



ВНИИМ

ФГУП "Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д.И.Менделеева"

**Вычисление неопределенности измерений.
РМГ 115-2019 «Калибровка средств измерений. Алгоритмы
обработки результатов измерений и оценивания
неопределенности»**



ВНИИМ
им. Д.И.Менделеева

Joint Committee for Guide in Metrology



The tasks of the JCGM are to maintain and promote the use of the [Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement \(known as the GUM\)](#) and the [International Vocabulary of Metrology \(known as the VIM\)](#).

Члены:

- ISO Международная организация по стандартизации
- IUPAC Международной союз по чистой и прикладной химии
- BIPM Международное бюро мер и весов
- OIML Международная организация законодательной метрологии
- IEC Международная электротехническая комиссия
- ILAC Международная организация по аккредитации лабораторий
- IFCC Международная организация клинической химии
- IUPAP Международной союз по чистой и прикладной физике

JCGM Working Group on the Expression of Uncertainty in Measurement (GUM)



- **JCGM 100:2008** Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurement (ГОСТ 34100.3-2017 Руководство по выражению неопределенности измерения)
- **JCGM 104:2009** Evaluation of measurement data – An introduction to the "Guide to the expression of uncertainty in measurement" and related documents (ГОСТ 34100.1-2017 Введение в руководства по неопределенности измерения)
- **JCGM 101:2008** Evaluation of measurement data – Supplement 1 to the "Guide to the expression of uncertainty in measurement" – Propagation of distributions using a Monte Carlo method (ГОСТ 34100.3.1-2017 Дополнение 1 Трансформирование распределений с использованием метода Монте-Карло)
- **JCGM 102:2011** Evaluation of measurement data – Supplement 2 to the "Guide to the expression of uncertainty in measurement" – Extension to any number of output quantities (ГОСТ 34100.3.2—2017 Дополнение 2 Обобщение на случай произвольного числа выходных величин)
- **JCGM 106:2012** Evaluation of measurement data – The role of measurement uncertainty in conformity assessment
- **JCGM GUM-6:2020** Guide to the expression of uncertainty in measurement — Part 6: Developing and using measurement models

Другие документы в области оценивания точности измерений

- **OIML G 19:2017** The role of measurement uncertainty in conformity assessment decisions in legal metrology
- **ISO 21748-2017** Guidance for the use of repeatability, reproducibility and trueness estimates in measurement uncertainty evaluation;
- **Руководство ЕВРАХИМ / СИТАК CG 4** Количественное описание неопределенности в аналитических измерениях. Третье издание (2012);
- **ISO/TS 20914:2019** Medical laboratories – Practical guidance for the estimation of measurement uncertainty
- **EA-4/02 M:2022** Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration
- **PMГ 115 -2019** Калибровка средств измерений. Алгоритмы обработки результатов измерений и оценивания неопределенности

.....

Неопределенность измерения

неопределенность измерений

en measurement uncertainty, uncertainty of measurement, uncertainty

Неотрицательный параметр, характеризующий рассеяние **значений величины**, приписываемых **измеряемой величине** на основании **измерительной информации**

стандартная неопределенность измерений

стандартная неопределенность

en standard measurement uncertainty, standard uncertainty of measurement, standard uncertainty

Неопределенность измерений, выраженная в виде стандартного отклонения

расширенная неопределенность измерений

расширенная неопределенность

en expanded measurement uncertainty, expanded uncertainty

Произведение суммарной стандартной неопределенности и коэффициента охвата большего, чем число один

интервал охвата

en coverage interval

Интервал, основанный на имеющейся информации, который содержит совокупность **истинных значений измеряемой величины** с заданной вероятностью

