

Сулаберидзе В.Ш.

Проблема погрешности и неопределенности измерения

АННОТАЦИЯ

В статье рассмотрены проблемы, связанные с введением международными нормативными документами понятия «неопределенность измерения», его место в метрологической практике и связь с понятием «погрешность измерения». Указано на несоответствия, встречающиеся в Руководстве по выражению неопределенности измерения, выпущенном под эгидой ИСО. Даны рекомендации по определению границ применимости обоих понятий, целесообразности их использования в разных случаях измерений, а также даны пояснения по применению и изложению материала в учебных дисциплине «Метрология, стандартизация и сертификация».

Sulaberidze V.SH.

The problem of the uncertainty and error of the measurement

ABSTRACT

In article are considered problems, connected with introduction in International normative documents the concept of “uncertainty of the measurement”, is discussed its place in metrological practice and relationship with the concept of “error of the measurement”. It is specified on discrepancies in “Guide to the expression of uncertainty in measurement”, released by ISO. Recommendations are given on determination of applications both concepts, their use in different events of the measurements, as well as are given explanations on their using and interpretation in discipline “Metrology, standardization and certification”.

Проблема погрешности и неопределенности измерения

В.Ш. Сулаберидзе

Введение

Обще профессиональная дисциплина «Метрология, стандартизация и сертификация» является Федеральным компонентом в Государственных образовательных стандартах (ГОС) практически всех технических специальностей. И сама дисциплина, и ее описания в ГОС в значительной мере устарели. Объясняется это радикальными изменениями, произошедшими в области стандартизации и оценки соответствия в Российской Федерации за последние годы. Главной причиной этих изменений явилось принятие и введение в действие Федерального закона «О техническом регулировании» от 27.12.2002 года № 184-ФЗ (в редакции Федеральных законов от 09.05.2005 № 45-ФЗ, от 01.05.2007 № 65-ФЗ, от 01.12.2007 № 309-ФЗ, от 18.07.2009 № 189-ФЗ).

В части дисциплины, относящейся к метрологии, изменения также весьма существенны:

- введен в действие новый Федеральный закон «Об обеспечении единства измерений» от 26.06.2008 года № 102-ФЗ;
- все шире в практику метрологических работ внедряются нормативные документы (НД), в которых результаты измерений описываются в концепции «неопределенности», а не «погрешности» измерений.

Именно последнее из перечисленных нововведений и является наиболее сложной проблемой, в том числе и с точки зрения ее преподавания. В действующих отечественных и международных НД описаны подходы, основанные как на неопределенности, так и на погрешности измерений. Отечественные метрологи не пришли к единому пониманию и согласованному применению двух этих понятий. Это, в частности, находит отражение в некоторой несогласованности вновь внедряемых в РФ стандартов. Кроме того, в настоящее время издается учебная литература, вводящая в заблуждение читателей неверным толкованием неопределенности измерения. Встречаются даже приблизительно такие «откровения»: погрешность, дескать, устарела и не соответствует требованиям современной науки и технологий, а вот неопределенность – качественно новое понятие, открывающее возможности по невиданному развитию измерений в науке, промышленности и торговле. Допускать подобные глупости в учебной литературе никак нельзя!

Увы, но неоднозначное понимание неопределенности измерений будет сохраняться еще некоторое время, возможно даже весьма продолжительное. Именно поэтому необходимо внимательное изучение сходства и различий двух упомянутых подходов к оцениванию и представлению результата измерения. Этому и посвящена настоящая статья.

1. История вопроса

В 1977 году Международный Комитет Мер и Весов (МКМВ) обратился к Международному Бюро Мер и Весов (МБМВ) с просьбой рассмотреть совместно с Национальными Метрологическими Лабораториями (НМЛ) проблему разработки общего для применения в международном масштабе метода (методики) выражения неопределенностей измерения (*expression of experimental uncertainties*). МБМВ подготовило подробную анкету по этой проблеме и разослало ее в 32 НМЛ. На анкету были получены ответы из 21 НМЛ. Признавая, в общем, актуальность разработки общепринятой методики оценки и выражения неопределенности (полной, общей или суммарной) измерения, НМЛ, тем не менее, не достигли консенсуса. А в подобных случаях, между прочим, достижение консенсуса всех заинтересованных сторон – важнейшее условие принятия распространяющегося на эти стороны документа. На организованной МБМВ встрече присутствовали представители 11 НМЛ. Была образована рабочая группа, которая подготовила Рекомендации по выражению неопределенности измерения –

INC-1:1980. В дальнейшем МКМВ на основе этой Рекомендации дважды, на 70-й и 75-й сессиях, принял по этой проблеме собственные Рекомендации: IC – 1981 и IC – 1986.

