

Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии
Федеральное государственное унитарное предприятие
«Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им.Д.И.Менделеева»
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.Н. Собина

2025 г.



**«ГСИ. Пикнометры газовые BetterPyc 380.
Методика поверки»**

МП 35-251-2024

**Екатеринбург
2025 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 младший научный сотрудник лаб. 251, Аронов И.П.
3. СОГЛАСОВАНА директором УНИИМ – филиала ФГУП «ВНИИМ им.Д.И.Менделеева» в 2025 г.

СОДЕРЖАНИЕ

1	Общие положения	4
2	Нормативные ссылки	4
3	Перечень операций поверки средства измерений.....	5
4	Требования к условиям проведения поверки	5
5	Требования к специалистам, осуществляющим поверку	5
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	7
11	Определение метрологических характеристик средства измерений и подтверждение соответствия средства измерений метрологическим требованиям.....	8
12	Оформление результатов поверки	10
	ПРИЛОЖЕНИЕ А	12

1 Общие положения

1.1 Настоящая методика поверки распространяется на пикнометры газовые BetterPус 380 (далее – пикнометры), выпускаемые фирмой «Dandong Bettersize Instruments Ltd», КНР. Пикнометры подлежат первичной и периодической поверке. Поверка пикнометров должна производиться в соответствии с требованиями настоящей методики.

1.2 При проведении поверки прослеживаемость пикнометров 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 поверенных весов, 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 ³	10; 35; 100
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений объема, см ³ :	
- для измерительного стакана 10 см ³	±0,025
- для измерительного стакана 35 см ³	±0,05
- для измерительного стакана 100 см ³	±0,10
Верхний предел измерений плотности, г/см ³	22,5
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений плотности, г/см ³	$\pm \rho \cdot \left(\frac{\Delta_V}{V} + \frac{\Delta_m}{m} \right)^{1)}$

¹⁾ ρ – измеренное значение плотности пробы, г/см³;

Δ_V – абсолютная погрешность измерений объема, см³;

V – измеренный объем пробы, см³;

Δ_m – абсолютная погрешность измерений массы, г;

m – масса пробы, г.

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 № 903н «Об утверждении Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок»;
- Приказ Росстандарта № 2603 от 01.11.2019 г. «Об утверждении Государственной поверочной схемы для средств измерений плотности»;
- Приказ Росстандарта № 1622 от 04.07.2022 г. «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 8.736-2011 «Государственная система обеспечения единства измерений. Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные

положения».

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 и подтверждение соответствия средства измерений метрологическим требованиям	да	да	11
Определение абсолютной погрешности измерений объема	да	да	11.1
Проверка верхнего предела измерений объема	да	да	11.3
Проверка верхнего предела измерений плотности и абсолютной погрешности измерений плотности	да	да	11.4
Оформление результатов поверки	да	да	12

3.2 В случае 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 периодической поверки для меньшего числа измерительных стаканов в соответствии с комплектностью (проверка в сокращенном объеме) с указанием в сведениях о поверке информации о составе пикнометра и 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 + 18 до + 25
- 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 РЭ 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 – Средства поверки

