

СОГЛАСОВАНО

Генеральный директор АО «ТЭМ»

« 08 » мая 2019 г.



УТВЕРЖДАЮ

И.о. директора

ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева»

А.Н. Пронин

« 08 » мая 2019 г.



КОМПЛЕКТЫ ТЕРМОМЕТРОВ СОПРОТИВЛЕНИЯ

ТЭМ-110

Методика поверки

с изменением № 1

Лист утверждения

РАЖГ.405211.002 ПМ2 – ЛУ



СОГЛАСОВАНО

Технический директор

АО НПФ ЛОГИКА

« 08 » мая 2019 г.



A handwritten signature in blue ink.

УТВЕРЖДЕН

РАЖГ.405211.002 ПМ2 – ЛУ

КОМПЛЕКТЫ ТЕРМОМЕТРОВ СОПРОТИВЛЕНИЯ

ТЭМ-110

Методика поверки

с изменением № 1

РАЖГ.405211.002 ПМ2



Содержание

Введение	3
1 Операции поверки	3
2 Условия поверки	3
3 Средства поверки	3
4 Требования безопасности	4
5 Поверка	4
5.1 Внешний осмотр	4
5.2 Проверка соответствия погрешности	4
6 Оформление результатов	7
Приложение А Расчет расширенной неопределенности поверки комплекта	8

Введение

Настоящая методика распространяется на комплекты термометров сопротивления ТЭМ-110 (далее комплекты), изготавливаемые по техническим условиям ТУ 4211-064-23041473-2009.

Поверке подвергается каждый комплект при выпуске из производства и при эксплуатации. При эксплуатации поверку проводят с периодичностью один раз в четыре года.

Настоящая методика ориентирована на автоматизированную поверку; поверитель должен обладать навыками работы на персональном компьютере.

1 Операции поверки

1.1 При поверке выполняют операции, перечень и последовательность проведения которых приведены в таблице 1.1. Допускается совмещение испытаний комплектов с испытаниями термометров, входящих в их состав.

Таблица 1.1 – Операции поверки

Наименование	Пункт методики
Внешний осмотр	5.1
Проверка соответствия допускаемым пределам погрешности	5.2

2 Условия поверки

2.1 Испытания проводят при соблюдении следующих условий:

- температура окружающего воздуха – $(20 \pm 5) ^\circ\text{C}$;
- относительная влажность – от 30 до 80 %;
- атмосферное давление – от 84 до 106,7 кПа;
- напряжение питания – $220 \text{ В} \pm 5 \%$.

3 Средства поверки

3.1 При испытаниях используются перечисленные в таблице 3.1 средства измерений и оборудование. Допускается использование иных средств измерений и оборудования с характеристиками не хуже указанных.

Таблица 3.1 – Средства измерений и оборудование

Наименование	Основные характеристики, необходимые для проверки
Автоматизированная система поверки термопреобразователей АСПТ (в комплекте с кабелем №01, кабелем интерфейсным и программой АПТ)	Диапазон измерения $R=(75-175) \text{ Ом}$, пределы абсолютной погрешности $\pm(10^{-5} \cdot R + 10^{-3}) \text{ Ом}$
Компьютер	Win98/XP и выше, свободный COM-порт
Термостат нулевой ТН-1М	Температура измерения $0 \pm 0,02 ^\circ\text{C}$, нестабильность $\pm 0,02 ^\circ\text{C}$, перепад температуры в рабочем объеме не более $\pm 0,005 ^\circ\text{C}$
Термостат паровой ТП-2	Температура измерения $100 \pm 2 ^\circ\text{C}$, нестабильность $\pm 0,03 ^\circ\text{C}$, перепад температуры в рабочем объеме не более $\pm 0,01 ^\circ\text{C}$
Термостат регулируемый Т2	Температура измерения $150 \pm 5 ^\circ\text{C}$, нестабильность $\pm 0,01 ^\circ\text{C}$, перепад температуры в рабочем объеме не более $\pm 0,02 ^\circ\text{C}$
Образцовый термометр сопротивления II разряда ПТСВ-04-2	Пределы измерения $0-155 ^\circ\text{C}$; пределы абсолютной погрешности $\pm 0,01 ^\circ\text{C}$ в диапазоне $0-30 ^\circ\text{C}$ и $\pm 0,02 ^\circ\text{C}$ в диапазоне $30-155 ^\circ\text{C}$

4 Требования безопасности

4.1 При испытаниях следует соблюдать "Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей" и "Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей".

