

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

Шалабай Татьяна Леонидовна, ст. преподаватель, КГТУ им. И.Раззакова, Кыргызстан, 720044, г.Бишкек, пр. Ч.Айтматова 66, e-mail: shalabay54@mail.ru

Аннотация. В работе рассматриваются вопросы определения действительных метрологических характеристик средств измерений температуры. Исследуются составляющие, которые необходимо учитывать при определении неопределенности терморегуляторов. Приведены математические зависимости определения суммарной неопределенности при калибровке терморегуляторов (при соблюдении нормальных условий окружающей среды) в составе любых датчиков (термосопротивлений) в любой точке калибровки.

Ключевые слова: Калибровка, приведенная погрешность, абсолютная погрешность, нормальные условия измерений, основная погрешность, неопределенность измерений, метрологические характеристики средства измерений.

RESEARCH OF METROLOGICAL CHARACTERISTICS OF MEASURING INSTRUMENTS

ShalabayTatyanaLeonidovna, seniorlecturer, KSTU named after I.Razzakov, 720044, Kyrgyzstan, Bishkek, 66 Ch.Aitmatovav., e-mail: shalabay54@mail.ru

Abstract. The paper deals with the issues of determining the actual metrological characteristics of temperature measuring instruments. The components that must be taken into account when determining the uncertainty of thermoregulators are investigated. Mathematical dependences of determination of total uncertainty at calibration of thermoregulators (at observance

of normal environmental conditions) as a part of any sensors (thermal resistances) at any point of calibration are resulted.

Keywords: Calibration, reduced error, absolute error, normal measurement conditions, basic error, measurement uncertainty, metrological characteristics of the measuring instrument.

Соотношение работ в законодательной и промышленной метрологии показывает, что для целей защиты прав потребителей государство требует проведения поверки средств измерений, оно же устанавливает жесткие правила ее проведения (конкретные средства и методики поверки в соответствии с государственными поверочными схемами). Что же касается обеспечения качества, государство не регулирует, не устанавливает чем и как проводить измерения, главное, чтобы был достигнут конечный результат – качество, в чем в первую очередь заинтересованы производители, стремящиеся к повышению своей конкурентоспособности, и в этих целях проводится калибровка средств измерений, позволяющая определить действительные метрологические характеристики средств измерений. Так, для контроля качества технологических процессов, в частности, где немаловажную роль играет такой параметр как температура, используются терморегуляторы. Знание действительных метрологических характеристик терморегуляторов позволяет точнее контролировать температурные параметры процесса, и поддерживать температуру в необходимых пределах. В связи с этим возникает необходимость в разработке процедуры оценки неопределенности калибровки терморегуляторов, приемлемой для практического использования.

Оценка неопределенности измерений (калибровки), как правило, состоит в анализе факторов, приводящих к неопределенности результатов. Таких факторов может быть множество и в рамках данной работы сделана попытка выделить наиболее значимые, оценить степень их влияния и, в конечном итоге, создать процедуру, приемлемую для практического использования в данной лаборатории при калибровке.

Оценивание данных измерений в контексте модели измерений — это использование доступного знания, относящегося к входным величинам X_1, \dots, X_N , представленного распределениями вероятностей, используемыми для их описания, так чтобы вывести соответствующее распределение, которое характеризует выходную величину Y . Оценивание данных измерений может повлечь за собой определение только итогового описания последнего распределения. [1]

При калибровке ТРМ в составе ТС для каждой контрольной точки определяется оценка основной приведенной погрешности γ по формуле (1)

$$\gamma = \frac{T_{\text{изм}} - T_{\text{НСХ}}}{T_{\text{норм}}} \times 100\% \quad , \quad (1)$$

где γ - основная приведенная погрешность прибора в процентах; $T_{\text{изм}}$ - измеренное прибором значение температуры в заданной контрольной точке, °С ; $T_{\text{НСХ}}$ – значение температуры в заданной контрольной точке по номинальной статической характеристике (НСХ) термопреобразователя, °С; $T_{\text{норм}}$ – нормирующее значение, равное разности максимальной и минимальной температур диапазона измеряемых температур прибором, °С. [2]