Операции поверки, требующие применения средств поверки	Метрологические и технические требования к средствам поверки, необходимые для проведения поверки	Перечень рекомендуемых средств поверки
п. 9 Подготовка к поверке и опробование средства измерений	Средства измерений температуры окружающей среды от +15 °C до +25 °C с абсолютной погрешностью не более ±0,5 °C и относительной влажности воздуха в диапазоне от 20 % до 80 % с абсолютной погрешностью не более ±3 % (далее – термогигрометр)	Термогигрометры ИВА-6А-КП-Д (рег. №46434-11)
п.11 Определение метрологических характеристик средства измерений	<p>Весы неавтоматического действия специального (I) класса точности по ГОСТ OIML R 76-1-2011 с поддонным крюком (далее – весы 1) с характеристиками:</p> <ul style="list-style-type: none"> - наименьший предел взвешивания 0,001 г; - наибольший предел взвешивания 220 г; - пределы допускаемой абсолютной погрешности взвешивания в диапазоне от 0,001 до 50 г ±0,005 г; <p>Весы неавтоматического действия специального (I) класса точности по ГОСТ OIML R 76-1-2011 с поддонным крюком (далее – весы 2) с характеристиками:</p> <ul style="list-style-type: none"> - наименьший предел взвешивания 0,1 г; - наибольший предел взвешивания 1100 г; - пределы допускаемой абсолютной погрешности взвешивания в диапазоне от 0,1 до 500 г ±0,01 г, в диапазоне от 0,1 до 1100 г ±0,02 г 	<p>Весы лабораторные электронные CPA225D «SARTORIUS» (рег. №37170-08)</p> <p>Весы электронные GX-1000 (рег. №20325-06)</p>
	Средства измерений атмосферного давления в диапазоне от 70 до 110 кПа с абсолютной погрешностью не более ±0,3 кПа	Термогигрометры ИВА-6А-КП-Д (рег. №46434-11)
	Средства измерений температуры в диапазоне от +15 °C до +25 °C с абсолютной погрешностью не более ±0,1 °C (далее – термометр)	<p>Термометр сопротивления платиновый ТСПВ-1.1, (рег. №50256-12);</p> <p>Измеритель температуры двухканальный прецизионный МИТ 2.05М (рег. №46432-11)</p>
	Жидкостный термостат с возможностью поддержания температуры воды в диапазоне от 19 °C до 21 °C (далее – термостат)	Термостат жидкостный низкотемпературный КРИО-BT-08
	Калибровочные сферы в соответствии с комплектом поставки пикнометра, номинальный объем двух калибровочных сферы для измерительного стакана номинальным объемом 10 см ³ – 3,2 см ³ (2 шт.); для измерительного стакана номинальным объемом 35 см ³ – 16,8 см ³ ; для измерительного стакана номинальным объемом 100 см ³ – 40 см ³	

Операции поверки, требующие применения средств поверки	Метрологические и технические требования к средствам поверки, необходимые для проведения поверки	Перечень рекомендуемых средств поверки
	кана номинальным объемом 100 см ³ – 51,0 см ³ .	
	Вода дистиллированная по ГОСТ Р 58144-2018 или для лабораторного анализа по ГОСТ Р 52501-2005 (далее – вода)	

6.2 Средства измерений должны быть утвержденного типа и поверены.

6.3 Допускается использовать при поверке другие средства измерений утвержденного типа, обеспечивающие определение метрологических характеристик поверяемого пикнометра с требуемой точностью.

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 № 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 руководстве по эксплуатации (далее – РЭ);
- 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 определение действительных значений объема калибровочных сфер методом гидростатического взвешивания по приложению А настоящей методики поверки.

9.2 Проводят контроль условий поверки с помощью термогигрометра в соответствии с п.6 настоящей методики поверки.

9.3 Перед проведением поверки пикнометр готовят к работе в соответствии с РЭ, проверяют работоспособность органов управления и регулировки пикнометра.

9.4 При включении пикнометра должны отсутствовать сообщения об ошибках.

10 Проверка программного обеспечения средства измерений

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

Таблица 4 – Идентификационные данные ПО

Идентификационные данные (признаки)	Значение
Идентификационное наименование ПО	EasyPyc
Номер версии (идентификационный номер) ПО	V 3.X*
Цифровой идентификатор ПО	-

*«X» не относится к метрологически значимой части ПО и принимает значения от 0 до 9

11 Определение метрологических характеристик средства измерений и подтверждение соответствия средства измерений метрологическим требованиям

Все действия с пикнометрами осуществляются только в соответствии с руководством по эксплуатации.

Условия окружающей среды при определении метрологических характеристик должны соответствовать указанным в п. 4 настоящей методики поверки.

