ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Государственная система обеспечения единства измерений

ТЕРМОМЕТРЫ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПЛАТИНОВЫЕ ЭТАЛОННЫЕ 1-го И 2-го РАЗРЯДОВ

Методика поверки

Издание официальное

БЗ 4—98/654

ГОССТАНДАРТ РОССИИ
Москва

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН Всероссийским научно-исследовательским институтом метрологии им. Д.И. Менделеева (ВНИИМ им. Д.И. Менделеева), Всероссийским научно-исследовательским институтом физико-технических и радиотехнических измерений (ВНИИФТРИ) и Всероссийским научно-исследовательским институтом метрологической службы (ВНИИМС) Госстандарта России с участием группы специалистов отраслей промышленности

ВНЕСЕН Подкомитетом ПК 6 «Эталоны и поверочные схемы в области температурных и теплофизических измерений» Технического комитета по стандартизации ТК 206 «Эталоны и поверочные схемы»

2 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Постановлением Госстандарта России от 22 декабря 1998 г. № 451

3 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

© ИПК Издательство стандартов, 1999

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Госстандарта России

к ГОСТ 8.568—99/ГОСТ Р 8.571—98 Государственная система измерений. Термометры сопротивления платиновые эталонные 1-го и 2-го разрядов. Методика поверки

В каком месте	Напечатано	Должно быть
Предисловие	Введен впервые	Взамен ГОСТ 8.427—81, ГОСТ 12877—76, МИ 717—85, МИ 1511—86

(ИУС № 12 2001 г.)

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Государственная система обеспечения единства измерений

ТЕРМОМЕТРЫ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПЛАТИНОВЫЕ ЭТАЛОННЫЕ 1-го И 2-го РАЗРЯДОВ

Методика поверки

State system for ensuring the uniformity of measurements.
Standard platinum resistance thermometers of the first and second grades. Methods of calibration

Дата введения 1999—07—01

1 Область применения

Настоящий стандарт распространяется на платиновые эталонные термометры сопротивления 1-го и 2-го разрядов, предназначенные для измерения температур от минус 259,35 до плюс 1084,62 °С (13,8—1358,77 К) (далее — термометры), и устанавливает методику их первичной и периодической поверок в соответствии с ГОСТ 8.558. Общие технические требования к термометрам установлены в ГОСТ Р 51233.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 8.028—86 ГСИ. Государственный первичный эталон и государственная поверочная схема для средств измерений электрического сопротивления

ГОСТ 8.558—93 ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерений температуры

ГОСТ 17435—72 Линейки чертежные. Технические условия

ГОСТ 18300—87 Спирт этиловый ректификованный технический. Технические условия

ГОСТ 23737—79 Меры электрического сопротивления. Общие технические условия

ГОСТ Р 51233—98 Термометры сопротивления платиновые эталонные 1-го и 2-го разрядов. Общие технические требования

3 Определения, обозначения и сокращения

Термометр — эталонный (образцовый) платиновый термометр сопротивления 1-го и 2-го разрядов.

Термометр типа ПТС — платиновый термометр сопротивления эталонный стержневой, предназначенный для измерения температуры от минус 196 до плюс 660,323 °С.

Термометр типа ВТС — высокотемпературный термометр сопротивления платиновый эталонный стержневой, предназначенный для измерения температуры от 419,527 до 1084,62 °С.

Термометр типа ТСПН — термометр сопротивления платиновый низкотемпературный капсульный, предназначенный для измерения температуры от минус 259,35 до плюс 100 °С.

Относительное сопротивление термометра при температуре *T* — отношение сопротивления термометра при температуре *T* к его сопротивлению в тройной точке воды.

Номинальное сопротивление термометра — сопротивление термометра при температуре 0 °С.

Измерительный ток — сила тока, протекающего через чувствительный элемент термометра при измерении температуры.

T — температура в кельвинах (К);

t — температура в градусах Цельсия (°С);

R_0 — номинальное сопротивление термометра;

R_t — сопротивление термометра в тройной точке воды;

R_p — сопротивление термометра в реперной точке;

W_p — относительное сопротивление термометра в реперной точке (р — символ химического элемента);

СКО — среднее квадратическое отклонение.

Издание официальное

4 Операции поверки

Поверка термометров включает в себя операции, указанные в таблице 1.

Таблица 1 — Операции поверки

Наименование операции	Пункт настоящего стандарта	Обязательность проведения поверок	
		первичной	периодической
1 Внешний осмотр и опробование	9.1	+	+
2 Проверка электрического сопротивления изоляции	9.2	+	—
3 Определение метрологических характеристик термометров			
3.1 Определение нестабильности	9.3, 9.4, 9.5	+	+
3.2 Определение относительного сопротивления	9.6	+	+
3.3 Определение градуировочной характеристики	9.7, 9.8	+	+
3.4 Определение доверительной погрешности	10	+	+
Примечание — «+» — поверка обязательна; «—» — поверка необязательна.			

5 Средства поверки

При поверке должны быть использованы средства измерений и вспомогательные средства, указанные в таблице 2.

Таблица 2 — Средства измерений и вспомогательные средства

Наименование средств измерений и вспомогательных средств	Нормативно-техническая характеристика	
1 Линейка	Длина шкалы 750 мм по ГОСТ 17435	
2 Ампула тройной точки воды	Длина внутреннего колодца 300—350 мм, диаметр 8—20 мм. Погрешность воспроизведения температуры фазового перехода не более ±0,0002 °С	
3 Печь для отжига	Внутренняя поверхность печи не должна содержать металлических частей. Рабочая температура 100—1100 °С. Абсолютная погрешность поддержания температуры ±2 °С. Градиент температуры в рабочем пространстве печи не более 5 °С/м	
4 Установки для реализации реперных точек МТШ-90 [1]:	Перепад температуры в рабочем пространстве печи на длине ампулы реперной точки, °С:	Абсолютная погрешность воспроизведения температуры фазового перехода, $°C \cdot 10^{-3}$:
4.1 Точка плавления галлия	0,05	±0,5
4.2 Точка затвердевания индия	0,1	±0,5
4.3 Точка затвердевания олова	0,2	±1
4.4 Точка затвердевания цинка	0,2	±2
4.5 Точка затвердевания алюминия	0,5	±2
4.6 Точка затвердевания меди	1,0	±5
5 Установка для реализации ванн ожиженных газов типа ВКГ	Диапазон температур минус 259 — минус 253 °С и минус 219 — минус 196 °С. Нестабильность температуры за время измерения не более 1 мК	
6 Установка типа УГТ для градуировки термометров	Рабочая температура минус 259 — плюс 30 °С. Нестабильность температуры за время измерения не более 1 мК	

