

**ВВЕДЕНИЕ
К «РУКОВОДСТВУ ПО ВЫРАЖЕНИЮ
НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ»
и сопутствующим документам
– ОЦЕНИВАНИЕ ДАННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ**

Санкт-Петербург
«Профессионал»
2011

В24 Введение к «Руководству по выражению неопределенности измерения» и сопутствующим документам. Оценивание данных измерений / Пер. с англ. под науч. ред. д.т.н., проф. В.А. Слаева, д.т.н. А.Г. Чуновкиной. — СПб.: «Профессионал», 2011. — 58 с.: ил.

В 1997 г. Объединенный Комитет по Руководствам в Метрологии (ОКРМ, JCGM), возглавляемый директором Международного Бюро Мер и Весов (МБМВ), был создан семью международными организациями, подготовившими первоначально в 1993 г. «Руководство по выражению неопределенности измерения» (GUM).

Объединенный комитет сформирован МБМВ совместно с Международной электротехнической комиссией, Международной федерацией клинической химии и лабораторной медицины, Международной кооперацией по аккредитации лабораторий, Международной организацией по стандартизации, Международным союзом по теоретической и прикладной химии, Международным союзом по теоретической и прикладной физике и Международной организацией по законодательной метрологии.

В рамках ОКРМ учреждены две Рабочие группы. Задачей Рабочей группы 1 «Выражение неопределенности в измерении» является содействие использованию GUM и подготовка Приложений и других документов для его более широкого применения.

В настоящее время выпущены и готовятся к выпуску следующие документы:

- ОКРМ 100 (ИСО/МЭК Guide 98-3:2008) Неопределенность измерения — Часть 3: Руководство по выражению неопределенности измерения (GUM:1995);

- ОКРМ 101 (ИСО/МЭК Guide 98-3:2008/Приложение 1:2008) Неопределенность измерения — Часть 3: Руководство по выражению неопределенности измерения (GUM:1995) — Приложение 1: Трансформирование распределений с использованием метода Монте-Карло;

- ОКРМ 104 (ИСО/МЭК Guide 98-1:2009) Неопределенность измерения — Часть 1: Введение в выражение неопределенности измерения.

В то же время готовятся к изданию следующие документы:

- ОКРМ 102 (ИСО/МЭК Guide 98-3:2008/Приложение 2) Неопределенность измерения — Часть 3: Руководство по выражению неопределенности измерения (GUM:1995) — Приложение 2: Модели с любым количеством выходных величин;

- ОКРМ 103 (ИСО/МЭК Guide 98-3:2008/Приложение 3) Неопределенность измерения — Часть 3: Руководство по выражению неопределенности измерения (GUM:1995) — Приложение 3: Моделирование;

- ОКРМ 105 (ИСО/МЭК Guide 98-2) Неопределенность измерения — Часть 2: Понятия и основные принципы;

- ОКРМ 106 (ИСО/МЭК Guide 98-4) Неопределенность измерения — Часть 4: Роль неопределенности измерения в оценке соответствия;

- ОКРМ 107 (ИСО/МЭК Guide 98-5) Неопределенность измерения — Часть 5: Применение метода наименьших квадратов.

Документы, подобные настоящему, имеют цель придать дополнительную значимость GUM, обеспечивая руководством по тем аспектам оценивания неопределенности, которые недостаточно четко трактуются в GUM. Однако данное Введение, как и другие упомянутые сопутствующие документы, насколько это возможно, твердо следует общей вероятностной основе GUM.

УДК 389

ISBN 978-5-91259-069-6

© ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева», 2011
© научн. ред. В.А. Слаев, А.Г. Чуновкина, 2011



Первое издание Июль 2009

© ОКРМ 2009 — Все права защищены



First edition July 2009

© JCGM 2009

Вниманию метрологов, приборостроителей, преподавателей высшей школы и специалистов в области оценивания результатов измерений, предлагается перевод документа JCGM 104:2009 Evaluation of measurement data — An introduction to the «Guide to the expression of uncertainty in measurement» and related documents. Этот документ является третьим в серии документов Объединенного комитета по руководствам в метрологии, посвященных проблеме оценивания данных измерений. Начало этой серии было положено выходом «Руководства по выражению неопределенности измерения» (JCGM 100:2008) и Приложения 1 к этому *Руководству* (JCGM 101:2008), касающегося трансформирования распределений с использованием метода Монте-Карло.

