

И. П. Захаров

д. т. н., профессор кафедры
метрологии и технической
экспертизы
Харьковский национальный
университет радиоэлектроники,
Украина, г. Харьков,
E-mail: newzip@ukr.net

О. О. Волков

старший мастер СВДГ,
Государственное унитарное
предприятие «Крымгазсети»,
Россия,
г. Ялта E-mail: ovolkov@rambler.ru

УДК 006.91.001

**РЕАЛИЗАЦИЯ ОСНОВНЫХ ЭТАПОВ КАЛИБРОВКИ
МЕР ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ
ПОСТОЯННОГО ТОКА****REALIZATION OF THE BASIC STEPS OF CALIBRATION
OF MEASURES OF DIRECT CURRENT ELECTRICAL
RESISTANCE**

Рассмотрены основные этапы калибровки мер электрического сопротивления постоянного тока: выбор метода калибровки; обоснование модельного уравнения при калибровке; оценивание неопределенности измерений; валидация методик калибровки. Приведены бюджеты неопределенности измерений при калибровке мер электрического сопротивления постоянного тока. Приведённые рекомендации, могут быть использованы калибровочными лабораториями при создании методик выполнения калибровки.

Ключевые слова: калибровка, меры электрического сопротивления, неопределенность измерений, эталон, бюджеты неопределенности, валидация.

The main steps of calibration of direct current electric resistance measures are considered: selection of the calibration method, substantiation of the model equation during calibration, measurement uncertainty evaluation; validation of calibration procedures. The measurement uncertainty budgets in the calibration of direct current resistance measures are given. The given recommendations may be used by calibration laboratories when creating calibration procedures.

Keywords: calibration, electrical resistance measures, measurement uncertainty, measurement standard, uncertainty budgets, validation.

В аккредитованных на соответствие требованиям ISO 17 025:2005 [1] испытательных и калибровочных лабораториях на основании п. 5.6.1 этого стандарта «все средства измерений, используемые для испытаний и/или калибровочных работ, включая средства для вспомогательных измерений (например, для контроля параметров окружающей среды), имеющих значительное влияние на точность и достоверность результатов испытания, калибровки или отбора образцов, должны быть откалиброваны перед вводом в эксплуатацию». Выполнение этого положения, кроме больших организационных мероприятий по аккредитации сети калибровочных лабораторий, требует создания нормативной базы в виде методик калибровки и процедур оценивания неопределенности измерений при калибровках, поскольку, в соответствии с п. 5.4.6.1 стандарта [1], «Калибровочная или испытательная лаборатория, осуществляющая свои собственные калибровки, должна иметь и применять процедуру оценки неопределенности измерений при всех калибровках и типах калибровок».

Нормативной основой для разработки процедур оценивания неопределенности измерений при калибровках может служить руководство ЕА-4/02 М: 2013 [2], которое регламентирует порядок оценивания неопре-

деленности измерений при калибровках и разработано специально для калибровочных лабораторий. Однако этот документ, по существу, описывает базовый алгоритм оценивания неопределенности на основе GUM [3], не касаясь специфики калибровок и не рассматривая основной этап оценивания неопределенности – составление модельного уравнения, адекватность которого применяемому методу определяет корректность всего дальнейшего процесса оценивания неопределенности измерений.

Следует отметить, что за редким исключением [2], в настоящее время стандартизованные процедуры оценивания неопределенности измерений при калибровках мер электрического сопротивления (МЭС) отсутствуют. Целью статьи является рассмотрение особенностей выполнения основных этапов калибровки МЭС, применяемых в цепях постоянного тока.

Выбор метода калибровки МЭС.

Измерения, выполняемые при поверке средств измерений (СИ), практически идентичны измерениям, выполняемым при их калибровке, а различия между этими метрологическими операциями заключаются в дальнейшем использовании результатов проведенных

измерений [4]. Поэтому методики поверки могут служить основой для создания методик калибровки.

Поверку МЭС осуществляются в соответствии с межгосударственным стандартом ГОСТ 8.237:2003 [5]. В стандарте перечислены различные методы поверки МЭС: прямое измерение с помощью цифрового омметра, измерение с помощью моста постоянного тока (прямое измерение, измерение методом замещения, методом перестановки), с помощью компаратора сопротивлений, с помощью компаратора напряжений или потенциометра постоянного тока (рис. 1). Все эти методы можно положить в основу создания методик калибровки МЭС для разных диапазонов значений и границ погрешностей измерения электрического сопротивления (табл. 1).

