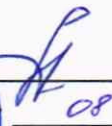


СОГЛАСОВАНО
Первый заместитель
генерального директора—
заместитель по научной работе
ФГУП «ВНИИФТРИ»




А.Н. Щипунов
2022 г.

Государственная система обеспечения единства измерений

Термометры сопротивления родий-железные эталонные капсульные ТСРЖ-Э

Методика поверки

МП 651-22-059

1 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1 Настоящая методика распространяется на термометры сопротивления родий-железные эталонные капсульные ТСРЖ-Э (далее – термометры), изготовленные ФГУП «ВНИИФТРИ», используемых в качестве рабочих средств измерений или в качестве рабочих эталонов в соответствии с государственной поверочной схемой для средств измерений температуры, и устанавливает методику, порядок и содержание их первичной и периодической поверок.

1.2 При проведении поверки обеспечена прослеживаемость к ГЭТ 35-2021 по государственной поверочной схеме для средств измерений температуры ГОСТ 8.558-2009 для рабочих эталонов 0 разряда.

1.3 При определении метрологических характеристик поверяемого средства измерений используется метод непосредственного сравнения результата измерения поверяемого средства измерений со значением, определенным эталоном и метод калибровки в реперной точке температурной шкалы МТШ-90.

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

Таблица 1 – Подтверждаемые метрологические требования

Наименование характеристики	Значение
Диапазон измерений температуры, К	от 0,8 до 273,16
Значение нестабильности при изменении температуры в диапазоне от 4,2 до 273,16 К, не более, К: при температуре 273,16 К при температуре 4,2 К	$\pm 0,001$ $\pm 0,0007$
Границы доверительных абсолютных погрешностей термометра при доверительной вероятности $P = 0,95$, с учетом нестабильности, не более, К	$\pm 0,0014$
Расширенная неопределенность измерений, К	0,0014

2 ПЕРЕЧЕНЬ ОПЕРАЦИЙ ПОВЕРКИ

2.1 При проведении поверки должны быть выполнены операции, указанные в таблице 2.

Таблица 2 – Операции поверки

Наименование операции	№ пункта методики	Проведение операции при первичной поверке	Проведение операции при периодической поверке
Внешний осмотр средства измерений	7	да	да
Подготовка к поверке и опробование средства измерений	8	да	да
Определение метрологических характеристик и подтверждение соответствия средства измерений метрологическим требованиям			
Определение сопротивления при температуре тройной точки воды	9.1	да	да
Определение нестабильности термометра	9.2	да	да
Определение рабочего диапазона измерений температуры, границ доверительных абсолютных погрешностей термометра при доверительной вероятности $P = 0,95$ и расширенной неопределенности измерений	9.3	да	да
Оформление результатов поверки	10	да	да

2.2 При получении отрицательных результатов поверки по любому пункту таблицы 2 термометр признается непригодным к применению и направляется в ремонт.

2.3 Не допускается проведение поверки отдельных измерительных каналов или отдельных автономных блоков или меньшего числа измеряемых величин или на меньшем числе поддиапазонов измерений.

2.4 Поверку термометра допускается проводить только в лабораторных условиях. Поверка термометров на месте эксплуатации не допускается.

3 ТРЕБОВАНИЯ К УСЛОВИЯМ ПРОВЕДЕНИЯ ПОВЕРКИ

3.1 Поверка производится при рабочих условиях эксплуатации поверяемого термометра и используемых средств поверки.

3.2 Средства поверки термометра должны быть подготовлены к работе в соответствии с их руководствами по эксплуатации.

3.3 При проведении операций поверки должны быть соблюдены следующие условия:

- температура окружающего воздуха, °С: от +18 до +28;
- относительная влажность окружающего воздуха при 25 °С, %, до 80;
- атмосферное давление, кПа: от 94 до 106 кПа.

3.4 Поверка проводится аккредитованными организациями в установленном порядке.

