



## Определение измерительных и калибровочных возможностей калибровочной лаборатории в процессе ее аккредитации

И.П. Захаров<sup>1</sup>, О.А. Новоселов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Харьковский национальный университет радиоэлектроники, пр. Науки, 14, 61166, Харьков, Украина  
newzip@ukr.net

<sup>2</sup>ПАО "АрселорМиттал Кривой Рог", ул. Орджоникидзе, 1, 50095, Кривой Рог, Украина

### Аннотация

Целью статьи является анализ основных особенностей формирования наименьшей достигаемой неопределенности при аккредитации калибровочной лаборатории. Рассмотрена цель опубликования калибровочных и измерительных возможностей. Проанализирована форма выражения наименьшей достигаемой неопределенности. Рассчитаны коэффициенты охвата для вероятности 0,9545 для различных законов распределения измеряемой величины: арксинусного, равномерного, треугольного, трапециевидного, нормального. Приведена таблица коэффициентов Стьюдента для дробного числа эффективных степеней свободы.

При представлении измеряемой величины в виде диапазона значений рассмотрено выражение наименьшей достигаемой неопределенности в виде единичного значения в абсолютной, относительной или комбинированной форме. Приведена формула для линейной интерполяции при задании зависимости двумя известными базовыми точками. Рассмотрены варианты предварительного нелинейного преобразования диапазонов значений входной величины и наименьшей достигаемой неопределенности.

Показано представление наименьшей достигаемой неопределенности с помощью функции в явном виде, зависящей от значений измеряемой величины и дополнительных влияющих параметров. Проанализировано представление калибровочных и измерительных возможностей в матричной и графической форме.

Рассмотрены вопросы обеспечения полноты и достоверности представления калибровочных и измерительных возможностей. Проанализирована концепция "наилучшего существующего" прибора.

**Ключевые слова:** калибровка, неопределенность измерений, калибровочные и измерительные возможности, уровень доверия, коэффициент охвата.

Получено: 11.12.2017

Отредактировано: 25.12.2017

Одобрено к печати: 28.12.2017

### Постановка проблемы

В процессе аккредитации калибровочной лаборатории (КЛ) на соответствие требованиям стандарта ДСТУ ISO/IEC17025:2006 [1] формируется ее область аккредитации, которая должна включать калибровочные и измерительные возможности (СМС)\*, определяемые с помощью следующих понятий, перечисленных в п. 5.1 документа ИЛАС-Р 14:01/2013 [2]: "а) измеряемая величина или стандартный образец; б) метод/методика калибровки/измерений и/или тип средства измерений/материала, измеряемого или подлежащего калибровке; в) диа-

пазон измерений и дополнительные параметры при необходимости, например, частота приложенного напряжения; д) неопределенность измерений".

Среди вышеперечисленных понятий наиболее существенным, с точки зрения оценки технических возможностей аккредитованной лаборатории, является неопределенность измерений (НИ). Фактически под НИ, указанной выше в п. д, понимают наименьшую НИ, которую аккредитованная КЛ "может достичь во время калибровки" [2]. Поэтому в документах Немецкой калибровочной службы (DKD) [3] вместо термина СМС применяется термин "kleinste angebbare Messunsicherheit — наименьшая выдаваемая (назначаемая, указываемая) неопределенность".

Если для национальных метрологических институтов СМС должна быть опубликована в базе

\* В 2007 г. ИЛАС и ВІРМ договорились заменить ранее применяемый термин "Best Measurement Capability (ВМС)" ("Наилучшие измерительные возможности"), используемый для определения областей аккредитации калибровочных лабораторий, на термин СМС, содержащийся в СИРМ МРА [2].

Таблица 1

Коэффициенты охвата для разных законов распределения измеряемой величины

Закон распределения измеряемой величины				
Арсинусный	Равномерный	Трапециевидный	Треугольный	Нормальный
Общие выражения для расчета коэффициента охвата				
$\sqrt{2} \sin\left(\frac{\pi p}{2}\right)$	$\sqrt{3}p$	$\sqrt{3} \frac{1 + \alpha - 2\sqrt{(1-p)\alpha}}{\sqrt{1 + \alpha^2}}$	$\sqrt{6}[1 - \sqrt{(1-p)}]$	$\Phi^{-1}(p/2)$
Значения коэффициентов охвата для уровня доверия $p = 0,9545$				
1,411	1,653	1,653...1,927	1,927	2
Значения коэффициентов охвата для уровня доверия $p = 0,95$				
1,41	1,645	1,645...1,902	1,902	1,96

данных ключевых сличений ВРМ (КСДВ) Соглашения СРМ МРА [4], то для КЛ СМС должны быть указаны в “Сфере аккредитации” лаборатории, полученной от подписанта Соглашения Международного сотрудничества по аккредитации лабораторий (ILAC) [2]. От Украины полноправным членом ILAC и подписантом Соглашения ILAC МРА является Национальное агентство аккредитации Украины (НААУ)\*, на сайте которого [5] приведены сведения о СМС аккредитованных калибровочных лабораторий.

