

ПЕРСПЕКТИВЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ ЛАБОРАТОРИЙ МЕТРОЛОГИЧЕСКИМ ОБОРУДОВАНИЕМ

Ю.В. Шевелев (ОАО "Эталон")

На основе рекомендаций "Руководства по выражению неопределенности измерений" РМГ 43-2001 ОАО НПП "Эталон" предлагается алгоритм расчета неопределенности поверки термопреобразователя сопротивления (ТС) в термостате или калибраторе.

В 1993 г. под эгидой Международного комитета мер и весов (МКМВ) и других Международных метрологических организаций было разработано "Руководство по выражению неопределенности измерений", которое было переведено и опубликовано во "ВНИИМ им. Д.И. Менделеева" в 1999 г. В 2001 г. Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации были выпущены рекомендации по применению данного "Руководства по выражению неопределенности измерений" РМГ 43-2001. Из этого следует, что нужно готовиться к выражению метрологических характеристик поверочных лабораторий и отдельного оборудования не в виде погрешности, а в виде неопределенности измерений.

Приведем определения этих понятий, взятые из Международного словаря основных и общих терминов в метрологии:

- "погрешность измерения (error of a measurement)" – отклонение результата измерения от истинного значения измеряемой величины;

- "неопределенность измерения (uncertainty of a measurement)" – параметр, связанный с результатом измерений и характеризующий рассеяние значений, которые достаточно обоснованно могли бы быть приписаны измеряемой величине.

Из этих определений следует, что, например, возможен случай, когда результат измерения имеет пренебрежимо малую погрешность при большой неопределенности.

На основе рекомендаций РМГ 43-2001 ОАО НПП "Эталон" предлагается следующий алгоритм расчета неопределенности поверки ТС в термостате или калибраторе.

При разработке данного алгоритма использовались материалы из проекта новой редакции ГОСТа Р 8.461.

1. Суммарная стандартная и расширенная неопределенность поверки ТС должна рассчитываться для каждой температуры поверки. При расчете суммарной неопределенности поверки учитывается неопределенность измерений температуры эталонным (образцовым) термометром и неопределенность измеренного значения сопротивления градуируемого термометра. Для расчета используются:

- данные, полученные при проведении измерений;

- данные, полученные при предварительной экспериментальной оценке неопределенности, связанной со случайными эффектами при измерении в конкретной поверочной лаборатории;

- данные, приведенные в свидетельствах о поверке средств измерений: термостата или калибратора, эталонного термометра и измерительной установки.

2. В случае использования сухоблочных калибраторов необходимо учитывать неопределенность, вызванную теплоотводом по арматуре ТС. В данном примере эта составляющая опущена.

3. Значение температуры, определенное по показаниям эталонного термометра сопротивления, рассчитывается по формуле:

$$R_{ks}(t_x) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N R_{si}, \quad (1)$$

где: $t_s(R_s)$ – среднее арифметическое из результатов измерения температуры, N – число измерений сопротивления эталонного термометра, выполненных при поверке, R_{si} – значение сопротивления эталонного термометра сопротивления при i -ом измерении, $t(R_{si})$ – значение температуры, соответствующее i -му измерению, рассчитанное по интерполяционной зависимости сопротивление-температура, приведенной в свидетельстве о поверке эталонного термометра.

4. Бюджет неопределенности для температуры, измеренной эталонным термометром, включает ряд составляющих.

а) Стандартная неопределенность, обусловленная случайными эффектами при измерениях, выполненных в одном измерительном цикле эталонным термометром, рассчитывается по формуле:

$$u(r_{lab1-j}) = \frac{u(r_{lab1})}{\sqrt{N_j}}, \quad (2)$$

где $u(r_{lab1})$ – СКО единичного измерения сопротивления эталонного термометра, N_j – число измерений в одном измерительном цикле.

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

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

где t_{max} , t_{min} – соответственно максимальная и минимальная температура, измеренная эталонным термометром за время проведения всех измерительных циклов.

в) Стандартная неопределенность поверки эталонного термометра $u(\delta t_s)$, рассчитывается по формуле:

$$u(\delta t_s) = U_3 / 2, \quad (4)$$

где U_3 – расширенная неопределенность поверки эталонного термометра при $k = 2$, приведенная в свидетельстве о его поверке (или доверительная погрешность при доверительной вероятности 95%).