«Закон трансформирования неопределенностей»

$$Y = f(X_1, \dots, X_n)$$

$$x_1, u(X_1)$$

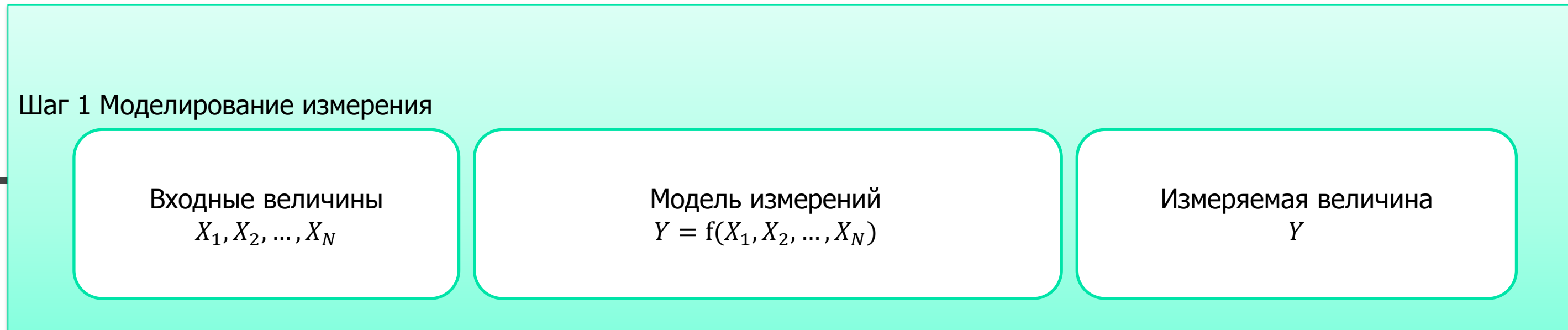
...

$$x_n, u(X_n)$$

$$f(X_1, \dots, X_n) \cong f(x_1, \dots, x_n) + \sum_{i=1}^n \left. \frac{\partial f}{\partial X_i} \right|_{X_i=x_i} (X_i - x_i)$$

$$u^2(Y) = \left(\frac{\partial f}{\partial X_1} \right)^2 u^2(X_1) + \dots + \left(\frac{\partial f}{\partial X_n} \right)^2 u^2(X_n)$$