Установление СМС является задачей органа по аккредитации [6, п. А.7], но предварительно КЛ должна сама оценить свои калибровочные возможности по заявленной номенклатуре калибруемых средств измерительной техники (СИТ) и доказать их в процессе аккредитации [2, п. 4.1].

Анализ “Сфер аккредитации” аккредитованных КЛ и выдаваемых ими сертификатов калибровок свидетельствует о разном понимании способов оценивания неопределенностей, связанных с СМС [7]. Такое состояние дел требует тщательного анализа термина “наименьшая достигаемая неопределенность” (НДН).

**Анализ последних достижений и публикаций**

Анализ литературы по данной теме показал, что в странах, которые уже прошли этап аккредитации КЛ, также в свое время сталкивались с проблемой указания НДН [8–10].

Наиболее полное разъяснение понятия “НДН” было дано в приложении А к документам EA-4/02:1999 [6] и DKD-3:2010 [3], хотя в новой редакции документа EA-4/02 М:2013 [11] это понятие уже не разъясняется, а дается ссылка на документ ILAC P14:12/2010, аналогичный [2]. Кроме

\* Соглашение о предоставлении НААУ статуса полноправного члена ILAC и подписанта Соглашения ILAC МРА в сферах испытания и калибровки в соответствии с международным стандартом ISO/IEC17025 было подписано 16 октября 2014 в г. Ванкувер, Канада, на 18-м заседании Генеральной ассамблеи ILAC и 14-м совместном заседании Генеральной ассамблеи ILAC и Международного форума по аккредитации (IAF).

того, подробное разъяснение понятия “НДН” дается в приложении А документа United Kingdom Accreditation Service M3003:2012 [12].

**Формулирование цели статьи**

Целью статьи является анализ основных особенностей формирования НДН при аккредитации КЛ.

**Изложение основного материала**

**1. Цель опубликования СМС**

Целью опубликования СМС является обеспечение “сравнения возможностей различных КЛ, в частности, лабораторий, аккредитованных различными органами по аккредитации” [3,6, п. А.2]. НДН “используются потенциальными клиентами аккредитованных лабораторий, чтобы оценить возможность проведения определенной калибровочной работы в лаборатории или вне ее (на стороне)” [3,6, п. А.1].

**2. Форма выражения НДН**

В соответствии с пунктом 5.3 [2], НДН должна быть выражена в виде расширенной неопределенности, имеющей определенную вероятность охвата, равную приблизительно 95 %. Выражение “приблизительно 95 %” на самом деле подразумевает вероятность 95,45 % (см. пункт E2(c) приложения Е [11]), которой при нормальном законе распределения измеряемой величины соответствует коэффициент охвата, равный двум с точностью до 6 знака после запятой ( $k_{0,9545} = 2,000002444$ ).

Если закон распределения измеряемой величины отличен от нормального, то необходимо указывать соответствующий коэффициент охвата (см. табл. 1) также для вероятности 95,45 %. Для расчета таких коэффициентов охвата можно воспользоваться формулами, приведенными в табл. 1 [13]. Для сравнения в табл. 1 приведены значения коэффициентов охвата для вероятности 0,95.

В табл. 1 обозначено  $\alpha=0,1\dots1$  — соотношение стандартных неопределенностей 2-х равномерных законов, образующих трапециевидный;  $\Phi^{-1}(p/2)$  — значение обратной функции Лапласа в точке  $p/2$ .

Значения коэффициентов Стьюдента для уровней доверия 0,9545 и 0,95 и дробного числа степеней свободы, получаемого при использовании формулы Велча-Саттерсвейта, приведены в табл. 2 [14].

Таблица 2

Значения коэффициентов Стьюдента для дробного числа степеней свободы  $V_{\text{eff}}$