Процесс внедрения концепции неопределенности для выражения параметров точности измерений в отечественную метрологию сопровождался острыми дискуссиями о преимуществах и недостатках предлагаемого подхода по сравнению с традиционным, который основан на оценивании характеристик погрешности. Специалисты ВНИИМ им. Д.И. Менделеева последовательно проводят взвешенную политику в отношении развития и совершенствования методов оценивания результатов измерений, опираясь на достижения отечественной метрологической школы и учитывая задачи гармонизации отечественной нормативной базы с международной.

Введение в действие стандарта ISO/IEC 17025-99 «Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий» и подписание в 1999 г. директорами национальных метрологических институтов Договоренности о взаимном признании национальных эталонов, сертификатов калибровок и измерений, выдаваемых национальными метрологическими институтами, привело к существенному расширению сферы применения неопределенности измерений. Предпринятые попытки дополнить

документы, регламентирующие оценивание характеристик погрешности, вычислением неопределенности измерений вряд ли можно признать удачными. Разумной альтернативой такому подходу является создание сосуществующей системы документов по оцениванию неопределенности измерений. В этой связи представляется необходимым дать возможность отечественным специалистам ознакомиться на русском языке с основополагающими международными документами в области оценивания неопределенности.

В 1999 г. во ВНИИМ им. Д.И. Менделеева был выполнен и издан перевод *Руководства* на русский язык, а в 2010 г. — *Приложения 1 к Руководству*. По мнению переводчика и научных редакторов, предлагаемый вниманию читателей перевод *Введения* будет полезен как обзорный для всех сопутствующих документов.

Оригинал на английском и французском языках.

Сделана попытка осуществить, по возможности, аутентичный перевод международного документа с максимальным использованием устоявшейся русскоязычной метрологической терминологии.

Перевод осуществлен по разрешению Директора Международного Бюро Мер и Весов с соблюдением всех приведенных далее требований к переводам документов МБМВ на другой язык:

«Все разработки МБМВ имеют международную защиту авторских прав. Перевод данного документа был выполнен с разрешения МБМВ. Единственными официальными версиями являются оригинальные версии документов, опубликованные МБМВ» (All the BIPM's works are internationally protected by copyright. The only official versions are the original versions of the documents published by the BIPM).

Перевод выполнен в лаборатории теоретической метрологии ВНИИМ им. Д.И. Менделеева.

Переводчик Н.Д. Звягин.

Научные редакторы: д.т.н., проф. В.А. Слаев,
д.т.н. А.Г. Чуновкина

Санкт-Петербург, 2011

Авторскими правами на данный руководящий документ ОКРМ обладают совместно организации — члены ОКРМ (Международное бюро мер и весов, Международная электротехническая комиссия, Международная федерация клинической химии, Международная кооперация по аккредитации лабораторий, Международная организация по стандартизации, Международный союз по теоретической и прикладной химии, Международный союз по теоретической и прикладной физике и Международная организация по законодательной метрологии).

Авторские права

Имущественные и моральные авторские права, связанные со всеми публикациями ОКРМ, имеют международную защиту, даже если их электронные версии доступны бесплатно на веб-сайте одной или более организаций — членов ОКРМ. Без своего письменного разрешения ОКРМ не позволяет третьим сторонам перерабатывать или менять бренд изданий, продавать копии желающим, широко распространять или использовать в режиме он-лайн свои публикации. В равной степени ОКРМ возражает против извращения, добавления или искажения своих публикаций, включая их названия, слоганы, логотипы; это касается также публикаций его организаций — членов.

Официальные версии и переводы

Единственными официальными версиями документов являются версии, опубликованные ОКРМ, на их исходных языках.

Публикации ОКРМ могут быть переведены на языки, отличные от языков, на которых первично опубликованы документы ОКРМ. До того как перевод может быть осуществлен, должно быть получено разрешение от ОКРМ. Все переводы должны уважать оригинальный и официальный формат формул и единиц (без каких либо преобразований в другие формулы или единицы) и содержать следующее заявление (переведенное на выбранный язык):

Все разработки ОКРМ защищены международными авторскими правами. Данный перевод оригинального документа ОКРМ был осуществлен с разрешения от ОКРМ. ОКРМ сохраняет за собой все международно защищенные авторские права на дизайн и содержание данного документа и названия, слоганы и логотипы.

ны ОКРМ. Организации — члены ОКРМ также сохраняют все международно защищенные авторские права на их названия, слоганы и логотипы, включенные в публикации ОКРМ. Единственной официальной версией является документ, опубликованный ОКРМ на исходных языках.

