

**Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии**  
**УРАЛЬСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ МЕТРОЛОГИИ –**  
**ФИЛИАЛ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИТАРНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ**  
**«ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ МЕТРОЛОГИИ**  
**ИМ.Д.И.МЕНДЕЛЕЕВА»**

**(УНИИМ – филиал ФГУП «ВНИИМ им.Д.И.Менделеева»)**

**СОГЛАСОВАНО**

**И.о. директора УНИИМ – филиала**

**ФГУП «ВНИИМ им.Д.И.Менделеева»**



**Е.П. Собина**

**2021 г.**

**ГОСУДАРСТВЕННАЯ СИСТЕМА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЕДИНСТВА ИЗМЕРЕНИЙ**

**Пикнометры газовые UltraPyc**

**МЕТОДИКА ПОВЕРКИ**

**МП 55-251-2020**

**Екатеринбург**

**2021**

## **ПРЕДИСЛОВИЕ**

- 1 РАЗРАБОТАНА** Уральским научно-исследовательским институтом метрологии – филиалом Федерального государственного унитарного предприятия «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д.И. Менделеева» (УНИИМ – филиал ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»)
- 2 ИСПОЛНИТЕЛЬ** и.о. зам. зав. лаб. 251, к.т.н., Мигаль П.В.
- 3 СОГЛАСОВАНА** и.о. директора УНИИМ – филиала ФГУП «ВНИИМ им.Д.И.Менделеева» в 2021 г.

## СОДЕРЖАНИЕ

1	ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ .....	4
2	НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ .....	4
3	ПЕРЕЧЕНЬ ОПЕРАЦИЙ ПОВЕРКИ.....	5
4	ТРЕБОВАНИЯ К УСЛОВИЯМ ПРОВЕДЕНИЯ ПОВЕРКИ.....	5
5	ТРЕБОВАНИЯ К СПЕЦИАЛИСТАМ, ОСУЩЕСТВЛЯЮЩИМ ПОВЕРКУ .....	5
6	МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К СРЕДСТВАМ ПОВЕРКИ .....	5
7	ТРЕБОВАНИЯ (УСЛОВИЯ) ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ПОВЕРКИ .....	6
8	ВНЕШНИЙ ОСМОТР СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ .....	6
9	ПОДГОТОВКА К ПОВЕРКЕ И ОПРОБОВАНИЕ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ .....	6
10	ПРОВЕРКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ.....	7
11	ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ.....	7
12	ПОДТВЕРЖДЕНИЕ СООТВЕТСТВИЯ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ МЕТРОЛОГИЧЕСКИМ ТРЕБОВАНИЯМ .....	7
13	ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОВЕРКИ .....	10
	ПРИЛОЖЕНИЕ А .....	11
	ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	14

Дата введения в действие:

## 1 Общие положения

1.1 Настоящая методика поверки распространяется на пикнометры газовые UltraPyc (далее – пикнометры), выпускаемые фирмой «Anton Paar QuantaTec Inc.», США. Пикнометры подлежат первичной (до ввода в эксплуатацию и после ремонта) и периодической поверке. Поверка пикнометров должна производиться в соответствии с требованиями настоящей методики.

1.2 При проведении поверки должна обеспечиваться прослеживаемость пикнометра к ГЭТ 18-2014 «Государственному первичному эталону единиц плотности» в соответствии с приказом Росстандарта от 01.11.2019 г. № 2603 «Об утверждении Государственной поверочной схемы для средств измерений плотности» посредством применения заимствованных эталонов из Государственной поверочной схемы, утвержденной приказом Росстандарта от 29.12.2018 г. № 2818 «Об утверждении Государственной поверочной схемы для средств измерений массы».

1.3 Интервал между поверками – один год.

## 2 Нормативные ссылки

В настоящей методике поверки использованы ссылки на следующие документы:

ГОСТ 12.2.007.0-75 «Система стандартов безопасности труда. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности»

ГОСТ 6709-72 «Вода дистиллированная. Технические условия»

ГОСТ Р 52501-2005 «Вода для лабораторного анализа. Технические условия»

ГОСТ OIML R 76-1-2011 «Государственная система обеспечения единства измерений. Весы неавтоматического действия. Часть 1. Метрологические и технические требования Испытания»

ГОСТ Р 8.736-2011 «Государственная система обеспечения единства измерений. Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения»

Приказ Росстандарта от 01.11.2019 г. № 2603 «Об утверждении Государственной поверочной схемы для средств измерений плотности»

Приказ Росстандарта от 29.12.2018 г. № 2818 «Об утверждении Государственной поверочной схемы для средств измерений массы»

Приказ Министерства труда и Социальной защиты РФ от 15.12.2020 N 903н «Об утверждении Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок»

Приказ Минпромторга России от 31.07.2020 № 2510 «Об утверждении порядка проведения поверки средств измерений, требования к знаку поверки и содержанию свидетельства о поверке»

Приказ Минпромторга России от 28.08.2020 г. № 2906 «Об утверждении порядка создания и ведения Федерального информационного фонда по обеспечению единства измерений, передачи сведений в него и внесения изменений в данные сведения, предоставления содержащихся в нем документов и сведений».

