

УДК 519.226

ПРАКТИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ ФОРМИРОВАНИЯ ОБЛАСТИ АККРЕДИТАЦИИ КАЛИБРОВОЧНОЙ ЛАБОРАТОРИИ

© А. А. Данилов, Е. Ю. Пименова, Ю. Г. Тюрина¹*Статья поступила 24 мая 2017 г.*

Рассмотрены вопросы оценивания минимально достигаемых значений расширенной неопределенности измерений для типовых способов калибровки мер и измерительных приборов. Приведены рекомендации для калибровочных лабораторий по предоставлению ими оценок минимально достигаемых значений расширенной неопределенности измерений при калибровке для описания своих калибровочных и измерительных возможностей. Полученные результаты могут быть использованы специалистами калибровочных лабораторий.

Ключевые слова: калибровка; мера; неопределенность измерений; прибор; эталон.

Аудит Росаккредитации, проведенный международными экспертами АПЛАК [1, 2], выявил некоторые несоответствия при аккредитации калибровочных лабораторий в РФ. Одно из несоответствий, видимо, касается формирования области аккредитации калибровочных лабораторий, в которой вместо сложившейся практики указания показателей точности калибруемых средств измерений должна быть указана минимально достигаемая калибровочной лабораторией расширенная неопределенность измерений при калибровке. Другими словами, в этой графе области аккредитации должны быть указаны так называемые калибровочные и измерительные возможности (Calibration and Measurement Capabilities, CMC).

Цель настоящей статьи — дать рекомендации калибровочным лабораториям по оценке минимально достигаемой расширенной неопределенности измерений при калибровке средств измерений некоторыми типовыми способами. Полученное значение следует вносить в графу «Неопределенность» области аккредитации калибровочных лабораторий.

Для выработки указанных рекомендаций воспользуемся результатами работы [3].

Калибровка измерительного прибора с помощью эталонной меры. При реализации первого типового способа с помощью калибруемого прибора проводят прямые измерения величины, воспроизводимой эталонной мерой (рис. 1).

Значение систематической погрешности Δ калибруемого измерительного прибора в точке его диапазона измерений, в которой проводится калибровка, определяется по формуле

$$\Delta = (X_C + \Delta_C) - (X_S + \Delta_S),$$

где X_C — показания калибруемого прибора; Δ_C — поправка к показаниям калибруемого прибора; X_S — значение величины, воспроизводимой эталонной мерой;

Δ_S — поправка к значению величины, воспроизводимой эталонной мерой, связанная как с отклонениями условий эксплуатации, в которых проводится калибровка калибруемого прибора, от условий эксплуатации, в которых проводилась калибровка эталонной меры, так и с дрейфом значения, воспроизводимого эталонной мерой, за время, прошедшее с момента ее калибровки, и др.

Учитывая, что при калибровке измерительного прибора проводятся многократные прямые измерения величины, воспроизводимой эталонной мерой, суммарная стандартная неопределенность измерений при калибровке, может быть вычислена по формуле [3]:

$$u_C(y) = \sqrt{u_A^2(\bar{x}_C) + u_B^2(\Delta_C) + u_B^2(x_S) + u_B^2(\Delta_S)},$$

где $u_A(\bar{x}_C)$ — стандартная неопределенность, связанная с наблюдаемой изменчивостью показаний калибруемого прибора, оцениваемая по типу А при выполнении многократных измерений; $u_B(\Delta_C)$ — стандартная неопределенность поправки к показаниям измерительного прибора, оцениваемая по типу В; $u_B(x_S)$ — стандартная неопределенность эталонной меры, оцениваемая по типу В; $u_B(\Delta_S)$ — стандартная неопределенность поправки эталонной меры, оцениваемая по типу В.

При имеющихся в распоряжении калибровочной лаборатории эталонах минимальное значение суммарной стандартной неопределенности измерений при калибровке может быть получено в том случае, когда калибруемый измерительный прибор идеален, т.е. обладает $u_A(\bar{x}_C) = 0$ и $u_B(\Delta_S) = 0$. Именно этот

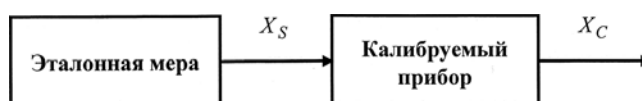


Рис. 1. Структурная схема калибровки СИ с помощью эталонной меры

¹ Пензенский ЦСМ, г. Пенза, Россия; e-mail: aa-dan@mail.ru



Рис. 2. Структурная схема калибровки СИ сличением с эталонным СИ

подход, заключающийся в том, что в выражении для суммарной стандартной неопределенности измерений при калибровке все слагаемые, связанные с неопределенностью калибруемого средства измерений, принимаются равными нулю, будет использован ниже при анализе не только этого, но и других типовых способов калибровки.