Этапы вычисления неопределенности

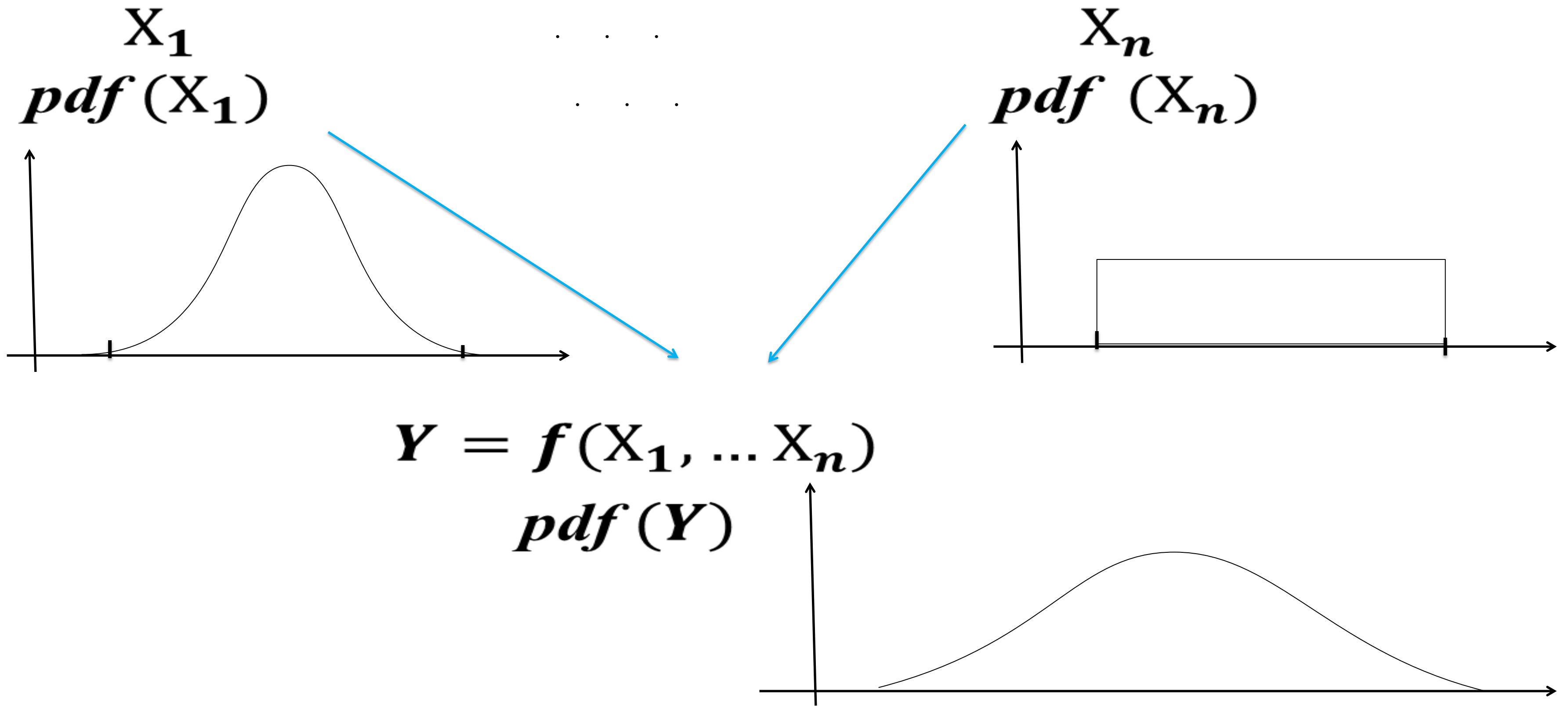


Шаг 2 Оценивание входных величин X_i
Стандартной неопределенности $u(x_i)$ и ковариаций $u(x_i, x_j)$

Шаг 3
Оценивание измеряемой величины y
и стандартной неопределенности
 $u(y)$

Шаг 4
Определение интервала охвата
 $y \pm U_p$ или $[y_{low}, y_{high}]$
для измеряемой величины

«Закон трансформирования распределений» Метод Монте –Карло



РМГ 115. Содержание

1 Область применения

2 Нормативные ссылки

3 Термины, определения, сокращения и символы

4 Основные положения

5 Методика оценивания метрологических характеристик и вычисления неопределенности при калибровке

6 Оценивание составляющих неопределенности измерений при калибровке

7 Калибровка мер

8 Калибровка измерительных приборов

9 Дополнительные задачи, решаемые при калибровке

10 Использование результатов калибровки

Приложение А (рекомендуемое) Неопределенность построения линейной калибровочной функции методом наименьших квадратов

Приложение Б (рекомендуемое) Расчет неопределенности скорости дрейфа метрологических характеристик эталонов

Библиография

Термины, определения

3.1.1 калибровка (средств измерений): Совокупность операций, устанавливающих соотношение между значением величины, полученным с помощью данного средства измерений и соответствующим значением величины, определенным с помощью эталона с целью определения метрологических характеристик этого средства измерений.

Примечание 1 - Примером метрологической характеристики является **диаграмма калибровки**, несущая информацию об **инструментальной неопределенности** измерений. При калибровке могут быть определены и другие метрологические характеристики средств измерений.

Примечание 2 - Результаты **калибровки** позволяют определить **значения измеряемой величины** по показаниям средства измерений, или **поправки** к его показаниям, или оценить **погрешность** этих средств.

метрологическая прослеживаемость

en metrological traceability

Свойство **результата измерения**, в соответствии с которым результат может быть соотнесен с основой для сравнения через документированную непрерывную цепь **калибровок**, каждая из которых вносит вклад в **неопределенность измерений**

VIM 3 калибровка

Операция, в ходе которой при заданных условиях на первом этапе устанавливают соотношение между значениями величин с неопределенностями измерений, которые обеспечивают эталоны, и соответствующими показаниями с присущими им неопределенностями, а на втором этапе на основе этой информации устанавливают соотношение, позволяющее получать результат измерения исходя из показания.

Примечание 1. Калибровка может быть выражена как утверждение, функция калибровки, диаграмма калибровки, калибровочная кривая или таблица калибровки. В некоторых случаях она может включать аддитивную или мультипликативную поправку к показаниям с соответствующей неопределенностью.

4.2 Формы представления калибровочных характеристик

Значение однозначной меры, определенное при калибровке, указывают:

- значением однозначной меры;
- поправкой (аддитивной или мультипликативной) к номинальному значению меры;
- поправкой (аддитивной или мультипликативной) к значению, приписанному мере при ее предыдущей калибровке.

