

А.А. Данилов¹, Д.В. Спутнова², Ю.Г. Тюрина¹

¹ ФБУ «Пензенский ЦСМ», Пенза

² АНО «Пензенский центр испытаний и сертификации», Пенза

ОБ УСТАНОВЛЕНИИ ИНТЕРВАЛОВ МЕЖДУ КАЛИБРОВКАМИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

Предполагая, что составляющая от нестабильности средства измерений на непродолжительных интервалах времени является линейной функцией времени, а калиброванное средство измерений можно продолжать использовать до тех пор, пока с течением времени (из-за нестабильности средства измерений) расширенная неопределенность измерений не превысит некоторой заранее принятой максимально допустимой неопределенности измерений, установлены соотношения между указанными неопределенностями и интервалом между калибровками средств измерений.

Ключевые слова: интервал между калибровками, калибровка, неопределенность измерений, средства измерений.

Введение

Постановка проблемы. Проведение калибровки средств измерений позволяет установить соотношение между значениями величин, которые обеспечивают эталоны, и соответствующими показаниями средств измерений [1]. Учитывая, что средства измерений обладают некоторой нестабильностью, несомненно актуальным является вопрос: как долго можно применять установленное при калибровке соотношение между показаниями средств измерений и присвоенными им соответствующими значениями?

Анализ последних достижений и публикаций. Руководство ILAC-G24/OIML D 10: 2007 предлагает 5 методов определения интервалов между калибровками средств измерений [2]. Однако эти методы лишь перечислены в Руководстве, но не раскрывают многих вопросов их практического применения.

Формулирование цели статьи – сформулировать практические рекомендации по установлению интервалов между калибровками средств измерений.

Изложение основного материала

При проведении калибровки средства измерений в сертификате калибровки вместе с соотношением между значениями величин, которые обеспечивают эталоны, и соответствующими показаниями средств измерений указывается также расширенная неопределенность U , которую обычно получают умножением стандартной неопределенности u на коэффициент охвата k (соответствующий принятой вероятности P) [3], т.е.

$$U = ku. \quad (1)$$

С течением времени t составляющая неопределенности измерений u_{drift} , обусловленная нестабильностью средства измерений, будет возрастать.

Тогда стандартная неопределенность измерений u^* , учитывающая составляющую неопределенности от нестабильности средства измерений, будет равна:

$$u^* = \sqrt{u^2 + u_{\text{drift}}^2(t)}. \quad (2)$$

Предположим, что в некоторый момент времени

$$u_{\text{drift}}(t) = ua(t), \quad (3)$$

где $a(t)$ – безразмерный коэффициент, являющийся функцией времени.

После подстановки (3) в (2) получим:

$$u^* = \sqrt{u^2 + u^2 a^2(t)}$$

или

$$u^* = u\sqrt{1 + a^2(t)}. \quad (4)$$

При этом расширенная неопределенность измерений U^* , учитывающая составляющую неопределенности от нестабильности средства измерений, будет равна:

$$U^* = k^* u^*, \quad (5)$$

где k^* – коэффициент охвата (значение которого может быть и отличным от k).

После подстановки (4) в (5) получим:

$$U^* = k^* u\sqrt{1 + a^2(t)}$$

или с учетом (1):

$$U^* = \frac{k^*}{k} U\sqrt{1 + a^2(t)}. \quad (6)$$

Очевидно, что калиброванное средство измерений можно продолжать использовать до тех пор, пока с течением времени расширенная неопределенность измерений не превысит некоторой заранее

принятой максимально допустимой неопределенности MPU.

В частности, для определения MPU в случае подтверждения соответствия средства измерений могут быть использованы рекомендации OIML G19 [4]:

$$MPU = f \cdot MPE,$$

где f – коэффициент, равный 0,2 или 0,33; MPE – максимальная допускаемая погрешность.

В другом частном случае, когда средство измерений используется в качестве эталона при калибровке других средств измерений, а максимально допустимая неопределенность MPU его калибровки была использована при оценке калибровочных возможностей (СМС – Calibration and Measurement Capabilities) калибровочной лаборатории.