Окончание таблицы 2

Наименование средств измерений и вспомогательных средств	Нормативно-техническая характеристика
7 Термометр — рабочий эталон типа ТСПН	Диапазон температур минус 259—0 °С по ГОСТ 8.558
8 Термометр — рабочий эталон типа ПТС	Диапазон температур минус 196—0 °С по ГОСТ 8.558
9 Термометр — рабочий эталон типа ТСПН	Диапазон температур 0—100 °С по ГОСТ 8.558
10 Пульт для измерения сопротивления термометров	Погрешность измерения сопротивления не более ±0,0005 %
11 Эталонная мера электрического сопротивления	Номинальное значение сопротивления: 0,1; 1; 10; 100 Ом — по ГОСТ 23737. Погрешность для 1-го разряда по ГОСТ 8.028. Мера электрического сопротивления должна быть термостатирована. Нестабильность поддержания температуры не должна приводить к изменению значения меры электрического сопротивления за время измерения более чем на 0,0002 %
12 Термометр для измерения температуры меры электрического сопротивления	Погрешность не более ±0,05 °С
13 Термостат нулевой ТН-12	Воспроизводимая температура 273 К, погрешность 0,03 К
14 Термометр для измерения температуры помещения	Погрешность не более ±0,2 °С
15 Мегомметр типа Е6-17	Диапазон измерений от 10 до $3 \cdot 10^{10}$ Ом
16 Гигрометр ВИТ-2	Погрешность не более ±(5—7) %
17 Бинокулярный микроскоп БМ-51-2	—
18 Цифровой мультиметр М-838	Погрешность в зависимости от измеряемой физической величины: ±(0,25—2,0) %
Примечание — Допускается использовать другие вновь разработанные или находящиеся в применении средства измерений, прошедшие поверку и удовлетворяющие требованиям настоящего стандарта.	

6 Условия поверки

При проведении поверки должны быть соблюдены следующие условия:

6.1 Пульт для измерения сопротивления термометров (далее — пульт) должен находиться в помещении при температуре воздуха (20±2,5) °С, относительной влажности воздуха не более 80 %, атмосферном давлении (101,3±10) кПа.

6.2 Измерительный ток для термометров различных типов должен соответствовать ГОСТ Р 51233.

6.3 В помещении, в котором проводят поверку, не должно быть дыма, пыли, вибрации.

7 Подготовка к поверке

Перед проведением поверки следует:

7.1 Проверить наличие всех средств измерений и вспомогательных средств, необходимых для поверки, согласно разделу 5 и нормативной документации, устанавливающей методику их эксплуатации.

7.2 Проверить соответствие условий поверки требованиям раздела 6.

7.3 Подготовить к работе средства измерений и вспомогательные средства согласно эксплуатационной документации на них.

7.4 Протереть погружаемые части термометров этиловым ректификованным техническим спиртом по ГОСТ 18300.

8 Требования безопасности

8.1 При оборудовании лабораторного помещения и проведении поверки в связи с применением жидких газов следует выполнять правила техники безопасности и производственной санитарии.

8.2 При работе с ожиженными газами необходимо пользоваться средствами индивидуальной защиты и соблюдать осторожность, так как попадание жидкости на незащищенные участки кожного покрова и слизистые оболочки приводит к тяжелым обморожениям и ожогам.

8.3 Помещение лаборатории должно быть оборудовано приточно-вытяжной вентиляцией.

8.4 Сосуды Дьюара, предназначенные для работы с жидкими газами, должны быть чистыми и сухими. Необходимо беречь сосуды Дьюара от попадания в них органических веществ.

8.5 Запрещается заливать ожиженные газы в сосуды Дьюара при отсутствии в них вакуума.

8.6 При работе с ампулами тройной точки воды (далее — ампулы) следует соблюдать особую осторожность. Работать с ампулами разрешается только в защитных очках.

8.7 В помещении, в котором проводят поверку, категорически запрещается курить, пользоваться огнем, хранить огнеопасные и горючие вещества и материалы.

8.8 Во время проведения поверки при высоких температурах термометр следует извлекать из печи медленно, соблюдая особую осторожность во избежание получения ожогов.

8.9 После извлечения термометра из печи запрещается трогать его руками и класть на легковоспламеняющуюся поверхность.

9 Проведение поверки

9.1 Внешний осмотр и опробование

9.1.1 При осмотре следует установить соответствие термометра требованиям, изложенным ниже.

Комплектность, упаковка, маркировка и габаритные размеры термометра должны соответствовать требованиям нормативной документации на термометры конкретных типов и ГОСТ Р 51233.

Оболочка термометра должна быть без повреждений. Витки платиновой спирали чувствительного элемента не должны быть деформированы и замкнуты.

Термометры в стеклянной оболочке проверяют с помощью бинокулярного микроскопа.

9.1.2 Электрические цепи термометра не должны быть нарушены. Опробование электрической схемы проводят с помощью цифрового мультиметра М-838.

Термометры, не удовлетворяющие требованиям, изложенным в 9.1.1, дальнейшим операциям поверки не подвергают.

9.2 Проверка электрического сопротивления изоляции термометров

Для термометров типов ПТС и ТСПН проверку проводят при температуре воздуха (20±5) °С и относительной влажности воздуха (60±15) %, типа ВТС — при температуре (1085±5) °С с помощью мегомметра при напряжении 100 В.

Электрическое сопротивление изоляции между выводами и корпусом термометров типов ПТС и ТСПН должно быть не менее $1 \cdot 10^8$ Ом, типа ВТС — $5 \cdot 10^6$ Ом. В противном случае термометр бракуют.

9.3 Определение нестабильности термометров типа ПТС, работающих в диапазоне температур 0—660,323 °С

9.3.1 *Определение нестабильности термометров типа ПТС при первичной поверке*

9.3.1.1 Измеряют сопротивление термометра в тройной точке воды $R_{т.н}$ по методике, изложенной в 9.7.8.

9.3.1.2 Проводят отжиг термометра, для этого выдерживают термометр в печи для отжига, предварительно нагретой до (660±5) °С, в течение 5 ч.

9.3.1.3 Измеряют сопротивление термометра в тройной точке воды $R_{т.к}$.

9.3.1.4 Рассчитывают значение расхождения между $R_{т.к}$ и $R_{т.н}$ в температурном эквиваленте по формуле

$$\Delta R_т = (R_{т.к} - R_{т.н})/(dR/dT)_т, \qquad (1)$$

где $\Delta R_т$ — расхождение между $R_{т.к}$ и $R_{т.н}$ в температурном эквиваленте, °С;

$R_{т.к}$ — сопротивление термометра в тройной точке воды после отжига, Ом;

$R_{т.н}$ — сопротивление термометра в тройной точке воды до отжига, Ом;

$(dR/dT)_т$ — чувствительность термометра при 0,01 °С, Ом/ °С.

Значения чувствительности термометров для различных значений номинального сопротивления указаны в таблице 3.