4 ТРЕБОВАНИЯ К СПЕЦИАЛИСТАМ, ОСУЩЕСТВЛЯЮЩИМ ПОВЕРКУ

4.1 К проведению поверки допускаются лица с высшим или средним техническим образованием, аттестованные в качестве поверителей в области теплофизических и температурных измерений и изучившие настоящую методику, документацию на термометр и эксплуатационную документацию на используемые средства поверки.

5 МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К СРЕДСТВАМ ПОВЕРКИ

5.1 Для поверки применять средства поверки, приведенные в 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 Определение метрологических характеристик и подтверждение соответствия средства измерений метрологическим требованиям	Родий-железные термопреобразователи с диапазоном измерений температуры от 0,8 до 273,16 К и суммарным средним квадратическим отклонением погрешности от 0,3 до 1,3 мК; Средства измерений электрического сопротивления с диапазоном измерения сопротивления от 1 до 150 Ом и пределами допускаемой относительной погрешности $\pm 0,00002\%$; Ампула тройной точки воды (ТТВ) со значением воспроизводимой температуры 273,16 К и средним квадратическим отклонением	Эталонные родий-железные термометры из состава ГЭТ 35-2021; Измеритель температуры двухканальный прецизионный МИТ 8.20 рег.№ 74918-19; Ампула ТТВ из состава ГЭТ 35-2021;

	воспроизведения температуры 0,0002 К; Криостат для калибровки термометров сопротивления в диапазоне температур от 0,8 до 273, К; Мультиметр цифровой с диапазоном измерения сопротивления постоянному току до 2000 МОм и погрешностью в диапазоне до 200 Ом 1,5 Ом.	Криостат-вставка КВ - № 2 для калибровки термометров сопротивления в диапазоне от 0,8 К до 303 К из состава ГЭТ 35-2021; Мультиметр цифровой АМ-1083 рег. № 47619-11.
Пп. 7 – 9 Контроль условий поверки	Средства измерений температуры окружающей среды в диапазоне измерений от 0 до 50 °С с абсолютной погрешностью не более 1 °С; Средства измерений относительной влажности воздуха в диапазоне измерений от 0 до 98 % с погрешностью не более ±3%; Средства измерений атмосферного давления в диапазоне от 630 до 780 кПа с погрешностью 0,2 кПа	Измеритель температуры и влажности микропроцессорный ИТВ 1522D, рег. № 20857-07; Барометр-анероид контрольный М-67, рег. № 3744-73
<i>Примечание – Допускается использовать другие средства поверки с метеорологическими и техническими характеристиками, обеспечивающими требуемую точности передачи единицы величины поверяемому средству измерений.</i>		

6 ТРЕБОВАНИЯ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ПОВЕРКИ

6.1 При проведении поверки необходимо соблюдать:

- требования по технике безопасности, изложенные в эксплуатационной документации (далее – ЭД) на используемые средства поверки;
- правила по технике безопасности, действующие на месте поверки.

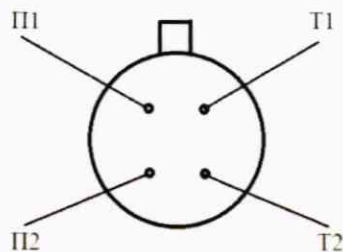
7 ВНЕШНИЙ ОСМОТР СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

7.1 При внешнем осмотре должно быть установлено соответствие термометра следующим требованиям:

- отсутствие коррозии;
- отсутствия трещин, сколов корпуса и механических повреждений на поверхностях.

7.2 Результаты поверки считать положительными, если выполняются выше перечисленные требования.

8 ПОДГОТОВКА К ПОВЕРКЕ И ОПРОБОВАНИЕ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ



а)

б)

Рисунок 1 – Назначение контактов термометра.

8.1.3 Результаты поверки считать положительными, если значение сопротивления изоляции не менее 150 МОм и электрический контакт между любой парой выводов П1, П2, Т1, Т2 не нарушен.

9 ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ И ПОДТВЕРЖДЕНИЕ СООТВЕТСТВИЯ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ МЕТРОЛОГИЧЕСКИМ ТРЕБОВАНИЯМ

9.1 Определение сопротивления при температуре тройной точки воды.

