

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

Директор УНИИМ – филиала  
ФГУП «ВНИИМ им.Д.И.Менделеева»

Е.П. Собина

10 2023 г.



«ГСИ. Пикнометры газовые Densi 100. Методика поверки»

МП 77-251-2022

Екатеринбург

2023 г.

## 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 зам. зав. лаб. 251, ВострокнUTOва Е.В.
3. СОГЛАСОВАНА директором УНИИМ – филиала ФГУП «ВНИИМ им.Д.И.Менделеева» в 2023 г.

## СОДЕРЖАНИЕ

1 Общие положения .....	4
2 Нормативные ссылки .....	4
3 Перечень операций поверки средства измерений.....	5
4 Требования к условиям проведения поверки .....	6
5 Требования к специалистам, осуществляющим поверку .....	6
6 Метрологические и технические требования к средствам поверки.....	6
7 Требования (условия) по обеспечению безопасности проведения поверки .....	7
8 Внешний осмотр средства измерений.....	7
9 Подготовка к поверке и опробование средства измерений .....	8
10 Проверка программного обеспечения средства измерений.....	8
11 Определение метрологических характеристик средства измерений .....	8
12 Подтверждение соответствия средства измерений метрологическим требованиям.....	9
13 Оформление результатов поверки.....	10
ПРИЛОЖЕНИЕ А .....	12
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	16

## 1 Общие положения

1.1 Настоящая методика поверки распространяется на пикнометры газовые Densi 100 (далее – пикнометры), выпускаемые фирмой «Beijing Altamira Instruments Co., Ltd.», КНР. 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 прослеживаемость пикнометра обеспечивается к ГЭТ 3-2020 «Государственному первичному эталону единиц массы (килограмму)» в соответствии с приказом Росстандарта от 01.11.2019 г. № 2603 «Об утверждении Государственной поверочной схемы для средств измерений плотности» посредством применения эталонов массы, которые являются заимствованными из Государственной поверочной схемы для средств измерений массы, утвержденной приказом Росстандарта от 04.07.2022 г. № 1622 «Об утверждении Государственной поверочной схемы для средств измерений массы».

1.3 Настоящая методика поверки применяется для поверки пикнометров, используемых в качестве рабочих средств измерений. В результате поверки должны быть подтверждены метрологические требования, приведенные в таблице 1.

Таблица 1 – Метрологические характеристики

Наименование характеристики	Значение
Верхние пределы измерений объема, см <sup>3</sup>	3,5; 10; 35; 100
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений объема, см <sup>3</sup> :	
– для измерительной ячейки 3,5 см <sup>3</sup>	±0,04
- для измерительной ячейки 10 см <sup>3</sup>	±0,05
– для измерительной ячейки 35 см <sup>3</sup>	±0,08
- для измерительной ячейки 100 см <sup>3</sup>	±0,15
Верхний предел измерений плотности, кг/м <sup>3</sup>	22500
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений плотности, кг/м <sup>3</sup>	$\pm \rho \cdot \left( \frac{\Delta V}{V} + \frac{\Delta m}{m} \right)^{1)}$
<p><sup>1)</sup> <math>\rho</math> – измеренное значение плотности пробы, г/см<sup>3</sup>;  <math>V</math> – измеренный объем пробы, см<sup>3</sup>;  <math>\Delta m</math> – абсолютная погрешность измерений массы, г;  <math>\Delta V</math> – абсолютная погрешность измерений объема, см<sup>3</sup>;  <math>m</math> – масса пробы, г.</p>	

1.4 При определении верхнего предела измерений объема и пределов допускаемой абсолютной погрешности измерений объема поверяемого пикнометра используется метод сравнения результатов измерений объема поверяемым пикнометром со значением объема, полученным с помощью рабочего эталона единицы массы 1 разряда. При определении верхнего предела измерений плотности и пределов допускаемой абсолютной погрешности измерений плотности используют косвенный метод.

## 2 Нормативные ссылки

2.1 В настоящей методике поверки использованы ссылки на следующие документы:

- Приказ Министерства труда и Социальной защиты РФ от 15.12.2020 г. № 903н «Об

утверждении Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок»;

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

- Приказ Росстандарта от 04.07.2022 г. № 1622 «Об утверждении Государственной поверочной схемы для средств измерений массы»;

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

- ГОСТ Р 58144-2018 «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».