Таблица 3 — Значение чувствительности термометров в тройной точке воды

R_0, Ом	$(dR/dT)_т$, Ом/ °С	R_0, Ом	$(dR/dT)_т$, Ом/ °С
0,25	0,001	10	0,04
0,6	0,0024	25	0,10
1,0	0,004	50	0,2
5,0	0,02	100	0,4

9.3.1.5 Значение $\Delta R_т$ не должно превышать 0,002 °С для эталонных термометров 1-го разряда и 0,005 °С для эталонных термометров 2-го разряда. В противном случае повторяют отжиг по 9.3.1.2.

9.3.1.6 Общая продолжительность отжига во время определения нестабильности не должна превышать 60 ч. Если условия 9.3.1.5 по-прежнему не выполняются, то термометр бракуют или его разряд переводят в более низкий.

9.3.1.7 Если условия 9.3.1.5 выполняются, то повторяют определение нестабильности по 9.3.1.1—9.3.1.6 со следующими изменениями методики:

- температуру печи для отжига устанавливают на (10±2) °С выше верхнего предела применения термометра;
- общее время отжига не должно превышать 30 ч;
- условие нестабильности: $\Delta R_т$ не должно превышать 0,001 °С для термометров 1-го разряда и 0,002 °С для термометров 2-го разряда.

Примечание — Верхний предел применения термометра выбирают из ряда: 29,7646; 156,5985; 231,928; 419,527; 660,323 °С. Предел указывают в нормативной документации на термометр.

9.3.2 *Определение нестабильности термометров типа ПТС при периодической поверке*

9.3.2.1 Измеряют сопротивление термометра в тройной точке воды $R_{т.н}$ по методике, изложенной в 9.7.8.

9.3.2.2 Вычисляют разность между значением сопротивления в тройной точке воды $R_{т.п}$, приведенным в свидетельстве о предыдущей поверке, и $R_{т.н}$ в температурном эквиваленте по формуле (1).

Если разность превышает 0,001 °С для термометров 1-го разряда и 0,002 °С для термометров 2-го разряда, то определяют нестабильность по 9.3.1.7. Термометры, не удовлетворяющие требованиям нестабильности, бракуют или их разряд переводят в более низкий.

Примечание — Значения измерительного тока для всех термометров должны соответствовать значениям, приведенным в ГОСТ Р 51233.

9.4 Определение нестабильности термометров типа ВТС

9.4.1 Измеряют сопротивление термометра в тройной точке воды $R_{т.н}$ по методике, изложенной в 9.7.8.

9.4.2 Помещают термометр в печь для отжига, нагретую до температуры (600±10) °С. Нагревают печь с термометром до температуры (1085±10) °С, выдерживают термометр в печи при указанной температуре в течение 5 ч. Печь охлаждают до температуры (500±10) °С при скорости изменения температуры не более 100 °С/ч, а затем извлекают термометр из печи и охлаждают на воздухе до комнатной температуры.

9.4.3 Снова измеряют сопротивление термометра в тройной точке воды $R_{т.к}$ по методике, изложенной в 9.7.8.

9.4.4 Рассчитывают разность между двумя измеренными значениями $R_{т.к}$ и $R_{т.н}$ в температурном эквиваленте по формуле (1), используя значения чувствительности термометров, указанные в таблице 3.

9.4.5 Если $\Delta R_т$ в температурном эквиваленте превышает 0,002 °С для термометров 1-го разряда и 0,005 °С для термометров 2-го разряда, то отжиг по 9.4.2 повторяют.

9.4.6 Общее время выдержки в высокотемпературной печи не должно превышать 60 ч. Если условия 9.4.5 по-прежнему не выполняются, то термометр бракуют или его разряд переводят в более низкий.

9.5 Определение нестабильности термометров типа ТСПН в диапазоне температур 13,8—373 К и термометров типа ПТС в диапазоне температур 77—273,16 К осуществляют в процессе градуировки по 9.8. Обработка результатов измерений и проверка соответствия требованиям нестабильности — по 10.2.

9.6 Определение относительного сопротивления термометров

9.6.1 Относительное сопротивление термометра в точке плавления галлия W_{Ga} определяют при первичной поверке перед градуировкой термометра. Определяют значение сопротивления термометра в точке плавления галлия по методике, изложенной в 9.7.2—9.7.5. Определяют значение сопротивления термометра в тройной точке воды по методике, изложенной в 9.7.8. Рассчитывают относительное сопротивление W_{Ga} по формуле

$$W_{Ga} = R_{Ga}/R_{т}, \qquad (2)$$

где W_{Ga} — относительное сопротивление термометра в точке плавления галлия;

R_{Ga} — сопротивление термометра в точке плавления галлия, Ом;

$R_{т}$ — сопротивление термометра в тройной точке воды, Ом.

Значение относительного сопротивления термометра должно быть не менее значений, указанных в таблице 4.

Таблица 4 — Требования к относительным сопротивлениям W_{Ga}, W_{Hg}, W_{100}

Разряд термометра	Область применения	W_{Ga}, не менее	W_{Hg}, не менее	W_{100}, не менее
1	Выше 0 °С	1,11807	—	1,3925
2	Выше 0 °С	1,11795	—	1,3924
1	Ниже 0 °С	1,11807	0,844235	1,3925
2	Ниже 0 °С	1,11807	0,844235	1,3925

Примечание — Сопротивление термометров типа ТСПН в точке плавления галлия и в тройной точке воды измеряют, помещая термометры во влагозащитные гильзы.

9.6.2 В случае, когда точка плавления галлия входит в набор точек градуировки, определение W_{Ga} осуществляют во время проведения первого цикла градуировки (9.7).

9.6.3 В случае, когда в поверочной лаборатории невозможно реализовать точку плавления галлия, допускается заменить определение W_{Ga} на определение относительного сопротивления при температуре 100 °С W_{100}. Значение W_{100} определяют расчетным методом после проведения первого цикла градуировки (9.7, 9.8). Методика расчета должна быть приведена в нормативных документах на термометры конкретных типов. Значение относительного сопротивления W_{100} должно быть не менее значений, указанных в таблице 4.

9.6.4 Вместо проверки по 9.6.1 или 9.6.3 относительного сопротивления термометров, работающих при температурах ниже 0 °С, может быть проведена проверка относительного сопротивления термометра в тройной точке ртути W_{Hg}. Значение W_{Hg} должно быть не более указанного в таблице 4.

9.7 Определение градуировочной характеристики термометров типов ПТС и ВТС при температурах выше 0 °С

Градуировку термометров типов ПТС и ВТС в диапазонах температур выше 0 °С проводят в реперных точках.

9.7.1 Проводят три цикла измерений сопротивления термометра в реперных точках. После каждого измерения проверяют сопротивление в тройной точке воды. Последовательность реализации реперных точек — по таблице 5. Реперные точки обозначены символами соответствующих химических элементов, ттв — тройная точка воды.