Предположим, что значение MPU каким-то способом заранее установлено. Тогда правая часть (6) не должна превышать MPU, т.е.

$$\frac{k^*}{k} U \sqrt{1+a^2} (t) \leq MPU. \quad (7)$$

Можно высказывать различные предположения относительно вида функциональной зависимости $a(t)$, но для простоты предположим, что на относительно непродолжительных интервалах времени $a(t)$ линейно зависит от времени

$$a(t) = at, \quad (8)$$

где a – постоянный коэффициент.

Например, при $a=0,2$ (в долях от стандартной неопределенности измерений u в год) при $t=1$ год составляющая неопределенности измерений u_{drift} , обусловленная нестабильностью средства измерений в соответствии с (3) и (8), будет равна:

$$u_{drift} = 0,2u.$$

После подстановки (8) в (7) получим

$$\frac{k^*}{k} U \sqrt{1+a^2 t^2} \leq MPU$$

или

$$t \leq \frac{1}{a} \sqrt{\left(\frac{MPU}{U} \cdot \frac{k}{k^*}\right)^2 - 1}.$$

В наиболее распространенном случае при $k^* = k$, окончательно получим:

$$t \leq \frac{1}{a} \sqrt{\left(\frac{MPU}{U}\right)^2 - 1}.$$

На рис. 1 в качестве иллюстрации приведены зависимости t от различных значений коэффициента a для некоторых соотношений MPU/U, позволяющие устанавливать интервалы между калибровками средств измерений.

Анализ этих графиков показывает, что интервал между калибровками средства измерений не

должен превышать 1 года при $a=0,5$ и MPU/U=1,2, при $a=1$ и MPU/U=1,5, а также при $a=1,5$ и MPU/U=2.

Таким образом, для определения интервала между калибровками в соответствии с (9) калибровочной лаборатории достаточно установить отношение MPU/U и определить значение коэффициента a . При этом некоторые затруднения калибровочная лаборатория может испытывать при определении коэффициента a .

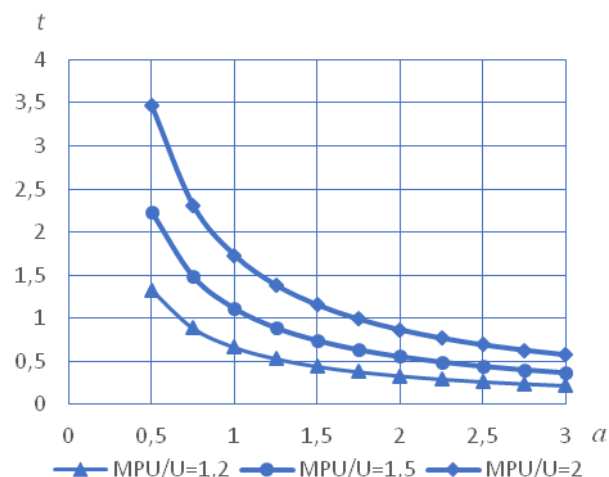


Рис. 1. Зависимость t от коэффициента a при различных соотношениях MPU/U

Значения коэффициента a могут быть определены на основании:

- рекомендаций изготовителя средств измерений;
- протоколов калибровки средств измерений;
- протоколов испытаний средств измерений на нестабильность и др.

Пример 1. В эксплуатационной документации мультиметра Fluke 8508A приведены значения расширенной неопределенности через 1, 90 и 365 суток.

В табл. 1 приведены выдержки из спецификации мультиметра Fluke 8508A для показаний мультиметра V в диапазоне измерений напряжения постоянного тока $V_k = 20$ В.

Таблица 1
Выдержка из спецификации Fluke 8508A

T, сут	1	90	365
U, ppm	$0,5V + 0,2V_k$	$1,4V + 0,2V_k$	$2,7V + 0,2V_k$

Анализ табл. 1 показывает, что на интервале времени от 1 до 90 суток расширенная неопределенность увеличилась с $0,5V + 0,2V_k$ до $1,4V + 0,2V_k$.