### 3 Перечень операций поверки средства измерений

3.1 При поверке должны быть выполнены операции, указанные в таблице 2.

Таблица 2 – Операции поверки

Наименование операции	Обязательность проведения операций при		Номер раздела (пункта) методики поверки, в соответствии с которым выполняется операция поверки
	первичной поверке	периодической поверке	
Внешний осмотр	да	да	8
Подготовка к поверке и опробование	да	да	9
Проверка программного обеспечения средства измерений	да	да	10
Определение метрологических характеристик средства измерений	да	да	11
Определение абсолютной погрешности измерений объема	да	да	11.1
Проверка верхнего предела измерений объема	да	да	11.2
Проверка верхнего предела измерений плотности и определение абсолютной погрешности измерений плотности	да	да	11.3
Подтверждение соответствия средства измерений метрологическим требованиям	да	да	12

3.2 В случае невыполнения требований хотя бы к одной из операций, поверка прекращается и выполняются операции по п. 13.4.

3.3 Первичная (периодическая) поверка пикнометров проводится в соответствии с комплектностью с указанием в сведениях о поверке информации о составе пикнометра. Данная информация приводится в свидетельстве о поверке (в случае его оформления) и в сведениях, направляемых в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений.

3.4 На основании письменного заявления владельца пикнометра или лица, представившего пикнометр на поверку, оформленного в произвольной форме, допускается проведение периодической поверки для меньшего числа измерительных ячеек (поверка в сокращенном объеме)

с указанием в сведениях о поверке информации об объеме проведенной поверки. Данная информация приводится в свидетельстве о поверке (в случае его оформления) и в сведениях, направляемых в Федеральный информационный фонд 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 цилиндров, °С от +18 до +22
- относительная влажность, %, не более 80

#### 5 Требования к специалистам, осуществляющим поверку

5.1 К проведению работ по поверке пикнометров допускаются лица, прошедшие обучение в качестве поверителя, изучившие руководство по эксплуатации на пикнометры (далее – РЭ) и настоящую методику поверки.

#### 6 Метрологические и технические требования к средствам поверки

6.1 При проведении поверки применяют оборудование согласно таблице 3.

Таблица 3 – Метрологические и технические требования к средствам поверки

Операции поверки, требующие применения средств поверки	Средства поверки, метрологические и технические требования к средствам поверки	Перечень рекомендуемых средств поверки <sup>1)</sup>
п. 9 Подготовка к поверке и опробование средства измерений	Средства измерений температуры окружающей среды от +15 °С до +25 °С с абсолютной погрешностью не более ±1 °С Средства измерений относительной влажности воздуха в диапазоне от 20 % до 80 % с абсолютной погрешностью не более ±2 %	Термогигрометры ИВА-6А-КП-Д (рег. №46434-11)
п.11 Определение метрологических характеристик средства измерений	Эталоны единицы массы, соответствующие требованиям к рабочим эталонам не ниже 1 разряда в соответствии с приказом Росстандарта от 04.07.2022 г. № 1622 «Об утверждении Государственной поверочной схемы для средств измерений массы» в диапазоне значений от 10 до 500 г <sup>2)</sup>	набор гирь (1 мг-500 г) Е2 (рег. № 58666-14) весы с функцией компаратора МС-6100 (рег. №72386-18) весы лабораторные ХР Analytical ХР205 (рег. №44573-10)
	Средства измерений атмосферного давления в диапазоне от 70 до 110 кПа с абсолютной погрешностью не более ±0,5 кПа	Термогигрометр ИВА-6А-КП-Д (рег. №46434-11)

