	Рекомендация КООМЕТ	COOMET R/GM/21:2024
	Использование понятий «погрешность измерения» и «неопределённость измерений». Общие принципы	
<p><i>Утверждена на 21-м заседании Комитета КООМЕТ (27 – 28 апреля 2011 г., Ереван, Армения)</i> <i>Уточнена и дополнена:</i> <i>на 36-м заседании Комитета КООМЕТ (4-5 июня 2024 г., Ташкент, Узбекистан)</i></p>		

1. ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

Настоящая рекомендация предназначена для использования при разработке документации всех видов, научно-технической, учебной и справочной литературы по метрологии, используемых при выполнении работ в области законодательной и прикладной метрологии и стандартизации.

В настоящей рекомендации проанализированы понятия «погрешность измерения» и «неопределённость измерения», даны предложения по логически непротиворечивому применению этих понятий в различных метрологических задачах. В качестве основных терминологических документов приняты [1 – 3].

Терминологические статьи в настоящих рекомендациях, повторяющие терминологические статьи [2], заключены в рамки из тонких линий.

Предыдущая версия рекомендации (COOMET R/GM/21:2011) была разработана на основе РМГ 91-2009 и актуализирована путём обновления и дополнения «Библиографии» [1-11] появившимися значимыми документами (публикациями) и корректировки библиографических ссылок в тексте с локальными примечаниями.

В [1] подчёркнуто принципиальное различие понятий «погрешность измерения» и «неопределённость измерений», но не исключена возможность использования понятия «погрешность». При этом подразумевается, что конкретная погрешность всегда имеет определённый знак (положительный или отрицательный). Замена «истинного значения измеряемой величины» на «опорное значение измеряемой величины» в определении погрешности в [2] не меняет её смысла. По определению, в отличие от «погрешности», понятие «неопределённость» характеризует рассеяние значений, которые могли бы быть обоснованно приписаны измеряемой величине.

Некорректность применения понятия «погрешность» проявляется при смешении его с другими по смыслу понятиями, такими как «характеристики погрешности результата измерения», «доверительные границы погрешности». Погрешность конкретного результата измерения проявляется в рассматриваемом эксперименте с конкретным экземпляром средства измерений, а при оценке «характеристик погрешности» оперируют множеством возможных значений погрешностей в виртуальных или реальных экспериментах с различными экземплярами средств измерений данного типа при допустимом варьировании условий измерений. Поэтому общепринятые оценки среднеквадратичного отклонения, не исключённой систематической погрешности и доверительных границ множества погрешностей результатов измерений уже не соответствуют исходному определению погрешности. Эти оценки фактически характеризуют не погрешность, а разброс значений, приписываемых измеряемой величине на основе используемой информации, т.е. аналогичны неопределённости.

Понятия «погрешность измерения» и «неопределённость измерений» следует применять в соответствии с их определениями, не подменяя погрешность оценками параметров и составляющих рассеяния результатов измерений.

2. ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В настоящих рекомендациях применены следующие термины с соответствующими определениями и комментарии к ним:

2.1

погрешность измерения (measurement error): разность между измеренным значением величины и опорным значением величины

П р и м е ч а н и е 1 – Понятие «погрешность измерения» может использоваться двояко:

а) когда имеется единственное опорное значение величины, как в случае калибровки по эталону, у которого измеренное значение величины имеет пренебрежимо малую неопределённость измерений, или когда дано принятое значение величины. В этом случае погрешность измерения известна,

б) если предполагается, что измеряемая величина представлена единственным истинным значением величины или совокупностью истинных значений в пренебрежимо малом диапазоне. В этом случае погрешность измерения неизвестна.

П р и м е ч а н и е 2 – Погрешность измерения не следует путать с производственной ошибкой или ошибкой, связанной с человеческим фактором.

