

Д.А. Гривастов (СНИИМ)

**Поверка термометров сопротивления в соответствии с ГОСТ Р 8.624 при использовании в качестве средства поверки прецизионного многоканального измерителя температуры «Термоизмеритель ТМ-12».
Расчёт расширенной неопределённости поверки.**

В соответствии с требованием 6.8 ГОСТ Р 8.624 расширенная неопределённость поверки ТС должна быть в два раза меньше допуска ТС по ГОСТ Р 8.625. Рассмотрим применимость прецизионного многоканального измерителя температуры «Термоизмеритель ТМ-12» в качестве средства поверки, используемого и в качестве эталонного термометра, и в качестве измерителя для поверяемых ТС. В последнем случае на дисплее прибора отображаются значения температуры, получаемые как результат измерения сопротивления поверяемых ТС и перевода их в значение температуры по ИСХ. Это удобно и наглядно, так как контроль отклонения характеристик ТС от номинальных можно осуществлять сразу в тех единицах, в которых пронормированы допуски ТС в ГОСТ Р 8.625. Измеритель внесён в Госреестр СИ (№ 34205-07) и в его эксплуатационных документах одним из назначений указано использование как раз при поверке и калибровке ТС. Более подробно об измерителе «Термоизмеритель ТМ-12» можно прочитать на сайте производителя ООО «ПЭП «Сибэкоприбор» (<http://www.sibecopribor.ru>).

Рассмотрим случай поверки ТС с использованием, помимо указанного измерителя, термостата или калибратора (не конкретизируя тип).

Прецизионный многоканальный измеритель температуры «Термоизмеритель ТМ-12» может использоваться в режиме измерений по ИСХ ТС в качестве эталонного термометра со следующими метрологическими характеристиками: пределы допускаемой основной погрешности измерения температуры в диапазоне температур от 0 °С до 100 °С при измерениях с использованием ИСХ ТС $\Delta_{t_{\text{э}}} = \pm 0,05^\circ\text{C}$.

Стандартная неопределённость измерений температуры эталонным термометром («Термоизмеритель ТМ-12») рассчитывается по типу В (нормальное распределение):

$$u(\delta_{t_{\text{э}}}) = \Delta_{t_{\text{э}}} / 3 = \pm 0,0167^\circ\text{C}.$$

Стандартная неопределённость, обусловленная случайными эффектами при измерениях, рассчитывается как СКО среднего значения результатов измерений, выполненных в одном измерительном цикле эталонным термометром по формуле

$$u(t_{lab}) = \frac{u(t_{lab1})}{\sqrt{N_j}},$$

где

$u(t_{lab1})$ – СКО единичного измерения эталонного термометра, определенное по 9.2 ГОСТ Р 8.624;

N_j – количество измерений в одном измерительном цикле.

Экспериментальная оценка неопределённости единичного измерения в условиях конкретной поверочной лаборатории.

Неопределённость единичного измерения определяется при температурах, близких к градуировочным точкам отдельно для ТС с различными номинальными сопротивлениями, поверяемыми в данной лаборатории. Допускается использование термостатированных мер сопротивления с номинальными значениями, близкими к поверяемым ТС.

Рекомендуется проводить измерения в реперной точке, в нулевом термостате при 0°С или в высокостабильном жидкостном термостате (нестабильность не более $\pm 0,002^\circ\text{C}$).

Проводится не менее 50 отсчетов температуры¹ и рассчитывается СКО результата измерения. Расчет СКО проводится при регистрации поверителем отдельных отсчетов по формуле

$$u(t_{lab1}) = \sqrt{\sum_{i=1}^{N_{lab}} \frac{(t_i - t_s)^2}{N_{lab} - 1}}$$

где

N_{lab} – количество отсчетов,

t_i – результат i -го отсчета,

t_s – среднее значение отсчёта.

Если в процессе измерений отсчёты не изменяются, следует принимать $u(t_{lab1}) = 0,01^\circ\text{C} / \sqrt{3} = 0,0058^\circ\text{C}$.

Стандартная неопределенность, обусловленная нестабильностью температуры в термостате за время всех циклов измерений, рассчитывается по типу В по формуле

$$u(t_s) = \frac{t_{max} - t_{min}}{2\sqrt{3}}$$

где t_{max} , t_{min} – соответственно максимальная и минимальная температура, измеренная эталонным термометром за время проведения всех измерительных циклов во время поверки ТС при данной температуре.

В силу того, что «Термоизмеритель ТМ-12» выполняет измерения таким образом, что все отсчёты приведены к одному и тому же моменту времени, по истечении времени, достаточного для установления показаний эталонного и поверяемого термометров независимо от нестабильности поддержания температуры термостатом следует принимать значение $u(t_s) = 0,01^\circ\text{C} / 2\sqrt{3} = 0,0029^\circ\text{C}$.