В последующем МКМВ передал задачу разработки подробного Руководства по выражению неопределенности измерений Международной организации по стандартизации ИСО, как организации, имеющей большой опыт разработки и внедрения документов в интересах международной промышленности и торговли. Ответственность за работу была возложена на Техническую консультативную группу ИСО – TAG 4, в работе которой принимали участие несколько международных организаций, таких как Международная Электротехническая Комиссия (МЭК), Международная Организация Законодательной Метрологии (МОЗМ), и др. TAG 4, в свою очередь, учредил рабочую группу WG 3, состоящую из экспертов всех упомянутых международных организаций, включая МБМВ. Перед этой группой была поставлена задача «разработать руководящий документ, базирующийся на Рекомендациях Рабочей группы МБМВ по составлению отчета о неопределенностях, который давал бы правила выражения неопределенности измерения и использовался бы службами стандартизации, калибровки, аккредитации лабораторий и метрологии» (цитата из [1]). Поставленная задача была выполнена (насколько успешно – это второй вопрос) и свет увидело Руководство по выражению неопределенности измерения (GUM 1993), поддержанное и одобренное семью международными организациями, включая такие авторитетные, как МБМВ, ИСО, МЭК, МОЗМ. В последующих редакциях Руководства в 1995 и 2008 годах все упомянутые организации поставили на его титульном листе свои логотипы [2], обозначив тем самым свое официальное одобрение и собственные претензии на авторское право в отношении этого документа. В дальнейшем изложении, ссылаясь на этот документ, будем именовать его сокращенно – Руководство.

2. Цели разработки и области применения Руководства

Согласно GUM 1993 Руководство разрабатывалось в целях:

- обеспечить полную информацию о том, как составить отчеты о неопределенностях;
- предоставить основу для международного сличения результатов измерения.

Имеет смысл процитировать некоторые из многократно повторяющихся по тексту Руководства фраз относительно целей и областей его применения (табл. 1).

Таблица 1

Декларируемые цели Руководства

№ п	Цитата	Комментарий
0.1	...необходимо наличие простой в применении, понятной и общепризнанной методики для характеристики качества результата измерения, т.е. для оценки и выражения его неопределенности.	Процедура должна быть простой , а неопределенность характеризует качество результата измерения.
0.3	...единство в оценке и выражении неопределенности измерения обеспечило бы должное понимание и правильное использования широкого спектра результатов измерений в науке, технике, торговле, промышленности и регулирующих актах. В эру глобального рынка настоятельно необходимо, чтобы метод для оценки и выражения неопределенности был единым во всем мире так, чтобы измерения, проводимые в разных странах, можно было легко сличать.	Процедура должна облегчить сличение результатов измерений , производимых во всем мире.
1.1	...принципы данного Руководства предназначены для использования в широком спектре измерений, включая те, которые требуются для: - ...контроля качества и обеспечения качества в процессе производства; - согласованности...законов и регулирующих актов; - проведения фундаментальных и прикладных исследований и разработок в науке и технике;	Это значительное расширение первоначальной цели метода выражения неопределенности и собственно Руководства.

№ п	Цитата	Комментарий
	- ...обеспечения единства измерений по национальным эталонам; - разработки, поддержания и сличения международных и национальных эталонов единиц физических величин, включая стандартные образцы свойств веществ и материалов.	
1.3	Руководство также применяется для оценивания и выражения неопределенности, связанной с концептуальным расчетом и теоретическим анализом экспериментов, методов измерения...	
1.4	...в нем (в Руководстве) не обсуждается вопрос о том, как неопределенность конкретного результата измерения ...может быть использована ...чтобы сделать выводы о совместимости этого результата с другими аналогичными ...для установления пределов на допуск в технологическом процессе...	Это противоречит п. 1.1.
1.4 Примечание	Могут встречаться ситуации, в которых концепция неопределенности измерения не полностью применима, например, когда точность метода испытаний определена.	Здесь идет ссылка на ISO 5725:1986. В РФ введены стандарты серии ГОСТ Р ИСО 5725. О них мы поговорим позже.
A.2	Международный комитет мер и весов ...рекомендует ...чтобы МБМВ предприняло все усилия для применения принципов, заложенных в этих предложениях, к международным сличениям, которые будут проводиться при его содействии в будущем	См. комментарий к п. 0.3.

Как видно из таблицы, даже в самом Руководстве изложены противоречивые цели его создания. Причем, просматривается желание расширить первоначальные цели и области применения Руководства. Оправдано ли это, в какой мере обосновано и целесообразно, обсудим в последующих разделах.

3. Внутренние несоответствия Руководства

Руководство, наряду с Рекомендацией МБМВ 1980 года, является первоисточником, в котором описана концепция неопределенности и даны рекомендации по ее применению на практике. Именно поэтому для понимания исходных положений концепции желательно внимательно изучить и проанализировать текст Руководства. Сразу следует сказать, что Руководство производит неоднозначное впечатление, как в своих концептуальных, так и в прикладных и практических разделах. В нем в изобилии встречаются: внутренние противоречия и несоответствия, умозрительные рассуждения, слабо увязывающиеся с представлениями о научном подходе, банальности и другие «качества», ставящие под сомнение проработанность этого документа, претендующего на статус концепции, и даже, что уж совсем нескромно, на статус теории. При чтении Руководства возникает ощущение, что его различные разделы написаны разными авторами, которым по какой-то причине не удалось полностью согласовать свои тексты. Основные «достижения» указанного выше плана выписаны и прокомментированы в табл. А.1. Чтобы не усложнять чтение статьи, таблица помещена в конце, в виде приложения А.

