

Федеральное государственное унитарное предприятие
«Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии
им. Д.И. Менделеева»
ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»

УТВЕРЖДАЮ
И.о. директора
ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»
А.Н. Пронин
«09» февраля 2018 г.



Государственная система обеспечения единства измерений

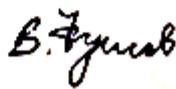
Термометры сопротивления эталонные ЭТС-100М

Методика поверки

МП 2411 - 0153 - 2018

Руководитель отдела госэталонов в области
теплофизических и температурных измерений

 А.И. Походун
Заместитель руководителя
лаборатории термометрии

 В. М. Фуксов

Санкт-Петербург
2018



1 Область применения

Настоящая методика распространяется на термометры сопротивления эталонные ЭТС-100М, исполнение ЭТС-100М1, ЭТС-100М2, ЭТС-100М3 – рабочие эталоны 2-го и 3-го разряда согласно ГОСТ 8.558-2009, предназначенные для поверки термометров и точного измерения температуры от минус 196 до плюс 660,323 °С (77 – 933,473 К) и в поддиапазонах температуры, предусмотренных Положением МТШ-90 (далее – термометры) и устанавливает методы их первичной и периодической поверок.

Интервал между поверками 2 года.

Технические требования к термометрам установлены в технических условиях ТУ 4211-014-0125106998-2018.

2 Нормативные ссылки

В настоящем документе использованы ссылки на следующие стандарты:
ГОСТ 8.381-2009 (СТ СЭВ 403-76) ГСИ. Эталоны. Способы выражения точности

ГОСТ 8.558-2009 ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерений температуры

ГОСТ 427-75 Линейки измерительные металлические. Технические условия

ГОСТ 23737-79 (СТ СЭВ 593-85) Меры электрического сопротивления.

Общие технические условия

3 Определения, обозначения и сокращения

Термометр – термометр сопротивления эталонный типа ЭТС-100М 2-го и 3-го разряда.

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.

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 (p – символ химического элемента или вещества).

4 Операции поверки

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

Таблица 1 – Операции поверки

Наименование операции	Пункт настоящей методики	Обязательность проведения	
		Первичной поверки	Периодической поверки
1 Внешний осмотр и опробование	9.1	+	+
2 Проверка электрического сопротивления изоляции	9.2	+	-
3 Определение метрологических характеристик термометров			
3.1 Определение нестабильности термометров	9.3	+	+
3.2 Определение градуировочной характеристики термометров	9.4	+	+
и 3.3 Определение относительного сопротивления W_p	9.5		
3.3 Доверительные границы абсолютной погрешности, °C	10	+	+

5. Средства поверки

При поверке должны быть использованы средства поверки и вспомогательные средства, приведенные в табл. 2.