$V_{\text{eff}}$	$t_{0,9545;v_{\text{eff}}}$	$t_{0,95;v_{\text{eff}}}$	$V_{\text{eff}}$	$t_{0,9545;v_{\text{eff}}}$	$t_{0,95;v_{\text{eff}}}$	$V_{\text{eff}}$	$t_{0,9545;v_{\text{eff}}}$	$t_{0,95;v_{\text{eff}}}$
<b>1,0</b>	13,968	12,706	<b>3,0</b>	3,307	3,182	<b>5,0</b>	2,649	2,571
<b>1,1</b>	11,203	10,277	<b>3,1</b>	3,245	3,125	<b>5,1</b>	2,633	2,556
<b>1,2</b>	9,364	8,649	<b>3,2</b>	3,188	3,073	<b>5,2</b>	2,617	2,541
<b>1,3</b>	8,074	7,501	<b>3,3</b>	3,137	3,025	<b>5,3</b>	2,603	2,527
<b>1,4</b>	7,131	6,657	<b>3,4</b>	3,089	2,981	<b>5,4</b>	2,589	2,514
<b>1,5</b>	6,418	6,017	<b>3,5</b>	3,045	2,940	<b>5,5</b>	2,575	2,502
<b>1,6</b>	5,864	5,517	<b>3,6</b>	3,005	2,902	<b>5,6</b>	2,562	2,490
<b>1,7</b>	5,424	5,119	<b>3,7</b>	2,967	2,868	<b>5,7</b>	2,550	2,478
<b>1,8</b>	5,067	4,795	<b>3,8</b>	2,932	2,835	<b>5,8</b>	2,539	2,468
<b>1,9</b>	4,773	4,527	<b>3,9</b>	2,900	2,805	<b>5,9</b>	2,527	2,457
<b>2,0</b>	4,527	4,303	<b>4,0</b>	2,869	2,776	<b>6,0</b>	2,517	2,447
<b>2,1</b>	4,318	4,112	<b>4,1</b>	2,841	2,750	<b>6,1</b>	2,506	2,437
<b>2,2</b>	4,140	3,949	<b>4,2</b>	2,814	2,725	<b>6,2</b>	2,496	2,428
<b>2,3</b>	3,985	3,807	<b>4,3</b>	2,789	2,702	<b>6,3</b>	2,487	2,419
<b>2,4</b>	3,850	3,683	<b>4,4</b>	2,766	2,680	<b>6,4</b>	2,478	2,410
<b>2,5</b>	3,732	3,575	<b>4,5</b>	2,743	2,659	<b>6,5</b>	2,469	2,402
<b>2,6</b>	3,627	3,478	<b>4,6</b>	2,722	2,639	<b>6,6</b>	2,460	2,394
<b>2,7</b>	3,534	3,392	<b>4,7</b>	2,702	2,621	<b>6,7</b>	2,452	2,386
<b>2,8</b>	3,450	3,315	<b>4,8</b>	2,684	2,603	<b>6,8</b>	2,444	2,379
<b>2,9</b>	3,375	3,245	<b>4,9</b>	2,666	2,586	<b>6,9</b>	2,436	2,372

Анализ табл. 1, 2 показывает, что максимальное отличие в коэффициентах охвата, рассчитанных для уровней доверия 0,9545 и 0,95 для одних и тех же законов распределения измеряемой величины, не превышает 2 % (для нормального закона распределения) и 13 % (для распределения Стьюдента при  $V_{\text{eff}}=1$ ), однако это отличие может являться причиной недоразумений, поскольку в тексте СИМР МРА ([15], приложение С) предписывается указание расширенной неопределенности измерений в сертификатах калибровки НМИ для уровня доверия 0,95 точно.

При записи НДН, также как и при записи расширенной неопределенности в сертификатах калибровки, она округляется не более чем до двух значащих цифр. При этом числовое значение измеряемой величины должно оканчиваться цифрой того же разряда, что и округленная неопределенность.

### 3. Представление НДН для диапазона значений измеряемой величины

В “Сфере аккредитации” измеряемая величина может быть представлена дискретными значениями или диапазоном значений. Первый случай затруднений не вызывает, так как для каждого дискретного значения измеряемой величины ука-

зывают НДН в абсолютной или относительной форме (примеры 1 и 2, табл. 3).

В случае представления измеряемой величины диапазоном значений, НДН может выражаться одним из нижеследующих способов [2, п. 5.2].

3.1. Единичное значение НДН в абсолютной или относительной форме, которое относится ко всему диапазону измерений. Это возможно в следующих случаях:

- когда значение НДН, выраженное в абсолютном виде  $U_{\text{ABS}}$  (с помощью таких же единиц, как и измеряемая величина), не зависит от значения измеряемой величины  $y$  в указываемом диапазоне (пример 3, табл. 3);
- если есть возможность (без ущерба для репутации лаборатории) указать максимальное из оцениваемых в диапазоне значений НДН\*;
- при наличии линейной зависимости между значениями измеряемой величины и значениями НДН можно указать единственное значение НДН в относительном виде\*\*  $U_{\text{REL}} = U_{\text{ABS}}/|y|$  (в безраз-

\* Не допускается указывать открытые интервалы (например,  $U < x$  ([2], п. 5.2, д).

\*\* Для устранения двусмысленности факт использования относительных расширенных неопределенностей при указании СМС должен быть четко идентифицирован.