Операции поверки, требующие применения средств поверки	Средства поверки, метрологические и технические требования к средствам поверки	Перечень рекомендуемых средств поверки <sup>1)</sup>
п.11 Определение метрологических характеристик средства измерений	Средства измерений температуры в диапазоне от +15 °С до +25 °С с абсолютной погрешностью не более $\pm 0,1$ °С	Термометр сопротивления платиновый выборочный эталонный ПТСВ-3-3 (рег. №32777-06); Измеритель температуры двухканальный прецизионный МИТ 2.05М (рег. №46432-11)
	Калибровочные цилиндры в соответствии с комплектом поставки пикнометра, номинальный объем калибровочного цилиндра для измерительной ячейки объемом $3,5 \text{ см}^3 - 2,91 \text{ см}^3$ ; для измерительной ячейки объемом $10 \text{ см}^3 - 7,13 \text{ см}^3$ ; для измерительной ячейки объемом $35 \text{ см}^3 - 25,56 \text{ см}^3$ ; для измерительной ячейки объемом $100 \text{ см}^3 - 76,94 \text{ см}^3$	-
	Вода дистиллированная по ГОСТ Р 58144-2018 или для лабораторного анализа по ГОСТ Р 52501-2005	-

<sup>1)</sup> Допускается использовать при поверке другие утвержденные и аттестованные эталоны единиц величин, средства измерений утвержденного типа и поверенные, удовлетворяющие метрологическим требованиям, указанным в таблице;

<sup>2)</sup> Допускается в качестве компаратора массы применять весы неавтоматического действия по ГОСТ OIML R 76-1 I (специального) класса точности.

6.2 Эталоны, применяемые для поверки, должны быть поверены (аттестованы), средства измерений должны быть утвержденного типа и поверены, испытательное оборудование – аттестовано.

## 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 г. № 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 пикнометра сведениям, приведенным в описании типа;
- отсутствие видимых повреждений пикнометра;
- соответствие комплектности, указанной в паспорте пикнометра;
- наличие обозначения и серийного номера, четкость маркировки, а также отсутствие повреждений и дефектов, влияющих на работоспособность пикнометра.

## 9 Подготовка к поверке и опробование средства измерений

9.1 Проводят контроль условий поверки с помощью термогигрометра в соответствии с таблицей 3 настоящей методики поверки.

9.2 Пикнометр готовят к работе в соответствии с РЭ. Средства поверки готовят к работе в соответствии с эксплуатационной документацией.

9.3 При необходимости проводят калибровку пикнометра в соответствии с РЭ.

9.4 Определяют действительные значения объемов цилиндров методом гидростатического взвешивания по приложению А настоящей методики поверки.

## 10 Проверка программного обеспечения средства измерений

10.1 Проводят проверку идентификационных данных встроенного программного обеспечения (далее – ПО) пикнометра: на главном экране выбирают «Settings» пункт меню «About». Наименование и номер версии ПО пикнометра должны соответствовать требованиям, приведенным в таблице 4.

Таблица 4 – Идентификационные данные встроенного ПО

Идентификационные данные (признаки)	Значение
Идентификационное наименование ПО	GUIsample
Номер версии (идентификационный номер) ПО, не ниже	00.11.4030.06
Цифровой идентификатор ПО	-

10.2 Проводят проверку идентификационных данных внешнего ПО пикнометра: на главном экране выбирают «Help(H)» пункт меню «About Report(A)». Наименование и номер версии ПО пикнометра должны соответствовать требованиям, приведенным в таблице 5.

Таблица 5 – Идентификационные данные внешнего ПО

Идентификационные данные (признаки)	Значение
Идентификационное наименование ПО	Report
Номер версии (идентификационный номер) ПО, не ниже	1.0
Цифровой идентификатор ПО	-

## 11 Определение метрологических характеристик средства измерений

11.1 Определение абсолютной погрешности измерений объема

11.1.1 Определение абсолютной погрешности измерений объема проводят с помощью калибровочных цилиндров (далее – цилиндры) из нержавеющей стали, входящих в комплект поставки пикнометра.

11.1.2 Проводят пять измерений пустой измерительной ячейки в пикнометре, при этом в ПО пикнометра вводят значение массы, равное 1.

11.1.3 В ПО пикнометра вводят значение массы соответствующего цилиндра, установленное по приложению А настоящей методики поверки. Цилиндры помещают в измерительную ячейку, проводят измерения объема цилиндров на пикнометре:

– для измерительной ячейки  $3,5 \text{ см}^3$  проводят пять измерений объема с помощью цилиндра номинальным объемом  $2,91 \text{ см}^3$ ;

– для измерительной ячейки  $10 \text{ см}^3$  проводят пять измерений объема с помощью цилиндра номинальным объемом  $7,13 \text{ см}^3$ ;

– для измерительной ячейки  $35 \text{ см}^3$  проводят пять измерений объема с помощью цилиндра номинальным объемом  $25,56 \text{ см}^3$ ;

– для измерительной ячейки  $100 \text{ см}^3$  проводят пять измерений объема с помощью цилиндра номинальным объемом  $76,94 \text{ см}^3$ .