При калибровке многозначных мер указывают совокупность значений или поправок для всех калибруемых точек диапазона.

Формы представления калибровочных характеристик измерительных приборов

- погрешность (систематическая) измерительного прибора;
- калибровочный коэффициент;
- калибровочная функция;
- отклонения от номинальной калибровочной функции СИ

Калибровочную характеристику ИП указывают в форме таблицы, графика или функции с соответствующими неопределенностями

5.7 Представление результатов калибровки

Способы представления результатов калибровки мер:

- значение однозначной меры и соответствующая расширенная неопределенность с указанием коэффициента охвата;
- отклонение значения однозначной меры от номинального значения (или предыдущего значения калибровки) и соответствующая расширенная неопределенность с указанием коэффициента охвата;
- набор значений мер и соответствующие расширенные неопределенности с указанием коэффициента охвата для многозначных мер;
- отклонения действительных значений от номинальных значений (или значений предыдущих калибровок) и соответствующие расширенные неопределенности с указанием коэффициента охвата для многозначных мер.

Способы представления результатов калибровки ИП:

- таблица показаний ИП в каждой калибруемой точке диапазона измерений и соответствующие расширенные неопределенности с указанием коэффициента охвата;
- таблица поправок к показаниям ИП в каждой калибруемой точке диапазона измерений и соответствующие расширенные неопределенности с указанием коэффициента охвата;
- таблица поправок к номинальной характеристике ИП в каждой калибруемой точке диапазона измерений и соответствующие расширенные неопределенности с указанием коэффициента охвата;
- калибровочный коэффициент ИП и его расширенная неопределенность с указанием коэффициента охвата;
- калибровочная функция и расширенная неопределенность в каждой точке диапазона измерений или параметры калибровочной функции и соответствующие им расширенные неопределенности с указанием коэффициентов охвата.

Для ИП и многозначных мер коэффициент охвата k принимают одинаковым для всех калибруемых точек диапазона измерений.

8.3 Вычисление неопределенности при калибровке

Типичные источники неопределенности при калибровке

мер:

- неопределенность МХ эталонного ИП;
- нестабильность МХ эталонного ИП;
- нелинейность калибровочной функции эталонного ИП;
- случайная погрешность эталонного ИП;
- неопределенность значений эталонных мер;
- нестабильность эталонных мер;
- влияние случайных факторов, обусловленных методикой калибровки, например погрешность установки калибруемой и эталонной мер на компараторе;
- вычисление поправок;
- округление результата измерений;
- интерполирование табличных данных

Типичные источники неопределенности при калибровке ИП:

- случайные погрешности калибруемого и эталонного ИП;
- неопределенность МХ эталонного ИП;
- нестабильность МХ эталонного ИП;
- нелинейность калибровочной функции эталонного ИП;
- неопределенность значения эталонной меры;
- нестабильность значения эталонной меры;
- округление результатов измерений;
- интерполирование табличных данных;
- неоднородность распределения значений измеряемой величины в физической среде (погрешность определения поправки на изменение измеряемой величины);
- различие значений влияющих величин при измерениях на калибруемом и эталонном ИП (погрешность определения поправок для этих разностей и влияние факторов, на которые поправки не введены).

5.3 Оценивание входных величин и их стандартных неопределенностей

Оценивание стандартной неопределенности по типу А – когда имеются результаты m независимых измерений одной из входных величин X_i .

В качестве значения величины x_i принимают среднее арифметическое значение, а стандартную неопределенность вычисляют по формуле СКО среднего арифметического

$$x_i = \bar{x}_i = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m x_{ij} \quad u(x_i) = u_A(x_i) = \sqrt{\frac{1}{m(m-1)} \sum_{j=1}^m (x_{ij} - x_i)^2} = \frac{S_i}{\sqrt{m}} \quad S_i = \sqrt{\frac{1}{m-1} \sum_{j=1}^m (x_{ij} - x_i)^2}$$

Если число независимых измерений m входной величины мало (менее 10): $u(x_i) = u_A(x_i) = \sqrt{\frac{m-1}{m-3}} \cdot \frac{S_i}{\sqrt{m}}$