г) Стандартная неопределенность, обусловленная неточностью электроизмерительной установки, $u(\delta r_s)$, рассчитывается следующим образом:

$$u(\delta r_s) = U_s/2, \quad (5)$$

где U_s – расширенная неопределенность измерения при $k = 2$, приведенная в свидетельстве о поверке установок для измерения сопротивления¹.

д) Стандартная неопределенность, вызванная ограниченной разрешающей способностью отсчетных устройств электроизмерительной установки δ_{rs} , оценивается по типу В по формуле:

$$u(\delta_{rs}) = a_{rs}/\sqrt{3}, \quad (6)$$

где $\pm a_{rs}$ – разрешающая способность установки для измерения сопротивления эталонного термометра.

е) Стандартная неопределенность из-за нестабильности эталонного термометра за межповерочный интервал оценивается по типу В по формуле:

$$u(\delta t_T) = a_T/\sqrt{3}, \quad (8)$$

где $\pm a_T$ – интервал возможного изменения сопротивления эталонного термометра в тройной точке воды в температурном эквиваленте, определенный экспериментально при периодической поверке эталонного термометра и приведенный в свидетельстве о его поверке.

5. Составляется бюджет неопределенности измерения температуры в термостате эталонным термометром (табл. 1).

6. Суммарная стандартная неопределенность результата измерения температуры эталонным термометром рассчитывается по формуле:

$$u_c(t_x) = \sqrt{\frac{1}{C_1^2} u^2(\delta r_{lab1-j}) + u^2(t_s) + u^2(\delta t_c) + \frac{1}{C_1^2} u^2(\delta r_s) + \frac{1}{C_1^2} u^2(\delta r_{rs}) + u^2(\delta t_T)}, \quad (9)$$

7. Значение сопротивления градуируемого ТС при температуре t_x рассчитывается по формуле:

$$R_k(t_x) = R_{ks}(t_x) + C_2 \delta t_{r1} + C_2 \delta t_{r2}, \quad (9)$$

где C_2 – коэффициент чувствительности ТС dR/dt , определяемый по уравнению НСХ ТС при температуре t_x ; δt_{r1} – поправка, равная изменению температуры по вертикальной оси рабочего объема термостата или калибратора между средней точкой ЧЭ поверяемого ТС и эталонного термометра; δt_{r2} – поправка, равная изменению температуры по горизонтальной оси между ЧЭ поверяемого ТС и эталонного термометра (или между каналами блока сухоблочного калибратора); $R_{ks}(t_x)$ рассчитывается

¹ Если в свидетельстве о поверке установки указан предел допускаемой погрешности $\pm \Delta_{np}$, то стандартная неопределенность рассчитывается по типу В (нормальное распределение) по формуле $u(\delta r_s) = \delta_{np}/\sqrt{3}$.

² Поправки на вертикальный и горизонтальный градиент температуры вводятся по результатам исследований термостата в поверочной лаборатории. Если при поверке термостата или калибратора градиент температуры определялся только в виде пределов отклонения температуры от среднего значения $\pm a_{r1}$, $\pm a_{r2}$ либо если не известна длина ЧЭ поверяемых термометров, то поправки принимаются равными нулю. Градиент учитывается только введением неопределенности по п. 8.4.

³ Если в свидетельстве о поверке установки указан предел допускаемой погрешности $\pm \Delta_{np}$, то стандартная неопределенность рассчитывается по типу В по формуле $u(\delta r_k) = \delta_{np}/\sqrt{3}$.

Таблица 1. Бюджет неопределенности измерения температуры в термостате эталонным термометром

Источник неопределенности	Оценка стандартной неопределенности, тип, распределение, метод расчета	Коэффициент влияния	Вклад в суммарную стандартную неопределенность
Случайные эффекты при измерении	Тип А, нормальное распределение $u(\delta r_{lab1-j})$, 4,1	$1/C_1$	$u(\delta r_{lab1-j})/C_1$
Нестабильность температуры в термостате	Тип В, равномерное распределение $u(t_s)$, 4,2	1	$u(t_s)$
Поверка эталонного термометра	Тип В, нормальное распределение $u(\delta t_r)$, 4,3		$u(\delta t_r)$
Неточность измерительной установки	Тип В, нормальное распределение $u(\delta r_s)$, 4,4	$1/C_1$	$(1/C_1)u(\delta r_s)$
$(1/C_1)u(\delta r_s)$	Разрешающая способность измерительной установки		$(1/C_1)u(\delta r_{rs})$
$(1/C_1)u(\delta r_{rs})$	Нестабильность эталонного термометра за межповерочный интервал		$u(\delta t_T)$

где C_1 – коэффициент чувствительности эталонного термометра dR/dt , Ом/°С, определяемый при температуре t_s по уравнению, приведенному в свидетельстве о поверке термометра

как среднее арифметическое значение результатов измерения сопротивления ТС при поверке по формуле:

$$R_{ks}(t_x) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N R_{si}, \quad (10)$$

где: N – число измерений сопротивления ТС, R_{ki} – результат i -ого измерения сопротивления ТС².