9.1.1. Сопротивление термометра при температуре тройной точки воды определяют в начале и в конце процедуры поверки. Погрузить термометр в канал подготовленной к работе ампулы тройной точки воды. Начать измерение сопротивления термометра прибором МИТ8.20 измерительным током 1 мА. Дождаться установления теплового равновесия.

9.1.2. Выполнить измерение сопротивления термометра $R_{\text{ТТВ}}$ при температуре тройной точки воды.

9.1.3 Результаты поверки считать положительными, если номинальное сопротивление в ТТВ составляет 100 ± 2 Ом, разница измеренного значения $R_{\text{ТТВ}}$ в начале поверки и в конце поверки в температурном эквиваленте не превышает ± 1 мК. Разница измеренного значения $R_{\text{ТТВ}}$ и значения $R_{\text{ТТВ}}$, приведенного в руководстве по эксплуатации термометра (свидетельстве о поверке), не должна превышать в температурном эквиваленте ± 1 мК.

9.2 Определение нестабильности термометра.

9.2.1. Термометр поместить в криостат-вставку КВ № 2 совместно с эталонным термометром сопротивления ТСРЖН-1 из состава ГЭТ 35-2021 (далее эталонный термометр) и реализовать температуру $273,66 \pm 0,5$ К. Выдержать не менее 30 минут при этой температуре, дожидаясь, чтобы изменение температуры по эталонному термометру за 5 минут не превышало ± 1 мК.

9.2.2 Выполнить измерения сопротивления испытываемого термометра $R_{\text{Н1}}$ и эталонного термометра прибором МИТ 8.20 при измерительном токе 1 мА. По сопротивлению эталонного термометра вычислить температуру $T_{\text{Н1}}$.

9.2.3 Охладить термометр и эталон в криостате-вставке до температуры $4,1 \pm 0,1$ К. Выдержать не менее 30 минут при этой температуре, дожидаясь, чтобы изменение температуры по эталонному термометру за 5 минут не превышало ± 1 мК.

9.2.4 Аналогично пункту 9.2.2 определить R_{L1} и T_{L1} .

9.2.5 Отогреть термометр и эталонный термометр в криостате-вставке до температуры $273,66 \pm 0,5$ К. Выдержать не менее 30 минут при этой температуре, дожидаясь, чтобы изменение температуры по эталонному термометру за 5 минут не превышало ± 1 мК.

9.2.6 Аналогично пункту 9.2.2 определить R_{H2} и T_{H2} .

9.2.7 Охладить термометр и эталонный термометр в криостате-вставке до температуры $4,1 \pm 0,1$ К. Выдержать не менее 30 минут при этой температуре, дожидаясь, чтобы изменение температуры по эталонному термометру за 5 минут не превышало ± 1 мК.

9.2.8 Аналогично пункту 9.2.2 определить R_{L2} и T_{L2} .

9.2.9 Привести полученные в двух сериях измерений значения R_H и R_L к одной температуре:

$$R_{H1пр} = R_{H1} + (T_{H2} - T_{H1}) \cdot 0,37 \quad (1)$$

$$R_{L1пр} = R_{L1} + (T_{L2} - T_{L1}) \cdot 0,47 \quad (2)$$

9.2.10 Вычислить изменение сопротивления термометра в температурном эквиваленте на устойчивость к температурным циклам и стабильность:

$$\Delta_H = |R_{H1пр} - R_{H2}| / 0,37 \quad (3)$$

$$\Delta_L = |R_{L1пр} - R_{L2}| / 0,47 \quad (4)$$

9.2.11 Результаты поверки считать положительными, если Δ_H не более 1 мК, а Δ_L не более 0,7 мК.