Если число независимых измерений m входной величины мало (меньше 10), а процесс ее измерения хорошо изучен и находится под статистическим контролем (σ_i – априорная оценка дисперсии, полученная в результате обработки большого массива предыдущих измерений)

$$u(x_i) = u_A(x_i) = \frac{\sigma_i}{\sqrt{m}}$$

4.3 Методы измерений, применяемые при калибровке средств измерений

Методы калибровки однозначных и многозначных мер:

- метод прямых измерений (значения калибруемой меры оценивают с помощью эталонного ИП);
- метод сличения с эталонной мерой при помощи компаратора:
 - дифференциальный метод измерений (оценивают разность величин, хранимых калибруемой и эталонной мерами);
 - метод замещения (с помощью ИП, исполняющего роль компаратора, последовательно определяют значения калибруемой и эталонной мер и находят их соотношение);
- метод косвенных измерений (значения меры находят на основе известной зависимости величины, воспроизводимой мерой, от других непосредственно измеренных величин).

Методы калибровки измерительных приборов:

- метод прямых измерений (с помощью калибруемого ИП измеряют значения многозначной эталонной меры или набора однозначных эталонных мер);
- метод сличения с эталонным ИП:
 - метод сличения при помощи эталона сравнения (многозначной меры или набора однозначных мер),
 - метод непосредственного сличения калибруемого ИП с эталонным ИП;
- метод косвенных (совместных или совокупных) измерений.

7.1 Калибровка мер методом прямых измерений

Калибровка однозначной меры заключается в измерении эталонным ИП величины, воспроизводимой калибруемой мерой. В общем случае уравнение измерений записывают в следующем виде:

$$x_{cal} = f_{ref}^{-1} \left(y_{ref} (X_{cal}) + \sum \Delta y_i \right) + \sum \Delta x_i$$

x_{cal} – значение величины, воспроизводимой калибруемой мерой;

f_{ref}^{-1} – обратная функция к калибровочной функции эталонного ИП;

$y_{ref}(X_{cal})$ – показание эталонного ИП, соответствующее величине, воспроизводимой калибруемой мерой;

$\Delta y_i, \Delta x_i$ – поправки, вносимые в показания эталонного ИП и в окончательный результат измерения соответственно.

Конкретный вид уравнения измерений зависит от способа представления калибровочной характеристики эталонного ИП

7.1 Калибровка мер методом прямых измерений

Калибровка калибратора блока температуры при температуре 180 °С

При калибровке измеряют температуру, которая должна установиться в измерительном отверстии калибратора блока температуры, когда встроенный индикатор температуры показывает 180 °С. Температура в калибруемом отверстии определена эталонным встроенным платиновым термометром сопротивления в соответствии со следующим уравнением измерений и вычисляется по формуле

$$t_X = t_S + \Delta t_S + \Delta t_D + \Delta t_{iX} + \Delta t_R + \Delta t_A + \Delta t_H + \Delta t_V$$

t_S – значение температуры, полученное эталоном по измеренному сопротивлению, мостом переменного тока;

Δt_S – поправка, обусловленная мостом переменного тока;

$\Delta t_D, \Delta t_{iX}, \Delta t_R, \Delta t_A, \Delta t_H, \Delta t_V$ – поправки, обусловленные соответственно: дрейфом эталона с момента его последней калибровки; конечным разрешением показаний калибратора блока температуры; осевой температурной неоднородностью в измерительном отверстии; гистерезисом; колебаниями температуры в течение времени измерения.

7.2 Калибровка мер методом сличения с эталонной мерой. Дифференциальный метод

При этом способе калибровки применяют эталонную меру с номинальным значением, равным номинальному значению калибруемой меры, и ИП в качестве компаратора.

