

**А. А. Данилов (1),
Д. В. Спутнова (2),
Ю. Г. Тюрина (1)**

1. Федеральное бюджетное учреждение
«Государственный региональный
центр стандартизации, метрологии
и испытаний в Пензенской области»
(ФБУ «Пензенский ЦСМ»),

Россия, г. Пенза

E-mail: aa-dan@mail.ru, gukpcsm@yandex.ru

2. Автономное некоммерческое
предприятие
«Пензенский центр испытаний
и сертификации» (АНО «ПЦИС»),

Россия, г. Пенза

E-mail: bubblej91@mail.ru

УДК 006.91.001

СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИНТЕРВАЛОВ МЕЖДУ КАЛИБРОВКАМИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

A METHOD FOR ESTABLISHMENT OF INTERVALS BETWEEN CALIBRATIONS

Предложен способ определения интервалов между калибровками средств измерений, основанный на учете составляющей неопределенности измерений, вызванной нестабильностью средства измерений в расширенной неопределенности измерений, и сопоставлении последней с некоторой заранее принятой максимально допустимой неопределенностью измерений. Приведены примеры, позволяющие устанавливать интервалы между калибровками средств измерений. Рекомендации, приведенные в статье, могут быть использованы калибровочными лабораториями при установлении интервалов между калибровками средств измерений.

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

A method is proposed for the establishment of intervals between calibrations of measuring instruments, based on the accounting of the measurement uncertainty caused by instability of a measuring instrument, in expanded uncertainty of measurements, and comparison of the latter with the predefined most admissible uncertainty of measurements. The examples are given to show the establishment of intervals between calibrations. The recommendations provided in article can be used by calibration laboratories for the establishment of intervals between calibrations of measuring instruments.

Keywords: calibration, interval between calibrations, uncertainty of measurements, measuring instruments.

Проведение калибровки средств измерений позволяет установить соотношение между значениями величин, которые обеспечивают эталоны, и соответствующими показаниями средств измерений. 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?

Руководство ILAC-G24/OIML D 10: 2007 предлагает 5 методов определения интервалов между калибровками средств измерений [1]. Однако эти методы лишь перечислены в Руководстве, но в нем не раскрыты многие вопросы их практического применения. Некоторые вопросы определения интервалов между калибровками изложены в [2], однако они также не позволяют формализовать процедуру установления интервалов между калибровками средств измерений.

Авторами предложен новый формализованный подход к определению интервалов между калибровками средств измерений. Ниже проводится теоретическое

обоснование предложенного подхода, приводятся примеры его применения.

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):

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

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

Тогда стандартная неопределенность измерений u^* , учитывающая составляющую неопределенности от нестабильности средства измерений $u_{drift}(t)$, будет равна:

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

Предположим, что в некоторый момент времени

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

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 [3]:

$$MPU = f \cdot MPE,$$

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

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

где α – постоянный коэффициент.

Например, при $\alpha = 0,2$ (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

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

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

$$t \leq \frac{1}{\alpha} \sqrt{\left(\frac{MPU}{U}\right)^2 - 1}. \quad (9)$$

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

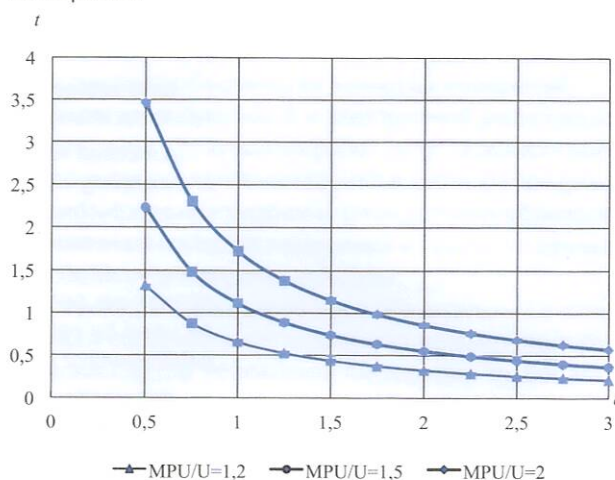


Рис. 1. Зависимость t от коэффициента α при различных соотношениях MPU/U

Анализ этих графиков показывает, что интервал между калибровками средства измерений не должен превышать 1 года при $\alpha=0,5$ и $MPU/U=1,2$, при $\alpha=1$ и $MPU/U=1,5$, а также при $\alpha=1,5$ и $MPU/U=2$.

Таким образом, для определения интервала между калибровками в соответствии с (9) достаточно установить отношение MPU/U и определить значение коэффициента α . При этом некоторые затруднения могут быть вызваны неизвестностью коэффициента α .

Значения коэффициента α 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.