### 3 Перечень операций поверки

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

Таблица 1 – Операции поверки

Наименование операции	Номер пункта методики поверки	Обязательность проведения операций при поверке	
		первичная	периодическая
Внешний осмотр	8	да	да
Подготовка к поверке и опробование	9	да	да
Проверка программного обеспечения	10	да	да
Определение метрологических характеристик средства измерений	11	да	да

3.2 В случае невыполнения требований хотя бы к одной из операций проводится настройка пикнометра в соответствии с руководством пользователя (далее – РП). В дальнейшем необходимые операции повторяются вновь, в случае повторного невыполнения требований хотя бы к одной из операций поверка прекращается, пикнометр бракуется.

3.3 На основании письменного заявления владельца пикнометра или лица, представившего пикнометр на поверку, оформленного в произвольной форме, допускается проводить периодическую поверку в сокращенном объеме (для меньшего числа измеряемых величин и меньшего числа измерительных камер). Данную информацию приводят в сведениях о результатах поверки в Федеральном информационном фонде по обеспечению единства измерений.

### 4 Требования к условиям проведения поверки

4.1 При проведении поверки должны быть соблюдены следующие условия:

- температура окружающей среды, °С от +15 до +25
- температура окружающей среды при определении действительных значений объема калибровочных сфер, °С от +18 до +22
- относительная влажность, % от 10 до 90

### 5 Требования к специалистам, осуществляющим поверку

5.1 К проведению работ по поверке пикнометров допускаются лица, прошедшие обучение в качестве поверителя, изучившие РП на пикнометры и настоящую методику поверки.

### 6 Метрологические и технические требования к средствам поверки

6.1 При проведении поверки применяют оборудование согласно таблице 2.

Таблица 2 – Средства поверки

Наименование	Метрологические и технические требования
рабочий эталон единицы массы	1 разряда в соответствии с приказом Росстандарта от 29.12.2018 г. № 2818 «Об утверждении Государственной поверочной схемы для средств измерений массы» в диапазоне значений от 10 до 600 г (гири класса E <sub>2</sub> , компаратор массы, позволяющий реализовать гидростатическое взвешивание);

Наименование	Метрологические и технические требования
весы неавтоматического действия	специального (I) класса точности по ГОСТ OIML R 76-1-2011
барометр-анероид метеорологический	диапазон измерения атмосферного давления от 80 до 106 кПа, пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений атмосферного давления $\pm 0,2$ кПа
термометр	диапазон измерений температуры от 15 до 25 °С, пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений температуры $\pm 0,1$ °С
сферы калибровочные из нержавеющей стали	в соответствии с комплектом поставки пикнометра
вода	дистиллированная по ГОСТ 6709-72 или для лабораторного анализа по ГОСТ Р 52501-2005
термогигрометр	диапазоны измерений температуры и относительной влажности не менее требуемых по п.4
<sup>1</sup> допускается в качестве компаратора массы применять весы неавтоматического действия по ГОСТ OIMLR 76-1, позволяющие реализовать гидростатическое взвешивание при условии, что их метрологические характеристики, удовлетворяют требованиям государственной поверочной схемы в соответствии с приказом Росстандарта от 29.12.2018 г. № 2818 «Об утверждении Государственной поверочной схемы для средств измерений массы».	

6.2 Эталоны, применяемые для поверки, должны быть поверены, если представлены средствами измерений утвержденного типа или аттестованы, если представлены средствами измерений неутвержденного типа, средства измерений – поверены, испытательное оборудование – аттестовано.

6.3 Допускается применение других средств поверки, обеспечивающих требуемую точность передачи единицы плотности поверяемому пикнометру.

## **7 Требования (условия) по обеспечению безопасности проведения поверки**

7.1 При проведении поверки должны быть соблюдены требования Приказа Министерства труда и Социальной защиты РФ от 15.12.2020 N 903н «Об утверждении Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок», требования ГОСТ 12.2.007.0.

## **8 Внешний осмотр средства измерений**

8.1 При внешнем осмотре устанавливают:

- соответствие внешнего вида сведениям, приведенным в описании типа;
- отсутствие видимых повреждений пикнометра;
- соответствие комплектности, указанной в РП;
- четкость обозначений и маркировки.

## **9 Подготовка к поверке и опробование средства измерений**

9.1 Пикнометр готовят к работе в соответствии с РП.

9.2 Средства поверки готовят к работе в соответствии эксплуатационной документацией. Проверяют работоспособность органов управления и регулировки пикнометра в соответствии с РП.