Дифференциальный метод измерений заключается в многократном измерении на компараторе разности размеров величины, хранимых калибруемой и эталонной мерами. В общем случае уравнение измерений записывают в следующем виде:

$$x_{cal} = x_{ref} + f_{ref}^{-1} \left(y_{ref} \left(X_{cal} - X_{ref} \right) + \sum \Delta y_i \right) + \sum \Delta x_i$$

x_{cal} – значение калибруемой меры;

x_{ref} – значение эталонной меры, определенное при ее калибровке;

f_{ref}^{-1} – обратная функция к калибровочной функция эталонного ИП;

$y_{ref}(X_{cal} - X_{ref})$ – показания эталонного ИП, соответствующие разности величин; воспроизводимых калибруемой и эталонной мерами;

$\Delta y_i, \Delta x_i$ – поправки, вносимые в показания эталонного СИ и в окончательный результат измерения соответственно

Конкретный вид уравнения измерений зависит от способа представления калибровочной характеристики эталонного ИП

7.2 Калибровка мер методом сличения с эталонной мерой. Дифференциальный метод

Если показания эталонного ИП представлены непосредственно в единицах измеряемой величины, то это соответствует тождественной номинальной калибровочной функции $f_{ref}(x) \equiv x$.

В таком случае калибровочная характеристика эталонного ИП представлена поправками к его показаниям, и уравнение измерений, как правило, записывают в следующем виде:

$$x_{cal} = x_{ref} + \Delta_{ref} (X_{cal} - X_{ref}) + \Delta (X_{cal} - X_{ref}) + \sum \Delta x_i$$

$\Delta_{ref} (X_{cal} - X_{ref})$ – показания ИП, соответствующие разности величин, воспроизводимых калибруемой и эталонной мерами;

$\Delta (X_{cal} - X_{ref})$ – поправка к показаниям ИП.

В качестве $\Delta (X_{cal} - X_{ref})$, как правило, принимают среднее повторных показаний эталонного компаратора; соответствующую стандартную неопределенность вычисляют по типу А.

Неопределенности остальных входных величин, как правило, вычисляют по типу В.

7.2 Калибровка мер методом сличения с эталонной мерой. Дифференциальный метод

Если калибровочная характеристика эталонного компаратора представлена калибровочным коэффициентом K , то уравнение измерений, как правило, может быть представлено в следующем виде

$$x_{cal} = x_{ref} + \frac{\Delta_{ref} (X_{cal} - X_{ref}) + \sum \Delta y_i}{K} + \sum \Delta x_i$$

Аналогично рассматривается случай двухпараметрической линейной калибровочной зависимости и зависимости произвольного заданного вида.

7.2 Калибровка мер методом сличения с эталонной мерой. Дифференциальный метод

Калибровка плоскопараллельной концевой меры номинальной длины 50 мм

Калибровку концевой меры длины 50 мм проводят методом сравнения при помощи компаратора с эталонной концевой мерой той же номинальной длины и того же материала. Разность срединных длин определяют при вертикальном положении обеих концевых мер с использованием двух индикаторов, контактирующих с верхней и нижней измерительными поверхностями. Длину калибруемой концевой меры l_X вычисляют в соответствии со следующим уравнением измерений

$$l_X = l_S + \Delta l_D + \Delta l + \Delta l_C + \Delta l_t + \Delta l_V$$

l_S – длина эталонной концевой меры при температуре $t_0=20$ °С согласно сертификату ее калибровки;

Δl_D – изменение эталонной концевой меры длины с момента ее последней калибровки;

Δl – разность длин калибруемой и эталонной концевых мер;

Δl_C , Δl_t , Δl_V – поправка на несовпадение осей компаратора; температурные поправки; поправка на отклонение срединной длины калибруемой концевой меры с индикаторами, контактирующими с верхней и нижней измерительными поверхностями.

7.3 Калибровка мер методом сличения с эталонной мерой. Метод замещения

При этом способе калибровки применяют два СИ: эталонную меру с номинальным значением, равным номинальному значению калибруемой меры, и ИП в качестве компаратора.

Метод замещения заключается в многократном попеременном измерении на компараторе размеров величины, хранимых калибруемой и эталонной мерами. В общем случае уравнение измерений записывают в следующем виде:

$$x_{cal} = x_{ref} + f_{ref}^{-1} \left(y_{ref} (X_{cal}) + \sum \Delta y_i \right) - f_{ref}^{-1} \left(y_{ref} (X_{ref}) + \sum \Delta y_i \right) + \sum \Delta x_i$$

x_{cal} – значение калибруемой меры;

x_{ref} – значение эталонной меры, определенное при ее калибровке;

f_{ref}^{-1} – обратная функция к калибровочной функция эталонного ИП;