## 11.2 Проверка верхнего предела измерений объема

11.2.1 Проверка верхнего предела измерений объема проводится одновременно с определением абсолютной погрешности измерений объема по 11.1.

11.3 Проверка верхнего предела измерений плотности и определение абсолютной погрешности измерений плотности

11.3.1 Вводят значения массы цилиндров, полученные при определении массы цилиндров в воздухе в соответствии с п.А.5 Приложения А, в ПО пикнометра. Проводят измерения плотности цилиндров на пикнометре:

- для измерительной ячейки 3,5 см<sup>3</sup> проводят пять измерений плотности с помощью цилиндра номинальным объемом 2,91 см<sup>3</sup>;
- для измерительной ячейки 10 см<sup>3</sup> проводят пять измерений плотности с помощью цилиндра номинальным объемом 7,13 см<sup>3</sup>;
- для измерительной ячейки 35 см<sup>3</sup> проводят пять измерений плотности с помощью цилиндра номинальным объемом 25,56 см<sup>3</sup>;
- для измерительной ячейки 100 см<sup>3</sup> проводят пять измерений плотности с помощью цилиндра номинальным объемом 76,94 см<sup>3</sup>.

## 12 Подтверждение соответствия средства измерений метрологическим требованиям

12.1 Полученные результаты измерений объема цилиндров при температуре  $t$  по п. 11.1.3 настоящей методики поверки приводят к температуре 20 °С по формуле

$$V_{ij} = V'_{ij} \cdot [1 - \gamma \cdot (t_p - 20)], \quad (1)$$

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

$t_p$  – температура, отображаемая в ПО пикнометра, °С;

$\gamma$  – коэффициент объемного расширения цилиндра (для нержавеющей стали  $\gamma = 30,6 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ).

12.2 Для каждой измерительной ячейки рассчитывают абсолютную погрешность измерений объема,  $\Delta V_i$ , см<sup>3</sup>, по формуле

$$\Delta V_i = \frac{\frac{t \cdot S_{Vi}}{\sqrt{5}} + (|\bar{V}_i - V_{Si}|)}{\left[ \frac{S_{Vi}}{\sqrt{5}} + \frac{(|\bar{V}_i - V_{Si}| + |\Delta V_{Si}|)}{\sqrt{3}} \right]} \cdot \sqrt{\frac{|\Delta V_{Si}|^2 + |\bar{V}_i - V_{Si}|^2 + |\Delta V_{0i}|^2}{3} + \frac{S_{Vi}^2}{5}}, \quad (2)$$

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

$\Delta V_{Si}$  – абсолютная погрешность измерений объема  $i$ -го цилиндра, установленная в соответствии с приложением А настоящей методики поверки, см<sup>3</sup>;

$t$  – коэффициент Стьюдента, который зависит от доверительной вероятности  $P$  и количества результатов измерений  $n$ , при  $n=5$  и  $P=0,95$  коэффициент Стьюдента  $t=2,78$ ;

$\Delta V_{0i}$  – абсолютная погрешность измерений объема  $i$ -ой пустой измерительной ячейки пикнометра, см<sup>3</sup>, рассчитанная по формуле

$$\Delta V_{0i} = \frac{V_{0ij}}{n}, \quad (3)$$

где  $V_{0ij}$  –  $j$ -ый результат измерений объема  $i$ -ой пустой измерительной ячейки, см<sup>3</sup>;

$S_{Vi}$  – СКО результата измерений объема  $i$ -ого цилиндра на пикнометре, см<sup>3</sup>, вычисляемое по формуле

$$S_{Vi} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^5 (V_{ij} - \bar{V}_i)^2}{n-1}}, \quad (4)$$

где  $\bar{V}_i$  – среднее арифметическое значение результатов измерений объема  $i$ -ого цилиндра на пикнометре,  $\text{см}^3$ ;

$V_{ij}$  –  $j$ -ый результат измерений объема  $i$ -ого цилиндра на пикнометре,  $\text{см}^3$ ;

$j = 1, \dots, n$ , где  $n$  – количество измерений.

