

S11 Калибровка сухоблочного калибратора температуры при температуре 180 °С

S11.1 Частью процедуры калибровки является измерение температуры калибровочного канала блока температуры. Измерение происходит после того, как температура встроенного индикатора установилась на значении 180 °С. Температура калибруемого канала определяется с помощью погруженного в канал платинового термометра сопротивления, который служит в качестве рабочего эталона, посредством измерения электрического сопротивления термометра с помощью моста переменного тока. Температура t_x , которая должна идентифицироваться как температура измерительного канала, в момент когда показания встроенного индикатора температуры составят 180 °С, будет определяться следующим образом:

$$t_x = t_s + \delta t_s + \delta t_D - \delta t_{iX} + \delta t_R + \delta t_A + \delta t_H + \delta t_V \quad (S11.1)$$

где:

t_s – температура рабочего эталона, определенная по сопротивлению, измеренному мостом переменного тока;

δt_s – температурная поправка, обусловленная измерением сопротивления с помощью моста переменного тока;

δt_D – температурная поправка, обусловленная дрейфом рабочего эталона с момента его последней калибровки;

δt_{iX} – температурная поправка из-за ограничения шага задания температуры калибратора;

δt_R – температурная поправка, обусловленная разницей температур в радиальном направлении между встроенным термометром и рабочим эталоном;

δt_A – температурная поправка, обусловленная неоднородностью температуры по вертикальной оси измерительного канала;

δt_H – температурная поправка, обусловленная гистерезисом при увеличении или понижении температуры в измерительном цикле;

δt_V – колебания температуры в течение времени измерения.

Температурная поправка из-за теплопроводности по стержню термометра не принимается во внимание, так как в качестве рабочего эталона используется платиновый термометр сопротивления с наружным диаметром $d \leq 6$ мм. Предыдущие исследования показали, что эффектом теплопроводности в данном случае можно пренебречь.

S11.2 Рабочий эталон (t_s): В свидетельстве о калибровке термометра сопротивления, используемого в качестве рабочего эталона, приведено соотношение между сопротивлением и температурой. Измеренное значение сопротивления соответствует температуре 180,1 °С с расширенной неопределенностью измерения $U = 30$ мК (коэффициент охвата $k = 2$).

S11.3 Определение температуры с помощью моста переменного тока для измерения сопротивления (δt_s): Температура, определенная термометром сопротивления, используемым в качестве рабочего эталона, составила 180,1 °С. Стандартная неопределенность измерения сопротивления мостом переменного тока в температурном эквиваленте составляет $u(\delta t_s) = 10$ мК.

S11.4 Температурный дрейф рабочего эталона (δt_D): На основании опыта использования платиновых термометров сопротивления данного типа, используемых в качестве рабочих эталонов, изменение показаний в единицах температуры из-за старения сопротивления с момента последней калибровки эталона оценивается в пределах ± 40 мК.

S11.5 Установка задания по температуре для калибратора (δt_{IX}): Встроенный контрольный термометр калибратора температуры имеет интервал установки значения температуры 0,1 К. Это обуславливает предел разрешения по температуре ± 50 мК, внутри которого можно однозначно задать термодинамическое состояние температурного блока.

Примечание: Если показания встроенного индикатора температуры не приведены в единицах измерения температуры, проводится перерасчет пределов разрешения в соответствующие значения температуры посредством умножения показаний на постоянную измерительного прибора.

S11.6 Радиальная температурная неоднородность (δt_R): Радиальная разница температур между измерительным каналом и встроенным термометром составила ± 100 мК.

S11.7 Осевая температурная неоднородность (δt_A): Температурные отклонения из-за осевой температурной неоднородности в измерительном канале были определены по показаниям термометра при различной глубине погружения и составили ± 250 мК.

S11.8 Эффект гистерезиса (δt_H): Из измерений сопротивления образцового термометра в течение измерительного цикла при повышении и понижении температуры, было определено отклонение температуры в измерительном канале по причине эффекта гистерезиса, оно составило ± 50 мК.