Примеры заполнения “Сферы аккредитации” аккредитованных КЛ

№ примера	Типы или группы средств измерительной техники	Диапазон или точка измерений, в которой проводится калибровка	Метрологические характеристики	Расширенная неопределенность $U (k=2)$	Примечание
1	Гири	10 г	Класс точности $E_1$	0,010 мг	1
2	Катушка сопротивления	10 кОм	Класс точности 0,1	0,004 %	
3	Средства измерения малых углов	0...10°	1 разряд по ДСТУ 7212	0,3 "	
4	Расходомер газа (сухой воздух)	1...10 мл/мин	±1,0 %	0,65 %	
5	Вольтметр постоянного тока	0...1 В		11 ppm+2,9 мкВ	2
6	Микрометры МК	0...600 мм	$\Delta = \pm(2...20)$ мкм	2,31...23,09 мкм	3
7	Меры длины концевые плоскопараллельные	0,1...1000 мм	2 разряда по ДСТУ 3741	(0,05+0,5·L) мкм, L в м	4
8	Вольтметр переменного тока	1 В (60 Гц) 10 В (60 Гц) 1 В (1 кГц) 10 В (1 кГц)		93 ppm 91 ppm 110 ppm 100 ppm	

*Примечания:*

1. Значение  $U$  завышено. В соответствии с табл. 1 ДСТУ OIML R111–1, предел допускаемой погрешности (MPE) для гири класса  $E_1$  массы 10 г равен 0,020 мг. Расширенная неопределенность для гири этого класса не должна быть больше  $1/3 MPE=0,0067$  мг (п. 5.2 ДСТУ OIML R111–1).

2. Значение  $U$  при напряжении 1 В будет равно [12]

$$U(1В) = \sqrt{(11 \cdot 10^{-6} \cdot 1В)^2 + (2,9 \cdot 10^{-6} В)^2} = 11,4 \cdot 10^{-6} В.$$

3. Значения НДН указаны более чем с двумя значащими цифрами. Не указан способ интерполирования с целью получения неопределенности промежуточных значений.

4. Значение  $U$  для меры длиной 1 м будет равно

$$U(1м) = 0,05 + 0,5 \cdot 1 = 0,55 \text{ мкм.}$$

мерных единицах или процентах), при этом диапазон измеряемой величины не должен начинаться с нуля (пример 4, табл. 3);

• в случае одновременного присутствия в бюджете неопределенности вкладов, не зависящих от значения измеряемой величины и вкладов, пропорциональных значению измеряемой величины, в документе М3003:2012 [12] предлагается оценивать отдельно расширенные неопределенности этих вкладов, соответственно, в абсолютном и относительном виде и записывать общую расширенную неопределенность как  $\pm(U_{REL} + U_{ABS})$ . Для нахождения значения общей неопределенности следует использовать выражение\* (пример 5, табл. 3)

$$U = \sqrt{[U_{REL} \cdot y]^2 + U_{ABS}^2}.$$

3.2. *Диапазон значений НДН, соответствующий диапазону измеряемой величины.* В этом случае “КЛ должна разработать соответствующий способ выполнения интерполирования с целью получения неопределенности промежуточных значений”, по-

\* Эта формула справедлива, если оба коэффициента охвата при вычислении  $U_{REL}$  и  $U_{ABS}$  равны 2 (то есть при приписывании нормального закона распределения обем составляющим).

скольку “не должно быть никакой двусмысленности при выражении СМС” [2, п. 5.2, б].

Эта ситуация наиболее распространена в отечественных КЛ, которые для диапазона входных величин  $y_{min} \dots y_{max}$  указывают диапазон расширенных неопределенностей  $U_{min} \dots U_{max}$ , не приводя способа выполнения интерполяции (пример 6, табл. 3). В этом случае чаще всего (но не всегда)  $U_{min}$  соответствует  $y_{min}$ , а  $U_{max}$  соответствует  $y_{max}$ .

Следует отметить, что представление зависимости двумя известными базовыми точками ( $y_{min}; U_{min}$ ), ( $y_{max}; U_{max}$ ) по умолчанию должно соответствовать линейной интерполяционной формуле

$$U = U_{min} + (y - y_{min}) \frac{U_{max} - U_{min}}{y_{max} - y_{min}}, \quad (1)$$

по которой можно вычислить значение НДН  $U$  в любой точке  $y$  указанного диапазона измеряемой величины.

Кроме того, возможна реализация линейной интерполяции зависимости значений  $U^*$  от  $y^*$ , полученных после предварительной замены переменных  $U^* = \varphi(U)$ ;  $y^* = \psi(y)$ . В этом случае значение НДН будет находиться по формуле

$$U = \varphi^{-1} \left[ U_{\min}^* + (y^* - y_{\min}^*) \frac{U_{\max}^* - U_{\min}^*}{y_{\max}^* - y_{\min}^*} \right], \quad (2)$$

где  $\varphi^{-1}(U^*)$  — функция, обратная  $\varphi(U)$ .

В табл. 4 представлены прямые и обратные функции для реализации линейной интерполяции с заменой переменных [16].