4.1 Опасным фактором при испытаниях является повышенная температура измеряемой среды.

5 Поверка

5.1 Внешний осмотр

При внешнем осмотре проверяют сохранность (читаемость) маркировки каждого термометра комплекта и убеждаются в отсутствии механических повреждений, способных привести к их неработоспособности. Контролируют соответствие заводских номеров, указанных в паспортах термометров, записям в паспорте комплекта.

5.2 Проверка соответствия погрешности

5.2.1 Проверку соответствия погрешности допускаемым пределам проводят в нулевом ($0 \pm 0,02$ °С), паровом (100 ± 2 °С) и регулируемом (150 ± 5 °С) термостатах в по схемам, приведенным на рисунках 5.1 и 5.2.

Перед испытаниями делают в настройках программы АПТ необходимые установки, определяющие режимы работы АСПТ при измерении сопротивления образцового и проверяемого термометров: измерительный ток – 1 мА, опорное сопротивление АСПТ – 150 Ом, допустимый дрейф – 0,01 °С/мин, время ожидания (после выхода на допустимый дрейф) – 1 мин, число измерений – 10, программное усреднение – включено.

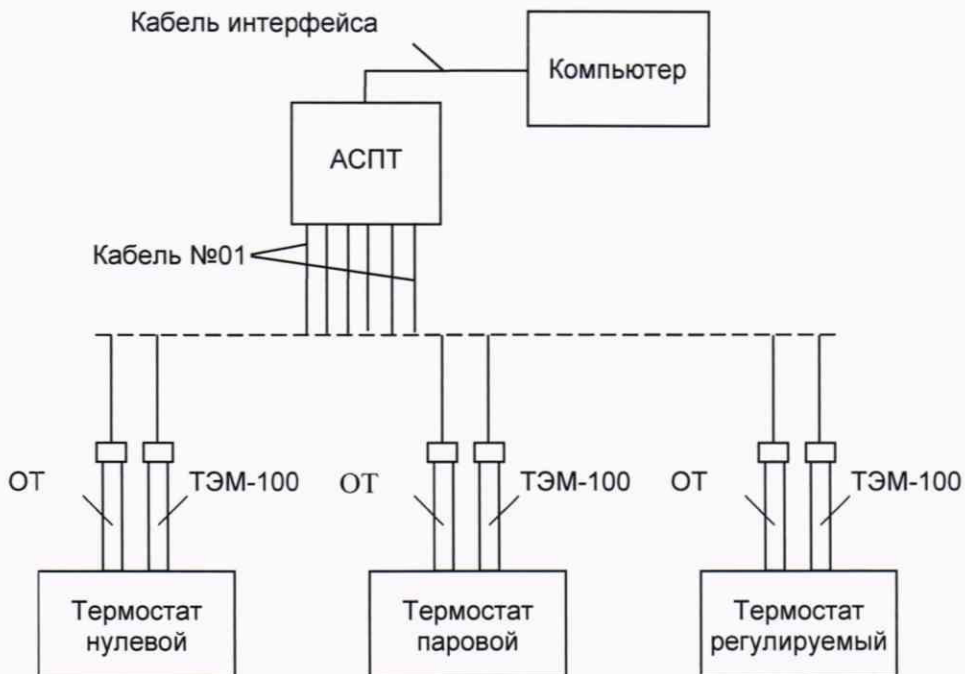


Рисунок 5.1 – Схема проверки. "ОТ" – образцовый термометр.

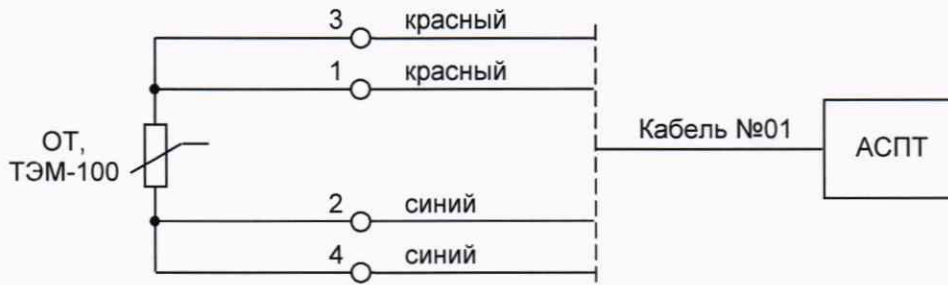


Рисунок 5.2 – Схема подключения термометров

5.2.2 Образцовый термометр и оба поверяемых термометра комплекта помещают в рабочий объем нулевого (парового, регулируемого) термостата на глубину не менее минимальной глубины погружения термометров так, чтобы концы погружных частей поверяемых и образцового термометров находились на одном уровне с отклонением не более $\pm 0,5$ см.