S11.9 Нестабильность температуры (δt_V): Температурные изменения из-за нестабильности температуры в течение измерительного цикла, равного 30 минутам, составили ± 30 мК.

S11.10 Корреляция: Все входные величины рассматриваются как некоррелированные.

S11.11 Повторные наблюдения: Из-за конечного разрешения показаний встроенного термометра разброс показываемых значений не наблюдался и не принимался во внимание.

S11.12 Бюджет неопределенности измерения (t_X):

с	Оценка x_i	Стандартная неопределенность $u(x_i)$	Распределение вероятностей	Коэффициент чувствительности c_i	Вклад неопределенности $u_i(y)$
t_S	180,1°C	15 мК	нормальный	1,0	15 мК
δt_S	0,0°C	10 мК	нормальный	1,0	10 мК
δt_D	0,0°C	23 мК	прямоугольный	1,0	23 мК
δt_{IX}	0,0°C	29 мК	прямоугольный	- 1,0	- 29 мК
δt_R	0,0°C	58 мК	прямоугольный	1,0	58 мК
δt_A	0,0°C	144 мК	прямоугольный	1,0	144 мК
δt_H	0,0°C	29 мК	прямоугольный	1,0	29 мК
δt_V	0,0°C	17 мК	прямоугольный	1,0	17 мК
t_X	180,1°C				164 мК

S11.13 Расширенная неопределенность: В стандартной неопределенности результата явно доминируют составляющие от эффекта неизвестной температурной поправки из-за осевой температурной неоднородности в измерительном канале и радиальной

разницы температур между встроенным термометром и рабочим эталоном. Результирующее распределение не является нормальным, а, по-существу, является трапецеидальным. Согласно S10.13 коэффициент охвата, соответствующий параметру точки перегиба $\beta=0,33$ составляет $k=1,81$.

$$U = k \cdot u(t_x) = 1,81 \cdot 164 \text{ мК} \cong 0,3 \text{ К}$$

S11.14 Окончательный результат измерения: Температура измерительного канала, при показаниях встроенного контрольного термометра $180,0 \text{ }^\circ\text{C}$, составляет $180,1 \text{ }^\circ\text{C} \pm 0,3 \text{ }^\circ\text{C}$.

Приведенная расширенная неопределенность измерения получена умножением стандартной неопределенности измерения на коэффициент охвата $k=1,81$. Она соответствует предполагаемому трапецеидальному распределению с вероятностью охвата приблизительно 95 %.

S11.15 Математические примечания относящиеся к модели: Для большинства метрологов будет необычным, чтобы показания контрольного термометра не были явно отражены в функциональной модели согласно формуле (S11.1). Для удовлетворения пожеланий этих метрологов, опишем проблему альтернативно через ошибку индикации

$$E_X = t_x - t_i \tag{S11.2}$$

встроенного индикатора температуры

$$E_X = t_s - t_i + \delta t_S + \delta t_D - \delta t_{iX} + \delta t_R + \delta t_A + \delta t_H + \delta t_V \tag{S11.3}$$

При этом значение показаний t_i является номинальным. Его введение должно привести к сдвигу шкалы измеряемой величины. Оно, однако, не вносит вклада в неопределенность измерения, приписываемую ошибке индикации.

$$u(E_X) = u(t_x) \tag{S11.4}$$

Функциональная модель по формуле (S11.1) может быть получена из формулы (S11.3) с использованием определения ошибки индикации по формуле (S11.2).

Эти примечания показывают, что не существует только одного единственно верного способа выбора модели оценки измерений. Выбор модели находится в руках метрологов и определяется навыками и его видением проблемы. Функциональные модели, которые математически могут быть преобразованы одна в другую, представляют тот же измерительный процесс. В случаях, которые касаются непрерывной шкалы показаний, как при рассмотрении калибровки блока температуры, все функциональные модели, которые можно трансформировать друг в друга с использованием линейного масштабного преобразования, можно рассматривать как эквивалентное описание существующей проблемы.