При принятом предположении минимальное значение суммарной стандартной неопределенности измерений при калибровке может быть вычислено по формуле:

$$u_{C \min}(y) = \sqrt{u_B^2(x_S) + u_B^2(\Delta_S)},$$

т.е. определяется исключительно неопределенностью по типу В используемого эталона, указанной в сертификате калибровки эталонной меры, а также неопределенностью поправки, оцениваемой также по типу В. При этом минимально достигаемая расширенная неопределенность измерений при калибровке может быть оценена по формуле:

$$U_{\min} = k(v_{\text{эфф}})u_{C \min}(y),$$

где $k(v_{\text{эфф}})$ — коэффициент охвата; $v_{\text{эфф}}$ — эффективное число степеней свободы.

Минимально достигаемая расширенная неопределенность измерений при калибровке средств измерений обычно указывается при вероятности, равной 0,95, а потому $v_{\text{эфф}} = \infty$; $k(\infty) = 2$.

Следует отметить, что большинство средств измерений, применяемых в РФ в качестве эталонов, преимущественно поверены, а не калиброваны. Поэтому в качестве альтернативного варианта следует использовать значение стандартной неопределенности эталонной меры, оцениваемой по типу В, исходя из пределов допускаемой погрешности эталонной меры $\pm \Delta_d$ по формуле:

$$u_B(x_S) = \Delta_d / \sqrt{3}.$$

В этом случае минимально достигаемая расширенная неопределенность измерений при калибровке может быть оценена по формуле

$$U_{\min} = 2\Delta_d / \sqrt{3}.$$

Разумеется, такая оценка стандартной неопределенности эталонной меры (а соответственно, и минимально достигаемой расширенной неопределен-

ности измерений при калибровке) является оценкой сверху и получена в предположении, что погрешность эталонной меры распределена с равномерной функцией плотности распределения вероятности, а сама оценка включает в себя и стандартную неопределенность поправки. Но именно ее преимущественно приходится использовать на практике по указанной выше причине.

Калибровка измерительного прибора сличением с эталонным прибором. При реализации второго типового способа проводят сличение калибруемого и эталонного приборов, с помощью которых осуществляют прямые измерения величины, воспроизводимой устройством сравнения (рис. 2). При этом под устройством сравнения понимают техническое средство или определенную среду, посредством которых можно сравнивать показания однородных приборов [4]. В качестве таких устройств можно использовать, например, жидкость для сравнения показаний ареометров; температурное поле, создаваемое термостатом, для сравнения показаний термометров; давление среды, создаваемое компрессором, для сравнения показаний манометров и др. [4].

Значение систематической погрешности Δ калибруемого измерительного прибора в точке его диапазона измерений, в которой проводится калибровка, определяется формулой:

$$\Delta = (X_C + \Delta_C) - (X_S + \Delta_S) + \Delta_{yC},$$

где Δ_{yC} — погрешность устройства сравнения, характеризующая неэквивалентность значений воспроизводимой величины на входах калибруемого и эталонного приборов.

Учитывая, что при калибровке измерительного прибора проводятся многократные прямые измерения величины, воспроизводимой эталонной мерой, суммарная стандартная неопределенность измерений при калибровке может быть вычислена по формуле [3]:

$$u_C(y) = \sqrt{u_A^2(\bar{x}_C) + u_B^2(\Delta_C) + u_A^2(\bar{x}_S) + u_B^2(\Delta_S) + u_B^2(\Delta_{yC})},$$

где $u_A(\bar{x}_S)$ — стандартная неопределенность, связанная с наблюдаемой изменчивостью показаний эталонного прибора, оцениваемая по типу А при выполнении многократных измерений; $u_B(\Delta_{yC})$ — стандартная неопределенность устройства сравнения, связанная с неэквивалентностью значений воспроизводимой величины на входах калибруемого и эталонного приборов.

По аналогии с первым способом при имеющихся в распоряжении калибровочной лаборатории эталонах минимальное значение суммарной стандартной неопределенности измерений при калибровке может быть получено в том случае, когда калибруемый измерительный прибор идеален, т.е. $u_A(\bar{x}_C) = 0$ и $u_B(\Delta_C) = 0$. Предположим также, что количество измерений выбрано таковым, что стандартной неопределенностью

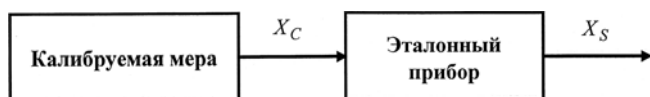


Рис. 3. Структурная схема калибровки меры с помощью эталонного СИ

$u_A^2(\bar{x}_S)$, связанной с наблюдаемой изменчивостью показаний эталонного прибора, можно пренебречь. Очевидно, что при оценке минимального значения суммарной стандартной неопределенности измерений при калибровке можно пренебречь и последним слагаемым $u_B^2(\Delta_S)$.