Цитаты в табл. А.1 иллюстрируют уровень имеющихся в Руководстве обоснований и «рассуждений», читая которые поневоле сравниваешь авторов этого труда с виртуозом безупречных логических выводов Г.В. Плехановым, написавшим как-то, правда, про других авторов, фразу: «подобного рода объяснения ровно ничего не объясняют».

К этому следует добавить, что в Руководстве в изобилии встречаются отрывки, содержащие откровенные банальности (3.4.1; 3.4.8), а также не подлежащие уяснению высказывания (0.4, последний абзац; 0.5; 1.3; 3.3.3, примечание; F.1.1.1; F.1.1.2), и просто глупости, изложенные в стиле так называемого «словесного недержания» (7.1.4, последний абзац; 7.2.1).

В качестве образцов приведем всего две цитаты:

Из 1.3. «Так как результат измерения и его неопределенность могут быть умозраительными и полностью основанными на гипотетических данных, то термин «результат измерения», используемый в этом Руководстве, следует толковать в этом более широком контексте.» А всего-то ведь хотели сказать что-то про косвенные измерения, о которых мы давно все знаем и так, без всякого расширения контекста.

Из F.1.1.1. «...неправильно подразумевается, что их (неопределенности) можно оценивать простым применением статистических формул к наблюдениям и что для их оценки не требуется применения какого-либо суждения». Судите сами о строгости суждений и доказательствах.

Похоже, что авторам приходилось неоднократно сталкиваться с недоумением метрологов, поэтому в разных местах Руководства можно встретить сетования на то, что многие «не правильно понимают», «иногда путают» и т.д.

Короче говоря, вся «теория неопределенности» построена на многословных описаниях различий между погрешностью и неопределенностью, и, в то же время, весь вычислительный аппарат и методы доказательств заимствованы именно из теории погрешности. Более того, «рассуждения» авторов Руководства относительно неопределимости понятий «истинное значение величины», «погрешность измерения» и всего того, что касается получения, обработки и представления результата измерения, хорошо известны любому квалифицированному метрологу, изучавшему «устаревшие» теорию измерений и теорию погрешности измерений.

Кстати, в «Большой энциклопедии Кирилла и Мефодия» теория определена как «система основных идей в той или иной отрасли знания, форма научного знания, дающая целостное представление о закономерностях и существенных связях действительности». Если иметь в виду прикладную теорию в конкретной (узкой) области, то имеет смысл сделать некоторые уточнения, а именно: В прикладной теории должны быть сформулированы: предмет, объект и цель. Она должна обладать научными методами и средствами исследований объекта и доказательств правомерности основных положений, в том числе и методами, заимствованными из других научных отраслей. Теория должна соответствовать принципам корректности, адекватности и перспективности. С первого же взгляда ясно, что «рассуждения», приводимые в Руководстве, никак не могут претендовать на статус теории.

Тем не менее, Руководство по выражению неопределенности измерения рекомендовано упомянутыми в начале статьи международными организациями к повсеместному внедрению в практику измерений. Более того, вошедшие во вкус авторы, продолжают разрабатывать все новые и новые документы на эту тему (под шифром JCGM), конечная цель которых – заменить повсеместно «погрешность» (error) на «неопределенность» (uncertainty). В разрабатываемом в настоящее время документе JCGM 105 нас, по-видимому, снова ждут знакомые «откровения» на тему «Концептуальные и базовые принципы» - это рабочее название документа.

Как все это отражается во вновь вводимых в Российской Федерации НД, рассмотрим в следующем разделе.

4. Отражение проблемы в нормативной и технической литературе и практике измерений

Как уже отмечалось ранее, в действующих и вновь принимаемых отечественных НД отсутствует согласованный подход к применению концепции неопределенности измерения. Достаточно сравнить стандарты [3 - 12], чтобы в этом убедиться.

В стандарте ГОСТ 8.009-84 (2003) [11] в качестве нормируемых метрологических характеристик средств измерений указываются погрешности и отсутствуют неопределенности измерений. Та же картина наблюдается и во множестве других стандартов, например, в ГОСТ Р 8.618-2006 [12].