9.3 Проводят калибровку пикнометра согласно РП при необходимости.

## 10 Проверка программного обеспечения средства измерений

- 10.1 Проводят проверку идентификационных данных программного обеспечения (далее - ПО) пикнометра. Номер версии ПО идентифицируется при запуске ПО путем вывода на экран.
- 10.2 Пикнометр считается выдержавшим проверку ПО, если номер версии ПО не ниже 1.000.001.

## 11 Определение метрологических характеристик средства измерений

11.1 Проверка относительного среднего квадратического отклонения плотности (объема), приведенной<sup>1</sup> неисключенной погрешности плотности (объема), верхних пределов измерений объема, диапазона измерений плотности

11.1.1 Для проверки используют калибровочные сферы (далее - сферы) из нержавеющей стали, входящие в комплект поставки пикнометра.

11.1.2 Проводят измерение массы сфер, входящих в комплект пикнометра, с использованием весов неавтоматического действия специального (I) класса точности по ГОСТ OIML R 76-1-2011.

11.1.3 Действительные значения объемов сфер определяют методом гидростатического взвешивания по приложению А настоящей методики поверки каждый раз при проведении поверки.

11.1.4 Для моделей пикнометров, снабженных встроенной системой термостатирования<sup>2</sup>, устанавливают температуру 20 °С и выдерживают не менее 15 минут.

11.1.5 Проводят измерения объема сфер на пикнометре:

- для измерительной камеры 0,25 см<sup>3</sup> проводят пять измерений объема с помощью сферы номинальным объемом 0,09 см<sup>3</sup>;
- для измерительной камеры 1,8 см<sup>3</sup> проводят пять измерений объема с помощью сферы номинальным объемом 1,07 см<sup>3</sup>;
- для измерительной камеры 4,5 см<sup>3</sup> проводят пять измерений объема с помощью двух сфер номинальным объемом 1,07 см<sup>3</sup>;
- для измерительной камеры 10 см<sup>3</sup> проводят пять измерений объема с помощью сферы номинальным объемом 7,07 см<sup>3</sup>;
- для измерительной камеры 50 см<sup>3</sup> проводят пять измерений объема с помощью сферы номинальным объемом 28,96 см<sup>3</sup>;
- для измерительной камеры 135 см<sup>3</sup> проводят пять измерений объема с помощью сферы номинальным объемом 56,56 см<sup>3</sup> и двух сфер номинальным объемом 7,07 см<sup>3</sup>.

## 12 Подтверждение соответствия средства измерений метрологическим требованиям

12.1 Для пикнометров модели UltraPyc 3000 полученные результаты измерений объема сфер при температуре  $t$  приводят к температуре 20 °С по формуле

$$V_{ij} = V'_{ij} \cdot [1 - \gamma \cdot (t - 20)], \quad (1)$$

где  $V'_{ij}$  -  $j$ -ый результат измерения объема  $i$ -ой сферы на пикнометре при температуре, которая отображается на пикнометре, см<sup>3</sup>;

$\gamma$  - коэффициент объемного расширения нержавеющей стали, из которой изготовлена сфера,  $30,6 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ .

12.2 Для каждой измерительной камеры рассчитывают относительное СКО измерений плотности (объема) сфер  $S_{Xi}$ , %, по формуле

<sup>1</sup> к объему измерительной камеры для измерений объема, или к верхнему значению диапазона измерений плотности для измерений плотности.

<sup>2</sup> пикнометры моделей UltraPyc 5000, UltraPyc 5000 Foam, UltraPyc 5000 Micro.

$$S_{Xi} = \frac{100}{\bar{X}_i} \cdot \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (X_{ij} - \bar{X}_i)^2}{n-1}}, \quad (2)$$

где  $X_{ij}$  -  $j$ -ый результат измерения плотности (объема)  $i$ -ой сферы на пикнометре,  $\text{см}^3$ ;

$\bar{X}_i = \frac{\sum_{j=1}^n X_{ij}}{n}$  - среднее арифметическое значение результатов измерений плотности (объема)  $i$ -ой сферы на пикнометре,  $\text{см}^3$ ;  
 $n$  – количество измерений.

Полученные значения относительного СКО измерений плотности (объема) должны удовлетворять требованиям таблицы 3.