В итоге минимальное значение суммарной стандартной неопределенности измерений при калибровке может быть вычислено по той же формуле при известных значениях стандартных неопределенностей эталонного прибора и его поправки:

$$u_{C \min}(y) = \sqrt{u_B^2(x_S) + u_B^2(\Delta_S)}.$$

Если они неизвестны, значение стандартной неопределенности эталонной меры, оцениваемой по типу В, и минимально достигаемая расширенная неопределенность измерений при калибровке могут быть оценены по тем же формулам, что и для первого способа, а именно:

$$u_B(x_S) = \Delta_d / \sqrt{3} \text{ и } U_{\min} = 2\Delta_d / \sqrt{3}.$$

Калибровка меры с помощью эталонного прибора. При реализации третьего типового способа с помощью эталонного прибора проводят многократные прямые измерения величины, воспроизводимой калибруемой мерой (рис. 3).

Значение величины, воспроизводимой калибруемой мерой, определяется формулой:

$$X_C = X_S + \Delta_S.$$

При этом суммарная стандартная неопределенность измерений при калибровке может быть вычислена по формуле [3]:

$$u_C(y) = \sqrt{u_A^2(\bar{x}_S) + u_B^2(x_S) + u_B^2(\Delta_S)}.$$

Используя для оценки минимального значения суммарной стандартной неопределенности измерений при калибровке аналогичный принятому выше подход, стандартной неопределенностью $u_A(\bar{x}_S)$, связанной с наблюдаемой изменчивостью показаний эталонного прибора, следует пренебречь.

В итоге получим те же формулы, что и для двух рассмотренных способов:

$$u_{C \min}(y) = \sqrt{u_B^2(x_S) + u_B^2(\Delta_S)} \text{ и } U_{\min} = k(v_{\text{эфф}})u_{C \min}(y).$$

Если же для калибровки меры используется не калиброванный, а поверенный эталонный прибор, т.е. когда $u_B(x_S)$ и $u_B(\Delta_S)$ неизвестны, значение стандартной неопределенности эталонной меры, оцениваемой

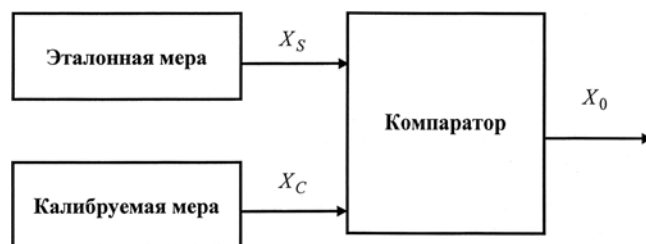


Рис. 4. Структурная схема калибровки меры сличением с эталонной мерой

по типу В, и минимально достигаемая расширенная неопределенность измерений при калибровке могут быть оценены по формулам для уже рассмотренных способов:

$$u_B(x_S) = \Delta_d / \sqrt{3} \text{ и } U_{\min} = 2\Delta_d / \sqrt{3}.$$

Калибровка меры сличением с эталонной мерой с помощью компаратора. И наконец, при реализации четвертого типового способа калибровки проводят сличение калибруемой меры с эталонной с помощью компаратора (рис. 4).

Значение величины, воспроизводимой калибруемой мерой, определяется формулой:

$$X_C = (X_S + \Delta_S) + (X_0 + \Delta_0),$$

где X_0 — показания компаратора, Δ_C — поправка к показаниям компаратора.

При этом суммарная стандартная неопределенность измерений при калибровке, может быть вычислена по формуле [3]:

$$u_C(y) = \sqrt{u_B^2(X_S) + u_B^2(\Delta_S) + (u_A^2(\bar{x}_0) + u_B^2(x_0) + u_B^2(\Delta_0))},$$

где $u_A(\bar{x}_0)$ — стандартная неопределенность, связанная с наблюдаемой изменчивостью показаний компаратора, оцениваемая по типу А при выполнении многократных измерений; $u_B(x_0)$ — стандартная неопределенность компаратора, оцениваемая по типу В; $u_B(\Delta_0)$ — стандартная неопределенность поправки к показаниям компаратора, оцениваемая по типу В.

По аналогии со вторым и третьим способами калибровки стандартной неопределенностью $u_A(\bar{x}_0)$, связанной с наблюдаемой изменчивостью показаний компаратора, можно пренебречь.