В стандарте ГОСТ Р ИСО/МЭК 17025-2006 [9] во Введении имеется пояснение: «...понятие «характеристика погрешности», близкое по смыслу к понятию «неопределен-

ность!»! В то же время, п.5.10.4.1 этого стандарта требует, чтобы сертификаты калибровки (в данном случае – поверки), «если это необходимо для толкования результатов калибровки», включали в себя «неопределенность измерения и/или указание о соответствии установленным метрологическим требованиям», а также «доказательства того, что результаты измерений прослеживаются». Таким образом, в национальном стандарте РФ, введенном методом прямого применения международного, отсутствует категорическое требование вычисления неопределенности как единственно возможного способа доказательств выполнения требований к измерениям. Что касается оценки и сравнения качества измерений в различных испытательных и калибровочных лабораториях, то здесь правильнее ориентироваться на стандарты ГОСТ Р ИСО 5725-2002 [7], поскольку они предназначены и для этого. Но, кроме того, именно этими НД в отечественную метрологическую практику вводятся понятия: точность (accuracy), правильность (trueness), повторяемость (repeatability) и воспроизводимость (reproducibility) методов и результатов измерений, а также термин «принятое опорное значение» физической величины.

Если иметь в виду измерительные (калибровочные) лаборатории, то оценки их уровня основываются, как правило, на результатах взаимных сличений. Для доказательства своего высокого уровня лаборатория должна обладать эталонами, прослеживаемыми с эталонами других лабораторий и, что самое главное, с первичными эталонами физических величин. Кроме того, результаты измерения значения известной величины (истинное, действительное или принятое опорное) должны находиться в пределах допускаемых отклонений. Например, в случае, когда несколько лабораторий проводят измерения на одном и том же эталоне, важно, чтобы результат, полученный в конкретной лаборатории, отличался от среднего по всем лабораториям в допускаемых пределах. Но в этом случае о качестве измерений в этой лаборатории свидетельствует не рассеяние результатов собственных измерений, а отклонение от принятого опорного значения. А это есть характеристика, которая называется воспроизводимостью.

Кстати сказать, применение термина «принятое опорное значение» в качестве аналога «истинного» или «действительного» полностью устраняет то кажущееся противоречие, которое якобы и послужило причиной разработки авторами Руководства «новой теории» неопределенности измерения взамен «устаревшей» теории погрешности.

Цена вопроса легко определяется численными примерами, во множестве содержащимися в [1, 2, 3, 6]. Из этих примеров следует, что стандартная неопределенность по типу А не отличается от СКО случайной составляющей погрешности, если в вычислениях не допущены ошибки, а суммарная и расширенная неопределенность отличается от доверительной погрешности лишь тогда, когда стандартная неопределенность по типу В равна или больше стандартной неопределенности по типу А. Да и то эта разница находится в пределах 1 – 3% [3]. В терминах погрешности результата измерений такое соотношение неопределенностей по типу А и В означает преобладание систематической составляющей погрешности. Подобная ситуация не характерна для случаев применения рабочих средств измерений, а возникает лишь в измерениях на эталонном уровне. Это подтверждает и новый национальный стандарт РФ по поверочной схеме для средств измерения температуры [10]. В нем стандартные неопределенности по типу А и В вычислены только для первичного эталона. На всех остальных ступенях передачи размера единицы температуры по шкале МТШ 90 рабочим средствам измерений приведены только доверительные границы погрешности.

Таким образом, крылатое выражение «гора родила мышь» представляется здесь вполне уместным.

Необходимо подчеркнуть, что в отечественных НД [3, 6] приводятся таблицы соответствия и варианты схем вычисления неопределенностей (стандартной, суммарной и расширенной) по известным значениям составляющих погрешности измерений. Наличие таких схем позволяет без труда выражать результат измерения в терминах погрешности или неопределенности измерения, не отвергая при этом ни того ни другого подхода. Рекомендации по вычислению неопределенности измерения с использованием упомянутых схем содержатся и в таких отечественных стандартах, в которых значительное внимание уделено неопределенно-

сти измерения, например, в ГОСТ Р 8.624-2006 [8]. Более того, в этом же стандарте в разделе, содержащем требования к измерительной аппаратуре при поверке, в разных случаях приводятся и значения неопределенности и значения погрешности измерения.

Что до отражения обсуждаемой проблемы в отечественной технической и учебной литературе, то чтение разделов, посвященных неопределенности измерения, как правило, никаких чувств, кроме огорчения не вызывает (ссылок делать не будем). Не встречается и однозначного и единодушного отношения к неопределенности измерения, в особенности в масштабах «теории», и в книгах, выходящих в солидных зарубежных изданиях и переведенных на русский язык. Например, в справочнике [13] в отдельном подразделе приведены выдержки из Руководства, а метрологические характеристики упоминаемых в справочнике датчиков приводятся в терминах погрешности измерения. В нем же, в порядке пояснения различий между погрешностью и неопределенностью, приведены цитаты из Руководства, описывающие случаи «большой неопределенности» измерения при «малой погрешности».