Таблица 3 – Метрологические характеристики

Наименование характеристики	Значение для моделей			
	UltraPyc 3000	UltraPyc 5000	UltraPyc 5000 Foam	UltraPyc 5000 Micro
Диапазон измерений плотности, $\text{г}/\text{см}^3$	от 0,5 до 23			
Предел допускаемого относительного среднего квадратического отклонения измерений плотности, % <sup>1</sup> :				
-для измерительной камеры 135 $\text{см}^3$		0,03		-
-для измерительной камеры 50 $\text{см}^3$		0,03		-
-для измерительной камеры 10 $\text{см}^3$		0,05		-
-для измерительной камеры 4,5 $\text{см}^3$		-		0,15
-для измерительной камеры 1,8 $\text{см}^3$		-		0,50
-для измерительной камеры 0,25 $\text{см}^3$		-		1,5
Пределы допускаемой приведенной <sup>2</sup> неисключенной систематической погрешности измерений плотности, % <sup>1</sup> :				
-для измерительной камеры 135 $\text{см}^3$		±0,03		-
-для измерительной камеры 50 $\text{см}^3$		±0,03		-
-для измерительной камеры 10 $\text{см}^3$		±0,05		-
-для измерительной камеры 4,5 $\text{см}^3$		-		±0,2
-для измерительной камеры 1,8 $\text{см}^3$		-		±0,2
-для измерительной камеры 0,25 $\text{см}^3$		-		±2,0
Верхние пределы измерений объема, $\text{см}^3$		10; 50; 135		0,25; 1,8; 4,5
Предел допускаемого относительного среднего квадратического отклонения измерений объема, % <sup>3</sup> :				
-для измерительной камеры 135 $\text{см}^3$		0,03		-
-для измерительной камеры 50 $\text{см}^3$		0,03		-
-для измерительной камеры 10 $\text{см}^3$		0,05		-
-для измерительной камеры 4,5 $\text{см}^3$		-		0,15
-для измерительной камеры 1,8 $\text{см}^3$		-		0,50
-для измерительной камеры 0,25 $\text{см}^3$		-		1,5
Пределы допускаемой приведенной <sup>4</sup> неисключенной систематической погрешности измерений объема, % <sup>3</sup> :				
-для измерительной камеры 135 $\text{см}^3$		±0,03		-
-для измерительной камеры 50 $\text{см}^3$		±0,03		-



Наименование характеристики	Значение для моделей			
	UltraPyc 3000	UltraPyc 5000	UltraPyc 5000 Foam	UltraPyc 5000 Micro
-для измерительной камеры 10 см <sup>3</sup>	±0,05			-
-для измерительной камеры 4,5 см <sup>3</sup>	-			±0,2
-для измерительной камеры 1,8 см <sup>3</sup>	-			±0,2
-для измерительной камеры 0,25 см <sup>3</sup>	-			±1,5

<sup>1</sup> указанное в таблице значение погрешности достигается при использовании весов неавтоматического действия по ГОСТ OIML R 76-1-2011 специального (I) класса точности;  
<sup>2</sup> к верхнему значению диапазона измерений плотности;  
<sup>3</sup> при заполнении измерительной камеры образцом более чем на 2/3;  
<sup>4</sup> к объему измерительной камеры.

12.3 Приведенную неисключенную систематическую погрешность измерений объема  $НСП_V$ , %, для каждой измерительной камеры рассчитывают по формуле, используя результаты, полученные по п.11.1

$$НСП_V = \frac{(|\bar{V}_i - V_{Si}| + |\Delta V_{Si}|)}{V_{max}} \cdot 100, \quad (3)$$

где  $V_{Si}$  - действительное значение объема  $i$ -ой сферы, измеренное методом гидростатического взвешивания в соответствии с приложением А настоящей методики поверки, см<sup>3</sup>;

$\Delta V_{Si}$  - неисключенная систематическая погрешность измерений объема  $i$ -ой сферы, установленная в соответствии с приложением А настоящей методики поверки, см<sup>3</sup>;

$\bar{V}_i$  - среднее арифметическое значение результатов измерений объема  $i$ -ой сферы на пикнометре, см<sup>3</sup>;

$V_{max}$  - объем используемой измерительной камеры, см<sup>3</sup>.

Полученные значения приведенной неисключенной систематической погрешности измерения объема должны удовлетворять требованиям таблицы 3.

12.4 Плотность сферы автоматически вычисляется пикнометром на основе массы сферы, ( $m_i$ ), измеренной по п.11.1.2 настоящей методики поверки и объема образца ( $V_{ij}$ ), измеренного на пикнометре, по формуле

$$\rho_{ij} = \frac{m_i}{V_{ij}}, \quad (4)$$

где  $m$  - масса  $i$ -ой сферы, г;

$V_{ij}$  -  $j$ -ый результат измерения объема  $i$ -ой сферы (суммарного объема сфер) на пикнометре, см<sup>3</sup>.