Для определения коэффициента a из формул (6) и (8) получим:

$$U^* = \frac{k^*}{k} U \sqrt{1 + a^2 t^2}.$$

При условии $k^* = k$:

$$U^* = U \sqrt{1 + a^2 t^2}$$

после несложных преобразований получим:

$$a \leq \frac{1}{t} \sqrt{\left(\frac{U^*}{U}\right)^2 - 1}.$$

В результате подстановки $t = 90 - 1$, $U^* = 1,4V + 0,2V_k$ и $U^* = 0,5V + 0,2V_k$ получим

$$a \leq \frac{1}{90-1} \sqrt{\left(\frac{1,4V + 0,2V_k}{0,5V + 0,2V_k}\right)^2 - 1}.$$

Например, при $V = 10$ В:

$$a \leq \frac{1}{90-1} \sqrt{\left(\frac{1,4 \cdot 10 + 0,2 \cdot 20}{0,5 \cdot 10 + 0,2 \cdot 20}\right)^2 - 1}.$$

После вычислений получим:

$$a = 0,02 \frac{1}{\text{сут}} \text{ или } 7,1 \frac{1}{\text{год}}.$$

Пример 2. Результаты калибровки калибратора давления в точке 1 МПа за несколько лет приведены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты калибровки калибратора давления

Год	2014	2015	2016	2017
P, МПа	0,99977	1,00013	1,00024	0,99982

Поскольку изменение значений, приведенных в табл. 2, имеет случайный характер, можно определить лишь максимальное значение нестабильности Θ_{drift} за интервал времени между калибровками:

$$\Theta_{\text{drift}} = \max \begin{cases} |1,00013 - 0,99977| \\ |1,00024 - 1,00013| \\ |0,99982 - 1,00024| \end{cases}$$

или

$$\Theta_{\text{drift}} = 0,00042 \text{ МПа}.$$

В соответствии с пунктом 6.2.2 СООМЕТ R/GM/32:2017 [5] составляющая неопределенности измерений u_{drift} , обусловленная нестабильностью средства измерений, будет равна

$$u_{\text{drift}} = \frac{\Theta_{\text{drift}}}{\sqrt{3}} = 0,00024 \text{ МПа}.$$

Тогда при известном значении u из (3) и (8) получим:

$$a = \frac{u}{u_{\text{drift}}} \frac{1}{\text{год}}.$$

Например, при $u = 0,0001$ МПа:

$$a = \frac{0,0001}{0,00024} = 0,41 \frac{1}{\text{год}}.$$

Пример 3. Результаты калибровки катушки сопротивления номинального значения 1 Ом за несколько лет приведены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты калибровки катушки сопротивления

Год	2014	2015	2016	2017
R, Ом	0,999996	0,999999	0,999982	0,999975

Поскольку изменение значений, приведенных в табл. 3, имеет предположительно систематический характер, в соответствии с формулой В1 СООМЕТ R/GM/32:2017 [5] определим значения скорости дрейфа значения катушки сопротивления в интервалах между калибровками.

На первом (с 2014 по 2015 годы), втором (с 2015 по 2016 годы) и третьем интервалах (с 2016 по 2017 годы) значения скорости дрейфа значения катушки сопротивления соответственно равны:

$$v_1 = 0,999999 - 0,999996 = -0,0000006 \frac{\text{Ом}}{\text{год}},$$

$$v_2 = 0,999982 - 0,999999 = -0,0000008 \frac{\text{Ом}}{\text{год}},$$

$$v_3 = 0,999975 - 0,999982 = -0,0000007 \frac{\text{Ом}}{\text{год}}.$$

Вычислим среднее значение скорости дрейфа значения катушки сопротивления по формуле В2 СООМЕТ R/GM/32:2017 [5]:

$$\bar{v} = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L v_i = -0,0000007 \frac{\text{Ом}}{\text{год}}.$$