В итоге минимальное значение суммарной стандартной неопределенности измерений при калибровке может быть вычислено по формуле:

$$u_{C \min}(y) = \sqrt{u_B^2(x_S) + u_B^2(\Delta_S) + u_B^2(x_0) + u_B^2(\Delta_0)}.$$

Таким образом, минимально достигаемая расширенная неопределенность измерений при калибровке может быть оценена по формуле:

$$U_{\min} = k(v_{\text{эфф}})u_{C \min}(y).$$

Рекомендации по установлению минимально достигаемой расширенной неопределенности измерений при калибровке

Способ калибровки	Структурная схема	Расширенная неопределенность
Калибровка измерительного прибора с помощью эталонной меры	Рис. 1	$2\Delta_d / \sqrt{3}$
Калибровка измерительного прибора сличением с эталонным прибором	Рис. 2	$2\Delta_d / \sqrt{3}$
Калибровка меры с помощью эталонного прибора	Рис. 3	$2\Delta_d / \sqrt{3}$
Калибровка меры одновременным сличением с эталонной мерой с помощью компаратора	Рис. 4	$2 \frac{\sqrt{\Delta_d^2 + \Delta_0^2}}{\sqrt{3}}$
Калибровка меры разновременным сличением с эталонной мерой с помощью компаратора	Рис. 4	$2 \frac{\sqrt{\Delta_d^2 + \Delta_0^2}}{\sqrt{3}}$

Если же для калибровки меры используют не калиброванные, а поверенные эталонный прибор и компаратор, значения стандартных неопределенностей эталонной меры и компаратора, оцениваемые по типу В, могут быть получены исходя из пределов допускаемой погрешности эталонного прибора $\pm\Delta_d$ и компаратора $\pm\Delta_0$. При этом минимально достигаемая расширенная неопределенность измерений при калибровке может быть оценена по формуле:

$$U_{\min} = 2 \frac{\sqrt{\Delta_d^2 + \Delta_0^2}}{\sqrt{3}}.$$

Если сличение калибруемой и эталонной мер осуществляется в разное время, т.е. в два этапа, то в фор-

муле для минимального значения суммарной стандартной неопределенности измерений при калибровке стандартная неопределенность компаратора должна быть увеличена вдвое. В итоге минимально достигаемая расширенная неопределенность измерений при калибровке может быть оценена по формуле:

$$U_{\min} = 2 \frac{\sqrt{\Delta_d^2 + 2\Delta_0^2}}{\sqrt{3}}.$$

Приведенные рассуждения обобщены в таблице в виде рекомендаций по установлению минимально достигаемой расширенной неопределенности измерений при калибровке.

Для характеристики своих калибровочных и измерительных возможностей калибровочным лабораториям при заполнении графы «Неопределенность» области аккредитации значение минимально достигаемой данной лабораторией расширенной неопределенности измерений при калибровке следует оценивать по формулам, приведенным в таблице.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аудит Росаккредитации проведен успешно / Стандарты и качество. 2017. № 1. С. 52 – 53.
2. Институт экспертов по аккредитации укрепляется: интервью с заместителем руководителя Росаккредитации А. Г. Литваком / Контроль качества продукции. 2017. № 3. С. 40 – 44.
3. 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.
4. РМГ 29–2013. ГСИ. Метрология. Основные термины и определения.

UDC 519.226

PRACTICAL ISSUES OF FORMING THE ACCREDITATION AREA OF A CALIBRATION LABORATORY

© A. A. Danilov, E. Yu. Pimenova, and Yu. G. Tyurina

Submitted May 24, 2017.

The problems of estimating the minimum allowable values of the extended uncertainty of measurements are considered for typical methods of calibrating passive instruments (measures) and measuring devices. Recommendations regarding the necessity of indicating the minimum allowable values of the extended uncertainty of measurements upon calibration are specified for calibration laboratories which present data on their calibration and measurement capabilities. The results obtained can be used by the personnel of calibration laboratories.

Keywords: calibration; passive instrument (measure); uncertainty of measurements; instrument; standard.

REFERENCES

1. Audit of Federal Accreditation Service is booked successfully / Stand. Kach. 2017. N 1. P. 52 – 53 [in Russian].
2. The institute of experts in accreditation becomes stronger: interview with the deputy of the principal of Federal Accreditation Service A. G. Litvak / Kontr. Kach. Prod. 2017. N 3. P. 40 – 44 [in Russian].
3. Zakharov I. P., Vodotyka S. V., Shevchenko E. N. Methods, models and budgets for estimation of measurement uncertainty during calibration / Measur. Tech. 2011. Vol. 54. N 4. P. 387 – 399.
4. RMG 29–2013. GSI. Metrology. Basic terms and definitions [in Russian].