12.5 Приведенную неисключенную систематическую погрешность измерений плотности, %, рассчитывают по формуле

$$НСП_\rho = \frac{\left(\frac{\rho_i}{\bar{V}_i} \cdot \frac{НСП_V \cdot V_{max}}{100} + \frac{1}{\bar{V}_i} \cdot |\Delta m|\right)}{\rho_{max}} \cdot 100, \quad (5)$$

где  $\bar{V}_i$  - среднее арифметическое значение результатов измерений объема  $i$ -ой сферы (суммарного объема сфер) на пикнометре, см<sup>3</sup>;

$\rho_i$  - плотность  $i$ -ой сферы (сфер в камере), рассчитанная по формуле (4), г/см<sup>3</sup>;

$\Delta m$  - предел допускаемой абсолютной погрешности взвешивания, г;

$НСП_V$  - приведенная неисключенная систематическая погрешность измерений объема, %;

$\rho_{max}$  - верхнее значение диапазона измерений плотности, г/см<sup>3</sup>;

$V_{max}$  - объем используемой измерительной камеры, см<sup>3</sup>.

Полученные значения приведенной неисключенной систематической погрешности измерений плотности должны удовлетворять требованиям таблицы 3.

12.6 За диапазон измерений плотности принимают диапазон измерений, приведенный в таблице 3, если полученные значения относительного СКО и приведенной неисключенной систематической погрешности измерений плотности соответствуют требованиям, приведенным в таблице 3.

12.7 За верхний предел измерений объема принимают максимальный объем измерительной камеры, если полученные значения относительного СКО и приведенной неисключенной систематической погрешности измерений объема соответствуют требованиям, приведенным в таблице 3.

### **13 Оформление результатов поверки**

13.1 Оформляют протокол проведения поверки в произвольной форме.

13.2 При положительных результатах поверки пикнометр признают пригодным к применению и оформляют результаты поверки в соответствии с Приказом Минпромторга России от 30.07.2020 № 2510 «Об утверждении Порядка проведения поверки средств измерений, требований к знаку поверки и содержанию свидетельства о поверке», или в соответствии с порядком, действующим на момент проведения поверки, или действующими на момент проведения поверки нормативно-правовыми актами в области обеспечения единства измерений. Знак поверки наносят на свидетельство о поверке.

13.3 При отрицательных результатах поверки пикнометр признают непригодным к применению в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений и оформляют результаты в соответствии с Приказом Минпромторга России от 30.07.2020 № 2510 «Об утверждении Порядка проведения поверки средств измерений, требований к знаку поверки и содержанию свидетельства о поверке» или действующими на момент проведения поверки нормативно-правовыми актами в области обеспечения единства измерений.

13.4 Сведения о результатах поверки передают в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений в соответствии с Приказом Минпромторга России от 28.08.2020 г. № 2906 «Об утверждении порядка создания и ведения Федерального информационного фонда по обеспечению единства измерений, передачи сведений в него и внесения изменений в данные сведения, предоставления содержащихся в нем документов и сведений».

**И.о. зам. зав. лаб. 251 УНИИМ – филиала  
ФГУП «ВНИИМ им.Д.И.Менделеева»**



**П.В. Мигаль**

**ПРИЛОЖЕНИЕ А**  
(обязательное)  
**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЕЙСТВИТЕЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ОБЪЕМА**  
**КАЛИБРОВОЧНЫХ СФЕР МЕТОДОМ ГИДРОСТАТИЧЕСКОГО ВЗВЕШИВАНИЯ**

А.1 Перед измерением сферы выдерживают в термостате при температуре  $(20 \pm 0,5)^\circ\text{C}$  не менее 1 часа. Воду дистиллированную или для лабораторного анализа (далее - вода) выдерживают в термостате при температуре  $(20 \pm 0,5)^\circ\text{C}$  не менее 1 часа.

А.2 Определение действительных значений объема сфер проводят с помощью гирь и компаратора массы, который позволяет реализовать гидростатическое взвешивание. Общие виды схем для реализации гидростатического взвешивания представлены в приложении Б.

А.3 Выполняют юстировку компаратора с помощью гири в соответствии эксплуатационной документацией.

А.4 Перед измерениями с помощью термогигрометра, барометра и термометра регистрируют начальные значения внешних условий: температуры воздуха  $(t_{1н}, ^\circ\text{C})$ , относительной влажности воздуха  $(\varphi_n, \%)$ , атмосферного давления воздуха  $(P_n, \text{гПа})$ , температуры воды  $(t_{2н}, ^\circ\text{C})$ .

А.5 Определяют массу сфер в воздухе сличением при помощи компаратора и гирь. Для этого вначале набор эталонных гирь с номинальным значением массы близкой к номинальному значению массы сферы в воздухе устанавливают на платформу компаратора и после его успокоения записывают массу  $m_{г1}$ , затем набор эталонных гирь снимают с платформы компаратора и устанавливают на нее сферу и после успокоения показаний компаратора записывают массу  $m_c$ . После этого снимают сферу и снова устанавливают набор эталонных гирь и после успокоения показаний компаратора записывают массу  $m_{г2}$ .