Вычислим стандартную неопределенность средней скорости дрейфа значения катушки сопротивления по формуле В3 СООМЕТ R/GM/32:2017 [5]:

$$u(\bar{v}) = \sqrt{\frac{1}{L(L-1)} \sum_{i=1}^L (v_i - \bar{v})^2}$$

или

$$u(\bar{v}) = 0,000000058 \frac{\text{Ом}}{\text{год}}.$$

Поскольку поправку на дрейф значения катушки сопротивления принимают равной $\bar{v}t$, а неопределенность этой поправки принимают равной $u_{\text{drift}} = u(\bar{v})t$ [5], то с учетом формул (3) и (8), приравнявая

$$u(\bar{v})t = atu,$$

получим:

$$a = \frac{u(\bar{v})}{u}.$$

Так, при

$$u = 0,0000002 \text{ Ом}$$

$$a = \frac{0,000000058}{0,0000002} = 0,29 \frac{1}{\text{год}}$$

Приведенные примеры определения значения коэффициента a основаны на использовании сведений о средствах измерений (сведений о собственных эталонах), обычно имеющихся в распоряжении калибровочной лаборатории.

Если подобные сведения все же отсутствуют, то придется проводить исследования эталонов на нестабильность.

Выводы

Даны рекомендации по установлению интервалов между калибровками средств измерений, основанные на предположении, что составляющая от нестабильности средства измерений на непродолжительных интервалах времени является линейной функцией времени, а калиброванное средство измерений можно продолжать использовать до тех пор, пока с течением времени (из-за нестабильности средства измерений) расширенная неопределенность измерений не превысит некоторой заранее принятой максимально допустимой неопределенности измерений.

Список литературы

1. JCGM 200:2012 International vocabulary of metrology – Basic and general concepts and associated terms (VIM) [Electronic resource]. – Available at: https://www.bipm.org/utis/common/documents/jcgm/JCGM_200_2012.
2. ILAC-G24/OIML D 10: 2007 Guidelines for the determination of recalibration intervals of measuring equipment used in testing laboratories [Electronic resource]. – Available at: https://www.oiml.org/en/files/pdf_d/d010-e07.pdf.
3. Захаров И.П. Методы, модели и бюджеты оценивания неопределенности измерений при проведении калибровок / И.П. Захаров, С.В. Водотыка, И.Н. Шевченко // Измерительная техника. – 2011. – № 4. – С. 20-26. <https://doi.org/10.1007/s11018-011-9737-5>.
4. OIML G19:2017 The role of measurement uncertainty in conformity assessment decisions in legal metrology [Electronic resource]. – Available at: https://www.oiml.org/en/files/pdf_g/g019-e17.pdf.
5. COOMET R/GM/32:2017 Калибровка средств измерений. Алгоритмы обработки результатов измерений и оценивания неопределенности [Электронный ресурс]. – Режим доступа к ресурсу: https://www.coomet.net/fileadmin/user_files/DOCUMENTS/COOMET_Documents/Recommendations/COOMET_R_GM_32_2017_ru.pdf.

References

1. JCGM 200:2012, *International vocabulary of metrology – Basic and general concepts and associated terms (VIM)*, available at: https://www.bipm.org/utis/common/documents/jcgm/JCGM_200_2012.
2. ILAC-G24/OIML D 10: 2007, *Guidelines for the determination of recalibration intervals of measuring equipment used in testing laboratories*, available at: https://www.oiml.org/en/files/pdf_d/d010-e07.pdf.
3. Zakharov, I.P., Vodotyka, S.V. and Shevchenko, E.N. (2011), “Metody, modeli i byudzhety ocenivaniya neopredelennosti izmerenij pri provedenii kalibrovok” [Methods, models, and budgets for estimation of measurement uncertainty during calibration], *Measurement Techniques*, Vol. 54, No. 4, pp. 20-26. <https://doi.org/10.1007/s11018-011-9737-5>.
4. OIML G19:2017, *The role of measurement uncertainty in conformity assessment decisions in legal metrology*, available at: https://www.oiml.org/en/files/pdf_g/g019-e17.pdf.
5. COOMET R/GM/32:2017, “*Kalibrovka sredstv izmerenij. Algoritmy obrabotki rezul'tatov izmerenij i ocenivaniya neopredelyonnosti*” [Calibration of measuring instruments. Algorithms for processing measurement results and estimating uncertainty], available at: https://www.coomet.net/fileadmin/user_files/DOCUMENTS/COOMET_Documents/Recommendations/COOMET_R_GM_32_2017_ru.pdf.