Что же имеется в виду, когда приводится пример «малой» погрешности при «большой» неопределенности? Имеется в виду следующее: При многократных равнооточных и независимых наблюдениях результат измерения выражается в виде среднего арифметического значения выборки и параметра рассеяния результатов наблюдений. При этом среднее арифметическое является несмещенной и состоятельной оценкой математического ожидания бесконечного распределения непрерывной случайной величины. Следовательно, искомое значение измеряемой величины и ее оценка по среднему арифметическому результату многократных измерений различаются незначительно (рис. 1а). Это и есть «малая» погрешность. В то же время, рассеяние результатов единичных измерений довольно велико. Оно характеризуется эмпирической оценкой СКО распределения. Суждение о законе распределения случайной величины, каковой является результат единичного измерения, всегда можно вынести, прибегая к известным методам. Обсуждать их здесь нет смысла. Важно убедиться в том, что значения эмпирических оценок характеризуют параметры генеральной совокупности с достаточной точностью. Таким образом, случай «малой» погрешности и «большой» неопределенности означает, что среднее арифметическое значение не смещено относительно искомого значения величины или смещено в пределах СКО среднего и искомого значений величины. СКО искомого значения величины может быть известно, например, из результатов сличения с эталоном или применения средств измерений более высокой точности. Для результата единичного измерения СКО распределения значительно больше (ровно в $n^{1/2}$ раз). Это и называют авторы Руководства «большой» неопределенностью. На самом деле это погрешность результата единичного измерения. Так что этот случай не дает никаких аргументов в пользу неопределенности. Другой случай, когда среднее арифметическое – смещенная оценка, то есть, имеется неучтенная составляющая систематической погрешности. Причем это смещение существенно на фоне рассеяния результатов единичных наблюдений (рис. 1б).

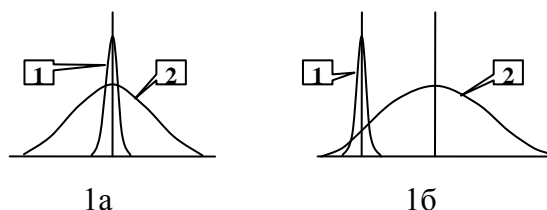


Рис.1 Иллюстрация возможных соотношений распределений искомого (1) и измеренных (2) значений величины

В этом случае мы не можем назвать разницу между искомым значением величины и средним значением многократного измерения погрешностью, поскольку среднее значение является лишь наиболее вероятным для данной выборки. Причем, чем больше рассеяние результатов единичных наблюдений, тем меньше вероятность реализации в произвольном измерении этого среднего значения. В этом случае уместно было бы говорить о неопределенности измерения, если она включает в себя рассеяние результатов наблюдений и смещение

относительно искомого значения, которое, хотим мы того или нет, все равно в природе существует, пусть даже оно нам в данный момент неизвестно.

В Руководстве неоднократно указывается на два разных варианта: 1 – когда измеряемая величина известна и имеет единственное значение и 2 – когда она неизвестна и может быть выражена набором значений. Второй вариант в основном является следствием «неполно определенной величины». Разберем их подробнее:

Все случаи определения значения величины, когда соблюдаются правила обеспечения единства измерений, следует относить к первому варианту. А это – основное состояние измерительных и калибровочных лабораторий и вообще всех измерений величин, при которых подтверждается прослеживаемость применяемых средств измерений с первичными эталонами. Таким образом, в 1-м варианте параметром, характеризующим точность, должна быть погрешность измерения.

Второй вариант реализуется тогда, когда оцениваемый параметр неизвестен и не может быть охарактеризован единственным значением величины, характерен для огромной области связанной с измерениями деятельности, которая включает в себя испытания и контроль. Эта деятельность скорее относится к испытательным, а не калибровочным лабораториям. В определительных или контрольных испытаниях конкретное значение определяемого параметра относится к конкретному образцу, т.е. в каждом новом испытании измеряется другое значение величины. Предположим, что проводятся испытания на надежность. Оценивается, например, показатель надежности – время наработки до отказа. При точечном оценивании этого показателя определяется значение среднего (по выборке) времени наработки до отказа, которое и характеризует партию в целом, и его рассеяние (СКО точечной оценки). Это, казалось бы, идеальный случай для применения концепции неопределенности измерения. Но, именно в этом случае более информативной и представительной является не точечная, а интервальная оценка показателя надежности. Именно оценка минимального среднего значения наработки до отказа при заданном уровне доверия более полезна для оценивания надежности изделий данной партии, чем среднее значение, приведенное, к тому же, с большим разбросом. Таким образом, в этом случае, если говорить в терминах концепции неопределенности, следует вычислять расширенную неопределенность. А вот авторы Руководства считают, что основной характеристикой качества измерений должна быть суммарная неопределенность, а расширенная вычисляется в редких случаях. Следовательно, и в этой сфере измерений рекомендации Руководства противоречат практике. А, надо сказать, что теория надежности, не смотря на сложность и деликатность обоснований ее основных положений, является одной из самых проработанных прикладных наук.

В монографии [14] неопределенность измерения вообще не упоминается. И, в то же время, в описании правил суммирования погрешностей при косвенных измерениях употребляется термин «правило распространения погрешности». В книге авторитетного за рубежом автора [15], опубликованной до появления Руководства (5-е издание вышло в Берлине в 1989 году), встречается термин «закон распространения погрешности» и несколько абзацев посвящено обсуждению проблемы неопределимости понятия истинное значение величины. Там же (п. 1.2.2) указано, что поскольку истинное значение является идеализированным, можно сказать – теоретическим понятием, то в практике измерений при оценивании погрешности измерения оно заменяется на реально обнаруживаемую и измеряемую величину. Кстати, если вместо фразы «погрешность равна разнице между истинным и измеренным значениями величины» записать: «результат измерения содержит в себе истинное (действительное, принятое по соглашению) значение величины и погрешность измерения», то, может быть, путаницы и не было бы.