12.3 Полученные значения абсолютной погрешности измерений объема должны удовлетворять требованиям таблицы 1.

12.4 За верхний предел измерений объема принимают номинальный объем измерительной ячейки, если полученные значения абсолютной погрешности измерений объема соответствуют требованиям, приведенным в таблице 1.

12.5 Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений плотности рассчитывают по формуле

$$\Delta_{\rho i} = \pm \bar{\rho}_i \cdot \left( \frac{\Delta_{Vi}}{\bar{V}_{ij}} + \frac{\Delta m}{m_{1i}} \right), \quad (5)$$

где  $\Delta m$  – предел допускаемой абсолютной погрешности взвешивания, равный погрешности используемых весов, г;

$\bar{\rho}_i$  – среднее значение результатов измерений плотности  $i$ -ого цилиндра пикнометром,  $\text{г}/\text{см}^3$ , рассчитанное по формуле

$$\bar{\rho}_i = \frac{\sum_{j=1}^5 \rho_{ij}}{5} \quad (6)$$

где  $\rho_{ij}$  –  $j$ -ый результат измерений плотности  $i$ -ого цилиндра пикнометром,  $\text{г}/\text{см}^3$ .

12.6 Абсолютную погрешность результатов измерений плотности  $\Delta'_{\rho i}$ ,  $\text{г}/\text{см}^3$ , рассчитывают по формуле

$$\Delta'_{\rho i} = \bar{\rho}_i - \frac{m_{1i}}{V_{Si}}, \quad (7)$$

где  $m_{1i}$  – масса  $i$ -ого цилиндра в воздухе, рассчитанная по приложению А настоящей методики поверки, г.

*Примечание* –  $1 \text{ г}/\text{см}^3 = 1000 \text{ кг}/\text{м}^3$

12.7 Полученные значения абсолютной погрешности измерений плотности должны находиться в пределах абсолютной погрешности измерений плотности, рассчитанных по п. 12.5 настоящей методики поверки.

12.8 За верхний предел измерений плотности принимают значение, указанное в таблице 1, если выполняются условия по п. 12.7 настоящей методики поверки.

### 13 Оформление результатов поверки

13.1 Результаты поверки оформляются протоколом в произвольной форме.

13.2 При положительных результатах поверки пикнометр признают пригодным к применению.

13.3 Нанесение знака поверки на пикнометры не предусмотрено. Пломбирование пикнометров не предусмотрено.

13.4 При отрицательных результатах поверки пикнометр признают непригодным к применению.

13.5 По заявлению владельца средства измерений или лица, представившего его на поверку, аккредитованное на поверку лицо, проводившее поверку, в случае положительных результатов поверки выдает свидетельство о поверке, оформленное в соответствии с

требованиями к содержанию свидетельства о поверке, утвержденными действующими на момент проведения поверки нормативно-правовыми актами в области обеспечения единства измерений или в случае отрицательных результатов поверки выдает извещение о непригодности к применению средства измерений.

13.6 Сведения о результатах поверки передают в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений в соответствии с установленным порядком. В сведениях о результатах поверки приводят данные о составе пикнометра и об объеме проведенной поверки.

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



**Е.В. Вострокнутова**

**ПРИЛОЖЕНИЕ А**  
**(обязательное)**

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЕЙСТВИТЕЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ОБЪЕМА КАЛИБРОВОЧНЫХ ЦИЛИНДРОВ МЕТОДОМ ГИДРОСТАТИЧЕСКОГО ВЗВЕШИВАНИЯ**

А.1 Перед измерением цилиндры выдерживают в термостате при температуре  $(20 \pm 0,5)$  °С не менее 1 часа. Воду дистиллированную по ГОСТ Р 58144-2018 или для лабораторного анализа по ГОСТ Р 52501-2005 (далее – вода) выдерживают в термостате при температуре  $(20 \pm 0,5)$  °С не менее 1 часа.

А.2 Определение действительных значений объема цилиндров проводят с помощью гирь и компаратора массы, который позволяет реализовать гидростатическое взвешивание, по п. 6 настоящей методики поверки. Общие виды схем для реализации гидростатического взвешивания представлены в приложении Б.

