

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
"25" 02 2022 г.

«ГСИ. Пикнометры газовые АссиРус. Методика поверки»

МП 16-251-2021

Екатеринбург

2022

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, Вострокнутова Е.В.
- 3 СОГЛАСОВАНА директором УНИИМ – филиала ФГУП «ВНИИМ им.Д.И.Менделеева» в 2022 г.

СОДЕРЖАНИЕ

1	ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ.....	4
2	НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ.....	4
3	ПЕРЕЧЕНЬ ОПЕРАЦИЙ ПОВЕРКИ.....	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.....	7
10	ПРОВЕРКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ.....	8
11	ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ.....	8
12	ПОДТВЕРЖДЕНИЕ СООТВЕТСТВИЯ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ МЕТРОЛОГИЧЕСКИМ ТРЕБОВАНИЯМ 9	9
13	ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОВЕРКИ.....	10
	ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	11
	ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	15

Дата введения в действие:

1 Общие положения

1.1 Настоящая методика поверки распространяется на пикнометры газовые АссуРус (далее – пикнометры), выпускаемые фирмой «Micromeritics, Ltd.», 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 Настоящая методика поверки применяется для поверки пикнометров, используемых в качестве рабочих средств измерений.

1.4 В результате поверки должны быть подтверждены следующие метрологические требования, приведенные в таблице 1.

Таблица 1

Наименование характеристики	Значение
Верхние пределы измерений объема, см ³	1, 10, 100
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений объема, см ³ :	
- для измерительной камеры 1 см ³	±0,03
- для измерительной камеры 10 см ³	±0,05
- для измерительной камеры 100 см ³	±0,15
Верхний предел измерений плотности, кг/м ³	22500
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений плотности, кг/м ³	$\pm \rho \cdot \left(\frac{\Delta V}{V} + \frac{\Delta m}{m} \right)^*$
* ρ – измеренное значение плотности сферы, кг/м ³ ; ΔV – абсолютная погрешность измерений объема, см ³ ; V – измеренный объем сферы, см ³ ; Δm – абсолютная погрешность измерений массы сферы, г; m – масса сферы, г.	

1.5 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 расчетный метод.

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 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»

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 свидетельств 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 Для поверки пикнометров должны быть выполнены операции, указанные в таблице 2.

Таблица 2

Наименование операции поверки	Обязательность проведения операций при поверке		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	да	да	10
Определение метрологических характеристик средства измерений	да	да	11

3.2 В случае невыполнения требований хотя бы к одной из операций проводится настройка пикнометра в соответствии с инструкцией по эксплуатации (далее – ИЭ). 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 проведение поверки в сокращенном объеме (для меньшего числа величин или для меньшего

числа измерительных камер). Данную информацию приводят в сведениях о поверке в Федеральном информационном фонде по обеспечению единства измерений.

3.4 На основании письменного заявления владельца пикнометра допускается проводить периодическую поверку 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 20 до 80

5 Требования к специалистам, осуществляющим поверку

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

6 Метрологические и технические требования к средствам поверки

6.1 При проведении поверки применяют оборудование согласно таблице 3.

Таблица 3

Операции поверки, требующие применение средств поверки	Метрологические и технические требования к средствам поверки, необходимые для проведения поверки	Перечень рекомендуемых средств поверки
Раздел 11 Определение метрологических характеристик средства измерений	Эталоны единицы массы, соответствующие требованиям к эталонам не ниже 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 500 г ¹	набор гирь (1 мг-500 г) E ₂ , 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
	Средства измерений температуры в диапазоне от +15 до +25 °С с абсолютной погрешностью не более ±0,1 °С	Термометр сопротивления платиновый выборочный эталонный ПТСВ-3-3, рег.№32777-06

	Сферы в соответствии с комплектом поставки пикнометра, номинальный объем сфер для измерительной камеры объемом 1 см ³ – 0,72 см ³ ; для измерительной камеры объемом 10 см ³ – 3,19 см ³ 92 шт.), для измерительной камеры объемом 100 см ³ – 51,09 см ³	-
	дистиллированная по ГОСТ Р 58144-2018 или для лабораторного анализа по ГОСТ Р 52501-2005	-
Раздел 9 Контроль условий поверки (при подготовке к поверке и опробовании средства измерений)	Средства измерений температуры окружающей среды от +15 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%	Термогигрометр ИВА-6А-КП-Д, рег.№46434-11
¹ допускается в качестве компаратора массы применять весы неавтоматического действия по ГОСТ OIMLR 76-1 I (специального) класса точности.		

