

УДК 389.6:006.354

А.С. Дойников

Всероссийский научно-исследовательский институт физико-технических и радиотехнических измерений, Менделеево, Московская область, Россия

ПРЕЗЕНТАЦИЯ РМГ 91 — 2009 «ГСИ. СОВМЕСТНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОНЯТИЙ «ПОГРЕШНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ» И «НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ». ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ»

Рекомендации по межгосударственной стандартизации содержат основные принципы непротиворечивого применения понятий «погрешность измерения» и «неопределенность измерения» и производных от них понятий, рекомендуемые для использования при разработке нормативных документов по различным метрологическим задачам.

Ключевые слова: метрология, погрешность, опорное значение величины, неопределенность, результат измерений, сличение эталонов, методика измерений, калибровка, поверка, поверочная схема.

Введение

В РМГ 91-2009 в качестве основных терминологических документов приняты [1,2]. Рекомендации разработаны на основе материалов проекта аналогичного документа по теме КОOMET 347/RU/05.

Исходные положения

В [1] подчеркнута принципиальная разница понятий «погрешность измерения» и «неопределенность измерения», но не исключена возможность достаточно правильного использования понятия «погрешность». При этом подразумевается, что конкретная погрешность всегда имеет определенный знак (положительный или отрицательный).

Некорректность применения понятия «погрешность» проявляется при смешении его с другими по смыслу понятиями, такими как «характеристики погрешности результата измерения», «доверительные границы погрешности».

Основные термины, определенные в комментах, в явном виде

В рекомендациях применены следующие термины с соответствующими определениями:

Погрешность измерения (error of measurement): Результат измерения (измеренное значение величины) минус опорное значение величины.

Примечание 1 – Понятие «погрешность измерения» может быть использовано двояко: а) когда имеется единственное опорное значение величины, которое появляется при выполнении калибровки посредством эталона с регламентированным значением величины, имеющим незначительную неопределенность измерения, или если дано приписанное (стандартизованное) значение величины; в таком случае погрешность измерения известна, и б) если измеряемая величина предполагается пред-

ставленной однозначно определенным истинным значением или рядом истинных значений величины незначительного размаха; в таком случае погрешность измерения неизвестна.

Примечание 2 – Погрешность измерения нельзя смешивать с погрешностями или ошибками производства.

Комментарий – 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 путем измерения (результат измерения [2, статья 2.9]; X_0 – значение, приписываемое конкретной величине и принимаемое, часто по соглашению, как имеющее неопределенность, 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. Это число получают в результате сложения в эксперименте со своими положительными или отрицательными знаками систематической погрешности и реализованной случайной погрешности. Нет оснований придавать этому понятию смысл статистического параметра какого-либо множества реальных или предполагаемых значений. «Погрешность» и «неопределенность» представляют собой различные понятия; их не следует путать друг с другом или неправильно использовать [1, пункт 3.2.2].

Опорное значение величины (reference quantity value): Значение величины, используе-

мое как основа для сравнения со значением величины того же рода.

Примечание 1 – Опорным значением величины может быть истинное значение измеряемой величины [2, статья 2.11], в таком случае оно неизвестно, или приписанное (стандартизованное) значение величины [2, статья 2.12], в таком случае оно известно.

Примечание 2 – Опорное значение величины, со связанной с ним неопределенностью измерения, обычно сопровождается ссылкой на: а) материал, например стандартный образец; б) прибор, например стабилизированный лазер; с) исходную процедуру измерений [2, статья 2.7]; д) сличение эталонов [2, статья 5.18].

Комментарий – По смыслу обобщенное понятие «приписанное (стандартизованное) значение величины» [2, статья 2.12] охватывает понятие «действительное значение величины» — значение величины, полученное экспериментальным путем и настолько близкое к истинному значению, что в поставленной измерительной задаче может быть использовано вместо него.

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».