Особо следует упомянуть международные словари, такие как VIM-3 [16] и ИЕС 60050 [17]. Не смотря на серьезное «лоббирование» неопределенности измерения, в международном словаре по метрологии VIM-3, при введении в него терминов, связанных с неопределенностью измерения, сохранены и термины, относящиеся к погрешности измерений. Это правильно, потому что если содержание международного словаря будет изменяться в интересах

ограниченного круга лиц, он перестанет быть международным и общепризнанным. Полезно в контексте обсуждаемой проблемы привести несколько цитат из VIM-3 и IEC 60050:

В примечании 2 к п. 2.11 VIM-3 читаем: «в случаях фундаментальных констант признается существование единственного истинного значения величины» - это к вопросу о познаваемости и непознаваемости. В примечании 3 к этому же пункту написано: «когда неопределенность определения измеряемой величины (т.е. по определению) значительно меньше других компонент неопределенности измерения, тогда измеряемая величина может рассматриваться как по существу уникальное (единственное) истинное значение (essentially unique true value)». Это не смотря на то, что в Руководстве упоминание термина «истинное значение» признано излишним, а применение термина «погрешность» «абсолютно ненужным» (см. табл. А.1).

В п. 2.12 VIM-3 «принятое по соглашению значение величины» (conventional quantity value) названо эквивалентом «истинного значения», которое определено с неопределенностью, стремящейся к нулю. Это согласуется с высказанной выше идеей относительно применения термина «принятое опорное значение». В словаре IEC 60050, п.3 – 01 – 05 абсолютная погрешность определена как алгебраическая разность между измеренным значением и «сравнимым значением», которое заменяет «истинное значение», но поскольку последнее – понятие неопределимое, то его роль выполняет «принятое по соглашению значение величины».

Кстати, в п. 2.16 VIM-3 погрешность определена как разность между измеренным и эталонным значениями величины (reference quantity value).

Терминология, применяемая в обоих этих словарях, убеждает нас в том, что проблема неопределимости «истинного значения» и «погрешности измерения» разрешается совершенно просто на уровне согласования терминов и не требует разработки для этого новых теорий, даже если это «теория неопределенности измерения». Термины, заменяющие истинное значение величины, могут быть различными в разных случаях. Например, действительное значение величины представляется уместным применять в эталонных измерениях и при проверке средств измерений, принятое опорное или принятое по соглашению – при межлабораторных сличениях и т.д.

Можно было бы привести и другие примеры, но они не добавят ясности в обсуждаемой проблеме. Это и понятно, поскольку никаких солидных публикаций, развивающих «концепцию» и, тем более, «теорию» неопределенности измерения, кроме уже известных и планируемых к выпуску «произведений» авторов Руководства, найти не удастся.

Согласитесь, что складывается весьма запутанная картина. Попытке прояснить ее, а также упорядочить наше восприятие двух «конкурирующих» концепций посвящен следующий раздел.

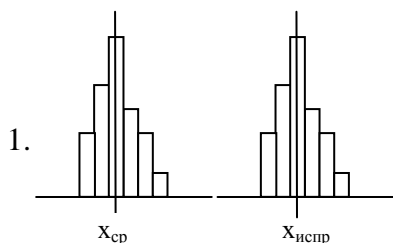
5. Краткое сопоставление концепций погрешности и неопределенности измерения

Было бы логично изложить концепцию неопределенности измерения, воспользовавшись Руководством. Однако это не так просто сделать, поскольку ее изложение в самом Руководстве довольно запутанное и многословное. А в подразделе 4.4, посвященном вычислению неопределенности, приведена «графическая иллюстрация оценивания стандартной неопределенности» при многократных наблюдениях, которая вообще не имеет ни одного отличия от оценивания случайной составляющей погрешности.

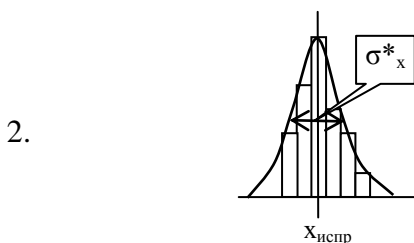
В Приложении D.1 к Руководству также предпринята попытка пояснить разницу между неопределенностью и погрешностью простым графическим способом. Однако, приведенное там графическое сравнение совершенно необъективно и предвзято. Во-первых, об этом можно судить даже по названиям рисунков: «концепция, основанная на наблюдаемых величинах» - это о неопределенности, и «концепция, основанная на непознаваемых величинах» - это уже о погрешности. Во-вторых, рисунок, иллюстрирующий оценивание погрешности, вообще не соответствует действительности, а напротив, ее искажает. Это уже обсуждалось выше при описании случая «малой» погрешности и «большой» неопределенности. По-

видимому, именно таким образом авторы Руководства решили подчеркнуть никчемность теории погрешности и продвинутость собственной концепции неопределенности. Ибо, глядя на рисунок D.1, даже простая домохозяйка должна сообразить, что погрешность – это что-то совершенно неудобоваримое. Однако, то, что изображено на рисунке как «неизвестная погрешность», таковой не является. Это уже обсуждалось выше и станет еще более понятно из нижеследующего.