Поступила в редколлегию 13.09.2018

Одобрена к печати 6.11.2018

Відомості про авторів:

Данилов Олександр Олександрович

доктор технічних наук професор
директор Федеральної бюджетної установи
“Державний регіональний центр стандартизації,
метрології та випробувань в Пензенській області”,
Пенза, Росія
<https://orcid.org/0000-0002-5152-0669>

Спутнова Дар'я Вадимівна

Менеджер АНО “Пензенський центр випробувань
та сертифікації”,
Пенза, Росія
<https://orcid.org/0000-0001-9166-0722>

Information about the authors:

Aleksandr Danilov

Doctor of Technical Sciences Professor
Director Federal Budget Institution
“The State Regional Center of Standardization,
Metrology and Tests in the Penza Region”,
Penza, Russia
<https://orcid.org/0000-0002-5152-0669>

Darya Sputnova

Manager ANO “Penza Center of Tests and Certification”,
Penza, Russia
<https://orcid.org/0000-0001-9166-0722>

Тюріна Юлія Григорівна

Заступник директора Федеральної бюджетної установи
“Державний регіональний центр стандартизації,
метрології та випробувань в Пензенській області”,
Пенза, Росія
<https://orcid.org/0000-0002-1440-8491>

Yulia Tyurina

Associate Director Federal Budget Institution
“The State Regional Center of Standardization,
Metrology and Tests in the Penza Region”,
Penza, Russia
<https://orcid.org/0000-0002-1440-8491>

ПРО ВСТАНОВЛЕННЯ ІНТЕРВАЛІВ МІЖ КАЛІБРУВАННЯМИ ЗАСОБІВ ВИМІРІВ

О.О. Данилов, Д.В. Спутнова, Ю.Г. Тюріна

Припускаючи, що складова від нестабільності засобу вимірів на нетривалих інтервалах часу є лінійною функцією часу, а калібрований засіб вимірювань можна продовжувати використовувати до тих пір, поки з плином часу (через нестабільність засобу вимірів) розширена невизначеність вимірювань не перевищить деякої заздалегідь прийнятої максимально допустимої невизначеності вимірювань, встановлені співвідношення між зазначеними невизначеностями і інтервалом між калібруваннями засобів вимірювань.

Ключові слова: інтервал між калібруваннями, калібрування, невизначеність вимірювань, засоби вимірювань.

ABOUT ESTABLISHMENT OF INTERVALS BETWEEN CALIBRATIONS OF MEASURING INSTRUMENTS

A. Danilov, D. Sputnova, Yu. Tyurina

Carrying out calibration of measuring instruments allows to establish a ratio between values of sizes which provide standards, and the corresponding indications of measuring instruments. Considering that measuring instruments have some instability, the question is undoubtedly relevant: how it is long possible to apply the ratio established at calibration between indications of measuring instruments and the corresponding values appropriated to them? Management of ILAC-G24/OIML D 10: 2007 offers 5 methods of definition of intervals between calibrations of measuring instruments. However these methods are only listed in the Guide, but do not open many questions of their practical application. Article purpose – to formulate practical recommendations about establishment of intervals between calibrations of measuring instruments. The methodology of carrying out researches consists in the following. It is supposed that the component from instability of a measuring instrument on short intervals of time is linear function of time with proportionality coefficient. Then the calibrated measuring instrument can continue to be used until eventually (because of instability of a measuring instrument) the expanded measurement uncertainty does not exceed some in advance accepted maximum allowed measurement uncertainty. As a result ratios between the specified uncertainty, the coefficient of proportionality mentioned above and an interval between calibrations of measuring instruments are established. Practical examples of determination of coefficient of a proportionality of linear dependence of the making uncertainty caused by instability of a measuring instrument from time are given. The conclusion is drawn on expediency of application of the offered approach for an establishment of intervals between calibrations of measuring instruments.

Keywords: calibration, interval between calibrations, measuring instruments, measurement uncertainty.