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

6.3 Допускается использовать при поверке другие утвержденные и аттестованные эталоны единиц величин, средства измерений утвержденного типа и поверенные, удовлетворяющие метрологическим требованиям, указанным в таблице 3.

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 пикнометра сведениям, приведенным в описании типа;
- отсутствие видимых повреждений пикнометра;
- соответствие комплектности, указанной в РЭ;
- четкость обозначений и маркировки;
- наличие обозначения и заводского номера, четкость маркировки, а также отсутствие повреждений и дефектов, влияющих на работоспособность системы.

8.2 В случае если при внешнем осмотре пикнометра выявлены повреждения или дефекты способные оказать влияние на безопасность проведения поверки или результаты поверки, поверка может быть продолжена только после устранения этих повреждений или дефектов.

9 Подготовка к поверке и опробование средства измерений

9.1 Пикнометр готовят к работе в соответствии с ИЭ.

9.2 Проводят контроль условий поверки с помощью термогигрометра в соответствии с таблицей 3.

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

9.4 Проводят калибровку пикнометра согласно ИЭ при необходимости.

10 Проверка программного обеспечения средства измерений

10.1 Проводят проверку идентификационных данных программного обеспечения (далее - ПО) пикнометра сравнением с данными, приведенными в описании типа.

10.2 Номер версии встроенного ПО идентифицируется при запуске ПО путем вывода на экран. Пикнометр считается выдержавшим проверку встроенного ПО, если номер версии ПО не ниже 1.00.

10.3 Номер версии внешнего ПО идентифицируется в меню «Help» и должно соответствовать сведениям, приведенным в таблице 4.

Таблица 4

Идентификационные данные (признаки)	Значение для модели	
	Ассурис II /Ассурис II 1345/ Ассурис II ТЕС	Ассурис/Ассурис III
Идентификационное наименование ПО	Ассурис	Ассурис III
Номер версии (идентификационный номер) ПО	не ниже 4.00	не ниже 1.00
Цифровой идентификатор ПО	-	-

11 Определение метрологических характеристик средства измерений

11.1 Проверка абсолютной погрешности измерений объема

11.1.1 Проверку абсолютной погрешности измерений объема проводят с помощью калибровочных сфер (далее - сфер) из нержавеющей стали или карбида вольфрама, входящих в комплект поставки пикнометра.

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 модели пикнометров Ассурис II ТЕС устанавливают температуру 20 °С и выдерживают не менее 15 минут.

11.1.5 Сферы помещают в измерительную камеру, проводят измерения объема сфер на пикнометре:

- для измерительной камеры 1 см³ проводят пять измерений объема с помощью сферы номинальным объемом 0,72 см³;

- для измерительной камеры 10 см³ проводят пять измерений объема с помощью двух сфер номинальным объемом 3,19 см³;

- для измерительной камеры 100 см³ проводят пять измерений объема с помощью сферы номинальным объемом 51,09 см³.

Полученные результаты измерений объема сфер при температуре t приводят к температуре 20 °С по формуле¹

¹ Для моделей без термостатирующего блока.

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

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

γ - коэффициент объемного расширения сферы (для нержавеющей стали $\gamma=30,6 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, для карбида вольфрама $\gamma=4,5 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$).

11.1.6 Проверку абсолютной погрешности измерений объема допускается проводить для меньшего числа измерительных камер.

11.2 Проверка верхнего предела измерений объема

11.2.1 Проверка верхнего предела измерений объема проводится одновременно с проверкой абсолютной погрешности измерений объема.

11.3 Проверка верхнего предела измерений плотности и абсолютной погрешности измерений плотности

11.3.1 Вводят значение массы сфер, полученное при определении массы сфер в воздухе в соответствии п.А.5 Приложения А, в ПО пикнометра. Проводят измерения плотности сфер на пикнометре:

- для измерительной камеры 1 см^3 проводят пять измерений плотности с помощью сферы номинальным объемом $0,72 \text{ см}^3$;

- для измерительной камеры 10 см^3 проводят пять измерений плотности с помощью двух сфер номинальным объемом $3,19 \text{ см}^3$;

- для измерительной камеры 100 см^3 проводят пять измерений плотности с помощью сферы номинальным объемом $51,09 \text{ см}^3$.