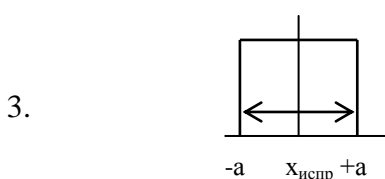
Схематично последовательность оценивания погрешности и представление результата измерения при неоднократных равноточных и независимых измерениях (наблюдениях), в отсутствие грубых промахов, а также дрейфа значения измеряемой величины, приведена ниже:



Вычисление среднего арифметического значения по n независимым равноточным наблюдениям, введение поправки (простой случай одинаковой систематической составляющей погрешности для всех наблюдений), получение исправленного среднего значения по выборке. Такой порядок действий не отрицается и в Руководстве.



Критериальная проверка закона распределения случайной величины - результата наблюдения, оценка дисперсии, среднеквадратического отклонения (СКО) результата единичного измерения и среднего значения по выборке. То же самое делается в Руководстве, с той лишь разницей, что погрешность именуется неопределенностью.



Критериальная проверка смещенности среднего (например, по критериям Аббе или Фишера), оценка неисключенной систематической составляющей погрешности и ее СКО, например, в предположении равномерного закона распределения: $\theta = a / \sqrt{3}$. Аналогично в Руководстве вычисляется стандартная неопределенность по типу В.

И далее:

4. Вычисление СКО суммарной погрешности, например, в виде геометрической суммы СКО случайной и систематической составляющих погрешности. Это эквивалентно процедуре вычисления суммарной неопределенности путем суммирования стандартных отклонений по типу А и типу В. Еще раз следует подчеркнуть, что весь без исключения математический аппарат при вычислениях неопределенностей заимствован из теории погрешности. Это очевидно любому грамотному метрологу, а не очень грамотный может в этом убедиться, заглянув в библиографию к Руководству.

5. Вычисление интервальных оценок случайной и неисключенной систематической составляющих погрешности для заданной доверительной вероятности, для оцененного или гипотетического закона распределения, от которого зависит квантильный множитель или, в рамках информационной теории измерений, энтропийный коэффициент, а также от числа степеней свободы (для систематической составляющей, еще и от числа этих составляющих). При интервальном оценивании погрешности и неизвестном законе распределения может применяться неравенство Чебышева, по которому, правда, получается заведомо консервативная оценка погрешности. Может быть, подобные консервативные оценки авторы Руководства и имеют в виду, когда пишут о «безопасных» значениях неопределенности?

6. Вычисление доверительного значения суммарной погрешности по доверительным значениям случайной и систематической составляющих погрешности. В теории погрешности результат измерения представляется в виде среднеарифметического значения (общеизвестно, что это несмещенная и состоятельная оценка) и границ суммарной погрешности, определенных при заданной доверительной вероятности. Это означает, что действительное (истинное, принятое опорное, принятое по соглашению и т.п.) значение величины находится в вычисленных границах с заданной вероятностью. Это несколько отличается от введенной Руководством

дством расширенной неопределенности. Расширенная неопределенность вычисляется по коэффициенту охвата, зависящего от доверительной вероятности и эффективного числа степеней свободы, и по суммарной неопределенности, которая, в свою очередь, вычисляется по стандартным отклонениям по типу А и В. Более серьезным представляется отличие, заключающееся в том, что теория погрешности математически обоснована значительно солиднее, чем концепция неопределенности измерения.

Таким образом, концепция неопределенности измерения не содержит ничего существенно нового по отношению к теории погрешности. Вся «новизна» концепции заключается практически лишь в замене термина «погрешность» на термин «неопределенность». Применение последнего оправдано только при полном отсутствии какой-либо возможности судить о значении измеряемой величины. Другими словами, когда отсутствует эталон или мера, нет поверенного средства измерений, хранящего или воспроизводящего единицу физической величины, невозможно применить хорошо известные методы исключения систематического смещения результата измерения: замещение, компенсация, рандомизация и др. В терминах Руководства такая ситуация характеризуется как «неполное определение измеряемой величины» (см. табл. А.1). В Руководстве, кстати, утверждается, что полное определение измеряемой величины возможно лишь при бесконечном числе наблюдений. С математической точки зрения это так. С практической же - существуют строго обоснованные методы доказательств представительности выборки и соответствия оцениваемых по ней параметров аналогичным параметрам генеральной совокупности. Игнорировать это – значит пренебречь давно разработанными методами математической статистики. Стоит ли это делать только ради изобретения «новой» теории? Вряд ли.