Таблица 5 — Последовательность реализации реперных точек в цикле измерений при градуировке термометров для различных диапазонов температур

Диапазон температур, °С	Последовательность реализации реперных точек
0—29,7446	Ga, ттв
0—156,5985	ттв, In, ттв
0—231,928	In, ттв, Sn, ттв
0—419,527	Zn, ттв, Sn, ттв
0—660,323	Al, ттв, Zn, ттв, Sn, ттв
0—1084,62	Cu, ттв, Zn, ттв

9.7.2 Методика измерения сопротивления термометров в реперных точках металлов следующая. Термометр помещают в капсулу с металлом установки для реализации реперной точки после того, как зафиксировано начало фазового перехода. Через 15 мин начинают измерять сопротивление термометра.

9.7.3 Изменение значения сопротивления в температурном эквиваленте за 5 мин не должно превышать ±0,0005 °С, что является критерием достижения теплового равновесия термометра и металла. Если данное условие не выполняется, измерения повторяют до тех пор, пока не будет достигнуто тепловое равновесие.

9.7.4 Выполняют не менее пяти отсчетов сопротивления термометра на площадке фазового перехода, результаты фиксируют в специальном журнале поверки. За значение сопротивления в реперной точке принимают среднее арифметическое из результатов пяти отсчетов.

9.7.5 После окончания измерений сопротивления термометра во всех реперных точках, кроме реперных точек алюминия и меди, термометр извлекают из капсулы и охлаждают на воздухе до комнатной температуры.

9.7.6 После окончания измерений сопротивления термометра в реперных точках алюминия и меди термометр охлаждают в печи установки для реализации реперной точки со скоростью изменения температуры не более 100 °С/ч до температуры (500±10) °С, затем извлекают из этой печи и охлаждают на воздухе до комнатной температуры.

9.7.7 Если термометр необходимо быстро извлечь из печи для реализации реперных точек алюминия и меди после измерений его сопротивления, то термометр погружают в печь для отжига, предварительно нагретую до (600±20) °С, выдерживают в ней в течение 3—5 ч и охлаждают в этой печи со скоростью изменения температуры не более 100 °С/ч до температуры (500±10) °С, после чего извлекают из отжиговой печи на воздух.

9.7.8 Измерение сопротивления термометра в тройной точке воды должно быть проведено после каждого измерения его сопротивления в реперной точке металла. Методика измерения следующая.

Ампула тройной точки воды должна быть предварительно подготовлена к работе согласно эксплуатационной документации на данный прибор.

Термометр погружают в термостат со смесью льда и воды при температуре 0 °С и выдерживают там не менее 15 мин. Затем термометр извлекают из термостата, погружают в канал ампулы тройной точки воды и через 15 мин начинают измерения. За результат измерения сопротивления термометра принимают среднее арифметическое из результатов пяти отсчетов.

9.8 Градуировка термометров типов ТСПН и ПТС при температурах ниже 273,16 К

Градуировку термометров типов ТСПН и ПТС проводят методом сличения градуируемого термометра с рабочим эталоном вблизи температур реперных точек МТШ-90 [1].

Примечание — Допускается проводить градуировку термометров методом калибровки непосредственно в реперных точках МТШ-90 ниже 273,16 К.

9.8.1 Градуировка термометров типа ТСПН заключается в измерении их сопротивлений в тройной точке воды и в последующем измерении сопротивлений градуируемых термометров и рабочего эталона в семи температурных точках диапазона 13,8—273,16 К, реализуемых в установке для градуировки термометров. Одновременно с градуировкой определяют нестабильность термометров.

9.8.2 Градуировка термометров типов ПТС и ТСПН в интервале 77—273,16 К заключается в измерении их сопротивлений в тройной точке воды и в последующем одновременном измерении сопротивлений градуируемых термометров и рабочего эталона при температуре кипения азота ($T \approx 77$ К) при атмосферном давлении.

9.8.3 При градуировке и определении нестабильности термометров типа ТСПН выполняют измерения их сопротивлений и сопротивления рабочего эталона при следующих температурах:

в тройной точке воды;

при температуре:

T_1 = (83,8±0,5) К;

T_2 = (14±0,2) К;

T_3 = (17±0,2) К;

T_4 = (20±0,2) К;

T_5 = (24,5±0,2) К;

T_6 = (54±0,5) К;

T_7 = (234±0,5) К.

После первой серии измерений термометры отогревают до комнатной температуры и повторяют измерения при следующих температурах:

повторно при $T_2' = (14 \pm 0,2)$ К;

при $T_8 = (15 \pm 0,2)$ К;

повторно при $T_4' = (20 \pm 0,2)$ К;

при $T_9 = (35 \pm 1)$ К;

повторно в тройной точке воды.

Примечание — Температуры повторных измерений не должны отличаться от первоначальных более чем на 0,1 К.

9.8.4 При градуировке и определении нестабильности термометров типов ПТС и ТСПН для диапазона температур 77—273,16 К выполняют измерения их сопротивлений при следующих температурах:

в тройной точке воды;

при $T_1 = (77,5 \pm 0,5)$ К;

повторно в тройной точке воды.

9.8.5 При градуировке в тройной точке воды термометры погружают в ампулу так, чтобы чувствительный элемент отстоял от дна колодца ампулы на (10±2) мм. Термометры типа ТСПН до погружения в ампулу помещают во влагозащитную гильзу. Глубина погружения термометров должна быть не менее 300 мм. К измерениям приступают через 15 мин после погружения термометра в ампулу.

9.8.6 Для проведения градуировки термометров типа ТСПН в низкотемпературных точках в последовательности, соответствующей 9.8.3, их вместе с рабочим эталоном типа ТСПН помещают в блок сравнения установки типа УГТ для градуировки термометров и монтируют электроизмерительную схему согласно эксплуатационной документации на термометр и установку. Положение термометров и их монтаж не должны быть нарушены при проведении градуировки во всех низкотемпературных точках.

9.8.7 Измерение сопротивлений термометров в низкотемпературных точках проводят согласно методике, изложенной в эксплуатационной документации на установку типа УГТ для градуировки термометров.

9.8.8 Для проведения градуировки термометров типа ПТС при температуре кипения азота их вместе с рабочим эталоном (если градуируют термометры 1-го разряда) или с эталоном 1-го разряда (если градуируют термометры 2-го разряда) помещают в блок сравнения установки для реализации ванн ожиженных газов при атмосферном давлении. Измерение сопротивления термометров типа ПТС проводят в соответствии с эксплуатационной документацией на указанную установку.

9.8.9 В диапазоне температур 13,8—273,16 К при каждой градуировочной температуре выполняют не менее пяти отсчетов при измерении сопротивлений эталонного и поверяемого термометров. При измерениях с использованием приборов, не имеющих автоматического усреднения результатов при инверсии измерительного тока, каждое измерение должно включать в себя не менее пяти пар отсчетов сопротивления эталонного и поверяемого термометров при двух направлениях измерительного тока.