11.3.2 Проверку абсолютной погрешности измерений плотности допускается проводить для меньшего числа измерительных камер.

12 Подтверждение соответствия средства измерений метрологическим требованиям

12.1 Для каждой измерительной камеры рассчитывают абсолютную погрешность измерений объема ΔV_i , см^3 , по формуле

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

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

ΔV_{Si} - абсолютная погрешность измерений объема i -ой сферы, установленная в соответствии с приложением А настоящей методики поверки, см^3 ;

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

S_{V_i} - СКО результата измерений объема i -ой сферы на пикнометре, см^3 , вычисляемое по формуле

$$S_{Vi} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (V_{ij} - \bar{V}_i)^2}{n-1}}, \quad (3)$$

\bar{V}_i - среднее арифметическое значение результатов измерений объема i -ой сферы на пикнометре, см³;

V_{ij} - j -ый результат измерения объема i -ой сферы на пикнометре, см³;

$j = 1, \dots, n$, n - количество измерений.

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

12.3 За верхний предел измерений объема принимают максимальный объем измерительной камеры, если полученные значения абсолютной погрешности измерений объема соответствуют требованиям, приведенным в таблице 1.

12.4 Абсолютную погрешность измерений плотности рассчитывают по формуле

$$\Delta_{\rho i} = \pm \rho \cdot \left(\frac{\Delta V}{V} + \frac{\Delta m}{m} \right), \quad (4)$$

где V - объем сферы или суммарный объем сферы, см³;

ρ - плотность сферы, г/см³;

Δm - предел допускаемой абсолютной погрешности взвешивания, г;

ΔV - предел допускаемой абсолютной погрешности измерения объема пикнометром, см³.

За верхний предел измерений плотности принимают значение, указанное в таблице 1.

12.5 Результат поверки признается положительным, в случае соответствия полученных метрологических характеристик требованиям таблицы 1. Результат поверки признается отрицательным, в случае несоответствия полученных значений метрологических характеристик требованиям таблицы 1.

13 Оформление результатов поверки

13.1 Результаты поверки оформляются протоколом в произвольной форме.


13.2 При положительных результатах поверки средство измерений признают пригодным к применению.

13.3 При отрицательных результатах поверки средство измерений признают непригодным к применению.

13.4 По заявке заказчика при положительных результатах поверки оформляется свидетельство о поверке, при отрицательных – извещение о непригодности.

13.5 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 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 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

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

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:

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

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

где t_{2H} - температура воды в начале измерений, °C;

t_{2K} - температура воды в конце измерений, °C;

$a_1 = -3,983035$ °C;

$a_2 = 301,797$ °C;

$a_3 = 522528,9$ (°C)²;

$a_4 = 69,34881$ °C;

$a_5 = 0,999974950$ г/см³.

Рассчитывают плотность воздуха в начале измерений (ρ_{1H} , г/см³) и плотность воздуха в конце измерений (ρ_{1K} , г/см³) по формулам:

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

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

где t_{1H} - температура воздуха в начале измерений, °C;

t_{1K} - температура воздуха в конце измерений, °C;

P_H - атмосферное давление воздуха в начале измерений, гПа;

P_K - атмосферное давление воздуха в конце измерений, гПа;

ϕ_H - относительная влажность воздуха в начале измерений, %;

ϕ_K - относительная влажность воздуха в конце измерений, %;

$k_1 = 3,4844 \cdot 10^{-4}$ °C/гПа;

$k_2 = -2,52 \cdot 10^{-6}$, г/см³;

$k_3 = 2,0582 \cdot 10^{-5}$ °C.