8. Бюджет неопределенности измерений сопротивления ТС включает ряд составляющих.

а) Стандартная неопределенность, обусловленная случайными эффектами при измерениях, выполненных в одном измерительном цикле поверяемым ТС, оценивается по формуле:

$$u(r_{lab2-j}) = \frac{u(r_{lab2})}{\sqrt{N_j}}, \quad (11)$$

где $u(r_{lab2})$ – СКО единичного измерения сопротивления ТС; N_j – число измерений сопротивления ТС в каждом цикле.

б) Стандартная неопределенность, обусловленная неточностью электроизмерительной установки, δr_k , рассчитывается следующим образом:

$$u(\delta r_k) = U_k/2, \quad (12)$$

где U_k – расширенная неопределенность измерения при $k = 2$, приведенная в свидетельстве о поверке установок для измерения сопротивления ТС³.

Таблица 2. Бюджет неопределенности измерения сопротивления поверяемого термометра

Источник неопределенности	Оценка стандартной неопределенности, тип, распределение, методика расчета	Коэффициент влияния	Вклад в суммарную стандартную неопределенность
Случайные эффекты при измерении	Тип А, Нормальное распределение $u(r_{lab2-j})$ п.8.1	1	$u(r_{lab2-j})$
Неточность измерительной установки	Тип В, Нормальное распределение $u(\delta r_k)$ п.8.2		$u(\delta r_k)$
Разрешающая способность измерительной установки	Тип В, равномерное распределение $u(\delta r_{rk})$ п.8.3		$u(\delta r_{rk})$
Перепад температур по вертикальной оси рабочего объема	Тип В, Равномерное распределение, $u(\delta t_{F1})$ п.8.4	C_2	$C_2 \cdot u(\delta t_{F1})$
Перепад температур по горизонтальной оси рабочего объема (либо между каналами в блоке)	Тип В, Равномерное распределение, $u(\delta t_{F2})$ п.8.4	C_2	$C_2 \cdot u(\delta t_{F2})$

Таблица 4. Бюджет неопределенности измерения сопротивления поверяемого термометра

Источник неопределенности	Оценка стандартной неопределенности	Коэффициент влияния	Вклад в суммарную стандартную неопределенность
Случайные эффекты при измерении $u(\delta r_{lab-5}) = u(\delta r_{lab})/\sqrt{5}$	0,0022	1	0,0022
Электроизмерительная установка $u(\delta r) = U_i/3$	0,0081		0,0081
Разрешающая способность электроизмерительной установки $u(\delta_k) = a_{rk}/\sqrt{3}$	0		0
Перепад температур по вертикальной оси рабочего объема $u(\delta t_{F1}) = a_{F1}/\sqrt{3}$	0 (пренебрегли, т.к. эталонный и поверяемый датчики погружены на одну глубину)	0,385	0
Перепад температур по горизонтальной оси рабочего объема $u(\delta t_{F2}) = a_{F2}/\sqrt{3}$	0,0115	0,385	
Суммарная стандартная неопределенность сопротивления $u_c(R_k)$, Ом	-	-	

в) Стандартная неопределенность, обусловленная ограниченной разрешающей способностью отсчетных устройств электроизмерительной установки δ_{rk} , рассчитывается по формуле:

$$u(\delta_{rk}) = a_{rk}/\sqrt{3}, \quad (13)$$

где $\pm a_{rk}$ – разрешающая способность установки для измерения сопротивления ТС.

г) Стандартные неопределенности, обусловленные вертикальным и горизонтальным градиентами температур в термостате или калибраторе δt_{F1} , δt_{F2} , рассчитываются по формулам:

$$u(\delta t_{F1}) = a_{F1}/\sqrt{3}, \quad u(\delta t_{F2}) = a_{F2}/3, \quad (14)$$

где $\pm a_{F1}$, $\pm a_{F2}$ – диапазон изменения поправок к температуре, оцениваемый экспериментально при поверке термостата или калибратора.

