

ПОПРАВКИ: ВВОДИТЬ ИЛИ НЕ ВВОДИТЬ?

А.А. Данилов

ФБУ «Пензенский ЦСМ», адрес организации: Комсомольская ул., 20, г. Пенза, Россия, e-mail: aa-dan@mail.ru

Аннотация

Рассматриваются вопросы целесообразности введения поправок на систематические эффекты в результаты измерений.

Отмечается, что значения поправок обычно получают в виде оценок с некоторой неопределенностью, а потому, введение поправок, наряду с уменьшением смещения результатов измерений, возникающего за счет систематических эффектов, приводит к увеличению неопределенности измерений.

Предложен критерий оценки значимости вводимой поправки, основанный на соотношении между значением поправки, неопределенностью поправки и суммарной стандартной неопределенностью измерений. Приведены примеры соотношений, получена зависимость в форме степенной функции.

Для применения в практической деятельности целесообразно использовать упрощенный критерий, в соответствии с которым модуль значения поправки не должен превышать квадрата неопределенности поправки, деленному на суммарную стандартную неопределенность результата измерений.

Ключевые слова: измерения, калибровка, критерий, неопределенность, поправка, систематический эффект.

Введение

При проведении измерений с применением калиброванных средств измерений довольно часто возникает вопрос о целесообразности введения поправок в результаты измерений.

Например, нужно ли вводить температурную поправку к показаниям средства измерений, применяемого при температуре окружающего воздуха 20,4 °С, если его калибровка была выполнена при температуре 20,3 °С? Нужно ли вводить поправку к показаниям средства измерений, обусловленную его нестабильностью, если его калибровка была проведена вчера? Можно предположить, что значения поправок на систематические эффекты в приведенных примерах окажутся незначительными.

В соответствии рекомендациями ISO/IEC Guide 98-3:2008 [1] (пункт 3.4.4): «Если поправка на систематический эффект незначительна по сравнению с суммарной стандартной неопределенностью результата измерения, то допускается не вносить эту поправку в результат измерения». Однако критерий значимости поправки в ISO/IEC Guide 98-3:2008 [1] не установлен.

При этом помимо введения поправок в результаты измерений, отсутствие критерия значимости поправок не позволяет однозначно реализовать второй этап калибровки, заключающийся в «установлении соотношения, позволяющего получать результат измерений из показания» (см. пункт 2.39 JCGM 200:2012 [2]).

Следует иметь в виду, что значения поправок получают в виде оценок с некоторой неопределенностью измерений, а потому введение поправок, наряду с уменьшением смещения результатов измерений, возникающего за счет систематических эффектов, приводит к увеличению неопределенности измерений.

Ранее, рассуждая с точки зрения концепции погрешности, различные ученые в своих трудах [3-6]

рекомендовали поправку на систематические эффекты вводить лишь тогда, когда она уменьшает доверительные границы погрешности.

С точки зрения концепции неопределенности измерений автору известен единственный документ – ISO 5725-4:1994 [7], в котором говорится о некотором критерии значимости смещения за счет систематического эффекта (а значит, и о значимости поправки): «Если оценка смещения за счет систематического эффекта меньше или равна половине расширенной неопределенности, то нет оснований говорить о наличии смещения за счет систематического эффекта». Правда, сам этот критерий приведен без какого-либо обоснования...

Цель статьи

Предложить и обосновать критерий значимости поправки на систематические эффекты в отношении ее введения в результат измерений.

Изложение основного материала

Сформулируем критерий значимости поправки на систематический эффект исходя из следующих предпосылок.

Предположим, что в результате измерений получены: оценка значения измеряемой величины x и оценка расширенной неопределенности измерений U . При этом

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

где k – коэффициент охвата, u – суммарная стандартная неопределенность измерений.

Также предположим, что получены оценки поправки в результат измерений Δ_{corr} и стандартной неопределенности поправки u_{corr} .