Суммарная стандартная неопределённость при использовании прецизионного многоканального измерителя температуры «Термоизмеритель ТМ-12» в качестве эталонного термометра при одиночном измерении вычисляется по формуле

$$u_c(t_s) = \sqrt{u(\delta_{t_s})^2 + u(t_{lab})^2 + u(t_s)^2} = \sqrt{0,0167^2 + 0,0058^2 + 0,0029^2} = 0,0179 (\text{°C}).$$

Суммарная стандартная неопределённость поверки ТС рассчитывается по формуле

$$u_c(t) = \sqrt{u(t_s)^2 + u(t_p)^2 + u(t_{lab-p})^2 + u(t_h)^2 + u(t_v)^2},$$

где

$u(t_p)$ – стандартная неопределённость измерения сопротивления ТС и преобразования его по НСХ в значение температуры;

$u(t_{lab-p})$ – стандартная неопределённость, обусловленная случайными эффектами при измерениях (определяется аналогично тому, как это делалось для случая использования измерителя температуры в качестве эталонного термометра);

$u(t_h)$ – стандартная неопределённость, обусловленная горизонтальным градиентом температуры в термостате;

$u(t_v)$ – стандартная неопределённость, обусловленная вертикальным градиентом температуры в термостате.

Пределы допускаемой основной погрешности измерения сопротивления ТС и преобразования его по НСХ в значение температуры (измерения температуры с использованием НСХ ТС без учета погрешности ТС) $\Delta_{НСХ} = \pm(0,03 + 0,0002 \cdot |t|)^\circ\text{C}$, где t – измеряемая температура.

¹ Отсчёты – показания измерителя температуры в моменты времени, выбранные с интервалом не менее периода измерений. Наиболее рациональный способ получения последовательных отсчётов – регистрация результатов измерений, выдаваемых измерителем температуры через последовательный интерфейс.

$$u(t_p) = \Delta t_{HCX} / 3.$$

$$u(t_p) = \pm 0,01^\circ\text{C} \text{ при } t=0^\circ\text{C}, u(t_p) = \pm 0,03^\circ\text{C} \text{ при } t=100^\circ\text{C}.$$

Стандартные неопределённости, обусловленные горизонтальным и вертикальным градиентами температуры в термостате рассчитывают по формулам

$u(t_h) = \Delta t_h / \sqrt{3}$ и $u(t_v) = \Delta t_v / \sqrt{3}$, где Δt_h и Δt_v – максимальный перепад температур между точками, в которых находятся при поверке нижние торцы защитных корпусов эталонного и поверяемого ТС по горизонтали и вертикали соответственно. Значения Δt_h и Δt_v могут быть оценены экспериментально или взяты (рассчитаны) из технических характеристик используемого термостата, приведённых в его эксплуатационной документации.

Рассчитаем суммарную стандартную неопределённость поверки ТС при одиночном измерении и значениях температуры 0°C и 100°C , приняв $\Delta t_h=0,02^\circ\text{C}$, $\Delta t_v=0,02^\circ\text{C}$:

$$\begin{aligned} \text{- при температуре } t=0^\circ\text{C}: u_c(t) &= \sqrt{u(t_s)^2 + u(t_p)^2 + u(t_{lab-p})^2 + u(t_h)^2 + u(t_v)^2} = \\ &= \sqrt{0,0179^2 + 0,01^2 + 0,0058^2 + \left(\frac{0,02}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{0,02}{\sqrt{3}}\right)^2} = 0,027(^\circ\text{C}); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{- при температуре } t=100^\circ\text{C}: u_c(t) &= \sqrt{u(t_s)^2 + u(t_p)^2 + u(t_{lab-p})^2 + u(t_h)^2 + u(t_v)^2} = \\ &= \sqrt{0,0179^2 + 0,03^2 + 0,0058^2 + \left(\frac{0,02}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{0,02}{\sqrt{3}}\right)^2} = 0,039(^\circ\text{C}). \end{aligned}$$

Рассчитаем расширенную неопределённость поверки ТС $U_c(t)$ при доверительной вероятности 0,95 (коэффициент охвата $k=2$) при значениях температуры 0°C и 100°C по формуле $U_c(t)=k \cdot u_c(t)$:

$$\text{- при температуре } t=0^\circ\text{C}: U_c(t)=2 \cdot 0,027^\circ\text{C}=0,054^\circ\text{C} \approx 0,05^\circ\text{C};$$

$$\text{- при температуре } t=100^\circ\text{C}: U_c(t)=2 \cdot 0,039^\circ\text{C}=0,078^\circ\text{C} \approx 0,08^\circ\text{C};$$

Таким образом, прецизионный многоканальный измеритель температуры «Термоизмеритель ТМ-12» может быть использован для поверки ТС классов допуска АА (соотношение практически соответствует требованиям ГОСТ Р 8.624), А, В и С, а также чувствительных элементов соответствующих классов допуска.