11.1 Определение абсолютной погрешности измерений объема

11.1.1 Проверку абсолютной погрешности измерений объема проводят с помощью калибровочных сфер (далее – сфера) из карбида вольфрама, входящих в комплект поставки пикнометра. Действительные значения объема калибровочных сфер определяются предварительно методом гидростатического взвешивания по приложению А настоящей методики поверки.

11.1.2 Перед проведением измерений объема сфер на пикнометре их промывают дистиллированной водой, после чего высушивают в термостате не менее одного часа при температуре 50 °C, а затем охлаждают в течение двух часов.

В измерительную камеру пикнометра помещают измерительный стакан, устанавливают температуру 20 °C и выдерживают не менее 15 минут для термостабилизации.

Проводят калибровку пикнометра в соответствии с РЭ (при проведении калибровки пикнометра сферы также выдерживают в измерительной камере при температуре 20 °C не менее 15 минут).

11.1.3 Проводят пять измерений объема в пустом измерительном стакане пикнометра, при этом в ПО пикнометра значение массы должно быть равно единице.

11.1.4 В ПО пикнометра вводят среднее значение массы измеряемой сферы, рассчитанное как $m_{ij} = \frac{1}{5} \cdot \sum_{j=1}^5 m_{ij}$ (значения масс сфер определяют согласно п. А.5 настоящей методики поверки). Измеряемую сферу помещают в измерительный стакан, проводят измерения ее объема на пикнометре:

– в измерительном стакане номинальным объемом 10 см³ проводят пять измерений объема двух сфер номинальным объемом 3,2 см³ каждая;

– в измерительном стакане номинальным объемом 35 см³ проводят пять измерений объема сферы номинальным объемом 16,8 см³;

– в измерительном стакане номинальным объемом 100 см³ проводят пять измерений объема сферы номинальным объемом 51,0 см³.

Полученные результаты измерений объема сфер при температуре t приводят к температуре 20 °C по формуле

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

где V'_{ik} – k -ый результат измерения объема i -ой сферы на пикнометре при температуре, которая отображается на пикнометре, см³;

γ – коэффициент объемного расширения сферы (для карбида вольфрама $\gamma = 3,9 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$).

11.1.5 Для каждого измерительного стакана рассчитывают абсолютную погрешность измерений объема, см³, по формуле

$$\Delta_{Vi} = \frac{t \cdot S_{Vi} + \theta_{\Sigma Vi}}{S_{Vi} + \frac{\theta_{\Sigma Vi}}{1,1 \cdot \sqrt{3}}} \cdot \sqrt{\left(\frac{\theta_{\Sigma Vi}}{1,1 \cdot \sqrt{3}} \right)^2 + S_{Vi}^2}, \quad (2)$$

где 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_{Vi} - среднее квадратическое отклонение среднего арифметического результатов измерений объема i -ой сферы на пикнометре, см³, рассчитываемое по формуле (3);

$\theta_{\Sigma i}$ - неисключенная систематическая погрешность измерений объема i -ой сферы на пикнометре, см³, рассчитываемая по формуле (4).

$$S_{V_i} = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^5 (V_{ik} - \bar{V}_i)^2}{20}}, \quad (3)$$

где V_{ik} - k -ый результат измерения объема i -ой сферы на пикнометре, рассчитываемый по формуле (1), см³,

\bar{V}_i - среднее арифметическое значение результатов измерений объема i -ой сферы на пикнометре, рассчитываемое по формуле (6), см³;

$$\theta_{\Sigma i} = 1,1 \cdot \sqrt{\Delta_{V_0}^2 + \Delta_{V_s}^2 + (\bar{V}_i - V_s)^2}, \quad (4)$$

где Δ_{V_0} - погрешность измерений объема пустого измерительного стакана пикнометра, которая рассчитывается по формуле (5), см³;