Систематическая погрешность измерения (systematic error of measurement): Составляющая погрешности измерения, которая в повторных измерениях остается постоянной или изменяется предсказуемым образом.

Примечание 1 – Опорным значением величины для систематической погрешности измерения является истинное значение величины или измеренное значение величины эталона с незначительной неопределенностью измерения, или приписанное (стандартизованное) значение величины.

Примечание 2 – Систематическая погрешность измерения и ее причины могут быть известны или неизвестны. Поправка может быть применена для компенсации известной систематической погрешности измерения.

Примечание 3 – Систематическая погрешность измерения равна погрешности измерения минус случайная погрешность 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.

Случайная погрешность измерения (random measurement error): Составляющая погрешности из-

мерения, которая в повторных измерениях изменяется непредсказуемым образом.

Примечание 1 – Опорным значением величины для случайной погрешности измерения является среднее значение, получаемое в результате бесконечного числа повторных измерений одной и той же измеряемой величины.

Примечание 2 – Случайная погрешность измерения ряда повторных измерений образует распределение, которое может быть подытожено его математическим ожиданием, обычно предполагаемым равным нулю, и его дисперсией.

Примечание 3 – Случайная погрешность измерения – погрешность измерения минус систематическая погрешность 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.

Неопределенность измерения (uncertainty of measurement): Неотрицательный параметр, характеризующий разброс значений величины, приписываемых измеряемой величине на основе используемой информации.

Примечание 1 – Неопределенность измерения включает в себя составляющие, обусловленные систематическими эффектами, такие как составляющие, связанные с поправками и приписанными эталонам значениями величин, а также с неопределенностью определения (измеряемой величины). Иногда оцененные систематические эффекты не исключают из связанных с ними составляющих неопределенности измерений.

Примечание 2 – Параметр может быть, например, стандартным отклонением, называемым стандартной неопределенностью измерения (или заданным кратным ей), или половиной ширины интервала, имеющего установленную вероятность охвата.

Примечание 3 – В общем случае неопределенность измерения содержит много составляющих. Некоторые из этих составляющих могут быть оценены по типу А оценки неопределенности измерения из статистического распределения значений величины в серии измерений и охарактеризованы стандартным отклонением. Другие составляющие, которые могут быть оценены по типу В оценки неопределенности измерения, могут также быть охарактеризованы стандартным отклонением, оцененным из функций плотности вероятности, основанных на опыте или другой информации.

Примечание 4 – В общем случае подразумевается, что неопределенность измерения связана с определенным значением, приписанным измеряемой величине. С изменением этого значения изменяется соответствующая неопределенность [2, статья 2.26].

Комментарий – Неопределенность измерения – параметр, связанный с результатом измере-

ния и характеризующий рассеяние значений, которые достаточно обоснованно могли бы быть приписаны измеряемой величине [1, пункт 2.2.3], поэтому в [2] отсутствует понятие «характеристики погрешности».

Неопределенность измерений имеет, в общем случае, много составляющих. Некоторые из этих составляющих могут быть оценены на основании статистического распределения результатов рядов измерений и охарактеризованы стандартными отклонениями. Другие составляющие, которые также могут быть охарактеризованы стандартными отклонениями, вычисляются из предполагаемого распределения вероятностей, основанного на опыте или другой информации. Подразумевается, что результат измерения является лучшей оценкой значения измеряемой величины и что все составляющие неопределенности, включая составляющие, обусловленные систематическими эффектами, например связанными с поправками и эталонами, приводят к рассеянию результатов измерений [1, пункт 2.2.3, примечания 1 – 3].

«Неопределенность измерения», как параметр, характеризует рассеяние множества возможных значений результатов измерений в рассматриваемой измерительной ситуации, но не погрешность конкретного результата измерения. Например, возможен случай, когда результат измерения имеет пренебрежимо малую погрешность при большой неопределенности [1, пункт 3.3.1, примечание].