А.6 Рассчитывают массу сфер в воздухе  $(m_{1i}, \text{г})$  по формуле

$$m_{1i} = m_{гэi} + m_{ci} - \frac{(m_{г1i} + m_{г2i})}{2}, \quad (\text{A.1})$$

где  $m_{гэi}$  - масса  $i$ -го набора гирь ( $m_{гэi} = \sum_{j=1}^n m_{гэij}$ , где  $m_{гэij}$  - масса  $j$ -ой гири из  $i$ -го набора гирь (указана в свидетельстве о поверке),  $j=1, \dots, n$ ,  $n$  - число используемых гирь в  $i$ -ом наборе гирь,  $i=1, \dots, k$ ,  $k$  - число наборов гирь), г;

$m_{г1i}$  и  $m_{г2i}$  - показания компаратора с  $i$ -ым набором гирь, г;

$m_{ci}$  - показание компаратора с  $i$ -ой сферой, г.

А.7 Определяют массу сфер в воде. Для этого достают держатель из емкости с водой, не допуская разбрызгивания и потерь воды, и помещают туда сферу. Держатель со сферой осторожно погружают в емкость с водой (необходимо обеспечить, чтобы на сфере отсутствовали пузырьки воздуха). После успокоения показаний компаратора записывают массу  $(m_{2i}, \text{г})$ .

А.8 В конце измерений с помощью термогигрометра, барометра и термометра регистрируют конечные значения внешних условий: температуры воздуха  $(t_{1к}, ^\circ\text{C})$ , относительной влажности воздуха  $(\varphi_k, \%)$ , атмосферного давления воздуха  $(P_k, \text{гПа})$ , температуры воды  $(t_{2к}, ^\circ\text{C})$ .

А.9 Рассчитывают плотность воды в начале измерений  $(\rho_{2н}, \text{г/см}^3)$  и плотность воды в конце измерений  $(\rho_{2к}, \text{г/см}^3)$  по формулам:

$$\rho_{2н} = \rho_{20} \left[ 1 - \frac{(t_{2н} + a_1)^2 (t_{2н} + a_2)}{a_3 (t_{2н} + a_4)} \right], \quad (\text{A.2})$$

$$\rho_{2к} = \rho_{20} \left[ 1 - \frac{(t_{2к} + a_1)^2 (t_{2к} + a_2)}{a_3 (t_{2к} + a_4)} \right], \quad (\text{A.3})$$

где  $t_{2н}$  - температура воды в начале измерений, °С;  
 $t_{2к}$  - температура воды в конце измерений, °С;  
 $a_1 = -3,983035$  °С;  
 $a_2 = 301,797$  °С;  
 $a_3 = 522528,9$  (°С)<sup>2</sup>;  
 $a_4 = 69,34881$  °С;

$\rho_{20}$  - плотность воды при температуре 20 °С ( $\rho_{20} = 0,999974950$  г/см<sup>3</sup>), г/см<sup>3</sup>.

Рассчитывают плотность воздуха в начале измерений ( $\rho_{1н}$ , г/см<sup>3</sup>) и плотность воздуха в конце измерений ( $\rho_{1к}$ , г/см<sup>3</sup>) по формулам:

$$\rho_{1н} = \frac{k_1 P_n + \varphi_n (k_2 t_{1н} + k_3)}{t_{1н} + 273,15}, \quad (\text{A.4})$$

$$\rho_{1к} = \frac{k_1 P_k + \varphi_k (k_2 t_{1к} + k_3)}{t_{1к} + 273,15}, \quad (\text{A.5})$$

где  $t_{1н}$  - температура воздуха в начале измерений, °С;  
 $t_{1к}$  - температура воздуха в конце измерений, °С;  
 $P_n$  - атмосферное давление воздуха в начале измерений, гПа;  
 $P_k$  - атмосферное давление воздуха в конце измерений, гПа;  
 $\varphi_n$  - относительная влажность воздуха в начале измерений, %;  
 $\varphi_k$  - относительная влажность воздуха в конце измерений, %;  
 $k_1 = 3,4844 \cdot 10^{-4}$  °С/гПа;  
 $k_2 = -2,52 \cdot 10^{-6}$ , г/см<sup>3</sup>;  
 $k_3 = 2,0582 \cdot 10^{-5}$  °С.