Δ_{V_s} - погрешность действительного значения объема i -ой сферы, рассчитываемая по формуле (A.7) приложения А настоящей методики поверки (при проведении измерений объема двух сфер с номинальными объемами 3,2 см³ в формуле (4) вместо $\Delta_{V_s}^2$ используют сумму погрешностей действительных объемов этих сфер $\Delta_{V_{s1}}^2 + \Delta_{V_{s2}}^2$), см³;

V_s - действительное значение объема i -ой сферы, рассчитанное по формуле (A.6) приложения А настоящей методики поверки, см³

$$\Delta_{V_0} = \frac{\sum_{k=1}^5 V_{0k}}{5}, \quad (5)$$

где V_{0k} - k -ый результат измерений объема пустой камеры на пикнометре, см³

$$\bar{V}_i = \frac{\sum_{k=1}^5 V_{ik}}{5}. \quad (6)$$

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

11.2 Проверка верхнего предела измерений объема

11.2.1 Проверку верхнего предела измерений объема проводят одновременно с определением абсолютной погрешности измерений объема.

11.2.2 За верхний предел измерений объема принимают объем измерительного стакана, если полученные значения абсолютной погрешности измерений объема соответствуют требованиям, приведенным в таблице 1.

11.3 Проверка верхнего предела измерений плотности и абсолютной погрешности измерений плотности

11.3.1 Определение абсолютной погрешности измерений плотности и проверку верхнего предела измерений плотности проводят расчетным путем согласно ГОСТ Р 8.736-2011 «Государственная система обеспечения единства измерений. Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения».

11.3.2 Измерения плотности сфер проводят одновременно с измерением объема сфер по п. 11.1.4. Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений плотности рассчитывают по формуле

$$\Delta_{\rho i \max} = \pm \bar{\rho}_i \cdot \left(\frac{\Delta_{V_i}}{V_i} + \frac{\Delta m_i}{m_{1i}} \right), \quad (7)$$

где Δ_{V_i} - пределы допускаемой погрешности измерений объема на пикнометре согласно таблице 1 при измерении i -ой сферы, см^3 ;

\bar{V}_i – среднее арифметическое значение результатов измерений объема i -ой сферы на пикнометре, см^3 ;

Δm – погрешность взвешивания, равная пределу допускаемой абсолютной погрешности используемых при взвешивании i -ой сферы весов, г;

m_{1i} – масса i -ой сферы в воздухе, установленная по п. А.5 приложения А настоящей методики поверки, г.

$\bar{\rho}_i$ – среднее значение результатов измерений плотности i -ой сферы на пикнометре, г/см^3 , рассчитанное по формуле

$$\bar{\rho}_i = \frac{\sum_{j=1}^5 \rho_{ij}}{5}, \quad (8)$$

где ρ_{ij} – j -ый результат измерения плотности i -ой сферы на пикнометре, г/см^3 .

11.3.3 Абсолютную погрешность результатов измерений плотности рассчитывают по формуле

$$\Delta_{\rho i} = \bar{\rho}_i - \frac{m_{1i}}{V_{Si}} \quad (9)$$

11.3.5 Полученные значения абсолютной погрешности измерений плотности должны находиться в пределах абсолютной погрешности измерений плотности, рассчитанных по п. 11.3.2 настоящей методики поверки.

11.3.6 За верхний предел измерений плотности принимают значение, указанное в таблице 1, если выполняются условия по п. 11.3.5 настоящей методики поверки.

12 Оформление результатов поверки

12.1 Результаты поверки оформляются протоколом в произвольной форме.

12.2 При положительных результатах поверки пикнометр признают пригодным к применению.

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

12.4 При отрицательных результатах поверки пикнометр признают непригодным к применению.

12.5 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.

12.6 Сведения о результатах поверки передают в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений в соответствии с установленным порядком. В сведениях о результатах поверки приводят информацию об объеме проведенной поверки.