Неопределенность калибровки представляет собой неопределенность оценки разности температуры, измеренной калибруемым прибором и температуры, заданной НСХ, и неопределенность оценки основной приведенной погрешности γ . Были выделены следующие составляющие неопределенности: стандартная неопределенность, связанная с сходимостью по результатам трех показаний (t_1, t_2, t_3) терморегулятора ($u_{\text{сх}}$); стандартная неопределенность, связанная с дискретностью отсчета по цифровому индикатору терморегулятора (u_d); стандартная неопределенность, обусловленная основной погрешностью магазина

сопротивлений P4831 (u_{RM}); стандартная неопределенность, обусловленная вариацией начального сопротивления ΔR_{0mag} магазина сопротивлений P4831 (рис.1)



Рисунок 1 - Магазин сопротивлений P4831

Все составляющие неопределенности калибровки оценены по типу В. Закон распределения величин внутри границ неизвестен, поэтому этот закон считают равномерным с стандартной неопределенностью u . Для оценки неопределенности результата калибровки в каждой точке используем суммарную стандартную неопределенность оценки разности температур $u_c(\Delta t)$:

$$u_c(\Delta t) = \sqrt{(u_c(T_{изм}))^2 + (u_c(T_{исх}))^2}$$

Исходными данными для расчета неопределенности являются: сходимость результатов показаний ТРМ, дискретность отсчета d по цифровому индикатору ТРМ ($d = 0.01^\circ\text{C}$), предел допускаемой основной погрешности магазина сопротивлений P4831.

По результатам поверки магазин сопротивлений P4831 соответствует классу точности $0,02/2 \cdot 10^{-6}$. Предел допускаемой основной погрешности (относительная погрешность δ) определяется по формуле, приведенной в паспорте магазина сопротивлений P4831

$$\delta = \mp \left[0,02 + 2 \cdot 10^{-6} \left(\frac{R_k}{R} - 1 \right) \right] \quad (2)$$

где $R_k=111111,10$ Ом – наибольшее значение сопротивления магазина (из паспорта магазина P4831); R – номинальное значение включенного сопротивления, Ом.

Учитывая связь между абсолютной Δ_m и относительной погрешностью $\delta = \frac{\Delta_m}{R} \cdot 100\%$, выведем формулу для предела допускаемой основной погрешности магазина сопротивлений Δ_m (абсолютная погрешность)

$$\Delta_m = \mp (0,00020R + 0,00222), \text{ Ом} \quad (3)$$

Сопротивление, подаваемое на вход ТРМ при поверке/калибровке при помощи магазина сопротивлений P4831 запишем в виде:

$$R_t = R_m + R_{0mag}, \quad (4)$$

где R_m - сопротивление резисторов декад; $R_{0mag} = 0,019$ Ом – начальное сопротивление магазина (из сертификата о поверке магазина сопротивлений). Вариация начального сопротивления (ΔR_{0mag}) магазина, вызванная изменением переходных сопротивлений контактов переключающих устройств, не превышает $0,0021$ Ом. (Из паспорта на магазин сопротивлений).

Формула для расчета значений температуры по сопротивлению ТС для различных типов датчиков (ТС):

$$t = f(R_t, R_0, \alpha), \quad (5)$$

где R_t – сопротивление ТС, Ом, при температуре t , $^\circ\text{C}$; R_0 - номинальное сопротивление ТС, Ом, при температуре 0°C ; α - температурный коэффициент.

Все составляющие неопределенности калибровки оценены по типу В. Закон распределения величин внутри границ неизвестен, поэтому этот закон считают равномерным с стандартной неопределенностью u . Для оценки неопределенности результата калибровки в каждой точке используем суммарную стандартную неопределенность оценки разности температур $u_c(\Delta_t)$:

$$u_c(\Delta_t) = \sqrt{(u_c(T_{изм}))^2 + (u_c(T_{нсх}))^2}, \quad (6)$$

Суммарная стандартная неопределенность $u_c(T_{изм})$ оценки $T_{изм}$

$$u_c(T_{изм}) = \sqrt{u_{сх}^2 + u_d^2} \quad (7)$$

Суммарная стандартная неопределенность $u_c(T_{нсх})$ оценки $T_{нсх}$

$$u_c(T_{нсх}) = \sqrt{\left(\frac{\partial f_1}{\partial R_M}\right)^2 u_{R_M}^2 + \left(\frac{\partial f_1}{\partial R_{omag}}\right)^2 u_{R_{omag}}^2}, \quad (8)$$