A.10 Рассчитывают действительный объем  $i$ -ой сферы ( $V_{si}$ , см<sup>3</sup>) по формуле

$$V_{si} = \frac{m_{1i} - m_{2i}}{\bar{\rho}_2 - \bar{\rho}_1} \cdot \left(1 - \frac{\bar{\rho}_1}{\rho_{\text{гирь}}}\right) \cdot [1 - \gamma \cdot (\bar{t}_2 - 20)], \quad (\text{A.6})$$

где  $\bar{\rho}_2$  - плотность воды, г/см<sup>3</sup>, вычисленная по формуле

$$\bar{\rho}_2 = \frac{\rho_{2н} + \rho_{2к}}{2}, \quad (\text{A.7})$$

$\bar{\rho}_1$  - плотность воздуха, г/см<sup>3</sup>, вычисленная по формуле

$$\bar{\rho}_1 = \frac{\rho_{1н} + \rho_{1к}}{2}, \quad (\text{A.8})$$

$\bar{t}_2$  - температура воды, °С, вычисленная по формуле

$$\bar{t}_2 = \frac{t_{2н} + t_{2к}}{2}, \quad (\text{A.9})$$

$\rho_{\text{гирь}}$  - плотность гирь, используемых при калибровке, предполагается равной 8 г/см<sup>3</sup>;

$m_{1i}$  - массы  $i$ -ой сферы в воздухе, г;

$m_{2i}$  - массы  $i$ -ой сферы в воде, г;

$\gamma$  - коэффициент объемного теплового расширения материала сфер, для нержавеющей стали равный  $30,6 \cdot 10^{-6}$  °С<sup>-1</sup>.

Результат измерения объема  $i$ -ой сферы ( $V_{si}$ , см<sup>3</sup>) записывают до четвертого десятичного знака.

A.11 Для каждой  $i$ -ой сферы рассчитывают неисключенную систематическую погрешность определения объема ( $\Delta V_{si}$ , см<sup>3</sup>), связанную с погрешностью используемых гирь, с погрешностью определения плотности воздуха и плотности воды, с погрешностью определения температуры воды по формуле

$$\Delta V_{si} = \sqrt{(c_{mi} \cdot \Delta m_i)^2 + (c_{\rho 1} \cdot \Delta \rho_1)^2 + (c_{\rho 2} \cdot \Delta \rho_2)^2 + (c_{t_2} \cdot \Delta t_2)^2}, \quad (\text{A.10})$$

где 
$$c_{mi} = \frac{(\gamma \cdot (\bar{t}_2 - 20) - 1) \cdot \left(\frac{\bar{\rho}_1 - 1}{\rho_r}\right)}{\bar{\rho}_1 - \bar{\rho}_2}, \quad (\text{A.11})$$

$$c_{\rho 1} = \frac{(m_{1i} - m_{2i}) \cdot (\gamma \cdot (\bar{t}_2 - 20) - 1) \cdot \left(\frac{\bar{\rho}_1 - 1}{\rho_r}\right)}{(\bar{\rho}_2 - \bar{\rho}_1)^2} - \frac{(m_{1i} - m_{2i}) \cdot (\gamma \cdot (\bar{t}_2 - 20) - 1)}{\rho_r \cdot (\bar{\rho}_1 - \bar{\rho}_2)}, \quad (\text{A.12})$$

$$c_{\rho 2} = \frac{(m_{1i} - m_{2i}) \cdot (\gamma \cdot (\bar{t}_2 - 20) - 1) \cdot \left(\frac{\bar{\rho}_1 - 1}{\rho_r}\right)}{(\bar{\rho}_2 - \bar{\rho}_1)^2}, \quad (\text{A.13})$$

$$c_{t2} = \frac{\gamma \cdot (m_{1i} - m_{2i}) \cdot \left(\frac{\bar{\rho}_1 - 1}{\rho_r}\right)}{\bar{\rho}_1 - \bar{\rho}_2}, \quad (\text{A.14})$$

$\Delta_{mi}$  - погрешность  $i$ -го набора гирь, г, рассчитанная по формуле

$$\Delta_{mi} = \sqrt{\sum_{j=1}^n (\Delta_{m_{гзij}})^2 + 2 \cdot S_m^2}, \quad (\text{A.15})$$

$\Delta_{m_{гзij}}$  - погрешность  $j$ -ой гири из  $i$ -го набора гирь (указана в свидетельстве о поверке) ( $j=1, \dots, n$ ,  $n$  - число используемых гирь в  $i$ -ом наборе гирь,  $i=1, \dots, k$ ,  $k$  - число наборов гирь), г;

$S_m$  - среднее квадратическое отклонение показаний компаратора (указано в свидетельстве о поверке), г;

$\rho_r$  - плотность гирь, используемых при калибровке, предполагается равной 8 г/см<sup>3</sup>;

$\gamma$  - коэффициент объемного теплового расширения материала сфер, для нержавеющей стали равный  $30,6 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ;

$\bar{\rho}_2$  - плотность воды, г/см<sup>3</sup>, вычисленная по формуле (A.7);

$\bar{\rho}_1$  - плотность воздуха, г/см<sup>3</sup>, вычисленная по формуле (A.8);

$m_{1i}$  - массы  $i$ -ой сферы в воздухе, г;

$m_{2i}$  - массы  $i$ -ой сферы в воде, г;