Младший научный сотрудник лаб. 251 УНИИМ –
филиала ФГУП «ВНИИМ им.Д.И.Менделеева»

И.П. Аронов

ПРИЛОЖЕНИЕ А

(обязательное)

Определение действительных значений объёма калибровочных сфер методом гидростатического взвешивания

А.1 Действительные значения объемов сфер определяют методом гидростатического взвешивания с помощью весов 1, весов 2, термометра, термогигрометра и термостата с дистиллированной водой. Общий вид схемы для реализации гидростатического взвешивания представлен на рисунке А.1.

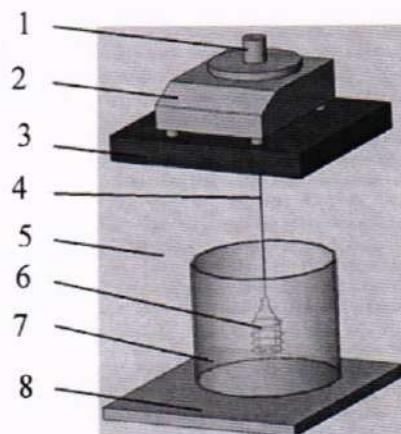


Рисунок А.1 – Общий вид схемы для реализации гидростатического взвешивания

1 – измеряемая сфера; 2 – весы; 3 – стол с отверстием; 4 – леска (проволока); 5 – стена; 6 – держатель; 7 – термостат с дистиллированной водой; 8 – столик для емкости

А.2 Перед измерением сферы выдерживают при температуре $(20 \pm 0,5)^\circ\text{C}$ не менее 1 часа. Воду выдерживают в термостате при температуре $(20 \pm 0,5)^\circ\text{C}$ не менее 1 часа.

А.3 Подготавливают весы 1 (для сфер массой до 220 г) или весы 2 (для сфер массой от 220 до 1100 г) к измерениям соответствии с их эксплуатационной документацией. Обнуляют показания весов. После этого к поддонному крюку весов присоединяют леску с держателем и аккуратно опускают держатель в воду. Отключают термостат и ожидают стабильных показаний весов, после чего обнуляют показания весов.

А.4 С помощью термогигрометра и термометра регистрируют начальные значения внешних условий: температуры воздуха ($t_{возд1}, {}^\circ\text{C}$), относительной влажности воздуха ($\varphi_1, \%$), атмосферного давления воздуха ($P_1, \text{ гПа}$) и температуры воды в термостате ($t_{вод1}, {}^\circ\text{C}$).

А.5 Определяют массу сфер в воздухе m_{1i} . Для этого предварительно ставят на платформу весов подставку небольшой массы, служащую для предотвращения скатывания сфер с платформы весов. Далее обнуляют показания весов и ставят на подставку измеряемую сферу. Ожидают стабильных показаний весов, после чего записывают показания весов. Убирают сферу с подставки и обнуляют показания весов. Таким образом проводят измерения массы сферы в воздухе еще четыре раза. Аналогично проводят измерения массы в воздухе остальных сфер.

А.6 Убирают подставку с платформы весов, включают термостат, ожидают достижения температуры воды в термостате $(20 \pm 0,5)^\circ\text{C}$, после чего выдерживают воду в нем при уставившейся стабильной температуре не менее 5 минут. Отключают термостат, ставят на платформу весов подставку и ожидают стабильных показаний весов, после чего обнуляют показания весов.

А.7 Определяют массу сфер в воде m_{2i} . Для этого достают держатель из термостата, не допуская разбрзгивания и потерь воды, и помещают туда измеряемую сферу. Держатель со сферой аккуратно погружают в емкость с водой (необходимо обеспечить, чтобы на сфере и держателе отсутствовали пузырьки воздуха). Ожидают стабильных показаний весов, после чего записывают показания весов. Извлекают из воды держатель со сферой, вынимают сферу из

держателя, после чего опускают держатель обратно в воду. Ожидают стабильных показаний весов, после чего обнуляют показания весов. Таким образом проводят измерения массы сферы в воде еще четыре раза. После этого включают термостат, ожидают достижения температуры воды в термостате $(20 \pm 0,5)^\circ\text{C}$, после чего выдерживают воду в нем при установившейся стабильной температуре не менее 5 минут. Далее аналогично проводят измерения массы в воде остальных сфер.