[2, статья 2.16]

К о м м е н т а р и й – Истинное значение величины не может быть определено. Это понятие применяют только в теоретических исследованиях. На практике используют опорное значение величины X_0 (см. 4.2), и погрешность измерения Δ определяют по формуле:

$$\Delta = X_{\text{изм}} - X_0,$$

где $X_{\text{изм}}$ – значение величины, полученное путём измерения (результат измерения [2, статья 2.9]);

X_0 – принятое значение, приписываемое конкретной величине часто по соглашению, как имеющее неопределённость, приемлемую для данной цели [2, статья 2.12].

Таким образом, по определению, понятие «погрешность измерения» относится только к конкретному результату измерения, полученному с использованием конкретного экземпляра средства измерений. Погрешность измерения является конкретным положительным или отрицательным числом. Нет оснований придавать этому понятию смысл статистического параметра какого-либо множества реальных или предполагаемых значений. «Погрешность» и «неопределённость» представляют собой различные понятия; их не следует путать друг с другом или неправильно использовать [1, пункт 3.2.2].

2.2

опорное значение величины (reference quantity value): Значение величины, которое используется как основа для сопоставления со значениями величин того же рода.

П р и м е ч а н и е 1 – Опорное значение величины может быть истинным значением величины, подлежащей измерению [2, статья 2.11], в этом случае оно неизвестно, или принятым значением величины [2, статья 2.12], в этом случае оно известно.

П р и м е ч а н и е 2 – Опорное значение величины, со связанной с ним неопределённостью измерений, обычно предоставляется для:

- а) материала, например аттестованного стандартного образца [2, статья 5.14];
 - б) устройства, например стабилизированного лазера;
 - с) референтной методики измерений [2, статья 2.7];
 - д) сличения эталонов [2, статья 5.1].
- [2, статья 5.18]

К о м м е н т а р и й – Понятие «принятое значение величины» [2, статья 2.12] охватывает понятие «действительное значение величины» («условно истинное значение величины») – значение величины, полученное экспериментальным путём и настолько близкое к истинному значению, что в поставленной

измерительной задаче может быть использовано вместо него.

2.3

относительная погрешность (relative error): Отношение Δ/X_0 погрешности измерения Δ к опорному значению измеряемой величины X_0 .

Комментарий – Заменять в этом отношении опорное значение на результат измерения не рекомендуется, так как это противоречит определению понятия «погрешность измерения».

2.4

систематическая погрешность измерения (systematic measurement error): Составляющая погрешности измерения, которая остаётся постоянной или закономерно изменяется при повторных измерениях.

Примечание 1 – Опорным значением величины для систематической погрешности измерения является истинное значение величины или измеренное значение величины эталона с пренебрежимо малой неопределённостью измерений, или принятое значение величины.

Примечание 2 – Систематическая погрешность измерения и её причины могут быть известны или неизвестны. Для компенсации известной систематической погрешности может вводиться поправка.

Примечание 3 – Систематическая погрешность измерения равна разности погрешности измерения и случайной погрешности измерения.

[2, статья 2.17]

Комментарий – Необходимо иметь в виду, что при определении разности указанных погрешностей каждую из них берут со своим положительным или отрицательным знаком.

2.5

случайная погрешность измерения (random measurement error): Составляющая погрешности измерения, которая при повторных измерениях изменяется непредсказуемым образом.

Примечание 1 – Опорным значением величины для случайной погрешности измерения является среднее арифметическое, которое может быть получено в результате бесконечно большого числа повторных измерений одной и той же измеряемой величины.

Примечание 2 – Случайные погрешности ряда повторных измерений образуют распределение, которое может быть описано своим математическим ожиданием (в общем случае предполагается, что оно равно нулю) и дисперсией.

Примечание 3 – Случайная погрешность измерения равна разности погрешности измерения и систематической погрешности измерения.

[2, статья 2.19]

Комментарий – Необходимо иметь в виду, что при определении разности указанных погрешностей каждую из них берут со своим положительным или отрицательным знаком.