Тогда оценка результата измерений и расширенная неопределенность результата измерений

после введения поправки на систематический эффект могут быть получены из соответствующих формул:

$$x_{corr} = x + \Delta_{corr}, \quad (2)$$

$$U_{corr} = k\sqrt{u^2 + u_{corr}^2}. \quad (3)$$

Таким образом, введение поправки (с целью уменьшения смещения из-за наличия систематического эффекта) приводит к увеличению расширенной неопределенности исправленного результата измерений.

В предположении незначимости поправки ее можно не вводить в результат измерений. При этом расширенная неопределенность измерений должна быть расширена на значение модуля поправки:

$$U_{notcorr} = U + |\Delta_{corr}|. \quad (4)$$

Сравнивая правые части формул (3) и (4), можно сформулировать критерий незначимости поправки следующим образом: если

$$k\sqrt{u^2 + u_{corr}^2} \geq U + |\Delta_{corr}| \quad (5)$$

или после подстановки U из формулы (1):

$$k\sqrt{u^2 + u_{corr}^2} \geq ku + |\Delta_{corr}|, \quad (6)$$

то поправку можно не вводить.

Для доведения предложенного критерия до возможности удобного его применения на практике выразим значение модуля поправки и стандартной неопределенности поправки в долях от суммарной стандартной неопределенности:

$$|\Delta_{corr}| = au, \quad (7)$$

$$u_{corr} = bu, \quad (8)$$

где a и b – безразмерные коэффициенты, $a > 0$, $b > 0$.

После подстановки (7) и (8) в (6) получим:

$$k\sqrt{u^2 + b^2u^2} \geq ku + au. \quad (9)$$

После возведения в квадрат левой и правой частей неравенства (9) и несложных преобразований получим:

$$k^2b^2 \geq 2ka + a^2. \quad (10)$$

После подстановки общепринятого значения $k = 2$ (при вероятности $P = 0,95$) в (10) получим:

$$b \geq \sqrt{a + 0,25a^2}. \quad (11)$$

Из этого неравенства способом подстановки получены минимальные значения b , при которых

поправка может быть признана незначительной для задаваемых значений a , приведенные в табл. 1.

Таблица 1

Минимальные значения b при заданных a						
a	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30
b	0,225	0,32	0,394	0,458	0,515	0,568

Если от a и b с помощью формул (7) и (8) вернуться к $|\Delta_{corr}|$ и u_{corr} , можно сделать вывод, что поправку на систематические эффекты можно не вводить, если отношение между неопределенностью поправки и поправкой будет не менее значений, приведенных в строке 2 табл. 2.

Таблица 2

Минимальные значения отношений между неопределенностью поправки и поправкой, при которых поправку можно не вводить

$ \Delta_{corr} = au$	0,05u	0,10u	0,15u	0,20u	0,25u	0,30u
$u_{corr}/ \Delta_{corr} = b/a$	4,5	3,2	2,6	2,3	2,1	1,9

Поскольку пользоваться несколькими значениями, приведенными в табл. 2, не всегда удобно, поэтому они могут быть аппроксимированы степенной функцией:

$$\frac{u_{corr}}{|\Delta_{corr}|} = 1,07 \left(\frac{|\Delta_{corr}|}{u} \right)^{-0,477}. \quad (12)$$

Возможен и упрощенный подход. Учитывая, что второе слагаемое подкоренного выражения, стоящего в правой части неравенства (11), существенно меньше первого, оно может быть заменено приближенным:

$$\sqrt{a + 0,25a^2} \approx \sqrt{a}. \quad (13)$$

Отсюда

$$b \geq \sqrt{a}. \quad (14)$$

Тогда если от a и b с помощью формул (7) и (8) вернуться к $|\Delta_{corr}|$ и u_{corr} , получим:

$$|\Delta_{corr}| \leq \frac{u_{corr}^2}{u}. \quad (15)$$

Выводы

Предложен критерий оценки значимости поправок на систематические эффекты, который может найти широкое применение при проведении измерений и оценке неопределенности измерений.