В основу реализации всех методов калибровки можно положить три схемы, приведенные на рис. 2 [4, 5].

Разработка процедур оценивания неопределенности измерений

Модельные уравнения, соответствующие перечисленным методам калибровки и формулы для суммарных стандартных неопределенностей измерения приведены в табл. 2. Они получены из общих выражений, полученных в работах [4, 5].

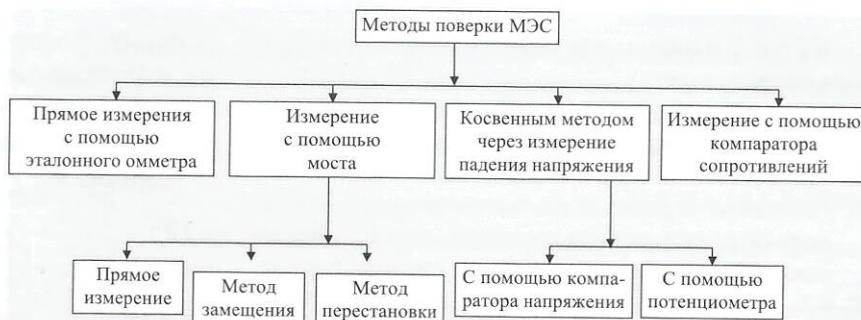


Рис. 1. Методы поверки (калибровки) МЭС



- а) прямого измерения эталонным омметром величины, воспроизводимой калибруемой мерой;
- б) сличения калибруемой и эталонной МЭС с помощью компаратора;
- в) косвенного измерения с помощью компаратора напряжений (I – неизменный ток, протекающий через калибруемую и эталонную МЭС).

Рис. 2. Схемы реализации методов калибровки МЭС:

Метрологические характеристики СИ, применяемых при поверке МЭС Таблица 1.

Метод измерения	Тип СИ	Диапазон измерений	Границы погрешности
Прямое измерение с помощью цифрового омметра	Щ31	$10^3 - 10^7$ Ом	$\pm (0,05 - 0,06) \%$
	Щ34	$10^{-3} - 999,90 \cdot 10^6$ Ом	$\pm (0,02 - 1,4) \%$
	Щ306/1,2	$10^{-4} - 10^7$ Ом	$\pm (0,005 - 0,02) \%$
Измерение с помощью моста постоянного тока	УМИС-2М	$10^{-4} - 10^5$ Ом	$\pm (0,00003 - 0,001) \%$
Измерение с помощью компаратора сопротивлений	P346	$10^{-1} - 10^6$ Ом	$\pm (0,0001 - 0,01) \%$
	P3015	$10^{-2} - 10^7$ Ом	$\pm (0,0001 - 0,01) \%$
Косвенное измерение с помощью компаратора напряжений	P309	$1 \cdot 10^{-6} - 2,111\,111$ В	$\pm (0,005 - 4,0) \%$
	P3003	$2 \cdot 10^{-8} - 100$ В	$\pm (2,5V+1) \div (5V+1)$ мкВ
	P3017	$2 \cdot 10^{-8} - 20$ В	$\pm (0,3V+0,2)$ мкВ

Модельные уравнения и суммарные стандартные неопределенности Таблица 2.