неопределённость измерений (measurement uncertainty): Неотрицательный параметр, характеризующий рассеяние значений величины, приписываемых измеряемой величине на основании используемой информации.

Примечание 1 – Неопределённость измерения включает составляющие, обусловленные систематическими эффектами, в том числе составляющие, связанные с поправками и приписанными значениями эталонов, а также **дефиниционную неопределённость**. Иногда поправки на оценённые систематические эффекты не вводят, а вместо этого последние рассматривают как составляющие неопределённости измерений.

Примечание 2 – Параметром может быть, например, стандартное отклонение, называемое стандартной неопределённостью измерений (или кратное ему число) или половина ширины интервала с установленной вероятностью охвата.

Примечание 3 – В общем случае неопределённость измерений включает в себя много составляющих. Некоторые из этих составляющих могут быть оценены по типу А неопределённости измерений на основании статистического распределения значений величины из серий измерений и могут характеризоваться стандартными отклонениями. Другие составляющие, которые могут быть оценены по типу В, также могут характеризоваться стандартными отклонениями, оцениваемыми через функции плотности вероятностей на основании опыта или другой информации.

Примечание 4 – В целом, при данном объёме информации подразумевается, что неопределённость измерений связывают с определенным значением, приписываемым измеряемой величине. Изменение этого значения приводит к изменению связываемой с ним неопределённости.
[2, статья 2.26]

Комментарий – Значение, упомянутое в Примечании 4, является лучшей оценкой значения измеряемой величины, а все составляющие неопределённости, включая составляющие, обусловленные систематическими эффектами, например связанными с поправками и эталонами, приводят к рассеянию [1, пункт 2.2.3, примечания 1-3].

Количественно «неопределённость измерений» (как правило) принято характеризовать «стандартной неопределённостью» – неопределённостью результата измерения, выраженной как стандартное отклонение или «расширенной неопределённостью» [1, пункты 2.3.1 и 2.3.5]. Таким образом, «неопределённость измерений», как параметр, характеризует рассеяние множества возможных значений измеряемой величины в рассматриваемой измерительной ситуации, но не погрешность конкретного результата измерения. Например, возможен случай, когда результат измерения имеет пренебрежимо малую погрешность при большой неопределённости [1, пункт 3.3.1, примечание].

3. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО КОРРЕКТНОМУ ПРИМЕНЕНИЮ ПОНЯТИЙ «ПОГРЕШНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ» И «НЕОПРЕДЕЛЁННОСТЬ ИЗМЕРЕНИЙ»

3.1 Применение понятий «погрешность измерения» и «неопределённость измерений» в конкретных метрологических ситуациях

3.1.1 Результат измерения – значение величины, полученное путём её измерения, и неопределённость измерений. Конкретные результаты измерений в любых метрологических ситуациях однозначно могут и должны быть охарактеризованы неопределённостью. Применение понятия погрешности результата измерения, которая принципиально неизвестна и конкретно неопределима, возможно только в теоретических рассуждениях о результатах измерений. Понятие погрешности используют при калибровке и поверке средств измерений (см. 4.1, примечание 1, перечисление а).

3.1.2 Результаты экспериментов, выполняемых при сличениях (ключевых, региональных, межгосударственных) национальных эталонов, в соответствии с Договорённостью [4] представляют с подробными сведениями об оценке неопределённости. Указанные в паспортах на национальные эталоны характеристики погрешностей эталонов при этом могут использоваться для оценки неопределённости результатов сличений.

3.1.3 Калибровочные и измерительные возможности национальных метрологических институтов

по Приложению С Договорённости [4] представляют с указанием расширенной неопределённости результатов и коэффициента охвата. При этом обязательно приводят сведения о метрологической прослеживаемости при передаче соответствующей шкалы измерений или размера единицы измерений.

3.1.4 В методиках измерений описывают совокупность операций и вычислений, выполнение которых обеспечивает получение результата измерения с установленными показателями точности.