Таблица 3. Бюджет неопределенности измерения температуры в термостате эталонным термометром

Источник неопределенности и метод расчета	Оценка стандартной неопределенности	Коэффициент влияния	Вклад в суммарную стандартную неопределенность
Случайные эффекты при измерении (по пяти измерениям) $u(\delta r_{lab-5}) = u(\delta r_{lab})/\sqrt{5}$	0,0022	1/0,385	0,0058
Нестабильность температуры в термостате $u(t_s) = (t_{max} - t_{min})/2\sqrt{3}$	0,0289	1	0,0289
Градуировка эталонного термометра $u(\delta t) = U_j/2$	0,0150	-	0,0150
Электроизмерительная установка $u(\delta r) = U_i/\sqrt{3}$	0,0081	1/0,385	0,0210
Разрешающая способность электроизмерительной установки $u(\delta_k) = a_{rk}/\sqrt{3}$	0	-	0
Нестабильность эталонного термометра за межповерочный интервал $u(\delta t) = a_j/\sqrt{3}$	0,0058	1	0,0058
Суммарная стандартная неопределенность температуры $u_c(t_x)$, °C	-	-	0,0396

9. Бюджет неопределенности измерения сопротивления ТС представлен в табл. 2.

10. Суммарная стандартная неопределенность измерения сопротивления ТС оценивается по формуле:

$$u_c(R_K) = \sqrt{u^2(r_{lab2-j}) + u^2(\delta r_k) + u^2(\delta r_{rk}) + C_2^2 u^2(\delta t_{F1}) + C_2^2 u^2(\delta t_{F2})}. \quad (15)$$

11. Суммарная стандартная неопределенность $u_c(R)$ и расширенная неопределенность U поверки термометра в каждой температурной точке рассчитываются по формулам:

$$u_c(R) = \sqrt{C_2^2 u_c^2(t_x) + u_c^2(R_k)}, \quad (16)$$

$$U = k \cdot u_c(R), \quad (17)$$

где k – коэффициент охвата.

12. Получаем оценку неопределенности поверки ТС на данном оборудовании.

При $k = 2$ сопротивление градуируемого термометра при температуре t_x находится в интервале $R_k(t_x) \pm U$ с вероятностью 95% в предположении нормального закона распределения. Неопределенность поверки ТС в единицах температуры рассчитывается делением U на коэффициент чувствительности C_2 .

13. Заключение о годности ТС должно выдаваться при условии выполнения соотношения:

$$(R_k(t_x) - R_{нсх}(t_x) \pm U) / \frac{\partial R}{\partial t_x} \leq \Delta t_x, \quad (18)$$

где $R_k(t_x)$ – среднее значение сопротивления поверяемого ТС, Ом; t_x – средняя температура, измеренная эталонным термометром, °C; $R_{нсх}(t_x)$ – значение сопротивления ТС по НСХ при температуре t_x , Ом; U – расширенная неопределенность результата измерения сопротивления ТС; Δt_x – допуск ТС по ГОСТ Р 6651 при температуре t_x , °C.

По сложившейся практике перед использованием средств поверки ТС необходимо провести расчет предполагаемой расширенной неопределенности поверки ТС с помощью используемой аппаратуры с целью определения степени пригодности данной аппаратуры для поверки конкретного типа ТС.

Критерием пригодности используемой аппаратуры для поверки данного ТС будет служить, например, рассчитанная расширенная неопределенность поверки ТС, которая должна быть в два раза меньше требуемого допуска ТС по ГОСТ 6651-94.

Рассмотрим предлагаемый алгоритм расчета неопределенности поверки на примере оценки неопределенности поверки ТС класса А при температуре 100°C с применением жидкостного термостата TP-1M-300.

Информация о поверяемом термометре: термометр сопротивления типа ТСР. Класс А по ГОСТ Р 6651. Допуск при 100°C $\pm 0,35^\circ\text{C}$.

Средства измерений, используемые при поверке:

- термостат регулируемый TP-1M-300:
 - нестабильность температуры $\Delta_{cm} = \pm 0,05^\circ\text{C}$;
 - неравномерность температуры в рабочем объеме $a_F = \pm 0,02^\circ\text{C}$;
- эталонный термометр:
 - расширенная неопределенность (или доверительная погрешность при доверительной вероятности 95%) при 100°C $U_s = \pm 0,03^\circ\text{C}$;
 - нестабильность за межповерочный интервал $a_s = \pm 0,01^\circ\text{C}$;
- АРМ для поверки ТС – предел погрешности $U_s = \pm 0,014\text{ Ом}$;
- среднеквадратичное отклонение результата измерения сопротивления 100-омного ТС в поверочной

лаборатории при 95°C $u(\delta r_{lab}) = 0,005\text{ Ом}$ (значение получено заранее экспериментальным методом).