Рекомендации по корректному применению понятий «погрешность измерения» и «неопределенность измерения» в конкретных метрологических ситуациях.

Результат измерения – значение величины, полученное путем ее измерения. Конкретные результаты измерений в любых метрологических ситуациях однозначно могут и должны быть охарактеризованы неопределенностью. Применение понятия погрешности результата измерения, которая принципиально неизвестна и конкретно неопределима, возможно только в теоретических рассуждениях о результатах измерений. Понятие оценки погрешности допускается использовать при калибровке средства измерений (см. 4.1 примечания 1, перечисление а).

Результаты измерений с помощью эталона, выполняемых при сличениях (ключевых, региональных, межгосударственных) *национальных эталонов*, в соответствии с Договоренностью (Соглашением) [3] представляют с подробными сведениями об оценке неопределенности. Указанные в паспортах на национальные эталоны (государственные эталоны и исходные для страны установки высшей точности) нормы границ составляющих погрешностей эталонов по ГОСТ 8.381 при этом используют для оценки неопределенности результатов измерений.

Калибровочные и измерительные возможности национальных метрологических институтов по

Приложению С Договоренности (Соглашения) [3] представляют с указанием неопределенности результатов измерений и коэффициента охвата. При этом обязательно приводят сведения о прослеживаемости передачи соответствующей шкалы измерений или размера единицы измерений.

В аттестованных методиках измерений (МВИ) устанавливают совокупность операций и правил, выполнение которых обеспечивает получение результата измерения с погрешностью, не превышающей допустимых пределов (норм погрешности измерений). В таких МВИ рекомендуется использовать понятие «погрешность» в виде нормативных пределов погрешностей. Результаты измерения по этим МВИ не требуется сопровождать конкретной характеристикой точности.

Результаты измерения по МВИ, характеристики точности которых определяют в процессе или после их применения, рекомендуется сопровождать оценками неопределенности измерения. Оснований для оперирования погрешностью в таких случаях нет.

При калибровке средств измерений устанавливают при определенных условиях соотношение между значением величины по показаниям средства измерений и соответствующим значениям, реализуемым с помощью эталона. По результатам калибровки могут быть внесены поправки к показаниям средств измерений или уточнены реализуемые средствами измерений значения. Характеристикой точности калибровки может быть только неопределенность, так же как и указано в Приложении С к Соглашению [3]. Это относится и к результатам градуировки средств измерений в процессе калибровки. Необходимо иметь в виду различие смысла терминов «калибровка» и «поверка» (verification — подтверждение соответствия). Калибровка не является процедурой подтверждения соответствия.

Нормирование метрологических характеристик средств измерений осуществляют, оперируя понятием «погрешность» и, руководствуясь ГОСТ 8.401 и ГОСТ 8.009. При этом характеристики погрешности используют как пределы допустимых погрешностей средств измерений данного типа.

Поверка средств измерений (verification) – установление пригодности средств измерений (СИ) к применению на основании экспериментального определения метрологических характеристик и подтверждения их соответствия установленным требованиям. При поверке используют эталоны и оперируют установленными для средств измерений нормами пределов характеристик их погрешностей. Поэтому в методиках поверки допускается указывать, в каком соотношении должны находиться расширенная неопределенность измерений при поверке и нормы допустимых пределов погрешностей средств измерений данного утвержденного типа, а

таже критерии годности средств измерений с учетом неопределенности измерений при поверке по вариантам а), б) и в) (см. приложение А).

При построении поверочных схем по ГОСТ 8.061 рекомендуется характеризовать неопределенностью результаты измерений при передаче размеров единиц. Нормы пределов погрешностей воспроизведения единиц и методы поверки также рекомендуется устанавливать с учетом расширенной неопределенности соответствующих измерений.

