	0,138199	0,13785
CH <sub>4</sub>	16,043	0,6682	1,9855	0,553921	0,55640
N <sub>2</sub>	28,013	1,16490	3,4504	0,967213	0,96690
Ar	39,948	1,6618	4,9269	1,379296	1,38066
H <sub>2</sub>	2,01588	0,08375	0,24769	0,069603	0,06941
Сухой воздух	28,9626	1,2047	3,5685	1	1

### 8.3.3 Проверка абсолютной погрешности измерений температуры

Измерения проводят не менее чем в 3-х точках вблизи минимального, максимального и среднего значения диапазона измерений температуры.

Плотномер устанавливается в соответствии с разделом 7 настоящей методики, непосредственно с эталонным термометром (с характеристиками, указанными в п.4.1 настоящей методики).

Регулируемым термостатом задается требуемая температура, после чего прибор выдерживается 30 мин до достижения стабильных показаний эталонного термометра и температуры, измеренной поверяемым прибором.

Значения абсолютной погрешности измерений температуры рассчитывают в каждой точке диапазона измерений по формуле

$$\Delta t_i = t_i - t_{0i}, \quad (8)$$

где  $t_i$  - результат измерения температуры прибором в  $i$ -й точке диапазона измерений, °С;

$t_{0i}$  - результат измерения температуры эталонными термометрами в  $i$ -й точке диапазона измерений, °С.

Преобразователь считают выдержавшими проверку погрешности по результатам измерений температуры, если значения погрешности измерений температуры находятся в интервале, указанном в таблице 4.

## 9 Оформление результатов поверки

9.1 Оформляют протокол проведения поверки по форме Приложения А.

9.2 Положительные результаты поверки оформляют выдачей свидетельства о поверке в соответствии с ПР 50.2.006. Знак поверки наносится на свидетельство о поверке.

9.3 При отрицательных результатах поверки плотномер признают непригодным к дальнейшей эксплуатации, аннулируют свидетельство, гасят клеймо и выдают извещение о непригодности с указанием причин в соответствии с ПР 50.2.006.

**Разработчик:**

Зав. лаб. 251 ФГУП «УНИИМ», к.х.н.,

 Е.П. Соби́на

**Приложение А**  
**(обязательное)**  
**ФОРМА ПРОТОКОЛА ПОВЕРКИ**  
**ПРОТОКОЛ № \_\_\_\_\_ ПРОВЕДЕНИЯ ПОВЕРКИ**

Плотномер \_\_\_\_\_, зав № \_\_\_\_\_

Документ на поверку: МП 28-221-2014 «ГСИ. Плотномеры газа GDM, SGM. Методика поверки».

**Информация об использованных средствах поверки:**

**Условия проведения поверки:**

- температура окружающего воздуха, °С \_\_\_\_\_
- относительная влажность воздуха, % \_\_\_\_\_

Результаты внешнего осмотра \_\_\_\_\_

Результаты опробования \_\_\_\_\_

**Проверка метрологических характеристик**

**Таблица А.1** Проверка относительного СКО случайной погрешности, основной относительной погрешности измерений плотности газа (для моделей GDM, GDM-5)

Номер точки, $j$	Действительное значение плотности газа, кг/м <sup>3</sup>	Результат измерений плотности, кг/м <sup>3</sup>	Относительное СКО случайной составляющей погрешности, %	Основная относительная/абсолютная погрешность, %
1				
2				
3				
4				
5				

**Таблица А.2** Проверка относительного СКО случайной погрешности, основной относительной погрешности измерений относительной плотности газа (для модели SGM)

Номер точки, $j$	Действительное значение относительной плотности газа	Результат измерений относительной плотности газа	Относительное СКО случайной составляющей погрешности, %	Основная относительная погрешность, %
1				
2				
3				
4				

**Таблица А.3** Результаты проверки диапазона и абсолютной погрешности измерений температуры жидкости

№	Результаты измерений температуры встроеным термометром, °С	Результаты измерений температуры эталонным термометром, °С	Абсолютная погрешность измерений температуры, °С
...			

**Таблица А.4** Проверка диапазона измерений

№	Диапазон измерений	Фактический результаты	Соответствует (+/-)
1	Плотности газа для модели GDM, кг/м <sup>3</sup>		
2	Плотности газа для модели GDM-5, кг/м <sup>3</sup>		
3	Относительная плотность газа для модели SGM		

Результат проведения поверки: \_\_\_\_\_

Выдано свидетельство о поверке (извещение о непригодности)

от «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_\_ г. № \_\_\_\_\_

Поверитель \_\_\_\_\_

Подпись (Ф.И.О.)

Организация, проводившая поверку \_\_\_\_\_