$y_{ref}(X_{cal}), y_{ref}(X_{ref})$ – показания эталонного ИП, соответствующие величинам, воспроизводимым калибруемой и эталонной мерами;;

$\Delta y_i, \Delta x_i$ – поправки, вносимые в показания эталонного СИ и в окончательный результат измерения соответственно

7.3 Калибровка мер методом сличения с эталонной мерой. Метод замещения

Если показания компаратора представлены в единицах, отличных от единиц измеряемой величины, то в уравнении измерений часто используют отношение показаний эталонного компаратора, соответствующих последовательно определяемым значениям калибруемой и эталонной мер:

$$x_{cal} = \left(x_{ref} + \sum \Delta x_i \right) \frac{y_{ref} (X_{cal})}{y_{ref} (X_{ref})} \cdot \prod \delta x_i$$

Δx_i – поправки, вносимые в значение эталонной меры;

δx_i – мультипликативные поправки.

7.3 Калибровка мер методом сличения с эталонной мерой. Метод замещения

Возможны ситуации, когда при калибровке применяют две эталонные меры с номинальными значениями, близкими к значению калибруемой меры $x_{ref1} \leq x_{ref} \leq x_{ref2}$. В таком случае сначала определяют линейную калибровочную характеристику компаратора на узком диапазоне с использованием этих мер, а затем на ее основе оценивают значение калибруемой меры. Уравнение измерений имеет следующий вид

$$x_{cal} = \frac{\left(x_{ref1} y_{ref}(X_{ref2}) - x_{ref2} y_{ref}(X_{ref1}) \right) + y(X_{cal}) \cdot (x_{ref2} - x_{ref1})}{y_{ref}(X_{ref2}) - y_{ref}(X_{ref1})} \prod \delta x_i$$

$y_{ref}(X_{ref1})$, $y_{ref}(X_{ref2})$, $y_{ref}(X_{cal})$ – показания эталонного ИП, соответствующие значениям эталонных и калибруемой мер.

В качестве $y_{ref}(X_{ref1})$, $y_{ref}(X_{ref2})$, $y_{ref}(X_{cal})$, как правило, принимают средние повторных показаний эталонного ИП; соответствующие стандартные неопределенности вычисляют по типу А; неопределенности остальных входных величин, как правило – по типу В.

7.3 Калибровка мер методом сличения с эталонной мерой. Метод замещения

Калибровка гири с номинальным значением массы 10 кг

Калибровку гири с номинальным значением массы 10 кг проводят методом сравнения с эталонной гирей того же номинального значения при помощи компаратора, МХ которого известны. Условная масса калибруемой гири определяется в соответствии со следующим уравнением измерений

$$m_X = m_S + \Delta m_D + \Delta m + \Delta m_C + \Delta B$$

m_S – условная масса эталонной гири;

Δm_D – значения дрейфа эталонной гири после ее последней калибровки;

Δm – наблюдаемая разность между массами калибруемой и эталонной гирь;

$\Delta m_C, \Delta B$ – поправки соответственно на эксцентриситет и магнитное воздействие.

8.1 Калибровка измерительных приборов методом прямых измерений

При калибровке ИП методом прямых измерений проводят измерения калибруемым ИП величин, воспроизводимых эталонными мерами/калибраторами, которые соответствуют разным отсчетам шкалы ИП.

Если при калибровке ИП определяют поправки к показаниям ИП или отклонения от номинальной калибровочной характеристики в точке x_{ref} , то уравнение измерений:

Для аддитивных поправок:
$$\Delta(x_{ref}) = -(y_{cal}(X_{ref}) - x_{ref}) + \sum \Delta x_i$$

$$\Delta(x_{ref}) = -(y_{cal}(X_{ref}) - f_{nom}(x_{ref})) + \sum \Delta x_i$$

Для мультипликативных поправок:
$$\delta(X_{ref}) = \left(\frac{y_{cal}(X_{ref})}{f_{nom}(x_{ref})} \right)^{-1} \prod \delta x_i$$

$$\delta(X_{ref}) = \left(\frac{y_{cal}(X_{ref})}{x_{ref}} \right)^{-1} \prod \delta x_i$$

$y_{cal}(X_{ref})$ – показания калибруемого ИП в точке, соответствующие величине, воспроизводимой эталонной мерой X_{ref} ;

x_{ref} – значение эталонной меры;

$f_{nom}(x_{ref})$ – значение номинальной калибровочной характеристики калибруемого ИП в точке x_{ref} ;

$\Delta x_i, \delta x_i$ – поправки на нестабильность эталонной меры и другие влияющие величины.