Если в силу существенного различия длин термометров невозможно выполнить это условие, то в результат измерения сопротивления поверяемых термометров при необходимости вводят поправку на перепад температуры между концами погружных частей поверяемых и образцового термометров в соответствии с методикой ГОСТ 8.461-2009, раздел 11, п.11.7.

Запускают процесс измерений с помощью кнопки "Вкл" (в меню "Измерение" программы АПТ), и после установления показаний (отмечен индикатор готовности) фиксируют с помощью кнопки "Запись" (в том же меню) значения $R_{i_{t_0}}$, $R_{i_{t_{100}}}$ и $R_{i_{t_{150}}}$ – соответственно первого ($i=1$) и второго ($i=2$) термометров, измеренные в нулевом (t_0), паровом (t_{100}) и регулируемом (t_{150}) термостатах ($i=1$ соответствует термометру с маркировкой "ПОДАЮЩИЙ", $i=2$ – термометру с маркировкой "ОБРАТНЫЙ").

5.2.3 Вычисляют коэффициенты A_i и B_i индивидуальной характеристики первого и второго термометров по формулам

$$A_i = \frac{R_{i_{t_{100}}}}{R_{i_0} \cdot t_{100}} - B_i \cdot t_{100} - \frac{1}{t_{100}} \quad (5.1)$$

$$B_i = \frac{R_{i_{t_{150}}}/R_{i_0} - 1}{t_{150}^2 - t_{150} \cdot t_{100}} + \frac{R_{i_{t_{100}}}/R_{i_0} - 1}{t_{100}^2 - t_{150} \cdot t_{100}} \quad (5.2)$$

$$R_{i_0} = R_{i_{t_0}} - (R_{St_0} - R_{S_0}) \quad (5.3)$$

$$R_{St_0} = R_{S_0} (1 + A_H \cdot t_0 + B_H \cdot t_0^2) \quad (5.4)$$

где

A_i, B_i – коэффициенты индивидуальной характеристики первого ($i=1$) и второго ($i=2$) термометров;

R_{S_0} – номинальное сопротивление образцового термометра при $t=0$ °C, $R_{S_0}=100$ Ом;

R_{St_0} – сопротивление образцового термометра при $t=t_0$, Ом;

t_0 – температура в нулевом термостате, измеренная образцовым термометром, °C;

t_{100} – температура в паровом термостате, измеренная образцовым термометром, °C;

t_{150} – температура в регулируемом термостате, измеренная образцовым термометром, °C;

R_{i_0} – сопротивление i -го термометра при $t=0$ °C, Ом;

$R_{i_{t_0}}$ – сопротивление i -го термометра, измеренное в нулевом термостате, Ом;

$R_{i_{t_{100}}}$ – сопротивление i -го термометра, измеренное в паровом термостате, Ом;

$R_{i_{t_{150}}}$ – сопротивление i -го термометра, измеренное в регулируемом термостате, Ом.

A_H – коэффициент, $A_H = 3,9083 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$;

B_H – коэффициент, $B_H = -5,775 \cdot 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}^{-2}$.