За результат измерения сопротивления эталонного и поверяемого термометров принимают среднее арифметическое из пяти отсчетов для каждой точки диапазона 13,8—273,16 К.

В тройной точке воды измеряют сопротивление только поверяемого термометра. Значение сопротивления определяют как среднее арифметическое из результатов пяти измерений сопротивления термометра (по два отсчета каждое измерение).

9.8.10 При градуировке термометров в диапазоне температур 77—273,16 К проводят не менее пяти измерений (по два отсчета каждое) в двух температурных точках — при температуре кипения азота и в тройной точке воды. Нестабильность температуры должна быть не более 1 мК за время каждого измерения. Дрейф температуры в точке 77 К при проведении пяти измерений должен быть не более 0,05 К.

Значения сопротивлений термометров рассчитывают как среднее арифметическое из результатов пяти измерений при каждой температуре.

9.8.11 Допускается градуировка термометров типа ТСПН до температуры 373,15 К, осуществляемая по методике поверки, изложенной в эксплуатационной документации на термометр данного типа.

10 Обработка результатов поверки. Определение доверительной погрешности термометров

10.1 Обработка результатов измерения сопротивления термометров типов ПТС и ВТС при температурах выше 0 °С

10.1.1 Рассчитывают доверительную погрешность результата измерения сопротивления термометра в тройной точке воды в температурном эквиваленте по формуле

$$\delta_т = t_q S_т; \tag{3}$$

$$\text{где } S_т = \sqrt{\Sigma (R_{тi} - R_т)^2 / n(n-1)} / (dR/dT)_т ; \tag{4}$$

$$\text{где } R_т = \Sigma R_{тi}/n, \tag{5}$$

где $\delta_т$ — доверительная погрешность среднего арифметического значения сопротивления термометра, измеренного в тройной точке воды в температурном эквиваленте;

t_q — коэффициент Стьюдента для доверительной вероятности 0,95 и числа степеней свободы $(n-1)$;

$S_т$ — среднее квадратическое отклонение (СКО) среднего арифметического значения сопротивления термометра в тройной точке воды в температурном эквиваленте;

$R_{тi}$ — результат i-го измерения сопротивления термометра в тройной точке воды (9.7), Ом;

$R_т$ — среднее арифметическое значение сопротивления термометра в тройной точке воды, Ом;

n — количество измерений сопротивления термометра в тройной точке воды за все циклы градуировки;

$(dR/dT)_т$ — чувствительность термометра при температуре тройной точки воды, указанная в таблице 3.

10.1.2 Рассчитывают относительное сопротивление термометра в каждой реперной точке по формуле

$$W_{рi} = R_{рi}/R_{тi}, \tag{6}$$

где $W_{рi}$ — относительное сопротивление термометра в реперной точке в i-м цикле измерений;

$R_{рi}$ — результат измерения сопротивления термометра в реперной точке в i-м цикле измерений (9.7), Ом;

$R_{тi}$ — результат измерения сопротивления термометра в тройной точке воды, проведенного после измерений в реперной точке в i-м цикле измерений (9.7), Ом.

10.1.3 Рассчитывают среднее арифметическое значение относительного сопротивления термометра в реперной точке и его СКО в температурном эквиваленте по формулам:

$$W_р = \Sigma W_{рi}/n; \tag{7}$$

$$S_р = \sqrt{\Sigma (W_{рi} - W_р)^2 / n(n-1)} / (dW_r/dT)_р , \tag{8}$$

где $W_р$ — среднее арифметическое значение относительного сопротивления термометра в реперной точке по всем циклам измерений;

$W_{рi}$ — относительное сопротивление термометра в реперной точке в i-м цикле;

n — число циклов измерения сопротивления термометра в реперной точке;

$S_р$ — СКО среднего арифметического значения относительного сопротивления термометра в реперной точке в температурном эквиваленте;

$(dW_r/dT)_р$ —производная стандартной функции МТШ-90 $W_r(T)$ [1] по температуре в реперной точке.

Значения производной стандартной функции МТШ-90 [1] в реперных точках указаны в таблице 6.

Таблица 6 — Производная стандартной функции МТШ-90 в реперных точках

Реперная точка	dW_r/dT, °C^{-1}
Точка плавления галлия	0,00395
Точка затвердевания индия	0,00380
Точка затвердевания олова	0,00371
Точка затвердевания цинка	0,00350
Точка затвердевания алюминия	0,00321
Точка затвердевания меди	0,00271

Примечание — Значение производной dW_r/dT в точке затвердевания меди получено экстраполяцией стандартной функции МТШ-90 до температуры 1084,62 °С.

10.1.4 Рассчитывают доверительную погрешность $\delta_р$ результата определения относительного сопротивления термометра в реперной точке в температурном эквиваленте по формуле

$$\delta_р = t_q S_р, \tag{9}$$

где t_q — коэффициент Стьюдента при доверительной вероятности 0,95 и числе степеней свободы $(n-1)$. При $n = 3$ $t_q = 4{,}303$.

10.1.5 Сравнивают рассчитанные по 10.1.1 и 10.1.4 значения доверительной погрешности со значениями, указанными в таблице 7.

Значения $\delta_т$ и $\delta_р$ должны быть не более значений, указанных в таблице 7. В противном случае термометр бракуют или его разряд переводят в более низкий.

Таблица 7 — Допускаемая доверительная погрешность результата измерения температуры в тройной точке воды ($\delta_т$) и реперных точках ($\delta_р$)

В градусах Цельсия

Реперная точка	Тип термометра и его разряд			
	ПТС		ВТС	
	1	2	1	2
Тройная точка воды	0,002	0,01	—	—
Точка плавления галлия	0,002	0,01	—	—
Точка затвердевания индия	0,005	0,02	—	—
Точка затвердевания олова	0,005	0,02	—	—
Точка затвердевания цинка	0,01	0,02	0,05	0,07
Точка затвердевания алюминия	0,01	0,03	—	—
Точка затвердевания меди	—	—	0,1	0,15

10.1.6 Градуировочную характеристику термометров, удовлетворяющих требованиям 10.1.5, определяют по методике, приведенной в приложении А.

10.2 Обработка результатов измерений сопротивления термометров типов ТСПН и ПТС при температурах ниже 0 °С

10.2.1 По результатам измерений сопротивления термометров в тройной точке воды (9.8.5) рассчитывают средние арифметические значения сопротивлений $R_{т.н}$ и $R_{т.к}$ до и после цикла градуировки.

Рассчитывают среднее арифметическое значение сопротивления термометра для цикла градуировки $\overline{R}_т$ и значение разности сопротивлений $\Delta R_т$:

$$\overline{R}_т = 0{,}5(R_{т.н} + R_{т.к}); \tag{10}$$

$$\Delta R_т = R_{т.н} - \overline{R}_т;\ \Delta R_т = R_{т.к} - \overline{R}_т, \tag{11}$$

где $R_{т.н}$ — сопротивление термометра в тройной точке воды до отжига, Ом;

$R_{т.к}$ — сопротивление термометра в тройной точке воды после отжига, Ом.