Таблица 2 – Средства поверки и вспомогательные средства

Наименование средств поверки и вспомогательных средств	Нормативно – техническая характеристика
1 Линейка с делениями 2 Ампула тройной точки воды 3 Печь для отжига	Длина шкалы 1000 мм по ГОСТ 427-75 Длина внутреннего колодца 300-350 мм, диаметр 8-20 мм погрешность воспроизведения температуры фазового перехода не более 0,00014 °С 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. Диапазон воспроизведения температуры от 0 до +660,323 °С, доверительная погрешность ($P=0,95$) от 0,002 до 0,06 °С
4 Аппаратура для воспроизведения реперных точек по ГОСТ 8.558-2009 Ампулы реперных точек: тройной точки воды (ТТВ) галлия (Ga) олова (Sn) цинка (Zn) алюминия (Al)	доверительная погрешность $\pm 0,5$ мК доверительная погрешность $\pm 1,0$ мК доверительная погрешность $\pm 10,0$ мК доверительная погрешность $\pm 20,0$ мК доверительная погрешность $\pm 50,0$ мК
5 Сосуд Дьюара, заполненный жидким азотом	Диапазон температур минус 219 – минус 196 °С. Нестабильность температуры за время измерения не более 0,003 °С
6 Термометр эталонный 1-го разряда типа ЭТС-25, регистрационный № 19484-09	Диапазон температуры от -196 до 0 °С, погрешность $\pm 0,01$ °С
7 Измеритель температуры многоканальный прецизионный МИТ 8 модификации МИТ 8.15, регистрационный № 19736-11	Погрешность $\pm(0,002+3 \cdot 10^{-6} \cdot t)$ °С в диапазоне от -200 до 750 °С
8 Мегомметр типа Е6-24, регистрационный № 47135-11	измерение сопротивления от 0,01 до 999 МОм, $\pm(3\%$ от показаний + 3 ед. мл. разряда)
9 Термогигрометр ИВА-6, регистрационный номер 46434-11	диапазон измерений относительной влажности, от 0 до 98 %, температуры от минус 20 до плюс 60 °С, атмосферного давления от 700 до 110 гПа; пределы погрешности измерений относительной влажности при (23,2) °С, от 0 до 90 % ± 2 %, от 90 до 98 % - ± 3 %, температуры $\pm 0,3$ °С, атмосферного давления $\pm 2,5$
Примечание: Допускается применение аналогичных средств поверки, обеспечивающих определение метрологических характеристик поверяемых термопреобразователей сопротивления с требуемой точностью	

6 Условия поверки

При проведении поверки должны быть соблюдены следующие условия:

- 6.1 Измерительный пульт должен находиться в помещении при температуре $(20 \pm 2,0)^\circ\text{C}$, относительной влажности $65 \pm 15 \%$, атмосферном давлении $(101,3 \pm 4)$ кПа.
- 6.2 Измерительный ток для термометров устанавливается равным $(1,0 \pm 0,1)$ мА.
- 6.3 В помещении, в котором проводят поверку не должно быть дыма, пыли, вибрации.
- 6.4 Помещение должно быть оборудовано приточно-вытяжной вентиляцией.

7 Подготовка к поверке

Перед проведением поверки следует:

- 7.1 Проверить наличие всех средств измерений, 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 измерительный пульт, установки, печи и поверяемые термометры согласно нормативной документации на соответствующие средства измерений и вспомогательные средства.

8 Требования безопасности

- 8.1 При эксплуатации электрического оборудования необходимо выполнять «Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок» (утверждены Приказом Министерства труда и социальной защиты РФ 24 июля 2013 г. № 328н) и «Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей» (Утверждены Минэнерго России 13.01.2003).
- 8.2 При работе с ампулами тройной точки воды следует соблюдать особую осторожность. Работать с ампулами разрешается только в защитных очках.
- 8.3 Сосуды Дьюара, предназначенные для работы с жидкими газами, должны быть чистыми и сухими.
- 8.4 Необходимо беречь сосуды Дьюара от попадания в них органических веществ.
- 8.5 В помещении, в котором проводят поверку, категорически запрещается курить, пользоваться огнем, хранить огнеопасные и горючие вещества и материалы.
- 8.6 Во время проведения поверки при высокой температуре термометр следует извлекать из печи медленно, соблюдая особую осторожность во избежание получения ожогов.
- 8.6 После извлечения из печи запрещается трогать термометр руками и класть его на легковоспламеняющуюся поверхность.
- 8.7 К проведению поверки должны быть допущены лица, изучившие эксплуатационную документацию на термометры, имеющие необходимую квалификацию.

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. Корпус термометра должен быть без повреждений.

9.1.2 Электрические цепи термометра не должны быть нарушены. Опробование электрической схемы проводят с помощью прибора Ц 4342.

Термометры, не удовлетворяющие требованиям, изложенным выше, дальнейшей поверке не подлежат.

9.2 Проверка электрического сопротивления изоляции термометра

Проверку проводят при температуре $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ и относительной влажности $(60 \pm 15)\%$ с помощью мегомметра MI 1102/1, используется напряжение до 1 кВ, $\pm(1,5\%$ от показаний + 5 ед.мл.разряда); Электрическое сопротивление изоляции между выводами и корпусом термометра должно быть не менее 100 МОм. В противном случае термометр бракуют.