Методы измерения, ссылка	Уравнения измерений	Выражения для суммарных стандартных неопределенностей $u(R_c)$
Прямое измерение, [7]	$R_c = R_s + \Delta_s$	$\sqrt{u_A^2(\bar{R}_s) + u_B^2(\bar{R}_s) + u^2(\bar{\Delta}_s)} \quad (1)$
С помощью компаратора сопротивлений, [8]	$R_c = (R_s + \Delta_s) + (R_0 + \Delta_0)$	$\{[u_B^2(\bar{R}_s) + u_B^2(\bar{\Delta}_s)] + [u_A^2(\bar{R}_0) + u_B^2(\bar{R}_0) + u^2(\bar{\Delta}_0)]\}^{0,5} \quad (2)$
Метод замещения, [9]	$R_c = (R_s + \Delta_s) + R_H \times [(\bar{r}_c + \bar{\Delta}_{rc}) - (\bar{r}_s + \bar{\Delta}_{rs})]$	$\{[u_B^2(\bar{R}_s) + u_B^2(\bar{\Delta}_s)] + \bar{R}_H^2 [u_A^2(\bar{r}_c) + u_B^2(\bar{\Delta}_{rc}) + u_A^2(\bar{r}_s) + u_B^2(\bar{\Delta}_{rs})]\}^{0,5} \quad (3)$
Косвенное измерение с помощью компаратора напряжений, [10]	$R_c = (R_s + \Delta_s) \frac{V_c + \Delta_{Vc}}{V_s + \Delta_{Vs}}$	$\left\{ \frac{\bar{V}^2}{\bar{V}^4} [u_B^2(\bar{R}_s) + u_B^2(\bar{\Delta}_s)] + \frac{\bar{R}^2}{\bar{V}^2} [u_A^2(\bar{V}_c) + u_B^2(\bar{V}_c) + u_B^2(\bar{\Delta}_{Vc})] + \frac{\bar{R}^2 \bar{V}^2}{\bar{V}^4} [u_A^2(\bar{V}_s) + u_B^2(\bar{V}_s) + u_B^2(\bar{\Delta}_{Vs})] \right\}^{0,5} \quad (4)$



На рис. 2 и в формулах табл. 2 применены следующие обозначения:

R_c – значение сопротивления калибруемой МЭС;

R_s – значение сопротивления эталонной МЭС или показания эталонного омметра;

Δ_s – поправка на дополнительные погрешности эталонного СИ (в частности на нестабильность R_s за время, прошедшее с момента предыдущей калибровки);

R_0 и Δ_0 – значение, индицируемое компаратором сопротивления и поправка на его дополнительные погрешности;

r_c и r_s – отсчеты показаний двойного моста в относительном выражении при включении сопротивлений R_c и R_s , соответственно;

R_H – номинальное сопротивление эталонной МЭС;

Δ_{rc} , Δ_{rs} – поправки на дискретность отсчета двойного моста при измерении R_c и R_s , соответственно;

V_c и V_s – падения напряжения на калибруемой и эталонной МЭС, соответственно, определяемые с помощью компаратора напряжений;

Δ_{Vc} и Δ_{Vs} – поправки на дополнительные погрешности компаратора при измерении r_c и r_s , соответственно;

u_A и u_B – стандартные неопределенности типов A и B оценок соответствующих параметров.

Методики измерений при калибровке МЭС для перечисленных в табл. 2 методах подробно описаны в работах [7–10].

В табл. 3–7 приведены бюджеты неопределенности измерений для перечисленных методов.

В табл. 3 обозначено:

n – количество повторных измерений R_{si} , выполненных эталонным омметром;

$\bar{R}_s = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_{si}$ – среднее арифметическое повторных измерений R_{si} ;

$u_A(\bar{R}_s) = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (R_{si} - \bar{R}_s)^2}$ – стандартная неопределенность типа A измерения R_s ;

$u_B(\bar{R}_s) = U_s / k_s$ – стандартная неопределенность типа B калибровки омметра, причем U_s и k_s – расширенная неопределенность и коэффициент охвата, взятые из его сертификата калибровки;

$\nu_B(R_s) = \begin{cases} \infty, & \text{для } k_s \leq 2; \\ t^{-1}(k_s), & \text{для } k_s > 2. \end{cases}$ – число степеней свободы (ЧСС) для $u_B(\bar{R}_s)$, причем $t^{-1}(k_s)$ – значение ЧСС, получаемое из таблицы Стьюдента по заданному коэффициенту k_s ;

$u_B(\Delta_s)$ и $\nu_B(\Delta_s)$ – стандартная неопределенность поправки на дополнительные погрешности эталонного омметра и соответствующее ей число степеней свободы, соответственно [4];

ν_{eff} – эффективное ЧСС, вычисляемое по формуле Уэлча-Саттертуэйта [11]:

$$\nu_{eff} = \frac{u_c^4(\bar{R}_c)}{\frac{u_A^4(\bar{R}_s)}{n-1} + \frac{u_B^4(\bar{R}_s)}{\nu_B(R_s)} + \frac{u_B^4(\Delta_s)}{\nu_B(\Delta_s)}}.$$

Бюджет неопределенности прямого измерения эталонным омметром величины, воспроизводимой калибруемой мерой

Таблица 3.