Для термометров, находящихся в эксплуатации, рассчитывают разность $\Delta R_п$ между средним арифметическим значением сопротивления термометра для цикла градуировки ($\overline{R}_т$) и значением, указанным в свидетельстве о предыдущей поверке:

$$\Delta R_п = \overline{R}_т - R_{т.п}, \tag{12}$$

где $R_{т.п}$ — значение сопротивления термометра в тройной точке воды, указанное в свидетельстве о предыдущей поверке, Ом.

Все рассчитанные разности не должны превышать значений, указанных в таблице 8.

10.2.2 Если нестабильность эталонного термометра не удовлетворяет требованиям, приведенным в таблице 8, термометр подвергают стабилизации, заключающейся в 10-кратном погружении термометра в кипящий при атмосферном давлении азот с промежуточными отогреваниями до комнатной температуры. Время выдержки при температуре кипящего азота и при комнатной температуре — не менее 1 мин.

10.2.3 Если значение нестабильности, полученное при повторном определении, не удовлетворяет требованиям таблицы 8, то термометр не применим в качестве эталонного.

10.2.4 Если нестабильность термометра 1-го разряда не удовлетворяет требованиям, указанным в таблице 8, но соответствует требованиям, предъявляемым к термометрам 2-го разряда, то этот термометр может быть аттестован в качестве термометра 2-го разряда.

Таблица 8 — Допустимые значения разностей сопротивлений термометров в тройной точке воды и отклонений относительных сопротивлений

Тип термометра	Разряд термометра	$\Delta R_т$	$\Delta R_п$	δW	$\delta W_п$	δW	$\delta W_п$
		% номинального значения		единицы $W \cdot 10^6$			
				при T = 20 К		при T = 14 К	
ТСПН	1	±0,0008	±0,0012	±2	±2,5	±0,75	±1,0
ТСПН	2	±0,0016	±0,0024	±3	±4	±1,2	±1,5
ПТС	1	±0,0008	±0,0012	—	—	—	—
ПТС	2	±0,0016	±0,0024	—	—	—	—

Примечание — Значения отклонений δW, $\delta W_п$ от средних арифметических значений функции отклонений $\Delta W(T)$ определяют по 10.2.7, 10.2.8.

10.2.5 По результатам измерений сопротивлений эталонного и поверяемого термометров типа ТСПН в 11 низкотемпературных точках (9.8.3) вычисляют относительные сопротивления эталонного $W(T_i)_э$ и поверяемого $W(T_i)$ термометров при всех температурах T_i (9.8.10) по соотношениям:

$$W(T_i)_э = R(T_i)_э / R_{т.э}; \tag{13}$$

$$W(T_i) = R(T_i)/R_т, \tag{14}$$

где $R(T_i)_э$ — сопротивление эталонного термометра при температуре T_i, Ом;

$R_{т.э}$ — сопротивление эталонного термометра в тройной точке воды, Ом;

$R(T_i)$ — сопротивление поверяемого термометра при температуре T_i, Ом;

$R_т$ — сопротивление поверяемого термометра в тройной точке воды, Ом.

10.2.6 По вычисленным значениям относительного сопротивления эталонного термометра (10.2.5), пользуясь данными, приведенными в его паспорте, определяют значение стандартной функции относительных сопротивлений по МТШ-90 (далее — стандартная функция МТШ-90) $W_r(T_i)$ и соответствующие значения температур T_i.

10.2.7 Для всех значений T_i рассчитывают значения функции отклонения $\Delta W(T)$ от стандартной функции МТШ-90 $W_r(T)$

$$\Delta W(T_i) = W(T_i) - W_r(T_i). \tag{15}$$

10.2.8 Для температур T_2, T_2' и T_4, T_4' рассчитывают средние арифметические значения функции отклонения

$$\Delta\overline{W}(T_2) = 0{,}5(\Delta W(T_2) + \Delta W(T_2'))\ ; \tag{16}$$

$$\Delta\overline{W}(T_4) = 0{,}5(\Delta W(T_4) + \Delta W(T_4'))\ ; \tag{17}$$

и определяют отклонения от этих средних арифметических значений

$$\delta_1 W(T_2) = \Delta W(T_2) - \Delta\overline{W}(T_2),\quad \delta_2 W(T_2) = \Delta W(T_2') - \Delta\overline{W}(T_2); \tag{18}$$

$$\delta_1 W(T_4) = \Delta W(T_4) - \Delta\overline{W}(T_4),\quad \delta_2 W(T_4) = \Delta W(T_4') - \Delta\overline{W}(T_4)\ . \tag{19}$$

Так же определяют отклонения от средних арифметических значений относительных сопротивлений термометров, находящихся в эксплуатации:

$$\delta W_п = \Delta\overline{W}(T_2) - \Delta W(T_2)_п \ \text{ и } \ \delta W_п = \Delta\overline{W}(T_4) - \Delta W(T_4)_п\ , \tag{20}$$

где $\Delta W(T_2)_п$ и $\Delta W(T_4)_п$ — значения функции отклонения, указанные в свидетельстве о предыдущей поверке.

Все отклонения должны удовлетворять требованиям таблицы 8, в противном случае разряд термометра переводят в более низкий или термометр бракуют.

10.2.9 Вычисляют средние значения температур для T_2 и T_4 по значениям двух повторных измерений:

$$\overline{T}_2 = 0{,}5(T_2 + T_2');\tag{21}$$

$$\overline{T}_4 = 0{,}5(T_4 + T_4').\tag{22}$$

10.2.10 По полученным для семи градуировочных точек парным значениям $W(T_i)$ и T_i (W_1, T_1; W_2, T_2; W_3, T_3; W_4, T_4; W_5, T_5; W_6, T_6; W_7, T_7) определяют градуировочную характеристику поверяемого термометра $\Delta W(W)$ или $W(T)$. Методика определения — по приложению Б.

10.2.11 Определение доверительной погрешности для термометров типа ТСПН в диапазоне температур 13,8—273,16 К проводят по результатам измерений при T_8 и T_9. Для этого рассчитывают расхождение ΔT_i значения температуры, определенного из градуировочной характеристики поверяемого термометра по 10.2.10, и значения, полученного в результате измерений рабочим эталоном по 10.2.6, при каждой из температур градуировки T_8 и T_9 по формуле

$$\Delta T_i = T_{ir} - T_{is},\tag{23}$$

где T_{ir} — значение температуры поверяемого термометра из градуировочной характеристики по 10.2.10, соответствующее значению $W(T_i)$ из результатов измерений по 10.2.5 при T_8 или T_9, К;

T_{is} — значение температуры по эталонному термометру при одном и том же измерении (10.2.6), К.