Если при калибровке ИП определяют его калибровочный коэффициент:

$$K = \frac{y_{cal}(X_{ref})}{x_{ref}} \prod \delta x_i$$

8.1 Калибровка измерительных приборов методом прямых измерений

Калибровка штангенциркуля

Стальной штангенциркуль калибруется с применением эталонных концевых мер с номинальными значениями длины в диапазоне 0,5–150 мм. При калибровке устанавливают отклонение показания штангенциркуля от значения эталонной меры (погрешность) E_X при нормальной температуре $t_0=20$ °С в соответствии со следующим уравнением измерений

$$E_X = l_{iX} - l_S + \Delta l_t + \Delta l_{iX} + \Delta l_M$$

l_{iX} – показания штангенциркуля;

l_S – действительное значение длины концевой меры;

Δl_p , Δl_{iX} , Δl_M – поправки соответственно: на разность температур штангенциркуля и концевой меры длины; конечное разрешение штангенциркуля; механические эффекты, такие как существующее измерительное усилие; ошибки Аббе, отклонения от плоскостности и параллельности измерительных поверхностей.

8.2 Калибровка измерительных приборов методом сличения с эталонным измерительным прибором

Метод сличения с эталонным ИП может быть реализован непосредственно или с применением эталона сравнения (набора мер).

При установлении MX калибруемого ИП в каждой точке калибровки сначала определяют значение измеряемой величины по показаниям эталонного ИП $y_{ref}(X)$, используя его калибровочную характеристику:

$$x_{ref} = f_{ref}^{-1} \left(y_{ref} (X) \right)$$

и вычисляют соответствующую неопределенность.

Затем построение модели и вычисление неопределенности сводится к задаче калибровки методом прямых измерений.

В данном случае уравнение измерений часто разбивают на два уравнения.

8.2 Калибровка измерительных приборов методом сличения с эталонным измерительным прибором

Калибровка термопары типа N при температуре 1000 °C

Термопары типа N калибруются путем сравнения с двумя эталонными термопарами типа R в горизонтальной печи при температуре 1000 °C. ЭДС, генерируемая термопарами, измеряют с помощью цифрового вольтметра. Измерение состоит из двух этапов, поэтому в данном случае модель измерений приведена для каждого этапа.

На первом этапе вычисляют температуру горячего спая калибруемой термопары t_X

$$t_X = t_S(V_{iS} + \Delta V_{iS}) + \Delta t_D + \Delta t_F$$

$t_S(V)$ – калибровочная функция эталонного термометра (приведена в свидетельстве о калибровке), позволяющая по измеренному значению напряжения определить температуру;

V_{iS} – показания вольтметра;

ΔV_{iS} – поправка к значению напряжения, определенная при калибровке вольтметра;

Δt_D – изменение значений эталонных термометров с момента их последней калибровки из-за дрейфа;

Δt_F – поправка к значению температуры из-за неоднородности температуры печи.

На втором этапе вычисляют соответствующее напряжение $V_X(t)$, возникающее в калибруемой термопаре

$$V_X(t) \cong V_X(t_X) + \frac{\Delta t}{C_X} - \frac{\Delta t_{0X}}{C_{X0}}$$

t – температура, при которой термопара должна быть откалибрована (точка калибровки);

$V_X(t_X)$ – показания вольтметра;

$\Delta t = t - t_X$ – отклонение температуры точки калибровки от температуры печи;

C_X – чувствительность термопары по напряжению при измеряемой температуре 1000 °C;

Δt_{0X} – поправка к значению температуры, возникающая из-за отклонения опорной температуры от 0 °C;

C_{X0} – чувствительность термопары по напряжению при опорной температуре 0 °C



ВНИИМ

ФГУП "Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д.И.Менделеева"

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!



ВНИИМ

им. Д.И.Менделеева