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

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

А.5 Определяют массу цилиндров в воздухе сличением при помощи компаратора и гирь. Для этого в начале набор эталонных гирь с номинальным значением массы, близкой к номинальному значению массы цилиндра 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 цилиндр и после успокоения показаний компаратора записывают массу  $m_c$ . После этого снимают цилиндр и снова устанавливают набор эталонных гирь и после успокоения показаний компаратора записывают массу  $m_{г2}$ .

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

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

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 протоколе поверки),  $j = 1, \dots, n$ , где  $n$  – 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  $i$ -ым цилиндром, г.

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

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

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

$$\rho_{2Н} = a_5 \cdot \left[ 1 - \frac{(t_{2Н} + a_1)^2 \cdot (t_{2Н} + a_2)}{a_3 \cdot (t_{2Н} + a_4)} \right], \quad (A.2)$$

$$\rho_{2К} = a_5 \cdot \left[ 1 - \frac{(t_{2К} + a_1)^2 \cdot (t_{2К} + a_2)}{a_3 \cdot (t_{2К} + a_4)} \right], \quad (A.3)$$

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;

$a_5 = 0,999974950$  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:

$$\rho_{1Н} = \frac{k_1 \cdot P_H + \varphi_H \cdot (k_2 \cdot t_{1Н} + k_3)}{t_{1Н} + 273,15} \quad (A.4)$$

$$\rho_{1К} = \frac{k_1 \cdot P_K + \varphi_K \cdot (k_2 \cdot t_{1К} + k_3)}{t_{1К} + 273,15} \quad (A.5)$$

где  $t_{1Н}$  – температура воздуха в начале измерений, °С;

$t_{1К}$  – температура воздуха в конце измерений, °С;

$P_H$  – атмосферное давление воздуха в начале измерений, гПа;

$P_K$  – атмосферное давление воздуха в конце измерений, гПа;

$\varphi_H$  – 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  $i$ -го цилиндра ( $V_{Si}$ , см<sup>3</sup>) по формуле

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

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

$$\bar{\rho}_2 = \frac{\rho_{2Н} + \rho_{2К}}{2}, \quad (A.7)$$

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

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

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

$$\bar{t}_2 = \frac{t_{2Н} + t_{2К}}{2} \quad (A.9)$$

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

$m_{1i}$  – массы  $i$ -го цилиндра в воздухе, г;  
 $m_{2i}$  – массы  $i$ -го цилиндра в воде, г;  
 $\gamma$  – коэффициент объемного расширения цилиндра (для нержавеющей стали  $\gamma=30,6 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ).

Результат измерения объема  $i$ -го цилиндра ( $V_{si}$ ,  $\text{см}^3$ ) записывают до четвертого десятичного знака.

A.11 Для каждого  $i$ -го цилиндра рассчитывают погрешность определения объема ( $\Delta V_{si}$ ,  $\text{см}^3$ ), связанную с погрешностью используемых гирь, с погрешностью определения плотности воздуха и плотности воды, с погрешностью определения температуры воды по формуле

$$\Delta V_{si} = \sqrt{(c_{mi} \cdot \Delta_{mi})^2 + (c_{p1} \cdot \Delta_{p1})^2 + (c_{p2} \cdot \Delta_{p2})^2 + (c_{t2} \cdot \Delta_{t2})^2}, \quad (\text{A.10})$$

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

$$c_{p1} = \frac{(m_{1i} - m_{2i}) \cdot (\gamma \cdot (\bar{t}_2 - 20) - 1) \cdot \left(\frac{\bar{\rho}_1}{\rho_r} - 1\right)}{(\bar{\rho}_2 - \bar{\rho}_1)^2} - \frac{(m_{1i} - m_{2i}) \cdot (\gamma \cdot (\bar{t}_2 - 20) - 1)}{\rho_r \cdot (\bar{\rho}_1 - \bar{\rho}_2)}, \quad (\text{A.12})$$

$$c_{p2} = \frac{(m_{1i} - m_{2i}) \cdot (\gamma \cdot (\bar{t}_2 - 20) - 1) \cdot \left(\frac{\bar{\rho}_1}{\rho_r} - 1\right)}{(\bar{\rho}_2 - \bar{\rho}_1)^2}, \quad (\text{A.13})$$