Таблица 1

Выдержка из спецификации
Fluke 8508A

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

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

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 α 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:

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

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

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

Например, при $V=10$ В

$$a = \frac{1}{89} \cdot \sqrt{\left(\frac{1,4 \cdot 10 + 0,2 \cdot 20}{0,5 \cdot 10 + 0,2 \cdot 20}\right)^2 - 1}.$$

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:

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

или

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

В соответствии с пунктом 6.2.2 COOMET R/GM/32:2017 [4] составляющая неопределенности измерений u_{drift} , обусловленная нестабильностью средства измерений, будет равна

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

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

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

Например, при $u=0,0002$ 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	0,9999996	0,9999990	0,9999982	0,9999975

Поскольку изменение значений, приведенных в табл. 3, имеет предположительно систематический характер, в соответствии с формулой B1 COOMET R/GM/32:2017 [4] 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:

$$v_1 = 0,9999990 - 0,9999996 = -0,0000006 \text{ Ом/год}$$

$$v_2 = 0,9999982 - 0,9999990 = -0,0000008 \text{ Ом/год}$$

$$v_3 = 0,9999975 - 0,9999982 = -0,0000007 \text{ Ом/год}$$

Вычислим среднее значение скорости дрейфа значения катушки сопротивления по формуле B2 COOMET R/GM/32:2017 [4]:

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

Вычислим стандартную неопределенность средней скорости дрейфа значения катушки сопротивления по формуле B3 COOMET R/GM/32:2017 [4]:

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

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 $u_{drift} = u(\bar{v})t$ [4], то с учетом формул (3) и (8), приравнявая

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

получим:

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

Так, при $u = 0,0000002$ Ом

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

Приведенные примеры определения значения коэффициента α 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.

Авторы надеются, что предложенный способ будет использован сотрудниками калибровочных лабораторий при установлении ими интервалов между калибровками применяемых средств измерений (эталонов, применяемых в калибровочных лабораториях).

ЛИТЕРАТУРА

1. ILAC-G24/OIML D 10: 2007 Guidelines for the determination of recalibration intervals of measuring equipment used in testing laboratories.
2. Данилов А. А. Методы установления и корректировки межповерочных и межкалибровочных интервалов средств измерений // Главный метролог, 2005, № 6. – С. 29–36.
3. OIML G19:2017 The role of measurement uncertainty in conformity assessment decisions in legal metrology.
4. COOMET R/GM/32:2017 Калибровка средств измерений. Алгоритмы обработки результатов измерений и оценивания неопределённости.

Дата принятия 01.08.2018

НОВОСТИ ИНСТИТУТА МЕТРОЛОГИИ

100-ЛЕТИЕ ДЕКРЕТА СНК РСФСР «О ВВЕДЕНИИ МЕЖДУНАРОДНОЙ ДЕСЯТИЧНОЙ МЕТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ МЕР И ВЕСОВ»

14 сентября 2018 г. исполняется 100 лет со дня подписания важнейшего документа в истории отечественной метрологии – Декрета Совета народных комиссаров РСФСР «О введении международной десятичной метрической системы мер и весов». Незадолго до этого, 24 января 1918 г., был принят другой декрет – «О введении западноевропейского календаря». Принятие этих Декретов стало первыми шагами советского государства для установления метрологических контактов с иностранными

В соответствии с Декретом на введение метрической системы отводилось всего 4 года: с 1919 по 1922. Переход означал огромную работу по составлению точных сравнительных таблиц, законодательное регулирование, производство новых измерительных приборов (килограммов, метров, литровых мер объема и их подразделений), а также кампанию по популяризации реформы. Однако Гражданская война, прекращение производства мер и весов, отсутствие сырья,



странами и поддержания единства измерений, необходимого для международной экономической деятельности.

В соответствии с Декретом о введении метрической системы за основание всех измерений, производимых в стране, принималась Международная метрическая система мер и весов с десятичными подразделениями и производными. Вместо аршина основной единицей длины стал метр, соответствующий международному эталону – линейке из сплава платины и иридия длиной в одну сорокамиллионную часть Парижского меридиана.

На смену русскому фунту пришел килограмм – платиноиридиевый цилиндр диаметром 39 миллиметров, определенный как масса одного литра воды при температуре в 4° С.

проблемы с финансированием, нарушение связей Главной палаты мер и весов с поверочными палатками помешали осуществить планы в срок, и дата завершения метрической реформы была перенесена на 1927 год.

Для разрешения всех вопросов, касающихся введения и применения метрической системы мер и весов, при Народном комиссариате торговли и промышленности была учреждена Межведомственная комиссия во главе с управляющим Главной палатой мер и весов профессором Н. Г. Егоровым.

Основная нагрузка в решении всех проблем, связанных с переходом на новую систему, мер легла на сотрудников Главной палаты мер и весов (ныне Всероссийский

Продолжение на стр. 22