5.2.3 Вычисляют сопротивления первого ($R_{1_{t_{mn}}}$) и второго ($R_{2_{t_m}}$) термометров при каждой температуре, соответственно, t_{mn} и t_m по формулам

$$R1_{t_{mn}} = R1_0 \cdot (1 + A1 \cdot t_{mn} + B1 \cdot t_{mn}^2) \tag{5.5}$$

$$R2_{t_m} = R2_0 \cdot (1 + A2 \cdot t_m + B2 \cdot t_m^2) \tag{5.6}$$

$$t_{mn} = t_m + \Delta t_n \tag{5.7}$$

где

$R1_{t_{mn}}$ – сопротивление первого термометра при температуре t_{mn} , °С;

$R2_{t_m}$ – сопротивление второго термометра при температуре t_m , °С;

$R1_0$ – сопротивление первого термометра при $t=0$ °С, Ом; вычисляется по (5.3);

$R2_0$ – сопротивление второго термометра при $t=0$ °С, Ом; вычисляется по (5.3);

$A1, B1$ – коэффициенты индивидуальной характеристики первого термометра, °С⁻¹, °С⁻² соответственно; вычисляются по (5.1), (5.2);

$A2, B2$ – коэффициенты индивидуальной характеристики второго термометра, °С⁻¹, °С⁻² соответственно; вычисляются по (5.1), (5.2);

t_m – расчетное значение температуры второго термометра, °С; задается таблицей 5.1 для каждого $m=\{1...16\}$;

Δt_n – разность температур, °С; задается таблицей 5.1 для каждого $n=\{1...16\}$;

t_{mn} – расчетное значение температуры первого термометра, °С; вычисляется для каждого $m=\{1...16\}$ и $n=\{1...(17-m)\}$.

Таблица 5.1

Обозначение элемента	Значение															
m	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
t_m [°С]	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	147
n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Δt_n [°С]	3	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	145

5.2.4 Вычисляют значения температуры $t1_{mn}$, соответствующие сопротивлению $R1_{t_{mn}}$ первого термометра и значения температуры $t2_m$, соответствующие сопротивлению $R2_{t_m}$ второго термометра по формулам

$$t1_{mn} = \frac{\sqrt{A_H^2 - 4 \cdot B_H \cdot (1 - R1_{t_{mn}}/R_0)} - A_H}{2 \cdot B_H} \tag{5.8}$$

$$t2_m = \frac{\sqrt{A_H^2 - 4 \cdot B_H \cdot (1 - R2_{t_m}/R_0)} - A_H}{2 \cdot B_H} \tag{5.9}$$

где

$t1_{mn}$ – температура, соответствующая сопротивлению $R1_{t_{mn}}$ первого термометра, °С;

$t2_m$ – температура, соответствующая сопротивлению $R2_{t_m}$ второго термометра, °С;

$R1_{t_{mn}}$ – сопротивление первого термометра при температуре t_{mn} , Ом; вычисляется по (5.5);

$R2_{t_m}$ – сопротивление второго термометра при температуре t_m , Ом; вычисляется по (5.6);

A_H – коэффициент, $A_H = 3,9083 \cdot 10^{-3}$ °С⁻¹;

B_H – коэффициент, $B_H = -5,775 \cdot 10^{-7}$ °С⁻²;

R_0 – номинальное сопротивление термометров при $t=0$ °С, $R_0=100$ Ом.

Комплект считают годным, если выполняются неравенства

$$(t_{mn} - t_m) - (t1_{mn} - t2_m) + U_{\Delta t} \leq 0,05 + 0,001 \cdot (t_{mn} - t_m) \tag{5.10}$$

$$(t_{mn} - t_m) - (t1_{mn} - t2_m) - U_{\Delta t} \geq -(0,05 + 0,001 \cdot (t_{mn} - t_m)) \tag{5.11}$$

для класса 1

$$\left. \begin{aligned} (t_{mn} - t_m) - (t_{1mn} - t_{2m}) + U_{\Delta t} &\leq 0,09 + 0,002 \cdot (t_{mn} - t_m) \\ (t_{mn} - t_m) - (t_{1mn} - t_{2m}) - U_{\Delta t} &\geq - (0,09 + 0,002 \cdot (t_{mn} - t_m)) \end{aligned} \right\} \text{ для класса 2} \quad \begin{matrix} (5.12) \\ (5.13) \end{matrix}$$

где

t_{1mn} – температура, соответствующая сопротивлению $R_{1t_{mn}}$ первого термометра, °С; вычисляется по (5.8);

t_{2m} – температура, соответствующая сопротивлению R_{2t_m} второго термометра, °С; вычисляется по (5.9);

t_{mn} – расчетное значение температуры первого термометра, °С; вычисляется по (5.7);

t_m – расчетное значение температуры второго термометра по таблице 4.2, °С;

$U_{\Delta t}$ – расширенная неопределенность поверки комплекта, °С; вычисляется по Приложению А.