Результаты измерения по методикам измерений рекомендуется сопровождать оценками неопределённости измерений. Методика измерений может включать информацию о целевой неопределённости измерений [2, п.2.34]. Стандартизованная (аттестованная) методика измерений может содержать другие установленные показатели точности измерений, например по [5], соответствующие конкретному назначению и области её применения.

3.1.5 При калибровке средств измерений устанавливаются при определённых условиях соотношения между значениями величины по показаниям средства измерений и соответствующими значениями, реализуемыми с помощью эталона. По результатам калибровки могут быть внесены поправки к показаниям средств измерений или уточнены реализуемые средствами измерений значения. Показателем точности определения метрологических характеристик средств измерений при калибровке является неопределённость, как это указано в Приложении С к Договорённости [4]. Это относится и к результатам градуировки средств измерений в процессе калибровки.

3.1.6 Нормирование метрологических характеристик средств измерений осуществляют, оперируя понятием «погрешность» или «класс точности». При этом используют пределы допускаемых погрешностей средств измерений данного типа.

3.1.7 Проверка средств измерений – установление пригодности средств измерений (СИ) к применению на основании экспериментального определения метрологических характеристик и подтверждения их соответствия установленным требованиям. При проверке используют эталоны.

Проверка СИ может заключаться:

а) в определении пригодности СИ к применению с отбраковкой тех СИ, погрешность которых превышает пределы допускаемой погрешности, установленной для СИ данного типа;

б) в установлении действительных значений или градуировочных характеристик СИ, поступивших на проверку (в том числе путём введения поправок);

в) в определении пригодности СИ к применению по требованиям к их стабильности (с отбраковкой тех СИ, изменение действительного значения или градуировочной характеристики которых за межповерочный интервал превысило предел допускаемой нестабильности, установленный для СИ данного типа) и в установлении действительных значений или градуировочных характеристик остальных СИ.

При проверке оперируют установленными для средств измерений пределами погрешностей. Поэтому в методиках проверки допускается указывать, в каком соотношении должны находиться расширенная неопределённость процедуры проверки и пределы погрешностей средств измерений данного типа, а также критерии годности средств измерений с учётом неопределённости результатов при проверке (см. приложение А). При этом могут использоваться общие принципы учёта неопределённости измерений в процедурах оценки соответствия установленным требованиям [6, 9-11].

3.1.8 При построении поверочных схем точность метода передачи размера единиц может характеризоваться неопределённостью измерений.

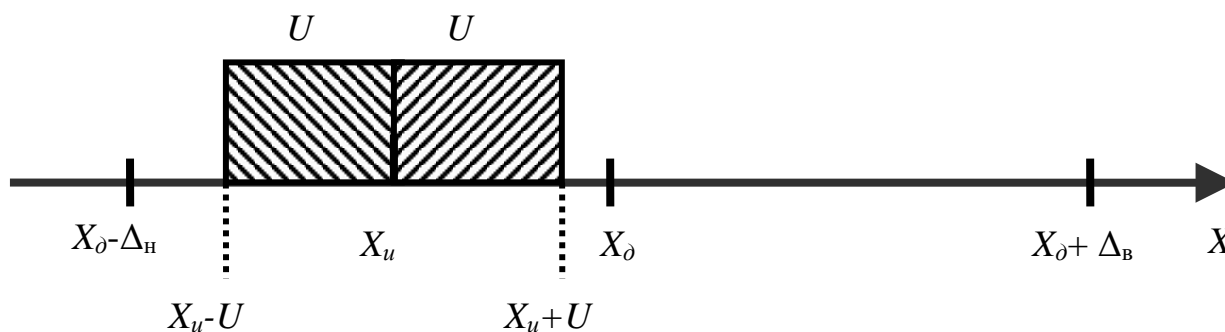
3.2 Общая рекомендация

Из рассмотренных метрологических задач можно предложить общее правило: точность результатов измерений в большинстве метрологических задач характеризуется неопределённостью, а точность средств измерений характеризуется пределами погрешностей. Понятие «погрешность» используется при сравнении с опорным значением величины, а оценки погрешностей получают при калибровке и проверке средств измерений. Таким образом, понятия «неопределённость» и «погрешность» рекомендуется гармонично использовать без взаимного противопоставления и исключения одного из них.