Abstract

Issues of advisability of introducing corrections for systematic effects in measurement results are considered.

It is noted that correction values are usually obtained in the form of estimates with some uncertainty, and therefore, the introduction of corrections, along with a decrease in the displacement of measurement results resulting from systematic effects, leads to an increase in measurement uncertainty.

A criterion for assessing the significance of the introduced correction based on the ratio between the correction value, the uncertainty of the correction and the total standard uncertainty of the measurements is proposed. Examples of ratios are given, a dependence in the form of a power function is obtained.

For application in practice, it is advisable to use a simplified criterion according to which the correction value module should not exceed the square of the correction uncertainty divided by the total standard uncertainty of the measurement result.

Key words: calibration, correction, criterion, measurements, systematic effect, uncertainty.

Анотація

Розглядаються питання доцільності введення поправок на систематичні ефекти в результати вимірювань.

Відзначається, що значення поправок зазвичай отримують у вигляді оцінок з деякою невизначеністю, а тому, введення поправок, поряд зі зменшенням зсуву результатів вимірювань, що виникає за рахунок систематичних ефектів, призводить до збільшення невизначеності вимірювань.

Запропоновано критерій оцінки значущості введення поправки, заснований на співвідношенні між значенням поправки, невизначеністю поправки і сумарною стандартною невизначеністю вимірювань. Наведені приклади співвідношень, отримана залежність у формі степеневі функції.

Для застосування в практичній діяльності доцільно використовувати спрощений критерій, відповідно до якого модуль значення поправки не повинен перевищувати квадрата невизначеності поправки, який поділений на сумарну стандартну невизначеність результату вимірювань.

Ключові слова: вимірювання, калібрування, критерій, невизначеність, поправка, систематичний ефект.

Список литературы

1. ГОСТ 34100-2017 / ISO/IEC Guide 98-3:2008. Неопределенность измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерения. Москва: Стандартинформ, 2017. 105 с.
2. JCGM 200:2012. International vocabulary of metrology – Basic and general concepts and associated terms (VIM). JCGM 2012. 91 p.
3. Бурдун Г.Д., Марков Б.Н. Основы метрологии. Москва: Издательство стандартов, 1985. С. 137-138
4. Орнатский П.П. Теоретические основы информационно-измерительной техники. Киев: Вища школа, 1983. С. 118-119.
5. Захаров И.П. Теоретическая метрология. Харьков, 2000. С. 76-77
6. Сергеев А.Г. Метрология. – Москва: Логос, 2005. С. 61-63
7. ГОСТ Р ИСО 5725-4-2002 / ISO 5725-4:1994. Точность (правильность и прецизионность) результатов измерений. Часть 4. Основные методы определения правильности стандартного метода измерений.

References

1. GOST 34100-2017/ISO/IEC Guide 98-3: 2008. Measurement uncertainty. Part 3. Guidance on the expression of measurement uncertainty. Moscow: Standardized, 2017. 105 p.
2. JCGM 200:2012. International vocabulary of metrology – Basic and general concepts and associated terms (VIM). JCGM 2012. 91 p.
3. Burdun G.D., Markov B.N. Fundamentals of Metrology. - Moscow: Standards Publishing House, 1985. P. 137-138
4. Ornaty P.P. Theoretical foundations of information and measuring technology. Kiev: Vishcha school, 1983. P. 118-119.
5. Zakharov I.P. Theoretical metrology. Kharkov, 2000. P. 76-77
6. Sergeev A.G. Metrology. - Moscow: Logos, 2005. P. 61-63
7. GOST R ISO 5725-4-2002/ISO 5725-4: 1994. Accuracy (correctness and precision) of measurement results. Part 4. Basic methods for determining the correctness of the standard measurement method.