9.3 Определение нестабильности термометров, работающих в диапазоне температуры от 0 до $660,323^\circ\text{C}$ исполнение ЭТС-100М1 и в диапазоне температур от 0 до $419,527^\circ\text{C}$ исполнение ЭТС-100М2 и ЭТС-100М3.

9.3.1 Определение нестабильности термометров при первичной поверке.

9.3.1.1 Проводят измерение сопротивления термометра в тройной точке воды $R_{ТН}$ по методике изложенной в 9.4.8.

9.3.1.2 Проводят отжиг термометра – выдерживают термометр в печи, предварительно нагретой до температуры на 10°C выше верхнего предела измерений в течение 5 ч.

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

9.3.1.4 Рассчитывают значение расхождения ΔR_T между $R_{ТК}$ и $R_{ТН}$ в температурном эквиваленте по следующей формуле:

$$\Delta R_T = (R_{ТК} - R_{ТН}) / (dR/dT)_T, \quad (1)$$

где ΔR_T - расхождение между $R_{ТК}$ и $R_{ТН}$ в температурном эквиваленте, $^\circ\text{C}$

$R_{ТН}$ – сопротивление термометра в тройной точке воды до отжига, Ом

$R_{ТК}$ – сопротивление термометра в тройной точке воды после отжига, Ом

$(dR/dT)_T$ – чувствительность термометра при $0,01^\circ\text{C}$, Ом/ $^\circ\text{C}$

(Чувствительность термометра ЭТС-100М при $0,01^\circ\text{C}$ – $0,4$ Ом/ $^\circ\text{C}$).

9.3.1.5 Значение ΔR_T не должно превышать $0,01^\circ\text{C}$ для ЭТС-100М1 и ЭТС-100М3

и $0,005^\circ\text{C}$ для ЭТС-100М2. 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 п. 9.3.1.5 по-прежнему не выполняются, то термометр бракуют или их разряд переводят в более низкий.

9.3.2 Определение нестабильности термометров при периодической поверке

9.3.2.1 Измеряют сопротивление термометра в тройной точке воды $R_{ТН}$ по методике, изложенной в п.9.4.8, и вычисляют разность между $R_{ТН}$ и значением, приведенным в свидетельстве о поверке $R_{ТН}$ в температурном

эквиваленте по формуле (1).

Если разность превышает $0,01^\circ\text{C}$ для термометров ЭТС-100М1 и ЭТС-100М3 и $0,005^\circ\text{C}$ для ЭТС-100М2, то определяют нестабильность по п.п.9.3.1.1...9.3.1.6. Термометры, не удовлетворяющие требованиям нестабильности, бракуют или их разряд переводят в более низкий.

9.3.3 Определение нестабильности термометров в диапазоне от 77 до $273,17\text{K}$ осуществляется в процессе градуировки по п.9.5.

9.4 Определение градуировочной характеристики термометров в диапазоне температуры выше 0°C .

Градуировку термометров в диапазоне температур выше 0°C проводят в реперных точках.

При необходимости градуировку термометров допускается производить ниже верхнего предела измерений.

9.4.1 Проводят три цикла измерений сопротивления термометра в реперных точках. После каждого измерения проверяют сопротивление в тройной точке воды ТТВ. Последовательность реализации реперных точек следующая: Al, ТТВ, Zn, ТТВ, Sn, ТТВ.

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

9.4.3 Изменение значения сопротивления за 5 мин не должно превышать $\pm 0,005$ °С в температурном эквиваленте, 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.

9.4.4 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.

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

9.4.6 После окончания измерений сопротивления термометра в реперной точке алюминия термометр охлаждают в печи со скоростью не более 100 °С/ч до температуры (500 ± 10) °С, извлекают и охлаждают на воздухе до комнатной температуры.

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

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

Термометр погружают со смесью льда и воды при температуре 0 °С и выдерживают там не менее 15 мин. Затем термометр извлекают из термостата и погружают в канал ампулы тройной точки воды. Ампула должна быть подготовлена к работе по методике, приведенной в нормативной документации. Через 15 мин. начинают измерения. За результат измерения сопротивления термометра принимают среднее арифметическое из результатов пяти отсчетов.