Приложение А (справочное)

Пояснения к использованию понятия «неопределённость измерений» при поверке

В международном документе МОЗМ Д 8 [7] применено понятие «неопределённость измерения при поверке средств измерений» без конкретизации этого положения. Возможны различные варианты его реализации из-за многообразия реальных ситуаций по соотношению пределов погрешностей поверяемых средств измерений и применяемых при этом эталонов, соотношению значений неопределённостей, оценённых по типу А и по типу В. Например, если расширенная неопределённость при поверке (с коэффициентом охвата 2) не превышает 1/3 пределов допускаемой погрешности, то неопределённостью пренебрегают. Другие возможные варианты критериев годности средства измерений по результатам поверки: оценённая погрешность СИ не превышает разность пределов погрешности и расширенной неопределённости измерений при поверке (см., например [8]); оценённая погрешность СИ не превышает квадратного корня из разности квадратов пределов погрешности и расширенной неопределённости измерений при поверке. Такие критерии годности можно применить, в частности, при поверке СИ, представляющих собой меры, для которых погрешностью является «разность между номинальными значениями мер и действительными значениями воспроизводимых ими величин». Смысл учёта неопределённости при поверке поясняется схемой на рисунке А.1.



X_{δ} – опорное (действительное) значение (эталона);

X_u – показания поверяемого прибора;

$\Delta_{\text{н}}$, $\Delta_{\text{в}}$ – нижний и верхний пределы допускаемой погрешности по нормативному документу на поверяемое средство измерений (обычно $\Delta_{\text{н}} = \Delta_{\text{в}} = \Delta$);

U – расширенная неопределённость

Рисунок А.1 – Схема учёта неопределённости при подтверждении соответствия поверяемого средства измерений пределам допускаемой погрешности

Приведённые в настоящем приложении варианты только поясняют принципы использования понятий «погрешность» и «неопределённость», но не являются преимущественно рекомендуемыми и не охватывают всего многообразия возможных ситуаций. Роль неопределённости измерений при принятии решений об оценке соответствия подробно представлена в международных руководствах и стандартах [9–11].

В обновлённой рекомендации РМГ 91–2019 [3] представлены дополнительные Приложения: Приложение А (справочное) «Классификация понятий и терминов, связанных с ключевыми словами «погрешность» и «неопределённость»; Приложение Б (справочное) «Пояснения к использованию понятия «неопределённость измерений» при поверке».

Классификация понятий в Приложении А содержит подробные комментарии к вариантам применения их, а в Приложении Б пояснения дополнены конкретными рекомендациями по определению ширины «защитной полосы» при подтверждении соответствия поверяемого средства измерений.

Библиография

[1] ISO/IEC Guide 98-3:2008, Uncertainty of measurement – Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995). (ИСО/МЭК Руководство 98-3:2009, Неопределённость измерения – Часть 3: Руководство по выражению неопределённости измерений).

[2] JCGM 200:2008 (E/F). International vocabulary of metrology – Basic and general concepts and associated terms (VIM). (Международный словарь по метрологии. Основные и общие понятия и соответствующие термины. Перевод JCGM 200:2008. Из-во: Санкт-Петербург, НПО «Профессионал», 2009г.).

[3] РМГ 91-2019. Государственная система обеспечения единства измерений. Использование понятий «погрешность измерения» и «неопределённость измерения». Общие принципы. (State system for ensuring the uniformity of measurements. Use of concepts «error of measurement» and «uncertainty of measurements». General principles).