6 Оформление результатов

Результаты измерений, значения расширенной неопределенности и поправки на температурный градиент рабочей среды (в случае учета поправки) фиксируют в протоколе поверки.

Результаты поверки оформляют записью в паспорте комплекта, в разделе 10 "Свидетельство о поверке", с указанием результата и даты проведения. Запись удостоверяют подписью поверителя и, при положительных результатах поверки, оттиском клейма поверителя.

Приложение А

Расчет расширенной неопределенности поверки комплекта

А.1 Расчет расширенной неопределенности поверки комплекта термометров сопротивления (ТС) выполняют, руководствуясь методикой ГОСТ 8.461-2009, раздел 11.

А.1.1 Уравнение измерений при поверке комплекта ТС имеет вид:

$$F(\Delta t) = (t_{mn} - t_m) - (t_{1mn} - t_{2m}),$$

где $(t_{mn} - t_m)$ – фиксированная заданная разность температур,

$(t_{1mn} - t_{2m})$ – разность значений температуры, рассчитанных по формулам (5.1 - 5.9) на основе измеренных значений сопротивления образцового и поверяемых термометров в точках градуировки 0, 100, 150 °С.

Неопределенность разности значений температуры первоначально рассчитывают при $(t_{mn} - t_m) = 150^\circ\text{C}$ и $(t_{mn} - t_m) = 0^\circ\text{C}$.

А.1.2 Стандартные неопределенности поверки ТС комплекта в термостате, связанные с погрешностями образцового ТС и измерительной установки, являются строго коррелированными, т.к. используется одна и та же электроизмерительная установка и образцовый термометр. Кроме того, их зависимость от температуры очень мала. Поэтому при расчете суммарной неопределенности разности температур результирующий вклад данных неопределенностей близок к нулю и им можно пренебречь.

А.1.3. В бюджет неопределенности разности значений температуры включаются следующие составляющие:

- случайные эффекты при измерении образцовым термометром температуры t_{mn}
- случайные эффекты при измерении образцовым термометром температуры t_m
- случайные эффекты при измерении сопротивления первого термометра t_{mn}
- случайные эффекты при измерении сопротивления второго термометра t_m
- стандартная неопределенность, связанная с неравномерностью температуры в рабочем объеме термостата (учитывается в случае невыполнения условия по п.5.2.2).

А.1.4. Суммарную стандартную неопределенность измерения максимальной разности температур $\Delta t_n \max = (t_{mn} - t_m)_{\max}$ для температур $t_{mn} = 150^\circ\text{C}$ и $t_m = 0^\circ\text{C}$ рассчитывают по формуле:

$$u_c(\Delta t_n \max) = \sqrt{\sum_{i=1}^m u_i^2} \quad (\text{A.1})$$

где

u_i – вклад источника неопределенности (п. А.1.3.) в суммарную стандартную неопределенность, °С; определяется в соответствии с методикой ГОСТ 8.461-2009, раздел 11.

А.1.5 Расширенную неопределенность для $\Delta t_n \max$ вычисляют по формуле:

$$U(\Delta t_n \max) = k \cdot u_c(\Delta t_n \max) \quad (\text{A.2})$$

где

$U(\Delta t_n \max)$ – расширенная неопределенность измерения разности температур, °С;

$u_c(\Delta t_n \max)$ – суммарная стандартная неопределенность измерения разности температур, °С;

k – коэффициент охвата; $k=2$.

А.1.6 Аналогично рассчитывают стандартную неопределенность измерения минимальной разности температур $\Delta t_n \min = (t_{mn} - t_m) = 0^\circ\text{C}$ для температуры $t_{mn} = t_m = 150^\circ\text{C}$.

А.1.7 Для значений разности температур Δt_{ni} ($i=3, 10, \dots, 140, 145$), заданных в табл. 5.1, расширенную неопределенность $U(\Delta t_{ni})$ рассчитывают путем линейной интерполяции полученных значений на интервале $[\Delta t_n \min = 0^\circ\text{C}, \Delta t_n \max = 150^\circ\text{C}]$ по формуле:

$$U(\Delta t_{ni}) = U(\Delta t_n \min) + \frac{U(\Delta t_n \max) - U(\Delta t_n \min)}{150} \cdot \Delta t_{ni} \quad (\text{A.3})$$