9.4.9. После проведения первого цикла градуировки рассчитывают относительное сопротивление W_{Ga} по значениям W_{Zn} и W_{Sn} , используя методику определения градуировочной характеристики, изложенную в приложении А. Значение W_{Ga} должно быть не менее 1,11795.

9.5. Градуировка термометров ЭТС-100 в диапазоне температур ниже 273,16 К.

Градуировку термометров проводят методом сличения градуируемого термометра с эталонным 1-го разряда.

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

9.5.1 Градуировка и определение нестабильности термометров в интервале от 77 до 273,16 К заключается в измерении их сопротивлений в тройной точке воды, в последующем одновременном измерении сопротивлений градуируемого термометра и эталонного 1-го разряда термометра при температуре кипения азота ($T \approx 77$ К) при атмосферном давлении и повторном измерении сопротивления в ТТВ.

Разность сопротивлений, измеренных в ТТВ до и после измерений в азоте не должна превышать в температурном эквиваленте 0,01 °С.

9.5.2 Для проведения градуировки термометров при температуре кипения азота их вместе с эталоном 1-го разряда помещают в блок сравнения установки для реализации ванн сжиженных газов при атмосферном давлении. Измерение сопротивления термометров проводят в соответствии с нормативной документацией на установку.

9.5.3 При градуировке термометров в диапазоне температур от 77 до 273,16 К проводят не менее 5 измерений (по два отсчета каждое) в двух температурных точках – при температуре кипения азота и в тройной точке воды. Нестабильность температуры должна быть не более 5 мК за время каждого измерения. Дрейф температуры в точке 77 К при проведении 5 измерений должен быть не более 0,05 К.

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

10 Обработка результатов поверки. Определение доверительной погрешности термометра

10.1 Обработка результатов измерений сопротивления термометров в температурном диапазоне выше 0 °С.

10.1.1 Рассчитывают доверительную погрешность результата измерения сопротивления в тройной точке воды в температурном эквиваленте по формулам:

$$\delta_T = t_q \cdot S_T ; \quad (2)$$

$$S_T = (\sum (R_{Ti} - R_T)^2 / n (n-1))^{0.5} / (dR / dT)_T ; \quad (3)$$

$$R_T = \sum R_{Ti} / n , \quad (4)$$

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

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

R_{Ti} – результат i -ого измерения сопротивления термометра в тройной точке воды (п. 9.4.1.);

R_T – среднее арифметическое значение сопротивления термометра в тройной точке воды;

S_T – среднее квадратическое отклонение (СКО) среднего арифметического значения сопротивления термометра в тройной точке воды в температурном эквиваленте;

δ_T – доверительная погрешность среднего арифметического значения сопротивления термометра, измеренного в тройной точке воды в температурном эквиваленте;

$(dR / dT)_T$ – чувствительность термометра при температуре тройной точки воды.

10.1.2 Рассчитывают относительное сопротивление в каждой реперной точке по формуле

$$W_{pi} = R_{pi} / R_{Ti} , \quad (5)$$

где W_{pi} – относительное сопротивление термометра в реперной точке в i -м цикле измерений;

R_{pi} – результат измерения сопротивления термометра в реперной точке в i -м цикле измерений (п.9.4.1.);

R_{Ti} – результат измерения сопротивления термометра в тройной точке воды, проведенного после измерений в реперной точке в i -м цикле измерений.