$\Delta_{\rho 1}$  и  $\Delta_{\rho 2}$  - погрешности определения плотности в воздухе и воде соответственно, г/см<sup>3</sup>,

которые вычисляют по формулам:

$$\Delta_{\rho 1} = \frac{\rho_{1н} - \rho_{1к}}{\sqrt{3}}, \quad (\text{A.16})$$

$$\Delta_{\rho 2} = \frac{\rho_{2н} - \rho_{2к}}{\sqrt{3}}, \quad (\text{A.17})$$

$\rho_{1н}$  и  $\rho_{1к}$  - плотность воздуха в начале и в конце измерений соответственно, вычисленные по формулам (A.4) и (A.5), г/см<sup>3</sup>;

$\rho_{2н}$  и  $\rho_{2к}$  - плотность воды в начале и в конце измерений соответственно, вычисленные по формулам (A.2) и (A.3), г/см<sup>3</sup>;

$\Delta t_2$  - погрешность измерений температуры воды,  $^\circ\text{C}$ , вычисленная по формуле

$$\Delta t_2 = \left| \frac{t_{2н} - t_{2к}}{\sqrt{3}} \right| + |\Delta t_2|, \quad (\text{A.18})$$

$t_{2н}$  и  $t_{2к}$  - температура воды в начале и в конце измерений соответственно,  $^\circ\text{C}$ ;

$\Delta t_2$  - погрешность термометра, используемого при измерении температуры воды,  $^\circ\text{C}$ .

*Примечание: Если в качестве компаратора массы применяют весы неавтоматического действия по ГОСТ OIMLR 76-1 (далее - весы), то сначала делают калибровку весов с помощью гирь. Затем проводят измерения массы сфер в воздухе. Для этого выполняют тарирование, затем помещают сферу на чашку и после стабилизации фиксируют массу  $m_{1i}$ . Далее проводят измерения массы сфер в воде. Для этого выполняют тарирование, затем держатель со сферой погружают в емкость с водой и после стабилизации фиксируют массу  $m_{2i}$ . В формуле (A.10) расчета погрешности определения объема  $\Delta_{mi}$  - погрешность весов в соответствующем диапазоне взвешивания, указанная в свидетельстве о поверке, г.*

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

(обязательное)

### ОБЩИЕ ВИДЫ СХЕМ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ГИДРОСТАТИЧЕСКОГО ВЗВЕШИВАНИЯ

На рисунках Б.1 и Б.2 представлены общие виды схем для реализации гидростатического взвешивания.

На рисунке Б.1 компаратор массы (весы) устанавливается на столик с отверстием 3, так, чтобы поддонный крюк для подвески попал в отверстие. К поддонному крюку для подвески прикрепляется леска (проволока) 4, к которой в свою очередь крепится держатель 6. Леска (проволока) не должна касаться стенок отверстия столика 3. На столик 8 устанавливается емкость 7 и заливается вода так, чтобы она полностью и даже с запасом покрывала держатель. В емкость с водой помещают термометр для контроля температуры воды.

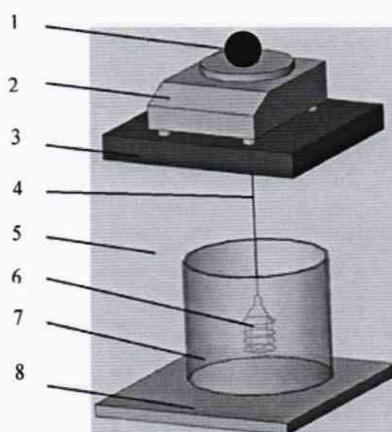


Рисунок Б.1 - Общий вид схемы для реализации гидростатического взвешивания  
1 - измеряемая сфера; 2 - компаратор массы (весы); 3 - столик с отверстием; 4 - леска (проволока); 5 - стена; 6 - держатель; 7 - емкость с водой; 8 - столик для емкости

На рисунке Б.2 на платформу компаратора (весов) устанавливается комплект, состоящий из кронштейна 2, держателя 4, подставки 5, емкости с водой 3. В емкость с водой помещают термометр 6 для контроля температуры воды.

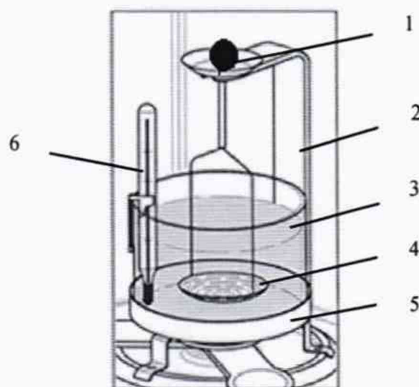


Рисунок Б.2 - Общий вид схемы для реализации гидростатического взвешивания  
1 - измеряемая сфера; 2 - кронштейн; 3 - емкость с водой; 4 - держатель;  
5 - подставка; 6 - термометр