В [4] применено понятие «неопределенность 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 неопределенностей, оцененных по типу А и по типу В. Например, если расширенная неопределенность измерений при поверке (с коэффициентом охвата 2) не превышает 1/3 пределов допускаемой погрешности, то неопределенностью пренебрегают. Другие возможные варианты критериев годности средства измерений по результатам поверки: оцененная погрешность СИ не превышает разность нормы погрешности и расширенной неопределенности измерения при поверке; оцененная погрешность СИ не превышает квадратного корня из разности квадратов нормы погрешности и расширенной неопределенности измерения при поверке. Такие критерии годности можно применить, в частности, при поверке СИ, представляющих собой меры, для которых нормой погрешности является «разность между номинальными значениями мер и действительными значениями воспроизводимых ими величин». Смысл учета неопределенности при поверке поясняется схемой на рис. 1, где X_d – опорное (действительное) значение (эталона); X_n – показания поверяемого прибора (номинальные значения); Δ_n , Δ_b – нижний и верхний пределы допускаемой погрешности по нормативному документу на поверяемое средство измерений (обычно $\Delta_n = \Delta_b = \Delta$); U – расширенная неопределенность.

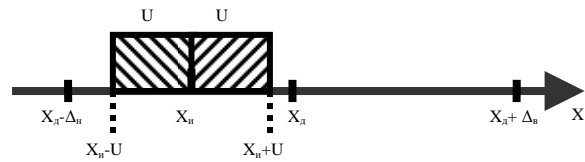


Рис. 1. Схема учета неопределенности

Приведенные здесь варианты поясняют принципы совместного использования понятий «погрешность» и «неопределенность», но не являются преимущественно рекомендуемыми и не охватывают всего многообразия возможных ситуаций.

Общая рекомендация. Из рассмотренных метрологических ситуаций можно предложить общее правило: результаты измерений в большинстве метрологических ситуаций характеризуются неопределенностью, а нормативы точности средств измерений, измерительных и контрольных процедур характеризуются погрешностью.

Таким образом, понятия «неопределенность» и «погрешность» рекомендуется гармонично использовать без взаимного противопоставления и исключения одного из них.

Сп, сокял, тературыя

1. ISO/IEC Guide 98:1995 (Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM)).

2. Vocabulary OIML V 2–200 Edition 2007 (E/F) (International vocabulary of metrology – Basic and general concepts and associated terms (VIM)).

3. Mutual recognition of national measurement standards and of calibration and measurement certificates issued by national metrology institutes, Paris, 14 October 1999).

4. International Document OIML D 8, Edition 2004) Measurement standards. Choice, recognition, use, conservation and documentation.

Поступила в редколлегию 14.07.2009

Рецензент: д-р техн. наук, проф. И.П. Захаров, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков.

ПРЕЗЕНТАЦІЯ РОЗГОМІРЮВАННЯ ПОНЯТЬ «ПОХИБКА ВИМІРЮВАННЯ» І «НЕВИЗНАЧЕНІСТЬ ВИМІРЮВАННЯ» ЗАГАЛЬНІ ПРИНЦИПИ

А.С. Дойніков

Рекомендації по міждержавній стандартизації містять основні принципи несуперечливого вживання понять «похибка вимірювання» і «невизначеність вимірювання» і похідних від них понять, що рекомендуються для використання при розробці нормативних документів по різних метрологічних завданнях.

Ключові слова: метрологія, похибка, опорне значення величини, невизначеність, результат вимірювань, звірення еталонів, методика вимірювань, калібрування, повірка, повірочна схема.

PRESENTATION OF THE CONCEPTS OF «MEASURING ERROR» AND «MEASURING UNCERTAINTY» GENERAL PRINCIPLES

A.S. Doynikov

Recommendations on intergovernmental standardization contain basic principles of nonconflicting application of concepts «measuring error» and «measuring uncertainty» and derivative from these concepts recommended for using during development of normative documents on different metrology tasks.

Keywords: metrology, error, supporting value of quantity, uncertainty, measurement result, collation of standards, measurement method, calibration, check, test chart.