Входные величины	Значения входных величин	Стандартная неопределенность	Число степеней свободы	Коэффициент чувствительности	Вклад неопределенности
R_s	$\bar{R}_s$	$u_A(\bar{R}_s)$	$n-1$	1	$u_A(\bar{R}_s)$
		$u_B(\bar{R}_s)$	$\nu_B(R_s)$	1	$u_B(\bar{R}_s)$
Δ_s	0	$u_B(\Delta_s)$	$\nu_B(\Delta_s)$	1	$u_B(\Delta_s)$
Измеряемая величина	Оценка выходной величины	Суммарная стандартная неопределенность	Эффективное число степеней свободы	Коэффициент охвата	Расширенная неопределенность
R_c	$\bar{R}_s$	(1)	ν_{eff}	$k=t(\nu_{eff})$	$U(\bar{R}_c) = k u_c(\bar{R}_c)$

Бюджет неопределенности сличения калибруемой и эталонной мер с помощью компаратора сопротивлений

Таблица 4.

Входные величины	Значения входных величин	Стандартная неопределенность	Число степеней свободы	Коэффициент чувствительности	Вклад неопределенности
R_s	$\bar{R}_s$	$u_B(\bar{R}_s)$	$\nu_B(R_s)$	1	$u_B(\bar{R}_s)$
Δ_s	0	$u_B(\Delta_s)$	$\nu_B(\Delta_s)$	1	$u_B(\Delta_s)$
R_0	$\bar{R}_0$	$u_A(\bar{R}_0)$	$n-1$	1	$u_A(\bar{R}_0)$
		$u_B(\bar{R}_0)$	$\nu_B(R_0)$		$u_B(\bar{R}_0)$
Δ_0	$\bar{\Delta}_0$	$u_B(\Delta_0)$	$\nu_B(\Delta_0)$	1	$u_B(\Delta_0)$
Измеряемая величина	Оценка выходной величины	Суммарная стандартная неопределенность	Эффективное число степеней свободы	Коэффициент охвата	Расширенная неопределенность
R_c	$\bar{R}_s + \bar{\Delta}_0$	(2)	ν_{eff}	$k=t(\nu_{eff})$	$U(\bar{R}_c) = k u_c(\bar{R}_c)$



В табл. 4 обозначено: $u_B(\bar{R}_s) = U_s/k_s$ – стандартная неопределенность типа B калибровки эталонной меры, причем U_s и k_s – расширенная неопределенность и коэффициент охвата, взятые из ее сертификата калибровки;

$$\nu_B(R_s) = \begin{cases} \infty, & \text{для } k_s \leq 2; \\ t^{-1}(k_s), & \text{для } k_s > 2. \end{cases} \quad \text{– ЧСС для } u_B(\bar{R}_s),$$

причем $t^{-1}(k_s)$ – значение ЧСС, получаемое из таблицы Стюдента по заданному коэффициенту k_s ;

$u_B(\Delta_s)$ и $\nu_B(\Delta_s)$ – стандартная неопределенность поправки на дополнительные погрешности эталонной меры и соответствующее ей ЧСС, соответственно [4];

n – количество повторных измерений R_{0i} , выполненных компаратором;

$\bar{R}_0 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_{0i}$ – среднее арифметическое повторных измерений R_{0i} ;

$$u_A(\bar{R}_0) = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (R_{0i} - \bar{R}_0)^2} \quad \text{– стандартная неопределенность типа A измерения } R_0;$$

$u_B(\bar{R}_0) = U_0/k_0$ – стандартная неопределенность калибровки компаратора, причем U_0 и k_0 – расширенная неопределенность и коэффициент охвата, взятые из его сертификата калибровки;

$$\nu_B(R_0) = \begin{cases} \infty, & \text{для } k_0 \leq 2; \\ t^{-1}(k_0), & \text{для } k_0 > 2. \end{cases} \quad \text{– ЧСС для } u_B(\bar{R}_0), \text{ причем } t^{-1}(k_0) \text{ – значение ЧСС, получаемое из таблицы Стюдента по заданному коэффициенту } k_0;$$

$u_B(\Delta_0)$ и $\nu_B(\Delta_0)$ – стандартная неопределенность поправки на дополнительные погрешности компаратора и соответствующее ей ЧСС, соответственно [4];