Таблица 4

Функции для замены переменных при реализации линейной интерполяции

Наименование функции	Вид функции	$U^* = \varphi(U)$	$y^* = \psi(y)$	$U = \varphi^{-1}(U^*)$
Показательная	$U = A_0 e^{A_1 y}$	$U^* = \ln U$	$y^* = y$	$U = \exp(U^*)$
Степенная	$U = A_0 y^{A_1}$	$U^* = \ln U$	$y^* = \ln y$	$U = \exp(U^*)$
Логарифмическая	$U = A_0 + A_1 \ln y$	$U^* = U$	$y^* = \ln y$	$U = U^*$
Гиперболическая	$U = A_0 + A_1 / y$	$U^* = U$	$y^* = 1/y$	$U = U^*$
Дробно-линейная функция первого вида	$U = 1/(A_0 + A_1 y)$	$U^* = 1/U$	$y^* = y$	$U = 1/U^*$
Дробно-линейная функция второго вида	$U = y/(A_0 + A_1 y)$	$U^* = 1/U$	$y^* = 1/y$	$U = 1/U^*$

*Примечание.* Здесь  $A_0$  и  $A_1$  — постоянные коэффициенты, не требующие определения при такой форме представления НДН.

Следует отметить, что такое представление НДН требует от КЛ проведения предварительной работы по интерполяции зависимости  $U = f(y)$ , а для потенциальных клиентов КЛ — работы по вычислению значений НДН с использованием зависимостей (1) или (2) по указанным в “Сфере аккредитации” границам диапазонов измеряемой величины и НДН и способу интерполяции. Кроме того, этот случай не предусматривает возможности выражения зависимости НДН от влияющего параметра (частоты, температуры и т. д.) Поэтому более простой и информативной для клиентов КЛ формой представления НДН является задание функции в явном виде.

3.3. *Функция в явном виде*, определяющая зависимость значений НДН от измеряемой величины и влияющего параметра. Чаще всего такое представление встречается в “Сферах аккредитации” в виде линейной функции измеряемой величины (пример 7, табл. 3):

$$U = A_0 + A_1 y,$$

но возможны и другие виды зависимостей (полиномиальные или указанные в табл. 3). Например, при калибровке измерителя емкости на частоте 1 кГц НДН задана следующим уравнением [8]:

$$U = 3 + 100 \cdot D + (0,01 + 7,5/C)/V, \text{ мкФ/Ф},$$

где  $C$  — измеряемая емкость;  $D$  — тангенс угла потерь;  $V$  — измерительное напряжение.

Такая форма представления требует от КЛ дополнительной работы по аппроксимации получаемой зависимости НДН, которую не всегда возможно осуществить во всем диапазоне изменения измеряемой величины и влияющего параметра. Выходом из этой ситуации является табличная (матричная) форма представления НДН.

3.4. *Матрица*, в которой значения НДН зависят от значений измеряемой величины и дополнительных параметров. В этом случае весь диапазон изменения измеряемой величины разбивается на поддиапазоны, на которых НДН выражается единственным значением или функцией в явном виде. При наличии зависимости НДН от дополнительного параметра применяют вложенные таблицы (пример 8, табл. 3). Достоинством такого способа представления является его простота, а недостатком — громоздкость, затрудняющая наглядность выражения получаемых зависимостей. Поэтому документ рекомендует применение графической формы представления НДН.

3.5. *Графическая форма, обеспечивающая соответствующее разрешение* по каждой из осей для получения, как минимум, двух значащих знаков для неопределенности. Эта форма наиболее наглядна для функции одной переменной, однако табличная форма “Сферы аккредитации” КЛ не предусматривает представление НДН графиком или диаграммой. Кроме того, при наличии зависимости НДН от двух и более переменных, ее

представление в виде поверхности уже не дает выгрыша в наглядности [8].

#### 4. Полнота и достоверность представления НДН

Как следует из требований нормативных документов, при указании НДН необходимо обеспечить, чтобы она была не только наименьшей, но и *достигаемой* в лаборатории “в рамках своей нормальной работы” [3, 6, п. А.3]. НДН оцениваются “для “более или менее повседневных” типов калибровок в лаборатории”, которые не предусматривают “обширные исследования и дополнительные мероприятия”, направленные на уточнение НДН [3, 6, п. А.3].

КЛ “должны представить доказательство того, что ... неопределенности измерений оказываются равными тем, которые охвачены СМС” [2, п. 5.4]. При этом “орган по аккредитации не должен ограничиваться только расчетом неопределенности. При проведении надзора или по поручению должны проводиться многочисленные сличения, которые “подкрепляют” расчеты” [3, 6, п. А11].

В п. А.8 [3, 6] отмечается, что “все компоненты, которые имеют существенные вклады в неопределенность измерения, должны приниматься во внимание при оценке НДН”. Это касается и вкладов, “обусловленных повторяемостью и воспроизводимостью” [2, п. 5.4]. Это означает, что при оценивании НДН нельзя игнорировать неопределенности типа А, которые можно было бы минимизировать до нуля, увеличивая до бесконечности число повторных измерений, а также неопределенности, связанные с влиянием параметров промежуточной прецизионности (“время”, “оператор”, “калибровка”, “оборудование”) [17].

Если неопределенность измерения зависит от дополнительных параметров, как, например, частота приложенного напряжения при калибровке эталонных сопротивлений, то “должен указываться дополнительный параметр такого рода вместе с измеряемой величиной и НДН, выделенной отдельно для дополнительного параметра. Часто бывает, что НДН указывается как функция соответствующих (упомянутых) параметров” [3, 6, п. А.9].