Бюджет неопределенности измерения температуры в термостате эталонным термометром представлен в табл. 3, бюджет неопределенности измерения сопротивления поверяемого ТС – в табл. 4.

Суммарная стандартная неопределенность поверки рассчитывается по формуле (16) при $C_2 = 0,385\text{ Ом}/^\circ\text{C}$: $u_c(R) = 0,0182\text{ Ом}$.

При $k = 2$ расширенная неопределенность поверки по формуле (17) равна $U = 0,0363\text{ Ом}$. В температурном эквиваленте $U_i = 0,093^\circ\text{C}$; $0,093^\circ\text{C} < \pm 0,35^\circ\text{C}/2$.

Выводы

Комплекс средств поверки пригоден для поверки ТС класса А при температуре 100°C.

Подобным образом были рассчитаны неопределенности поверки ТС при разных температурах с применением метрологического оборудования ОАО НПП "Эталон". Из проведенных экспериментов следует, что несмотря на новый метод расчета требований к метрологическому оборудованию путем расчета расширенной неопределенности поверки ТС все термостаты, выпускаемые ОАО НПП "Эталон", пригодны для поверки ТС всех классов допуска, включая самый точный – класс А.

В настоящее время при поверке датчиков температуры метрологи в России руководствуются ГОСТом 8.461-82 и ГОСТом 8.338-2002, в которых указаны требования к погрешностям средств изменения, применяемые при поверке. Однако надо быть готовыми к тому, что в новых редакциях этих ГОСТов будут указаны требования к неопределенности поверки.

Шевелев Юрий Валентинович – ведущий инженер

СКБ Омского ОАО Научно-производственного предприятия "Эталон".

Контактные телефоны: (3812) 36-79-18, 36-94-53. [Http://www.omsketalon.ru](http://www.omsketalon.ru)

Fastwel AdvantiX – промышленные компьютеры нового поколения

Компания Fastwel предлагает новый модельный ряд готовых промышленных ПК и серверов Fastwel AdvantiX. Конфигурации всех компьютеров/серверов линейки AdvantiX были выработаны после тщательного анализа спроса российских пользователей на данную продукцию. Гарантия на все модели составляет 2 года, что больше гарантийного срока каждого из комплектующих изделий в отдельности. Все компоненты соответствуют директиве RoHS.

Fastwel AdvantiX являются компьютерами нового поколения, в которых нашли дальнейшее развитие идеи, заложенные в модельном ряде Advantech SYS. Компьютеры Fastwel AdvantiX Pro базируются на процессорных платах производства компании Fastwel. Отдельные модели AdvantiX будут построены на базе двухъядерных процессоров Intel Core 2 Duo. В изделиях используются процессорные платы на современных чипсетах i915GM и i945GM. Компьютеры и серверы Fastwel AdvantiX и Fastwel AdvantiX Pro поддерживают шины PCI-Express, PCI-X, PCI и ISA, а также стандарта PICMG 1.3, что позволяет увеличить общую пропускную способность системы по сравнению с системами на основе PICMG 1.0 в 20 раз.

В промышленных компьютерах Fastwel предусмотрен "сторожевой таймер", который позволяет перезагрузить ком-

пьютер в случае зависания ОС. Компьютеры Fastwel гарантируют сохранение критически важных данных при аварийном отключении питания, а гальваническая изоляция интерфейсов обеспечивает стабильную работу при скачках напряжения. Все изделия оснащены датчиками температуры, которые автоматически отключают питание при превышении критической температуры, что позволяет предохранить оборудование от перегрева. В компьютерах Advantix применены уникальные вибростойкие крепления плат и приводов, а также специальные прижимные планки для фиксации периферийных плат, что обеспечивает устойчивую работу при повышенных механических нагрузках и транспортировке. Промышленные компьютеры Fastwel Advantix Pro могут работать при экстремальных температурах -40...85°C.

Компьютеры Fastwel AdvantiX поддерживаются драйверами как для широко распространенных ОС Microsoft, включая Windows Embedded, так и для ОС РВи QNX Momentics и RTOS-32. Компьютеры Fastwel AdvantiX собираются на современной производственной базе, имеющей сертификат ISO 9001. 100% компьютеров проходят 8-часовое тестирование в термокамере при температуре 40°C.

[Http://www.prosoft.ru](http://www.prosoft.ru)