ν_{eff} – эффективное ЧСС, вычисляемое по формуле Уэлча-Саттертуэйта [11]:

$$\nu_{eff} = \frac{u_c^4(\bar{R}_c)}{\frac{u_B^4(\bar{R}_s)}{\nu_B(R_s)} + \frac{u_B^4(\Delta_s)}{\nu_B(\Delta_s)} + \frac{u_A^4(\bar{R}_c)}{n-1} + \frac{u_B^4(\bar{R}_0)}{\nu_B(R_0)} + \frac{u_B^4(\Delta_0)}{\nu_B(\Delta_0)}}.$$

В табл. 5 обозначено:

$u_B(\bar{R}_s) = U_s/k_s$ – стандартная неопределенность типа B калибровки эталонной меры, причем

Таблица 5.

Бюджет неопределенности сличения калибруемой и эталонной мер методом замещения

Входные величины	Значения входных величин	Стандартная неопределенность	Число степеней свободы	Коэффициент чувствительности	Вклад неопределенности
R_s	$\bar{R}_s$	$u_B(\bar{R}_s)$	$\nu_B(R_s)$	1	$u_B(\bar{R}_s)$
Δ_s	0	$u_B(\Delta_s)$	$\nu_B(\Delta_s)$	1	$u_B(\Delta_s)$
r_c	$\bar{r}_c$	$u_A(\bar{r}_c)$	$n-1$	R_H	$R_H u_A(\bar{r}_c)$
Δ_{rc}	0	$u_B(\Delta_{rc})$	∞		$\bar{R}_H u_B(\Delta_{rc})$
r_s	$\bar{r}_s$	$u_A(\bar{r}_s)$	$n-1$	$-R_H$	$R_H u_A(\bar{r}_s)$
Δ_{rs}	0	$u_B(\Delta_{rs})$	∞		$-\bar{R}_H u_B(\Delta_{rs})$
Измеряемая величина	Оценка выходной величины	Суммарная стандартная неопределенность	Эффективное число степеней свободы	Коэффициент охвата	Расширенная неопределенность
R_c	$\bar{R}_s + R_H(\bar{r}_c - \bar{r}_s)$	(3)	ν_{eff}	$k=t(\nu_{eff})$	$U(\bar{R}_c) = k u_c(\bar{R}_c)$

Таблица 6.

Бюджет неопределенности сличения калибруемой и эталонной мер косвенным методом с помощью компаратора напряжений

Входные величины	Значения входных величин	Стандартная неопределенность	Число степеней свободы	Коэффициент чувствительности	Вклад неопределенности
R_s	$\bar{R}_s$	$u_B(\bar{R}_s)$	$\nu_B(R_s)$	$\frac{\bar{V}_c}{\bar{V}_s}$	$u_B(\bar{R}_s) \bar{V}_c / \bar{V}_s$
Δ_s	0	$u_B(\Delta_s)$	$\nu_B(\Delta_s)$		$u_B(\Delta_s) \bar{V}_c / \bar{V}_s$
V_c	V_c	$u_A(\bar{V}_c)$	$n-1$	$\frac{\bar{R}_s}{\bar{V}_s}$	$\bar{R}_s u_A(\bar{V}_c) / \bar{V}_s$
		$u_B(\bar{V}_c)$	$\nu_B(V_c)$		$\bar{R}_s u_B(\bar{V}_c) / \bar{V}_s$
Δ_{vc}	0	$u_B(\Delta_{vc})$	$\nu_B(\Delta_{vc})$	$-\bar{R}_s \frac{\bar{V}_c}{\bar{V}_s^2}$	$\bar{R}_s u_B(\Delta_{vc}) / \bar{V}_s$
V_s	$\bar{V}_s$	$u_A(\bar{V}_s)$	$n-1$		$-\bar{R}_s \bar{V}_c u_A(\bar{V}_s) / \bar{V}_s^2$
		$u_B(\bar{V}_s)$	$\nu_B(V_s)$		$-\bar{R}_s \bar{V}_c u_B(\bar{V}_s) / \bar{V}_s^2$
Δ_{vs}	0	$u_B(\Delta_{vs})$	$\nu_B(\Delta_{vs})$	$-\bar{R}_s \frac{\bar{V}_c}{\bar{V}_s^2}$	$-\bar{R}_s \bar{V}_c u_B(\Delta_{vs}) / \bar{V}_s^2$
Измеряемая величина	Оценка выходной величины	Суммарная стандартная неопределенность	Эффективное число степеней свободы	Коэффициент охвата	Расширенная неопределенность
R_c	$R_c = \bar{R}_s \frac{\bar{V}_c}{\bar{V}_s}$	(3)	ν_{eff}	$k=t(\nu_{eff})$	$U(\bar{R}_c) = k u_c(\bar{R}_c)$