При калибровке СИТ необходимо учитывать “вклад, который вызван дрейфом между двумя периодическими калибровками” эталона, применяемого для калибровки [3, 6, п. А8].

Если эталоном является стандартный образец, то при расчете НДН калибруемого СИТ “должны рассматриваться типичные матричные эффекты, интерференции (влияние примесей) и т. п.” [2, п. 5.5].

#### 5. Концепция “идеального” прибора

Определение НДН должно производиться для “наилучшего существующего средства измерений (BED — best existing device), которое

доступно КЛ при выполнении калибровок” [2, п. 5.4]. Это касается обоих типов калибруемых СИТ:

- мер, “с помощью которых определяются, хранятся и воспроизводятся единицы соответствующей величины одного или нескольких значений”;
- измерительных приборов, “которые применяются для измерения соответствующей величины” [2, п. 1.3].

В отличие от регулярно калибруемых СИТ, ВЕД может представлять собой “прибор с низкими случайными флуктуациями, незначительным температурным коэффициентом, очень маленьким коэффициентом отражения и т. д.” [12, п. А4]. Поэтому лаборатория “при своих повседневных калибровках не имеет право указывать неопределенность измерения меньшую, чем НДН” [3, 6, п. А5]. То есть, неопределенность, указываемая в сертификатах калибровки, не должна быть меньше неопределенности, указанной в сфере аккредитации СИТ.

В связи с этим при указании НДН возможно не учитывать некоторые эффекты, принимаемые во внимание при рутинной калибровке.

В первую очередь, это “эффекты, связанные с эксплуатационными характеристиками, вызванные самим устройством заказчика до или после его калибровки (например, из-за транспортировки)” [12, п. А6].

Кроме того, при использовании в качестве эталона стандартного образца НДН, как правило, “не включает вклады, возникающие из-за нестабильности или неоднородности материала”, поскольку должна определяться для “типичных стабильных и однородных образцов” [2, п. 5.5].

Допускается также “не включать значительные по величине вклады неопределенности, связанные с физическими эффектами, которые могут быть приписаны несовершенствам наилучшего средства измерений, подвергаемого калибровке”, если “они могут быть отделены от других вкладов”. Однако для такого случая необходимо “четко идентифицировать, какие вклады в неопределенность, связанные со средством измерений, не включаются” [2, п. 5.4].

#### Выводы

1. Основным параметром, характеризующим качество выполнения калибровки СИТ аккредитованной КЛ, является НДН, которая может быть представлена в виде расширенной неопределенности для вероятности 0,9545 в абсолютном или относительном виде. Оценка НДН во многом зависит от здравого смысла, критического мышления и профессиональной добросовестности персонала КЛ, принимающего участие в ее определении.

2. При представлении измеряемой величины в виде диапазона значений возможны представления НДН: в виде единичного значения (в абсолютной, относительной или комбинированной форме); в виде диапазона, для которого необходимо указать способ интерполяции; в виде функции в явном виде, представляющей зависимость НДН от измеряемой величины и дополнительных влияющих параметров; в матричной и графической форме.

3. При представлении НДН необходимо обеспечить ее полноту и достоверность. Для этого при оценке НДН все компоненты, которые имеют существенные вклады в НИ, должны приниматься во внимание. КЛ должны представить доказательство

достижимости ею заявленных НДН, наиболее объективными из которых являются результаты сличений.

4. КЛ при своих повседневных калибровках не имеет права указывать НИ меньшую, чем НДН. Поэтому при выражении НДН применяется концепция “идеального прибора”, от характеристик которого не должна зависеть НДН. Допускается не включать значительные по величине вклады НИ, связанные с физическими эффектами, которые могут быть приписаны несовершенству наилучшего средства измерений, подвергаемого калибровке, если они могут быть отделены от других вкладов, идентифицируя эти вклады в “Сфере аккредитации” КЛ.

## Визначення калібрувальних та вимірювальних можливостей калібрувальної лабораторії в процесі її акредитації

І.П. Захаров<sup>1</sup>, О.А. Новоселов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Харківський національний університет радіоелектроніки, пр. Науки, 14, 61166, Харків, Україна  
newzip@ukr.net

<sup>2</sup>ПАТ “АрселорМіттал Кривий Ріг”, вул. Орджонікідзе, 1, 50095, Кривий Ріг, Дніпропетровська область, Україна

### Анотація

Метою статті є аналіз основних особливостей формування найменшої невизначеності, що досягається при акредитації калібрувальних лабораторій. Розглянуто мету опублікування калібрувальних і вимірювальних можливостей. Проаналізовано форму вираження найменшої невизначеності, що досягається. Розраховано коефіцієнти охоплення для ймовірності 0,9545 для різних законів розподілу вимірюваної величини: арксинусного, рівномірного, трикутного, трапецієподібного, нормального. Наведено таблицю коефіцієнтів Стюдента для дробового числа ефективних ступенів свободи.