A.10 Рассчитывают действительный объем i -ой сферы (V_{Si} , см³) 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/см³, вычисленная по формуле

$$\bar{\rho}_2 = \frac{\rho_{2H} + \rho_{2K}}{2} \quad (\text{A.7})$$

$\bar{\rho}_1$ - плотность воздуха, г/см³, вычисленная по формуле

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

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

$$\bar{t}_2 = \frac{t_{2H} + t_{2K}}{2} \quad (\text{A.9})$$

$\rho_{\text{гирь}}$ - плотность гирь, используемых при калибровке, принимается равной 8 г/см³;

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

m_{2i} - массы i -ой сферы в воде, г;

γ - коэффициент объемного расширения сферы (для нержавеющей стали $\gamma=30,6 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, для карбида вольфрама $\gamma=4,5 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$).

Результат измерения объема i -ой сферы (V_{si} , см³) записывают до четвертого десятичного знака.

A.11 Для каждой i -ой сферы рассчитывают погрешность определения объема (ΔV_{si} , см³), связанную с погрешностью используемых гирь, с погрешностью определения плотности воздуха и плотности воды, с погрешностью определения температуры воды по формуле

$$\Delta V_{si} = \sqrt{(c_{mi} \cdot \Delta m_i)^2 + (c_{\rho 1} \cdot \Delta \rho_1)^2 + (c_{\rho 2} \cdot \Delta \rho_2)^2 + (c_{t2} \cdot \Delta t_2)^2}, \quad (\text{A.10})$$

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

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

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

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

Δm_i - погрешность i -го набора гирь, г, рассчитанная по формуле

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

$\Delta m_{гэij}$ - 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, 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);

ρ_r - плотность гирь, используемых при калибровке, предполагается равной 8 г/см³;

γ - 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/см³, вычисленная по формуле (A.7);

$\bar{\rho}_1$ - плотность воздуха, г/см³, 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/см³,

которые вычисляются по формулам:

$$\Delta \rho_1 = \frac{\rho_{1н} - \rho_{2к}}{\sqrt{3}}, \quad (\text{A.16})$$

$$\Delta \rho_2 = \frac{\rho_{2н} - \rho_{2к}}{\sqrt{3}}, \quad (\text{A.17})$$

$\rho_{1н}$ и $\rho_{1к}$ - плотность воздуха в начале и в конце измерений соответственно, вычисленные по формулам (A.4) и (A.5), г/см³;

$\rho_{2н}$ и $\rho_{2к}$ - плотность воды в начале и в конце измерений соответственно, вычисленные по формулам (А.2) и (А.3), г/см³;

Δt_2 - погрешность измерений температуры воды, °С, вычисленная по формуле

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

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

Δt_2 - погрешность термометра, используемого при измерении температуры воды, °С.

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 (А.10) расчета погрешности определения объема Δ_{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.

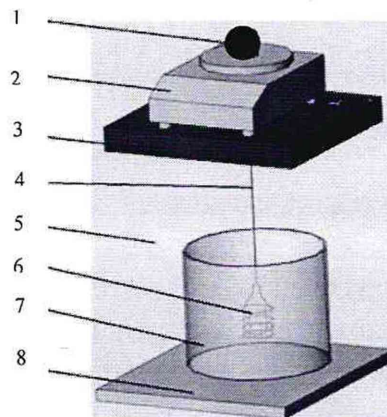


Рисунок Б.1 - Общий вид схемы для реализации гидростатического взвешивания
1 - измеряемая сфера; 2 - компаратор массы (весы); 3 - столик с отверстием; 4 - леска (проволока); 5 - стена; 6 - держатель; 7 - емкость с водой; 8 - столик для емкости

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.

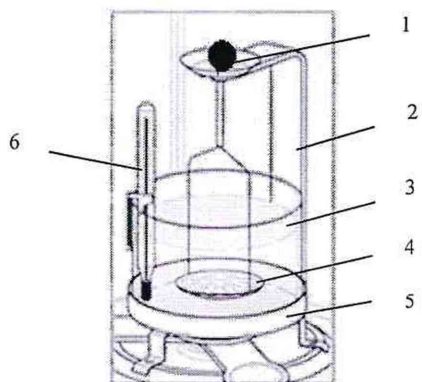


Рисунок Б.2 - Общий вид схемы для реализации гидростатического взвешивания
1 - измеряемая сфера; 2 - кронштейн; 3 - емкость с водой; 4 - держатель;
5 - подставка; 6 - термометр