U_s и k_s – расширенная неопределенность и коэффициент охвата, взятые из ее сертификата калибровки;

$$\nu_B(R_s) = \begin{cases} \infty, & \text{для } k_s \leq 2; \\ t^{-1}(k_s), & \text{для } k_s > 2. \end{cases} \quad \text{ЧСС для } u_B(\hat{R}_s),$$

причем $t^{-1}(k_s)$ – значение ЧСС, получаемое из таблицы Стьюдента по заданному коэффициенту k_s ;

$u_B(\hat{\Delta}_s)$ и $\nu_B(\Delta_s)$ – стандартная неопределенность поправки на дополнительные погрешности эталонной меры и соответствующее ей ЧСС, соответственно [4];

n – количество повторных измерений r_i , выполненных мостом постоянного тока;

$\bar{r}_c = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n r_{ci}$ – среднее арифметическое повторных измерений r_{ci} ;

$$u_A(\bar{r}_c) = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (r_{ci} - \bar{r}_c)^2} \quad \text{– стандартная неопределенность типа A измерения } r_{ci};$$

$u_B(\hat{\Delta}_s) = u_B(\hat{\Delta}_{rc}) = u_B(\hat{\Delta}_{rs})$ – стандартная неопределенность отсчета моста;

ν_{eff} – эффективное ЧСС, вычисляемое по формуле Уэлча-Саттертуэйта [11]:

$$\nu_{eff} = \frac{u_c^4(\hat{R}_c)}{\frac{u_B^4(\hat{R}_s)}{\nu_B(R_s)} + \frac{u_B^4(\hat{\Delta}_s)}{\nu_B(\Delta_s)} + \hat{R}_c^4 \left[\frac{u_A^4(\bar{r}_c)}{n-1} + \frac{u_A^4(\bar{r}_s)}{n-1} \right]}.$$

В табл. 6 обозначено: $u_B(\hat{R}_s) = U_s/k_s$ – стандартная неопределенность типа B калибровки эталонной меры, причем U_s и k_s – расширенная неопределенность и коэффициент охвата, взятые из ее сертификата калибровки;

$$\nu_B(R_s) = \begin{cases} \infty, & \text{для } k_s \leq 2; \\ t^{-1}(k_s), & \text{для } k_s > 2. \end{cases} \quad \text{ЧСС для } u_B(\hat{R}_s),$$

причем $t^{-1}(k_s)$ – значение ЧСС, получаемое из таблицы Стьюдента по заданному коэффициенту k_s ;

$u_B(\hat{\Delta}_s)$ и $\nu_B(\Delta_s)$ – стандартная неопределенность поправки на дополнительные погрешности эталонной меры и соответствующее ей ЧСС, соответственно [4];

n – количество повторных измерений V_i , выполненных компаратором напряжений;

$\bar{V} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_i$ – среднее арифметическое повторных измерений V_i ;

$$u_A(\bar{V}) = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (V_i - \bar{V})^2} \quad \text{– стандартная неопределенность типа A измерения } r_{ci};$$

$u_B(\hat{V}) = u_B(\hat{V}_c) = u_B(\hat{V}_s) = U_V/k_V$ – стандартная неопределенность калибровки моста, причем U_V и k_V – расширенная неопределенность и коэффициент охвата, взятые из его сертификата калибровки;

$$\nu_B(\hat{V}) = \begin{cases} \infty, & \text{для } k_V \leq 2; \\ t^{-1}(k_V), & \text{для } k_V > 2. \end{cases} \quad \text{ЧСС для } u_B(\hat{V}),$$

причем $t^{-1}(k_V)$ – значение ЧСС, получаемое из таблицы Стьюдента по заданному коэффициенту k_V ;

$u_B(\hat{\Delta}_V) = u_B(\hat{\Delta}_{Vc}) = u_B(\hat{\Delta}_{Vs})$ – стандартные неопределенности поправок на дополнительные погрешности моста;