При поданні вимірюваної величини у вигляді діапазону значень розглянуто вираження найменшої невизначеності, що досягається у вигляді одиничного значення в абсолютній, відносній або комбінованій формі. Наведено формулу для лінійної інтерполяції при вираженні залежності двома відомими базовими точками. Розглянуто варіанти попереднього нелінійного перетворення діапазонів значень вхідної величини і найменшої невизначеності, що досягається.

Показано подання найменшої невизначеності, що досягається, за допомогою функції в явному вигляді, яка залежить від значень вимірюваної величини і додаткових параметрів, що впливають. Проаналізовано подання калібрувальних і вимірювальних можливостей у матричній і графічній формі.

Розглянуто питання забезпечення повноти та достовірності подання калібрувальних і вимірювальних можливостей. Проаналізовано концепцію “найкращого існуючого” приладу.

**Ключові слова:** калібрування, невизначеність вимірювань, калібрувальні та вимірювальні можливості, рівень довіри, коефіцієнт охоплення.

# Determination of the calibration and measurement capabilities of the calibration laboratory in the process of its accreditation

I.P. Zakharov<sup>1</sup>, O.A. Novoselov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Kharkov National University of Radio Electronics, Nauky Ave., 14, 61166, Kharkiv, Ukraine  
newzip@ukr.net

<sup>2</sup>PJSC "ArcelorMittal Kryvyi Rih", Ordzhonikidze Str., 1, 50095, Kryvyi Rih, Dnipropetrovsk Oblast, Ukraine

## Abstract

The aim of the article is to analyze the main features of the formation of the smallest achievable uncertainty of measurement during accreditation of a calibration laboratory. The purpose of publishing of calibration and measurement capabilities is considered. The form of expression of the smallest achievable uncertainty is analyzed. The coverage factors for the probability of 0.9545 for different distribution laws of the measurand are calculated: arcsine, uniform, triangular, trapezoidal, normal. The table of the Student's coefficients for a fractional number of effective degrees of freedom is given.

When measurand is represented as a range of values, the expression of the smallest achievable uncertainty in the form of a single value in absolute, relative or combined form is considered. The linear interpolation formula is given for the expression of the dependence by two known base points. The variants of preliminary nonlinear transformation of ranges of the input quantity values and the smallest achievable uncertainty are considered.

The expression of the smallest achievable uncertainty as a function in an explicit form, depending on the values of the measurand and additional influencing parameters, is shown. The representation of calibration and measurement capabilities in matrix and graphical form is analyzed.

The issues of ensuring the completeness and reliability of the representation of calibration and measurement capabilities are considered. The concept of a "best existing" device is analyzed.

**Keywords:** calibration, measurement uncertainty, calibration and measurement capabilities, confidence level, coverage factor.

## Список литературы

1. ДСТУ ISO/IEC17025:2006. Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій (ISO/IEC 17025:2005, IDT). Київ, 2007. 28 с.
2. ILAC-P 14:01/2013. ILAC Policy for Uncertainty in Calibration. NEQ, 2013. 14 p.
3. DKD-3:2010. Angabe der Messunsicherheit bei Kalibrierungen. PTB, 2010. 86 p.
4. Неєрмаков П.І. Калібрувальні та вимірювальні можливості національних метрологічних інститутів: визначення та процедури JCRB і СОМЕТ з проведення експертизи. *Український метрологічний журнал*. 2010. № 2. С. 48–53.
5. URL: <http://naau.org.ua/reyestr-akreditovanix-ooov/>
6. EA-4/02:1999. Expression of the uncertainty of measurement in calibration. European cooperation for Accreditation, 1999. 79 p.
7. Новоселов О.А. Наилучшая измерительная возможность аккредитованной калибровочной лаборатории. Неопределенность измерений: научные, нормативные, прикладные и методические аспекты: Тез. докл. XIV Междунар. науч. — техн. семинара (Созополь, 8 сентября 2017). Созополь, Болгария. 2017. С. 77–78.
8. Горский Ю., Горская Я. Внедрение неопределенности измерений в Чешской Республике. *Український метрологічний журнал*. 2007. № 2. С. 3–7.
9. Хорский Ю. Оценивание неопределенности при аккредитации калибровочных и испытательных лабораторий. *Системи обробки інформації*. 2008. Вип. 4 (71). С. 15–18.
10. Константинова В.Р. Некоторые вопросы по оценке неопределенности в лабораторной практике. *Там же*. 2011. Вип. 1 (91). С. 12–15.
11. EA-4/02 M:2013. Evaluation of the uncertainty of measurement in calibration.
12. M3003:2012. The Expression of Uncertainty and Confidence in Measurement. Edition 3.
13. Захаров И.П., Климова Е.А. Применение метода эксцессов для получения достоверной оценки расширенной неопределенности. *Системи обробки інформації*. 2014. Вип. 3 (119). С. 24–28.
14. Захаров И.П., Климова Е.А. Расчет значений коэффициента Стьюдента для дробного числа степеней свободы. *Там же*. 2010. Вип. 4 (85). С. 43–47.
15. Mutual recognition of national measurement standards and of calibration and measurement

certificates issued by national metrology institutes. Paris, 14 October 1999.