10.1.3 Рассчитывают среднее арифметическое значение относительного сопротивления термометра в реперной точке и среднюю квадратическую погрешность среднего арифметического в температурном эквиваленте по формулам:

$$W_p = \sum W_{pi} / n ; \quad (6)$$

$$S_p = (\sum (W_{pi} - W_p)^2 / n (n-1))^{0.5} / (dW_r / dT)_p ; \quad (7)$$

где W_p – среднее арифметическое значение относительного сопротивления термометра в реперной точке по всем циклам измерений;

W_{pi} – относительное сопротивление термометра в реперной точке в i -м цикле;

n – число циклов измерения сопротивления в реперной точке;

S_p – средняя квадратическая погрешность среднего арифметического значения относительного сопротивления термометра в реперной точке в температурном эквиваленте; $(dW_r / dT)_p$ – производная стандартной функции МТШ-90 $W_r (T)$ по температуре в реперной точке.

Значения производной стандартной функции МТШ-90 в реперных точках приведены в табл. 3.

Таблица 3 – Производная стандартной функции МТШ-90 в реперных точках

Реперная точка	$dW_r / dT_p, ^\circ\text{C}$
Точка кипения азота	0,00433
Точка затвердевания олова	0,00371
Точка затвердевания цинка	0,00350
Точка затвердевания алюминия	0,00321

10.1.4 Рассчитывают доверительную погрешность δ_p результата определения относительного сопротивления в реперной точке в температурном эквиваленте по формуле:

$$\delta_p = t_q \cdot S_p, \quad (8)$$

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 п. 10.1.1 и 10.1.4 значения доверительной погрешности со значениями, приведенными в таблице 4.

Значения δ_T и δ_p должны быть не более значений, указанных в таблице 4. В противном случае термометр бракуют.

Таблица 4 – Допускаемые доверительные погрешности результатов измерений температуры в реперных точках термометрами ЭТС-100М, в градусах Цельсия.

Температура $a, ^\circ\text{C}$	Реперная точка	Доверительные границы абсолютной погрешности, $^\circ\text{C}$	
		2-й разряд	3-й разряд
минус 196 0,01	точка кипения азота	$\pm 0,03$	$\pm 0,05$
	тройная точка воды	$\pm 0,01$	$\pm 0,02$
231,928	точка затвердевания олова	$\pm 0,02$	$\pm 0,04$
	точка затвердевания цинка	$\pm 0,02$	$\pm 0,07$
419,527	точка затвердевания алюминия	-	$\pm 0,15$
660,323			

10.1.6 Градуировочную характеристику термометров, удовлетворяющую требованиям 10.1.5, рассчитывают по методике, приведенной в приложении Б и В.

11 Оформление результатов поверки

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

- диапазон градуировки;
- значения сопротивления в тройной точке воды;
- значения температуры градуировки и соответствующие им значения относительного сопротивления термометра;
- дата градуировки;
- градуировочная характеристика термометра в виде полинома;
- $\Delta W(T)$ с указанием значений коэффициентов полинома.

Примечание: Допускается градуировочную характеристику приводить в виде таблицы функции $\Delta W(W)$ или $W(t)$.

ПРИЛОЖЕНИЕ А
(Рекомендуемое)

Дата _____

ПРОТОКОЛ

Термометр ЭТС100М, исполнение _____ № _____,
представленный _____.

Место проведения поверки _____

Метод поверки: МП 2411-0153-2018 «Термометры сопротивления эталонные ЭТС-100М. Методика поверки».

Значения влияющих факторов:
Температура окружающей среды ___ °С
Относительная влажность ___ %
Атмосферное давление ___ кПа

Поверка проведена с применением эталонных (образцовых) СИ:

Результаты внешнего осмотра: _____

Результаты измерения приведены для тока 1 мА

Реперная точка	Температура, °С	$W(t)=R(T)/R(0,01)$
R(0,01)	0,01	100,1317
Sn	231,928	1,888727
Zn	419,527	2,561748
Al	660,323	3,364889

Коэффициенты функции отклонения от МТШ-90 в диапазоне от 0,01 до плюс 660,323 °С:

$$W(T_{90}) - W_r(T_{90}) = a [W(T_{90}) - 1] + b [W(T_{90}) - 1]^2 + c [W(T_{90}) - 1]^3,$$

где $a = - 0,001363;$
 $b = 0,000124;$
 $c = - 0,000618;$

Доверительная погрешность при вероятности 0,95 градуировки ЭТС-100М в точках, °С:

в тройной точке воды	0,02	
в точке затвердевания олова	0,03	
в точке затвердевания цинка	0,06	
в точке затвердевания алюминия		0,12

Должность, подпись, И. О. Фамилия лица,
проводившего поверку _____

Дата проведения поверки « ___ » _____ 201_ г.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

(справочное)

Метод расчета градуировочных характеристик термометров ЭТС-100М для диапазона температуры выше 0 °С

Б1 Градуировочную характеристику термометров определяют в виде функции отклонения относительного сопротивления термометра $W(T)$ от стандартной функции МТШ-90 $W_r(T)$:

$$\Delta W(T) = W(T) - W_r(T) \quad (Б1)$$

Б.2 Функция отклонения для диапазона температуры от 0 до плюс 660,323 °С имеет вид:

$$\Delta W(T) = a \cdot (W(T) - 1) + b \cdot (W(T) - 1)^2 + c \cdot (W(T) - 1)^3 \quad (Б2)$$

Б3 Коэффициенты функции $\Delta W(T)$ рассчитываются с использованием данных градуировки термометров в реперных точках (9.4).

Б4 При необходимости рассчитывают таблицу функции $\Delta W(T)$ или $W(T)$ в зависимости от температуры.

Б.5 Вычисление температуры по градуировочной характеристике термометра

Б5.1 По результатам измерения сопротивления термометра $R(T_u)$ рассчитывают

$$W(T_u) = R(T_u) / R_T, \quad (Б3)$$

Где $W(T_u)$ – относительное сопротивление термометра при температуре T_u ;

$R(T_u)$ – сопротивление термометра при температуре T_u ;

T_u – измеряемая температура;

R_T – сопротивление термометра в тройной точке воды.

Б.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 формуле Б.2 определяют $\Delta W(T_u)$, а затем рассчитывают $W_r(T_u)$, используя формулу (Б.1). По зависимости $W_r(T)$ [таблице значений $W_r(T)$] находят значение температуры T_u , соответствующее $W_r(T_u)$. Значение температуры можно также рассчитать с помощью обратной стандартной функции МТШ-90 $T(W_r)$.

ПРИЛОЖЕНИЕ В

(справочное)

Метод расчета градуировочных характеристик термометров сопротивления ЭТС-100М и вычисления температуры для диапазона температуры ниже 273,16 К

В.1 Метод расчета градуировочных характеристик

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

$$\Delta W(T) = W(T) - W_r(T), \quad (B.1)$$

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

$W(T)$ – зависимость относительного сопротивления от температуры;

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

В.1.2 Для определения функции отклонения в этом диапазоне используют линейную зависимость

$$\Delta W(T) = M \cdot (W(T) - 1), \quad (B.2)$$

$$M = W(T) / (W(T) - 1) \quad (B.3)$$

где M – константа, определяемая из результатов градуировки при температуре кипения азота (9.5.1 настоящей методики).

В.1.3 При необходимости рассчитывают таблицы значений $\Delta W(W)$ или $W(T)$, а также производных dW/dT для поверяемого термометра.

В.2 Вычисление температуры по градуировочной характеристике термометра

В.2.1 По результатам измерения сопротивления термометра R рассчитывают

$$W(T_{и}) = R(T_{и}) / R_T, \quad (B.4)$$

где $W(T_{и})$ – относительное сопротивление термометра при температуре $T_{и}$;
 $T_{и}$ – измеряемая температура;

$R(T_{и})$ – сопротивление термометра при температуре $T_{и}$;

R_T – сопротивление термометра в тройной точке воды.

В.2.2 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 (B.2) определяют $\Delta W(T_{и})$, а затем рассчитывают $W_r(T_{и})$ по формуле (B.1). По зависимости $W_r(T)$ [в табл. значений $W_r(T)$ в зависимости от температуры] находят значение температуры $T_{и}$, соответствующее $W_r(T_{и})$. Значение температуры можно также рассчитать с помощью обратной стандартной функции МТШ-90 $T(W_r)$.