$\nu_B(\Delta_{Vc})$ и $\nu_B(\Delta_{Vs})$ – соответствующие им числа степеней свободы;

ν_{eff} – эффективное ЧСС, вычисляемое по формуле Уэлча-Саттертуэйта [11]:

$$\nu_{eff} = \frac{u_c^4(\hat{R}_c)}{\frac{u_B^4(\hat{R}_s)}{\nu_B(R_s)} + \frac{u_B^4(\hat{\Delta}_s)}{\nu_B(\Delta_s)} + \left(\frac{\hat{R}_s}{\bar{V}_s}\right)^4 \left[\frac{u_A^4(\bar{V}_c)}{n-1} + \frac{u_B^4(\hat{V}_c)}{\nu_B(V_c)} + \frac{u_B^4(\hat{\Delta}_{Vc})}{\nu_B(\Delta_{Vc})} \right] + \left(\frac{\hat{R}_c \bar{V}_c}{\bar{V}_s^2}\right)^4 \left[\frac{u_A^4(\bar{V}_s)}{n-1} + \frac{u_B^4(\hat{V}_s)}{\nu_B(V_s)} + \frac{u_B^4(\hat{\Delta}_{Vs})}{\nu_B(\Delta_{Vs})} \right]}.$$

Оценка пригодности (валидация) методик калибровки.

В соответствии с п. 5.4.5.2 ISO 17 025:2005 [1] «Лаборатория должна оценивать пригодность нестандартных методов, методов, созданных или разработанных лабораторией, стандартных методов, используемых за пределами целевой области распространения ее деятельности, а также расширений и модификаций стандартных методов для подтверждения того, что методы подходят для целевого использования».

Валидация разработанных методик должна включать в себя основные этапы [12]:

1. Определение диапазона и области применения (спецификацию) методики.
2. Определение характеристик методики, которые будут определяться при валидации и их граничных значений.
3. Выполнение валидационных исследований разработанной методики.
4. Оценка характеристик методики по критерию ее использования и представление доказательств ее пригодности.
5. Документирование и декларирование пригодности методики для целей предполагаемого использования.

Основными валидационными характеристиками методик калибровки являются:

- неопределенность измерений U_c ;
 - смещение.
- Допустимым значением неопределенности измерений является так называемая целевая неопределенность (U_T). Источниками задания U_T могут быть:
- требования заказчика;
 - требования, указанные в нормативном документе;
 - границы максимально допустимой погрешности (МРЕ) МЭС ($U_T \leq \text{МРЕ}/3$).

Допустимость смещения при калибровке МЭС определяется по формуле:

$$E_n = \frac{|R_c - R_{ref}|}{\sqrt{U_c^2 + U_{ref}^2}} \leq 1,$$

в которой R_c и U_c – соответственно значение сопротивления МЭС и его расширенная неопределенность, получаемые в результате применения методики калибровки в лаборатории;

R_{ref} и U_{ref} – опорное (референтное) значение сопротивления МЭС и его расширенная неопределенность, которые получают:

- из сертификата о калибровке эталонной меры, которой заменяют калибруемую в лаборатории меру на этапе валидации;
- при калибровке МЭС с помощью референтного метода;
- из результатов межлабораторных сравнительных испытаний МЭС.

Применение приведенного подхода позволяет оценить существенность смещения, получаемого при реализации методики калибровки в лаборатории.

Если в результате валидационных исследований выполняются оба неравенства: $E_{\text{н}} \leq 1$ и $U_c \leq U_T$ во всем диапазоне изменения значения R_c , в заданном диапазоне изменения влияющих величин и при заданных параметрах окружающей среды, то методика считается пригодной для использования, о чем следует указать в протоколе валидации [4].