Расхождения ΔT_i при каждой из температур T_8 и T_9 не должны превышать 0,008 К для термометров 1-го разряда и 0,04 К для термометров 2-го разряда. Если термометр не удовлетворяет этим требованиям, его разряд переводят в более низкий.

10.2.12 Результаты градуировки термометров типов ПТС и ТСПН для диапазона температур 77—273,16 К после проверки на нестабильность (10.2) обрабатывают следующим образом.

10.2.13 Рассчитывают СКО среднего значения сопротивления поверяемого термометра в тройной точке воды по формуле

$$S_т = \sqrt{\Sigma\,(R_i - R_т)^2 / n(n-1)}\ , \tag{24}$$

где $S_т$ — среднее квадратическое отклонение среднего значения сопротивления поверяемого термометра;

R_i — значение сопротивления поверяемого термометра в тройной точке воды при i-м измерении, Ом;

$R_т$ — среднее значение сопротивления поверяемого термометра в тройной точке воды по 9.8.4, Ом;

n — общее число измерений.

10.2.14 Доверительную погрешность $\delta_т$ поверяемого термометра в тройной точке воды с доверительной вероятностью 0,95 оценивают по формуле

$$\delta_т = \sqrt{\Delta_{ст}^2 + \Delta_{ут}^2}\ , \tag{25}$$

$$\text{где } \Delta_{ст} = t_q S_ч/(dR/dT)_т, \tag{26}$$

где $\Delta_{ст}$ — доверительная погрешность разброса сопротивления термометра при доверительной вероятности 0,95 при измерениях в тройной точке воды в температурном эквиваленте;

t_q — коэффициент из распределения Стьюдента с доверительной вероятностью 0,95 при числе степеней свободы, равном $(n-1)$;

$(dR/dT)_т$ — чувствительность поверяемого термометра в тройной точке воды по таблице 3, Ом/ °С;

$\Delta_{ут}$ — доверительная погрешность ампулы для реализации тройной точки воды, включая погрешность средств измерений электрического сопротивления термометра, с доверительной вероятностью 0,95, в температурном эквиваленте.

10.2.15 По результатам измерений (9.8.10) рассчитывают значения температуры T_i и относительного сопротивления $W(T_i)$ эталонного и поверяемого термометров для каждого измерения.

10.2.16 Рассчитывают значения функции отклонения $\Delta W(T_i)$ поверяемого термометра для каждого измерения так же, как в 10.2.7.

10.2.17 Рассчитывают среднее арифметическое значение температуры термометра по всем измерениям данной градуировки $T = \Sigma T_i/n$ и среднее значение относительного сопротивления $W = \Sigma W(T_i)/n$.

10.2.18 Рассчитывают СКО $\Delta W(T)$ по формуле

$$S_w = \sqrt{\Sigma(\Delta W(T_i) - \Delta W(T))^2/n\,(n-1)}\ , \tag{27}$$

где S_w — среднее квадратическое отклонение среднего арифметического значения $\Delta W(T)$;

$\Delta W(T_i)$ — значение функции отклонения при температуре T_i;

$\Delta W(T) = \Sigma\Delta W(T_i)/n$ — среднее арифметическое значение $\Delta W(T_i)$ по всем измерениям данной градуировки;

n — число измерений.

10.2.19 Доверительную погрешность $\delta_{т,т}$ поверяемого термометра при температуре кипения азота (≈ 77,3 К) оценивают по формуле

$$\delta_{т,т} = \sqrt{\Delta_{уст}^2 + (k\delta_т)^2 + \Delta_{sw}^2}\ , \tag{28}$$

где

$$\Delta_{sw} = t_q S_w/(dW_r/dT)_т, \tag{29}$$

$\Delta_{уст}$ — погрешность устройства по реализации ванн ожиженных газов при температуре кипения азота (включая погрешность средств измерений сопротивления термометра и погрешность измерения температуры эталонным термометром) с доверительной вероятностью 0,95;

k — коэффициент влияния погрешности $\delta_т$ (при температуре 77,3 К $k = 0,2$);

$\delta_т$ — доверительная погрешность поверяемого термометра в тройной точке воды, определяемая по 10.2.14;

Δ_{sw} — доверительная погрешность $\Delta W(T)$ при температуре 77,3 К (в температурном эквиваленте);

t_q — коэффициент из распределения Стьюдента при доверительной вероятности 0,95 и числе степеней свободы, равном $(n-1)$;

S_w — СКО среднего арифметического значения $\Delta W(T)$, определяемое по 10.2.18;

$(dW_r/dT)_т$ — производная стандартной функции $W_r(T)$ МТШ-90 при температуре градуировки ($dW_r/dT = 0,00432$ при $T = 77,3$ К).

10.2.20 Значения доверительной погрешности поверяемых термометров не должны превышать значений, указанных в таблице 9.

Таблица 9 — Допустимая доверительная погрешность поверяемого термометра при доверительной вероятности 0,95

В градусах Цельсия

Точка градуировки	Разряд термометра	
	1-й	2-й
Тройная точка воды	0,002	0,01
Температура кипения азота	0,006	0,03

Если термометр не удовлетворяет требованиям таблицы 9, то его разряд переводят в более низкий.

10.2.21 Градуировочную характеристику термометров типов ТСПН и ПТС в диапазоне температур 77—273,16 К рассчитывают по методике, приведенной в приложении Б.

11 Оформление результатов поверки

При положительных результатах поверки оформляют свидетельство о поверке. В свидетельство должны быть включены следующие данные:

- наименование средства измерений температуры и обозначение его типа;
- заводской номер;
- изготовитель и год изготовления;
- назначение средства измерений;
- диапазон градуировки термометра;
- значение измерительного тока, при котором определяли градуировочные характеристики;
- значение сопротивления термометра в тройной точке воды;
- значения температур градуировки и соответствующие им значения относительного сопротивления термометра;
- дата градуировки;
- градуировочная характеристика термометра в виде таблицы функции $\Delta W(W)$ или $W(T)$;
- указание срока проведения следующей поверки;
- печать организации, проводящей поверку.

Допускается градуировочную характеристику термометра приводить в виде полинома $\Delta W(T)$ с указанием значений коэффициентов полинома.

ПРИЛОЖЕНИЕ А
(справочное)

Метод определения градуировочных характеристик термометров типов ПТС и ВТС при температурах выше 0 °С

А.1 Градуировочную характеристику термометров типов ПТС и ВТС определяют в виде функции отклонения относительного сопротивления термометра $\Delta W(T)$ от стандартной функции МТШ-90 $W_r(T)$

$$\Delta W(T) = W(T) - W_r(T). \qquad (A.1)$$

А.2 Вид функции отклонения для различных диапазонов температур указан в таблице А.1.