где $\frac{\partial f_1}{\partial R_M}$ и $\frac{\partial f_1}{\partial R_{omag}}$ - коэффициенты влияния. Обозначив $\frac{\partial f_1}{\partial R_M} = \frac{\partial f_1}{\partial R_{omag}} = \frac{\partial f}{\partial t} = C$, получим

$$u_c(T_{нсх}) = \sqrt{C^2 u_{R_M}^2 + C^2 u_{R_{omag}}^2} \quad (9)$$

Функции f_1 для точного или приближенного расчета значений температуры по сопротивлению ТС (уравнения, обратные НСХ) приведены в приложении Б ГОСТ 6651-2009 для различных типов датчиков. С учетом соотношений (7) и (8) обобщенная формула (6) суммарной стандартной неопределенности калибровки примет вид:

$$u_c(\Delta_t) = \sqrt{u_{сх}^2 + u_d^2 + C^2 u_{R_M}^2 + C^2 u_{R_{omag}}^2} \quad (10)$$

Формула (10) применима для расчета суммарной неопределенности при калибровке терморегуляторов (при соблюдении нормальных условий окружающей среды) в составе любых датчиков (термосопротивлений) в любой точке калибровки. Отметим составляющие в выражении (10), являющиеся постоянными для любой контрольной точки и любого типа ТС, но учитывающего конкретный магазин сопротивлений. Такими постоянными являются:

$$u_{R_{omag}} = \frac{\Delta R_{omag}}{2\sqrt{3}} = \frac{0,0021}{2\sqrt{3}} = 0,000606 \text{ Ом} \quad \text{и} \quad u_d = \frac{d}{2\sqrt{3}} = \frac{0,01}{2\sqrt{3}} = 0,00288 \text{ }^\circ\text{C}$$

Окончательно для практического использования после подстановки рассчитанных величин получаем соотношение

$$u_c(\Delta_t) = \sqrt{u_{сх}^2 + 8,294 \cdot 10^{-6} + C^2(u_{R_M}^2 + 0.367 \cdot 10^{-6})} \quad (11).$$

Стандартная неопределенность $u_{сх}$, учитывающая сходимостъ результатов по трем показаниям ТРМ для одной и той же контрольной точки

$$u_{сх} = \frac{R_{сх}}{2\sqrt{3}}, \quad \text{где размах } R_{сх} = t_{max} - t_{min}$$

Стандартная неопределенность u_{R_M} , учитывающая абсолютную погрешность магазина сопротивлений может быть определена по формуле

$$u_{R_M} = \frac{\Delta_M}{\sqrt{3}}$$

Оценка неопределенности основной приведенной погрешности $u_c(\gamma)$ может быть определена по формуле.

$$u_c(\gamma) = \frac{u_c(\Delta_t)}{R_{норм}} \times 100\% \quad (12)$$

где $R_{норм}$ – нормирующее значение, определяемое по диапазону измерений

Расширенная неопределенность может быть записана как $U_p = k \cdot u_c$, где k – коэффициент охвата.

Коэффициент охвата (coverage factor): Коэффициент, на который умножают суммарную стандартную неопределенность для получения расширенной неопределенности. Коэффициент охвата обычно принимает значения от 2 до 3.[3]

В предположении нормального закона распределения при уровне доверия $P=0,95$ $k=2$.

Выводы

Оценивание неопределенности измерений в процессе калибровки средств измерений является необходимым требованием при оформлении результатов. Особое значение это приобретает при аккредитации калибровочной лаборатории. Приведенные в работе аналитические соотношения для расчета неопределенности при калибровке терморегуляторов выведены с использованием общепринятых рекомендаций по расчету неопределенностей.

Следует отметить, что выведенные соотношения (11) и (12) для расчета неопределенности калибровки могут быть использованы при анализе метрологических характеристик различных терморегуляторов.

Список использованных источников

1. Введение к «Руководству по выражению неопределенности измерения» Санкт-Петербург, «Профессионал», 2011
2. Магазин сопротивления Р4831 Паспорт 2.704.001ПС «ООО Прибор Поставка»
3. ГОСТ Р 54500.3-2011/Руководство ИСО/МЭК 98-3:2008 Неопределенность измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерения М.: Стандартиформ, 2012