16. Захаров И.П., Кукуш В.Д. Теория неопределенности в измерениях: учеб. пособие. Харьков: Консум, 2002. 256 с.

## References

1. DSTU ISO/IEC 17025:2006. *Zahalni vymohy do kompetentnosti vyprobuvalnykh ta kalibruvalnykh laboratorii* (ISO/IEC 17025:2005, IDT) [Ukrainian State Standard ISO/IEC 17025:2006. General requirements for the competence of testing and calibration laboratories]. Kyiv, Derzhspozhyvstandart, 2007. 28 p. (in Ukrainian).
2. ILAC-P 14:01/2013. ILAC Policy for Uncertainty in Calibration. NEQ, 2013. 14 p.
3. DKD-3:2010. Angabe der Messunsicherheit bei Kalibrierungen. PTB, 2010. 86 p.
4. Neyezhnikov P.I. Kalibruvalni ta vymiriuvalni mozhlyvosti natsionalnykh metrolohichnykh instytutiv: vyznachennia ta protsedury JCRB i SOOMET z provedennia ekspertyzy [Calibration and measurement capabilities of National metrological institutes: determination and review procedures of JCRB and COOMET]. *Ukrainskyi metrolohichnyi zhurnal*, 2010, no. 2, pp. 48–53.
5. Available at: <http://naau.org.ua/rejestr-akreditovanix-oov/>
6. EA-4/02:1999. Expression of the uncertainty of measurement in calibration. European cooperation for Accreditation, 1999. 79 p.
7. Novoselov O. A. Nailuchshaya izmeritel'naya vozmozhnost' akkreditovanoi kalibrovochnoi laboratorii [The best measurement capability of an accredited calibration laboratory]. *Tezisy dokladov XIV Mezhdunarodnogo nauchno-tekhnicheskogo seminaru "Neopredelennost' izmerenii: nauchnye, normativnye, prikladnye i metodicheskie aspekty"* [Theses of reports XIV International Scientific and Technical Seminar Measurement Uncertainty: Scientific, Normative, Applied and Methodical Aspects]. Sozopol', 2017, pp. 77–78.
8. Gorskii Yu., Gorskaya Ya. Vnedrenie neopredelennosti izmerenii v Cheshskoi Respublike [Application of measurement uncertainty into Czech Republic]. *Ukrainskyi metrolohichnyi zhurnal*, 2007, no. 2, pp. 3–7.
9. Khorskii Yu. Otsenivanie neopredelennosti pri akkreditatsii kalibrovochnykh i ispytatel'nykh laboratorii [The uncertainties evaluation when accreditations the calibration and testing laboratories]. *Systemy obrobky informatsiyi*, 2008, no. 4 (71), pp. 15–18.
10. Konstantinova V. R. Nekotorye voprosy po otsenke neopredelennosti v laboratornoi praktike [Some practical issues on evaluation of uncertainty in laboratory practice]. *Systemy obrobky informatsiyi*, 2011, no. 1 (91), pp. 12–15.
11. EA-4/02 M:2013. Evaluation of the uncertainty of measurement in calibration. European cooperation for Accreditation, 2013. 75 p.
12. M3003:2012. The Expression of Uncertainty and Confidence in Measurement. Edition 3. United Kingdom Accreditation Service, 2012. 82 p.
13. Zakharov I. P., Klimova E. A. Primenenie metoda ekstsessov dlya polucheniya dostovernoi otsenki rasshirennoi neopredelennosti [Application of kurtosis method to obtain reliable estimate of coverage factor]. *Systemy obrobky informatsiyi*, 2014, no. 3 (119), pp. 24–28.
14. Zakharov I. P., Klimova E. A. Raschet znachenii koefitsienta St'yudenta dlya drobnogo chisla stepeni svobody [Calculation of values of t-factor for fractional degrees of freedom]. *Systemy obrobky informatsiyi*, 2010, no. 4 (85), pp. 43–47.
15. Mutual recognition of national measurement standards and of calibration and measurement certificates issued by national metrology institutes. Paris, BIPM, 1999. 48 p.
16. Zakharov I. P., Kukush V. D. Teoriya neopredelennosti v izmereniyakh [The theory of uncertainty in measurement]. Khar'kov, Konsum Publ., 2002. 256 p.
17. DSTU GOST ISO 5725–3:2005. *Tochnist' (pravyl'nist' ta pretseziynist') metodiv ta rezul'tativ vymiryuvan'.* Chastyna 3. *Promizhni pokaznyky pretsyziynosti standartnoho metodu vymiryuvannya* [Ukrainian State Standard ISO 5725–3:2005 Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results. Part 3: Intermediate measures of the precision of a standard measurement method]. Kyiv, Derzhspozhyvstandart, 2006. 38 p. (in Ukrainian).