9.3 Определение рабочего диапазона измерений температуры, границ доверительных абсолютных погрешностей термометра при доверительной вероятности $P = 0,95$ и расширенной неопределенности измерений

9.3.1 Термометр поместить в криостат-вставку КВ № 2 совместно с эталонным термометром сопротивления ТСРЖН-1 из состава ГЭТ 35-2021 (далее эталонный термометр) и реализовать температуру от 0,8 К до 0,88 К. Выдержать не менее 30 минут при этой температуре, дожидаясь, чтобы изменение температуры по эталонному термометру за 5 минут не превышало ± 1 мК.

9.3.2 Выполнить 30 измерений сопротивления термометра R_1 прибором МИТ 8.20 измерительным током 1,5 мА одновременно с измерениями эталонного термометра $R_{Э1}$. Вычислить среднее арифметическое значение сопротивления термометра R_1 , среднее арифметическое значение сопротивления эталонного термометра, по значению сопротивления эталонного термометра вычислить температуру T_1 .

9.3.3 Реализовать в термостате-вставке температуру от 4,2 К до 4,3 К. Выдержать не менее 30 минут при этой температуре, дожидаясь, чтобы изменение температуры по эталонному термометру за 5 минут не превышало ± 1 мК.

9.3.4 Выполнить 30 измерений сопротивления термометра R_2 прибором МИТ 8.20 измерительным током 1 мА одновременно с измерениями эталонного термометра $R_{Э2}$. Вычислить среднее арифметическое значение сопротивления термометра R_2 , среднее арифметическое значение сопротивления эталонного термометра, по значению сопротивления эталонного термометра вычислить температуру T_2 .

9.3.5 Реализовать в термостате-вставке температуру от 77 К до 77,5 К. Выдержать не менее 30 минут при этой температуре, дожидаться, чтобы изменение температуры по эталонному термометру за 5 минут не превышало ± 1 мК.

9.3.6 Выполнить 30 измерений сопротивления термометра R_{i3} прибором МИТ 8.20 измерительным током 1 мА одновременно с измерениями эталонного термометра $R_{эi3}$. Вычислить среднее арифметическое значение сопротивления термометра R_3 , среднее арифметическое значение сопротивления эталонного термометра, по значению сопротивления эталонного термометра вычислить температуру T_3 .

9.3.7 Реализовать в термостате-вставке температуру от 273 К до 273,16 К. Выдержать не менее 30 минут при этой температуре, дожидаться, чтобы изменение температуры по эталонному термометру за 5 минут не превышало ± 1 мК.

9.3.8 Выполнить 30 измерений сопротивления термометра R_{i4} прибором МИТ 8.20 измерительным током 1 мА одновременно с измерениями эталонного термометра $R_{эi4}$. Вычислить среднее арифметическое значение сопротивления термометра R_4 , среднее арифметическое значение сопротивления эталонного термометра, по значению сопротивления эталонного термометра вычислить температуру T_4 .

9.3.9 Для каждой температуры рассчитать:

среднее арифметическое значение сопротивления термометра

$$R_j = \sum_{i=1}^{30} R_{ij} / 30; \quad (5)$$

среднее арифметическое значение сопротивления эталонного термометра

$$R_{эj} = \sum_{i=1}^{30} R_{эij} / 30; \quad (6)$$

среднее квадратическое отклонение сопротивления термометра

$$S_j = \sqrt{\frac{\sum (R_{ij} - R_j)^2}{30 \cdot 29}}; \quad (7)$$

среднее квадратическое отклонение сопротивления эталонного термометра

$$S_{эj} = \sqrt{\frac{\sum (R_{эij} - R_{эj})^2}{30 \cdot 29}}; \quad (8)$$

случайную доверительную погрешность разброса сопротивления термометра при доверительной вероятности 0,95 в температурном эквиваленте

$$\Delta_{Sj} = \frac{t_q \cdot S_j}{(dR/dT)_T} \quad (9)$$

случайную доверительную погрешность разброса сопротивления эталонного термометра при доверительной вероятности 0,95 в температурном эквиваленте

$$\Delta_{Sэj} = \frac{t_q \cdot S_{эj}}{(dR/dT)_T} \quad (10)$$

Рассчитать доверительную погрешность δ_j испытываемого термометра при доверительной вероятности 0,95 в температурном эквиваленте

$$\delta_j = 1,1 \cdot \sqrt{\Delta_{Sj}^2 + \Delta_{Sэj}^2 + \Delta_{\text{мит}}^2 + \Delta_{\text{мера}}^2 + \Delta_{\text{эталон}}^2} \quad (11)$$