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

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

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

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

$S_m$  – среднее квадратическое отклонение показаний компаратора, г, (в случае если в метрологических характеристиках применяемых весов отсутствует среднее квадратическое отклонение результатов измерений массы, его рассчитывают из результатов десятикратного измерения массы используемого набора гирь);

$\rho_r$  – плотность гири, используемых при калибровке, предполагается равной  $8 \text{ г/см}^3$ ;  
 $\gamma$  – коэффициент объемного теплового расширения материала цилиндров, для нержавеющей стали равный  $30,6 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ;

$\bar{\rho}_2$  – плотность воды,  $\text{г/см}^3$ , вычисленная по формуле (A.7);

$\bar{\rho}_1$  – плотность воздуха,  $\text{г/см}^3$ , вычисленная по формуле (A.8);

$m_{1i}$  – массы  $i$ -го цилиндра в воздухе, г;

$m_{2i}$  – массы  $i$ -го цилиндра в воде, г;

$\Delta_{p1}$  и  $\Delta_{p2}$  – погрешности определения плотности в воздухе и воде соответственно, г/см<sup>3</sup>,

которые вычисляют по формулам:

$$\Delta_{p1} = \frac{\rho_{1н} - \rho_{1к}}{\sqrt{3}}, \quad (\text{A.16})$$

$$\Delta_{p2} = \frac{\rho_{2н} - \rho_{2к}}{\sqrt{3}}, \quad (\text{A.17})$$

где  $\rho_{1н}$  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>;

$\Delta_{t2}$  – погрешность измерений температуры воды, °С, вычисленная по формуле

$$\Delta_{t2} = \left| \frac{t_{2н} - t_{2к}}{\sqrt{3}} \right| + |\Delta t_2|, \quad (\text{A.18})$$

где  $t_{2н}$  и  $t_{2к}$  – температура воды в начале и в конце измерений соответственно, °С;

$\Delta t_2$  – погрешность термометра, используемого при измерении температуры воды, °С.

Допускаемая погрешность определения объема цилиндров не должна превышать 0,009 см<sup>3</sup>.

*Примечание: если в качестве компаратора массы применяют весы неавтоматического действия по ГОСТ OIML R 76-1 (далее – весы), то сначала делают калибровку весов с помощью гирь. Затем проводят измерения массы цилиндров в воздухе. Для этого выполняют тарирование, затем помещают цилиндр на чашку и после стабилизации фиксируют массу  $m_{1i}$ . Далее проводят измерения массы цилиндров в воде. Для этого выполняют тарирование, затем держатель с цилиндром 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 протоколе поверки, 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 в 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.

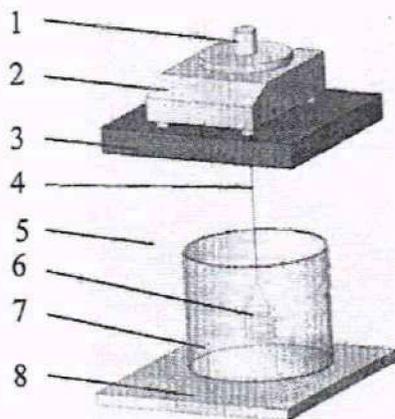


Рисунок Б.1 – Общий вид схемы для реализации гидростатического взвешивания  
1 – измеряемый цилиндр; 2 – компаратор массы (весы); 3 – столик с отверстием; 4 – леска (проволока); 5 – стена; 6 – держатель; 7 – емкость с водой; 8 – столик для емкости

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.

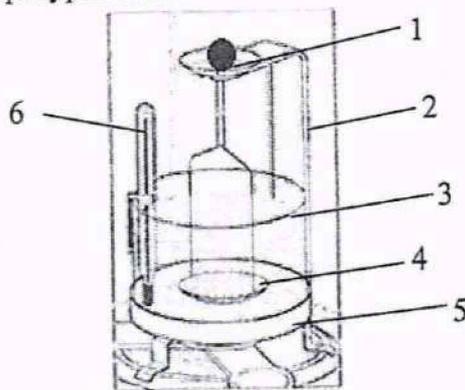


Рисунок Б.2 – Общий вид схемы для реализации гидростатического взвешивания  
1 – измеряемый цилиндр; 2 – кронштейн; 3 – емкость с водой; 4 – держатель;  
5 – подставка; 6 – термометр