ЛИТЕРАТУРА

1. ISO/IEC 17025:2005 General Requirement for the Competence of Testing and Calibrating Laboratories.
2. EA-4/02 M: 2013 Evaluation of the Uncertainty of Measurement in Calibration. – EA, 2013. – 75 p.
3. ГОСТ Р 54500.3-2011/Руководство ИСО/МЭК 98-3:2008 Неопределенность измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерения. М.: Стандартинформ, 2012. – 109 с.
4. Захаров И. П. Калибровка 17 025: справ. пособие, 2-е изд., перераб. и дополн. Санкт-Петербург: Политехника-Принт, 2017. – 68 с.
5. ГОСТ 8.237-2003 Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Меры электрического сопротивления однозначные. Методика поверки.
6. Захаров И. П., Водотыка С. В., Шевченко Е. Н. Методы, модели и бюджеты оценивания неопределенности измерений при проведении калибровок //Измерительная техника – 2011. – № 4. – С. 20–26.
7. Волков О. О., Захаров И. П., Лапченко А. Н. Оценивание неопределенности измерений при поверке мер электрического сопротивления многозначных, применяемых в цепях постоянного тока //Системы обработки информации. – 2011. – Вып. 1 (91). – С. 135–138.
8. Волков О. О., Захаров И. П. Оценивание неопределенности измерений при поверке (калибровке) однозначных мер электрического сопротивления с помощью компаратора //Системы обработки информации. – 2012. – Вып. 1 (99). – С. 130–133.
9. Волков О. О., Захаров И. П., Петрухина К. Ю. Оценивание неопределенности измерений при поверке (калибровке) мер электрического сопротивления методом замещения //Электротехнические и компьютерные системы. – 2012. – № 06 (82). – С. 125–128.
10. Волков О. О., Захаров И. П. Оценивание неопределенности измерений при калибровке мер электрического сопротивления косвенным методом. //Системы обработки информации. – 2013. – Вып. 3 (110). – С. 164–166.
11. Захаров И. П. Неопределенность измерений для чайников и ... начальников, 4-е изд., перераб. и дополн. Санкт-Петербург: Политехника-Принт, 2016. – 60 с.
12. Волков О. О., Захаров И. П. Валидация методик калибровки: основные подходы и пути реализации //Метрология и приборы. – 2013. – № 2-II (40). – С. 54–58.

Дата принятия 09.01.2018

ПАМЯТНЫЕ ДАТЫ

МЕТЕОРОЛОГИЯ И МЕТРОЛОГИЯ

23 марта – Всемирный День Метеорологии, который отмечается с 1961 года, и был установлен в связи с вступлением в силу в 1950 году Метеорологической Конвенции, открытой для подписания 11 октября 1947 года. В этот день интересно вспомнить об общих корнях метрологии и метеорологии.

Предтечей межправительственной Всемирной Метеорологической Организации (ВМО) была неправительственная Международная Метеорологическая Организация, основанная в 1873 году, т.е. за 2 года до подписания Метрической Конвенции.

В 1992 году мы праздновали 150-летие ВНИИМ им. Менделеева, потому что в 1842 году в Санкт-Петербурге было открыто первое научное учреждение в области метрологии – Депо образцовых мер и весов, просуществовавшее до 1893 года, когда оно было преобразовано Д. И. Менделеевым в Главную Палату мер и весов. Первым учёным хранителем образцовых мер и весов Депо был назначен академик Адольф Яковлевич Купфер – профессиональный метеоролог, проработавший в Депо до 1865 года. Несмотря на занятость в метрологии, он разработал проект и инициативно продвигал его вплоть до создания Главной физической обсерватории и в 1849 году, параллельно

Депо, был назначен первым директором Обсерватории. Метрология соединилась с метеорологией. Адольф Яковлевич часто использовал площади Обсерватории для нужд Депо.

Интересно, что другой директор Обсерватории (1868–1895) – академик Вильд Генрих Иванович активно участвовал в подготовке Метрической Конвенции и после её подписания был представителем России в Международном Комитете мер и весов (МКМВ) до 1895 года, о чём директор музея Д. И. Менделеева при ВНИИМ им. Д. И. Менделеева Е. Б. Гинак рассказала нам в № 3 за 2016 г. нашего журнала. Вместо Г. И. Вильда был избран членом МКМВ управляющий Главной Палатой мер и весов Дмитрий Иванович Менделеев, всемирно известный химик и метролог, российский энциклопедист.

И в дальнейшем было много общего у метрологии с метеорологией, но об этом – в другой раз. А пока можно сказать, что в течение года Исаев Лев Константинович был главным метрологом Госкомгидромета СССР, а будучи затем заместителем Председателя Госстандарта России активно сотрудничал с Председателем Роскомгидромета проф. Бедрицким Александром Ивановичем, ныне Советником Президента России.

С ПРАЗДНИКОМ, КОЛЛЕГИ!