Таблица А.1 — Функции отклонения в виде полиномов

Диапазон температур, °С	$\Delta W(T)$
0—29,7646	$a[W(T)-1]$
0—156,598	$a[W(T)-1]$
0—231,928	$a[W(T)-1]+b[W(T)-1]^2$
0—419,527	$a[W(T)-1]+b[W(T)-1]^2$
0—660,323	$a[W(T)-1]+b[W(T)-1]^2+c[W(T)-1]^3$
0—1084,62	$a[W(T)-1]+b[W(T)-1]^2$
Примечание — В диапазонах температур ниже 660,323 °С используют термометры типа ПТС, выше — термометры типа ВТС.	

А.3 Коэффициенты a, b, c функции $\Delta W(T)$ рассчитывают с использованием данных градуировки термометров в реперных точках (9.7).

А.4 При необходимости рассчитывают на ЭВМ таблицу значений функции $\Delta W(T)$ или $W(T)$ в зависимости от температуры.

А.5 Вычисление температуры по градуировочной характеристике термометра

А.5.1 По результатам измерения сопротивления термометра $R(T_x)$ рассчитывают

$$W(T_x) = R(T_x)/R_T, \qquad (A.2)$$

где $W(T_x)$ — относительное сопротивление термометра при температуре T_x;

$R(T_x)$ — сопротивление термометра при температуре T_x, Ом;

T_x — измеряемая температура, К;

R_T — сопротивление термометра в тройной точке воды, Ом.

А.5.2 Если градуировочная характеристика приведена в виде $\Delta W(T)$, то для определения температуры используют стандартную функцию МТШ-90 $W_r(T)$. В этом случае по формулам таблицы А.1 определяют $\Delta W(T_x)$, а затем рассчитывают $W_r(T_x)$, используя формулу (А.1). По зависимости $W_r(T)$ [таблице значений $W_r(T)$] находят значение температуры T_x, соответствующее $W_r(T_x)$. Значение температуры можно также рассчитать с помощью обратной стандартной функции МТШ-90 $T(W_r)$.

А.5.3 Если градуировочная характеристика представлена в виде $W(T)$ [таблицы значений $W(T)$], то по значению $W(T_x)$ из А.2 определяют значение температуры.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б
(справочное)

Метод определения градуировочных характеристик термометров сопротивления типов ТСПН и ПТС при температурах ниже 273,16 К

Б.1 Диапазон температур 13,8—273,16 К для термометров типа ТСПН

Б.1.1 Градуировочную характеристику платиновых термометров рассчитывают по МТШ-90 в виде

$$\Delta W(T) = W(T) - W_r(T), \qquad (Б.1)$$

где $\Delta W(T)$ — функция отклонения по МТШ-90;

$W(T)$ — зависимость относительного сопротивления термометра от температуры;

$W_r(T)$ — стандартная функция МТШ-90.

Функция $\Delta W(T)$ в соответствии с МТШ-90 в рассматриваемом диапазоне имеет вид:

$$\Delta W(T) = a[W(T) - 1] + b[W(T) - 1]^2 + \sum_{i=1}^{5} C_i \ [\ln W(T)]^{i+n}, \qquad (Б.2)$$

при $n = 2$,

где a, b, C_i — коэффициенты, определенные из результатов индивидуальной градуировки термометров.

Б.1.2 Для определения коэффициентов функции $\Delta W(T)$ требуется градуировка термометра в семи реперных точках МТШ-90 или вблизи этих точек согласно 9.8.

Б.1.3 В качестве исходных данных используют семь значений $W(T)$, полученных при градуировке в точках T_1, T_2, T_3, T_4, T_5, T_6, T_7 согласно 10.2.10, и рассчитанные по этим значениям с использованием формулы (Б.1) значения $\Delta W(T)$.

Б.1.4 На ЭВМ рассчитывают коэффициенты функции (Б.2) для поверяемого термометра.

Б.1.5 При необходимости рассчитывают на ЭВМ таблицы значений функций $\Delta W(W)$ или $W(T)$, а также производных dW/dT для поверяемого термометра.

Б.2 Диапазон температур 77—273,16 К для термометров типов ТСПН и ПТС

Б.2.1 Для определения градуировочной характеристики термометров в этом диапазоне используют линейную зависимость

$$\Delta W(T) = M[W(T) - 1], \qquad (Б.3)$$

где константу $M = \Delta W(T)/[W(T) - 1]$ определяют из результатов градуировки при температуре кипения азота (10.2.17, 10.2.18).

Б.2.2 При необходимости рассчитывают на ЭВМ таблицы значений $\Delta W(W)$ или $W(T)$, а также производных dW/dT для поверяемого термометра.

Б.3 Вычисление температуры T_x по градуировочной характеристике термометра

Б.3.1 По результатам измерения сопротивления термометра $R(T_x)$ при определяемой температуре рассчитывают

$$W(T_x) = R(T_x)/R_r, \qquad (Б.4)$$

где $W(T_x)$ — относительное сопротивление термометра при определяемой температуре T_x;

T_x — измеряемая температура, К;

$R(T_x)$ — сопротивление термометра при температуре T_x, Ом;

R_r — сопротивление термометра в тройной точке воды, Ом.

Б.3.2 Если градуировочная характеристика представлена в виде $\Delta W(T)$, то для определения температуры используют стандартную функцию МТШ-90 $W_r(T)$. В этом случае по формуле (Б.2) или (Б.3) определяют $\Delta W(T_x)$, а затем рассчитывают $W_r(T_x)$ по формуле (Б.1). По зависимости $W_r(T)$ [таблице значений $W_r(T)$ в зависимости от температуры (далее — таблица значений)] находят значение температуры T_x, соответствующее $W_r(T_x)$. Значение температуры можно также рассчитать с помощью обратной стандартной функции МТШ-90 $T(W_r)$.

Б.3.3 Если градуировочная характеристика представлена в виде $W(T)$ (таблицы значений), то по значению $W(T_x)$, рассчитанному по Б.4, определяют значение температуры.

ПРИЛОЖЕНИЕ В
(справочное)

Библиография

[1] Международная температурная шкала МТШ-90. Документ Международного Бюро по мерам и весам, 1989

УДК 536.531:669.231:006.354 ОКС 17.020 Т88.2 ОКСТУ 0008

Ключевые слова: температура, термометры сопротивления, относительное сопротивление, реперные точки, средства измерений, погрешности измерений, градиент, методика, градуировочная характеристика, поверка

Редактор *Л.В. Афанасенко*
Технический редактор *Л.А. Кузнецова*
Корректор *Р.А. Ментова*
Компьютерная верстка *В.И. Грищенко*

Изд. лиц. № 021007 от 10.08.95. Сдано в набор 28.12.98. Подписано в печать 02.02.99. Усл. печ. л. 2,32.
Уч.-изд. л. 2,00. Тираж 351 экз. С1844. Зак. 78.

ИПК Издательство стандартов, 107076, Москва, Колодезный пер., 14.
Набрано в Издательстве на ПЭВМ
Филиал ИПК Издательство стандартов — тип. "Московский печатник", Москва, Лялин пер., 6.
Плр № 080102