где

t_q – коэффициент из распределения Стьюдента с доверительной вероятностью 0,95 (при 30-ти измерениях $t_q = 2,045$);

(dR/dT) – чувствительность испытываемого термометра при температуре T , Ом/К;

$\Delta_{\text{мит}}$ – доверительная погрешность измерителя температуры двухканального прецизионного МИТ 8.20 в температурном эквиваленте;

$\Delta_{\text{мера}}$ – доверительная погрешность меры сопротивления в температурном эквиваленте;

$\Delta_{\text{эталон}}$ – доверительная погрешность эталонного термометра в температурном эквиваленте.

9.3.10 Для первой температуры (от 0,8 до 0,88 К) по значению сопротивления термометра вычислить температуру T_1 с использованием коэффициентов градуировочной характеристики и по среднему сопротивлению эталонного термометра вычислить температуру $T_{\text{э1}}$ с использованием коэффициентов градуировочной характеристики эталонного термометра.

9.3.11 Для четвертой температуры (от 273 до 273,16 К) по значению сопротивления термометра вычислить температуру T_4 с использованием коэффициентов градуировочной характеристики и по значению сопротивления эталонного термометра вычислить температуру $T_{\text{э4}}$ с использованием коэффициентов градуировочной характеристики эталонного термометра.

9.3.12 Для каждой температуры рассчитать:

стандартную неопределённость измерений МИТ 8.20 в предположении равномерного распределения вероятности погрешности

$$u_{\text{мит}} = \frac{\Delta_{\text{мит}}}{\sqrt{3}} \quad (12)$$

стандартную неопределённость используемой меры электрического сопротивления в предположении равномерного распределения вероятности погрешности

$$u_{\text{мера}} = \frac{\Delta_{\text{мера}}}{\sqrt{3}} \quad (13)$$

стандартную неопределённость эталонного термометра в предположении равномерного распределения вероятности погрешности

$$u_{\text{эталон}} = \frac{\Delta_{\text{эталон}}}{\sqrt{3}} \quad (14)$$

суммарную стандартную неопределённость калибровки термометра

$$u_{\text{сум}} = \sqrt{S_j^2 + S_{\text{эj}}^2 + u_{\text{мит}}^2 + u_{\text{мера}}^2 + u_{\text{эталон}}^2} \quad (15)$$

расширенную неопределённость калибровки термометра при доверительной вероятности 0,95

$$U = 2 \cdot u_{\text{сум}} \quad (16)$$

9.3.13 Результаты поверки по определению рабочего диапазона измерений температуры считать положительными, если границы доверительных абсолютных погрешностей термометра при доверительной вероятности $P = 0,95$ δ_j не превышают $\pm 0,0014$ К в диапазоне температур от 0,8 до 273,16 К, результаты поверки по определению расширенной неопределённости измерений считать положительными если они не превышают 0,0014 К.

10 ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОВЕРКИ

10.1 Результаты поверки термометра подтверждаются сведениями о результатах поверки средств измерений, включенными в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений. По заявлению владельца термометра или лица, представившего его на поверку, на руководство по эксплуатации термометра наносится знак поверки, и (или) выдается свидетельство о поверке и (или) в паспорт термометра вносится запись о проведенной поверке, заверяемая подписью поверителя и знаком поверки, с указанием даты поверки, или выдается извещение о непригодности к применению средства измерений.

10.2 Результаты поверки оформляются в соответствии с установленной формой.

Начальник лаборатории 310 НИО-3 ФГУП «ВНИИФТРИ»

С.н.с. лаборатории 310 НИО-3 ФГУП «ВНИИФТРИ»



А.А. Петухов



Б.Г.Потапов