A.8 В конце измерений с помощью термогигрометра и термометра регистрируют конечные значения внешних условий: температуры воздуха ($t_{возд2}$, $^\circ\text{C}$), относительной влажности воздуха (φ_2 , %), атмосферного давления воздуха (P_2 , гПа), температуры воды ($t_{вод2}$, $^\circ\text{C}$).

A.9 Рассчитывают плотность воды в начале измерений ($\rho_{вод1}$, г/см³) и плотность воды в конце измерений ($\rho_{вод2}$, г/см³) по формулам:

$$\rho_{вод1} = a_5 \cdot \left(1 - \frac{(t_{вод1} + a_1)^2 \cdot (t_{вод1} + a_2)}{a_3 \cdot (t_{вод1} + a_4)} \right), \quad (\text{A.1})$$

$$\rho_{вод2} = a_5 \cdot \left(1 - \frac{(t_{вод2} + a_1)^2 \cdot (t_{вод2} + a_2)}{a_3 \cdot (t_{вод2} + a_4)} \right), \quad (\text{A.2})$$

где $t_{вод1}$ – температура воды в начале измерений, $^\circ\text{C}$;

$t_{вод2}$ – температура воды в конце измерений, $^\circ\text{C}$;

$a_1 = -3,983035$ $^\circ\text{C}$;

$a_2 = 301,797$ $^\circ\text{C}$;

$a_3 = 522528,9$ ($^\circ\text{C}$)²;

$a_4 = 69,34881$ $^\circ\text{C}$;

$a_5 = 0,999974950$ г/см³.

Рассчитывают плотность воздуха в начале измерений ($\rho_{возд1}$, г/см³) и плотность воздуха в конце измерений ($\rho_{возд2}$, г/см³) по формулам:

$$\rho_{возд1} = \frac{k_1 \cdot P_1 + \varphi_1 \cdot (k_2 \cdot t_{возд1} + k_3)}{t_{возд1} + 273,15}, \quad (\text{A.3})$$

$$\rho_{возд2} = \frac{k_1 \cdot P_2 + \varphi_2 \cdot (k_2 \cdot t_{возд2} + k_3)}{t_{возд2} + 273,15}, \quad (\text{A.4})$$

где $t_{возд1}$ – температура воздуха в начале измерений, $^\circ\text{C}$;

$t_{возд2}$ – температура воздуха в конце измерений, $^\circ\text{C}$;

P_1 – атмосферное давление воздуха в начале измерений, гПа;

P_2 – атмосферное давление воздуха в конце измерений, гПа;

φ_1 – относительная влажность воздуха в начале измерений, %;

φ_2 – относительная влажность воздуха в конце измерений, %;

$k_1 = 3,4844 \cdot 10^{-4}$ $^\circ\text{C}/\text{гПа}$;

$k_2 = -2,52 \cdot 10^{-6}$, г/см³;

$k_3 = 2,0582 \cdot 10^{-5}$ $^\circ\text{C}$.