[4] Mutual recognition of national measurement standards and of calibration and measurement certificates issued by national metrology institutes, Paris, 14 October 1999. (Договорённость о взаимном признании национальных эталонов и сертификатов калибровки и измерений, выдаваемых национальными метрологическими институтами) [Документ подготовлен МКМВ при полномочиях, данных ему Метрической конвенцией.] Перевод на русский язык: https://www.coomet.net/fileadmin/user_files/DOCUMENTS/PUBLICATIONS/Translations_into_Russian_international_organizations/CIPM_MRA_ru.pdf

[5] ISO 5725-1:1994. Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results. Part 1: General principles and definitions. (ISO 5725-1:1994. Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Часть 1: Основные положения и определения).

[6] ISO 10576-1:2003. Statistical methods. Guidelines for the evaluation of conformity with specified requirements. Part 1. General principles. (ISO 10576-1:2003. Статистические методы. Руководство по оценке соответствия установленным требованиям. Часть 1: Основные положения).

[7] International Document OIML D 8, Edition 2004. Measurement standards. Choice, recognition, use, conservation and documentation. (Международный документ МОЗМ D 8, издание 2004. Эталоны. Выбор, признание, применение, хранение и документация).

[8] OIML R 111-1-2004. Weights of classes E1, E2, F1, F2, M1, M1-2, M2, M2-3, M3. Part 1: Metrological and technical requirements. (МОЗМ R 111-1-2004. Весы классов E1, E2, F1, F2, M1, M1-2, M2, M2-3, M3. Часть 1. Метрологические и технические требования).

[9] JCGM 106:2012. Evaluation of measurement data - The role of measurement uncertainty in conformity assessment. (JCGM 106:2012. Оценивание данных измерений - роль неопределённости измерений при оценке соответствия).

[10] Guide OIML G19:2017. The role of measurement uncertainty in conformity assessment decisions in legal metrology. (Guide OIML G19:2017. Роль неопределённости измерений при принятии решений об оценке соответствия в законодательной метрологии).

[11] CISPR 16-4-2:2003, MOD. Electromagnetic compatibility of technical equipment. Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods. Part 4-2. Uncertainties, statistics and limit modelling. Measurement instrumentation uncertainty. (CISPR 16-4-2:2003, MOD. Электромагнитная совместимость технических средств. Требования к аппаратуре для измерения параметров промышленных радиопомех и помехоустойчивости и методы измерений. Часть 4-2. Неопределённости, статистика и моделирование норм. Инструментальная неопределённость измерений. ГОСТ 30805.16.4.2–2013).

Информационные данные

1. Организация-координатор: Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт физико-технических и радиотехнических измерений (ФГУП «ВНИИФТРИ»).

Разработчики актуализированной версии: Дойников А. С.

2. Тема КОOMET 869/RU/23.

3. Документ утверждён на _____ заседании Комитета КОOMET;

4. Сведения о применении документа организациями – членами КОOMET.

Актуализированная версия Рекомендации разработана с учётом РМГ 91–2019 «Государственная система обеспечения единства измерений. Использование понятий «погрешность измерения» и «неопределённость измерений». Общие принципы», Международного словаря по метрологии. Основные и общие понятия и соответствующие термины (VIM 3), международных документов, материалов публикаций: Дойников А. С. Лекции по метрологии, 2^е издание, Менделеево: ФГУП «ВНИИФТРИ». 2021, 376 с. и др.

Рекомендуемая понятийно-терминологическая система и общие принципы предназначены для использования в законодательной и прикладной метрологии.

СОДЕРЖАНИЕ

1. Область применения	1
2. Термины и определения	1
3. Рекомендации по корректному применению понятий «погрешность измерения» и «неопределенность измерения»	4
Приложение А (справочное). Пояснения к использованию понятия «неопределенность измерения» при поверке	6
Библиография	7
Информационные данные.....	8