Как только авторы Руководства упускают из вида первоначальную цель работы и любыми способами активно «продвигают» идею повсеместного и всеобщего применения неопределенности, становится очевидным, что «концепция неопределенности» создается ради существования собственно концепции, и больше не ради чего.

Как же относиться к неопределенности измерения и к ее месту в теоретической и практической метрологии, попробуем сформулировать в Заключении.

Заключение

В заключении, разумеется, выражено субъективное мнение автора, однако, оно сформировалось на основе анализа упомянутых и не упомянутых в статье публикаций и нормативных документов (www.iso.org; www.protect.gost.ru), а также в процессе дискуссий с коллегами (www.temperatures.ru). Итак:

1. Представляется целесообразным не отступать от первоначальной цели разработки Рекомендаций и Руководства по выражению неопределенности измерения и, следовательно, не расширять область ее применения и не переоценивать тем самым ее значение в теории измерений. В таком случае отпадает необходимость в необоснованной повсеместной замене понятия погрешность на неопределенность. Применение понятия «принятое опорное значение» или иного, аналогичного ему, вообще превращает концепцию неопределенности в надуманную проблему. Однако, в качестве «простой в применении, понятной и общепризнанной методики для характеристики качества результата измерения» она вполне приемлема. Именно в этом качестве она и должна существовать.

2. Следует четко определить (точнее – ограничить) условия применимости подхода к представлению результата измерения, основанного на неопределенности. С одной стороны, как это отмечается в Руководстве, неопределенность (но не погрешность) измерения характеризует результат измерения в условиях «неполного определения» величины или невозможности применения эталонов или более точных средств измерений для калибровки применяемого средства измерений. Но, с другой стороны, эти условия, как правило, совпадают с применением средств измерений, в которых оцениваемая статистическим методом случайная составляющая (или неопределенность по типу А) превосходит составляющую, оцениваемую иными методами (неопределенность по типу В). А именно в таких условиях нет никакой

разницы между численными оценками погрешности и неопределенности! Напротив, разница в численных оценках погрешности и неопределенности возникает в точно противоположных условиях! Рациональным в сложившейся ситуации представляется такое предложение: В эталонных измерениях с высокими показателями точности (эквивалентно тому, что $A < B$) оценивать и погрешность и неопределенность измерения, а в менее точных измерениях (эквивалентно тому, что $A > B$) оценивать такие составляющие погрешности измерения, по которым, при необходимости, легко вычислить стандартные неопределенности. Вычисление неопределенности при этом производится исключительно с целью, указанной в п.1 Заключения.

3. Наиболее полные практические рекомендации по вычислению неопределенности измерения на основе оценок погрешности содержатся в Рекомендациях по метрологии [3]. По мнению автора, именно эти Рекомендации следует применять во всех случаях, когда необходимо представить результат в терминах неопределенности измерения. Это будет способствовать устранению условий для непонимания и путаницы и, что самое главное, сделает совершенно ненужными дальнейшие усилия по разработке «теории неопределенности», что приведет к значительной экономии средств налогоплательщиков во всем мире.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Руководство по выражению неопределенности измерения. Первая редакция ИСО 1993 г. Перевод и публикация ГП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева». Санкт-Петербург, 1999 г.
2. JCGM 100:2008 Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurement. Geneva, 2008.
3. РМГ 43-2001 ГСОЕИ. Применение «Руководства по выражению неопределенности измерений».
4. ГОСТ Р 50779.10-2000 (ИСО 3534.1-93) Статистические методы. Вероятность и основы статистики. Термины и определения.
5. РМГ 29-99 ГСОЕИ. Метрология. Основные термины и определения.
6. Р 50.2.038-2004 ГСОЕИ. Измерения прямые однократные. Оценивание погрешностей и неопределенности результата измерений.
7. ГОСТ Р ИСО 5725-1-2002 Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Основные положения и определения.
8. ГОСТ Р 8.624-2006 ГСОЕИ. Термометры сопротивления из платины, меди и никеля. Методика поверки.
9. ГОСТ Р ИСО/МЭК 17025-2006 Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий.
10. ГОСТ Р 8.558-2008 ГСОЕИ. Государственная поверочная схема для средств измерений температуры.
11. ГОСТ 8.009-84 (2003) ГСОЕИ. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений.
12. ГОСТ Р 8.618-2006 ГСОЕИ. Государственная поверочная схема для средств измерений объемного и массового расходов газа.
13. Дж. Фрайден. Современные датчики. Справочник. Москва: Техносфера, 2005.
14. К.Б. Клаассен. Основы измерений. Электронные методы и приборы в измерительной технике. Москва: Постмаркет, 2000.
15. Х. Харт. Введение в измерительную технику. М.: «Мир», 1999.
16. JCGM 200:2008 International vocabulary of basic and general terms in metrology VIM-3.
17. IEC 60050 International electrotechnical vocabulary.
18. Интернет сайты: iso.org; protect.gost.ru; temperatures.ru.