A.10 Рассчитывают действительное значение объема i -ой сферы при j -ом измерении (V_{sij} , см³) по формуле

$$V_{sij} = \frac{m_{1ij} - m_{2ij}}{\rho_{вод} - \rho_{возд}} \cdot \left[1 - \gamma \cdot (\bar{t}_{вод} - 20) \right], \quad (\text{A.5})$$

где m_{1ij} – массы i -ой сферы при j -ом измерении в воздухе, г;

m_{2ij} – массы i -ой сферы при j -ом измерении в воде, г;

$\bar{\rho}_{вод} = \frac{\rho_{вод1} + \rho_{вод2}}{2}$ – средняя плотность воды, г/см³;

$\bar{\rho}_{возд} = \frac{\rho_{возд1} + \rho_{возд2}}{2}$ – средняя плотность воздуха, г/см³;

$$\bar{t}_{\text{вод}} = \frac{t_{\text{вод1}} + t_{\text{вод2}}}{2} - \text{средняя температура воды, } ^\circ\text{C.}$$

γ – коэффициент объемного расширения сферы (для карбида вольфрама $\gamma = 3,9 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$).

Рассчитывают действительное значение объема i -ой сферы (V_{si} , см³) по формуле

$$V_{si} = \frac{1}{5} \cdot \sum_{j=1}^5 V_{sij}. \quad (\text{A.6})$$

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

А.11 Для каждой i -ой сферы рассчитывают погрешность действительного значения объема (Δ_{Vsi} , см³), связанную с погрешностью используемых весов, с погрешностью определения плотности воздуха и плотности воды, с погрешностью определения температуры воды по формуле

$$\Delta_{Vsi} = \frac{t \cdot S_{Vsi} + \theta_{\Sigma i}}{S_{Vsi} + \frac{\theta_{\Sigma i}}{1,1 \cdot \sqrt{3}}} \cdot \sqrt{\left(\frac{\theta_{\Sigma i}}{1,1 \cdot \sqrt{3}} \right)^2 + S_{Vsi}^2}, \quad (\text{A.7})$$

где 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_{Vsi} – среднее квадратическое отклонение среднего арифметического результатов измерений объема каждой i -ой сферы, см³, рассчитываемое по формуле (8);

$\theta_{\Sigma i}$ – неисключенная систематическая погрешность измерений объема i -ой сферы, см³, рассчитываемая по формуле (A.9).

$$S_{Vsi} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^5 (V_{sij} - V_{si})^2}{20}}, \quad (\text{A.8})$$

$$\theta_{\Sigma i} = 1,1 \cdot \sqrt{c_{m1i}^2 \cdot \theta_{m1i}^2 + c_{m2i}^2 \cdot \theta_{m2i}^2 + c_{\rho_{возд}i}^2 \cdot \theta_{\rho_{возд}i}^2 + c_{\rho_{вод}i}^2 \cdot \theta_{\rho_{вод}i}^2 + c_{t_{вод}i}^2 \cdot \theta_{t_{вод}i}^2}, \quad (\text{A.9})$$

где c_{m1i} , c_{m2i} , $c_{\rho_{возд}i}$, $c_{\rho_{вод}i}$, $c_{t_{вод}i}$ – коэффициенты чувствительности для каждой входной величины из уравнения (A.5) при измерении i -ой сферы, рассчитываемые по формулам (A.10)-(A.14);

θ_{m1i} , θ_{m2i} – неисключенные систематические погрешности измерений массы i -ой сферы в воздухе и в воде, равные значениям пределов допускаемых погрешностей используемых весов согласно их описанию типа, г;

$\theta_{\rho_{возд}i}$ – неисключенная систематическая погрешность измерений плотности воздуха, рассчитываемая по формуле (A.15), г/см³;

$\theta_{\rho_{вод}i}$ – неисключенная систематическая погрешность измерений плотности воды, рассчитываемая по формуле (A.19), г/см³;

$\theta_{t_{вод}i}$ – неисключенная систематическая погрешность измерений температуры воды, рассчитываемая по формуле (A.21), °C.

$$c_{m1i} = \frac{(t - 20) \cdot \gamma - 1}{\rho_{возд} - \rho_{вод}}, \quad (\text{A.10})$$

$$c_{m2i} = \frac{(20 - t) \cdot \gamma + 1}{\rho_{возд} - \rho_{вод}}, \quad (\text{A.11})$$

$$c_{\rho_{возд}i} = \frac{-(m_{1i} - m_{2i}) \cdot ((t - 20) \cdot \gamma - 1)}{(\rho_{возд} - \rho_{вод})^2}, \quad (\text{A.12})$$

$$c_{\rho_{\text{вод}}i} = \frac{(m_{1i} - m_{2i}) \cdot ((t - 20) \cdot \gamma - 1)}{(\rho_{\text{вод}} - \rho_{\text{вод}})^2}, \quad (\text{A.13})$$

$$c_{t_{\text{вод}}i} = \frac{(m_{1i} - m_{2i}) \cdot \gamma}{\rho_{\text{вод}} - \rho_{\text{вод}}}, \quad (\text{A.14})$$

$$\theta_{\rho_{\text{вод}}} = \sqrt{(c_{t_{\text{вод}}} \cdot \Delta_{t_{\text{вод}}})^2 + (c_P \cdot \Delta_P)^2 + (c_\varphi \cdot \Delta_\varphi)^2 + \frac{(\rho_{\text{вод}1} - \rho_{\text{вод}2})^2}{3}}, \quad (\text{A.15})$$

где $\Delta_{t_{\text{вод}}}$ - погрешность измерений температуры воздуха, равная значению допускаемой погрешности используемого термометра согласно его описанию типа, °C;

Δ_P - погрешность измерений атмосферного давления, равная значению допускаемой погрешности используемого датчика давления согласно его описанию типа, кПа;

Δ_φ - погрешность измерений влажности воздуха, равная значению допускаемой погрешности используемого термогигрометра согласно его описанию типа, %;

$c_{t_{\text{вод}}}$, c_P , c_φ - коэффициенты чувствительности для каждой входной величины из уравнения для расчета плотности воздуха, рассчитываемые по формулам (A.16)-(A.18).

$$c_{t_{\text{вод}}} = \frac{273,15 \cdot \varphi \cdot k_2 - P \cdot k_1 - \varphi \cdot k_3}{(t_{\text{вод}} + 273,15)^2}, \quad (\text{A.16})$$

$$c_P = \frac{k_1}{t_{\text{вод}} + 273,15}, \quad (\text{A.17})$$

$$c_\varphi = \frac{k_3 + t_{\text{вод}} \cdot k_2}{t_{\text{вод}} + 273,15}, \quad (\text{A.18})$$

$$\theta_{\rho_{\text{вод}}} = \sqrt{(c_t \cdot \Delta_{t_{\text{вод}}})^2 + \frac{(\rho_{\text{вод}1} - \rho_{\text{вод}2})^2}{3}}, \quad (\text{A.19})$$

где $\Delta_{t_{\text{вод}}}$ - погрешность измерений температуры воды, равная значению допускаемой погрешности используемого термометра согласно его описанию типа, °C;

c_t - коэффициент чувствительности температуры воды из уравнения для расчета плотности воды, рассчитываемый по формуле (A.20).

$$c_t = \frac{-a_5 \cdot (2 \cdot t_{\text{вод}} + a_2 + 2 \cdot a_1 - a_4)}{a_3} - \frac{a_5 \cdot (a_4 - a_2) \cdot (a_4 - a_1)^2}{a_3 \cdot (t_{\text{вод}} + a_4)^2}, \quad (\text{A.20})$$

$$\theta_{t_{\text{вод}}} = \left| \Delta_{t_{\text{вод}}} \right| + \left| \frac{t_{\text{вод}1} - t_{\text{вод}2}}{\sqrt{3}} \right|. \quad (\text{A.21})$$

Допускаемая погрешность определения действительного значения объема $\Delta_{V_{\text{си}}}$ не должна превышать:

- 0,007 см³ для сфер с номинальным объемом 3,2 см³;

- 0,03 см³ для сферы с номинальным объемом 16,8 см³;

- 0,06 см³ для сферы с номинальным объемом 51,0 см³.