ОКРМ не несет какой-либо ответственности за соответствие, точность, полноту или качество информации и материалов, приведенных в любом переводе. Копия перевода должна быть представлена в ОКРМ ко времени его опубликования.

Репродукция

Публикации ОКРМ могут быть воспроизведены в случае получения от ОКРМ письменного разрешения. Экземпляр любого размноженного документа должен быть представлен в ОКРМ в момент его репродукции и содержать следующее заявление:

Документ размножен с разрешения ОКРМ, который оставляет за собой все международно защищенные авторские права на дизайн и содержание данного документа и названия, слоганы и логотипы ОКРМ. Организации — члены ОКРМ также сохраняют все международно защищенные авторские права на их названия, слоганы и логотипы, включенные в публикации ОКРМ. Единственными официальными версиями являются документы, опубликованные ОКРМ.

Отказ

ОКРМ и его организации — члены опубликовали данный документ, чтобы облегчить доступ к информации по метрологии. Они прилагают усилия осовременивать его на регулярной основе, но не могут гарантировать точность на все времена, и не будут нести ответственность за прямой или косвенный ущерб, который может получиться от его использования. Любая ссылка на коммерческие продукты любого вида (включая, но не ограничивая, любое программное обеспечение, данные или аппаратное обеспечение) или указания на веб-сайты, над которыми ОКРМ и его организации — члены не имеют никакого контроля и за которые они не несут никакой ответственности, не подразумевают какого либо одобрения, подтверждения или рекомендации от ОКРМ и его организаций — членов.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие к русскому переводу	v
Предисловие	x
Введение	xii
1. Область применения	1
2. Нормативные ссылки	3
3. Что такое неопределенность измерения?	4
4. Понятия и основные принципы	10
5. Этапы оценивания неопределенности	16
6. Этап формулирования: разработка модели измерений	17
7. Вычислительный (трансформирование и подведение итога) этап оценивания неопределенности	21
7.1 Обзор	21
7.2 Структура оценивания неопределенности GUM	22
7.3 Аналитические методы	24
7.4 Метод Монте-Карло	25
7.5 Модели измерений с любым числом выходных величин	26
8. Неопределенность измерения при оценке соответствия	28
9. Применения метода наименьших квадратов	30
ПРИЛОЖЕНИЯ	32
А. АББРЕВИАТУРЫ И СОКРАЩЕНИЯ	32
Библиография	33
Алфавитный указатель	36
Приложение ZZ (информативное)	42

В 1997 г. Объединенный Комитет по Руководствам в Метрологии (ОКРМ), возглавляемый директором Международного Бюро Мер и Весов (BIPM), был создан семью международными организациями, подготовившими первоначально в 1993 г. «Руководство по выражению неопределенности измерения» (GUM) и «Международный словарь по метрологии — основные и общие понятия и соответствующие термины» (VIM). Комитет принял на себя ответственность за эти два документа от Технической консультативной группы 4 ИСО (TAG4).

Объединенный комитет сформирован BIPM совместно с Международной электротехнической комиссией (IEC), Международной федерацией клинической химии и лабораторной медицины (IFCC), Международной кооперацией по аккредитации лабораторий (ILAC), Международной организацией по стандартизации (ISO), Международным союзом по теоретической и прикладной химии (IUPAC), Международным союзом по теоретической и прикладной физике (IUPAP) и Международной организацией по законодательной метрологии (OIML).

В рамках ОКРМ учреждены две Рабочие Группы. Задачей Рабочей Группы 1 «Выражение неопределенности в измерении» является содействие использованию GUM и подготовка Приложений и других документов для его широкого применения. Задачей Рабочей Группы 2 по «Международному словарю основных и общих терминов в метрологии» является пересмотр и содействие применению VIM. Для дальнейшей информации по деятельности ОКРМ см. www.bipm.org.

Настоящий документ был подготовлен Рабочей Группой 1 ОКРМ и использовал детальные обзоры, сделанные организациями-членами ОКРМ.

Этот документ составляет одну часть серии документов ОКРМ под общим названием *Оценивание данных измерений*. В серию входят следующие части:

- JCGM 100:2008. Оценивание данных измерений — Руководство по выражению неопределенности измерения (GUM) (см. раздел 2),
- JCGM 101:2008. Оценивание данных измерений — Приложение 1 к «Руководству по выражению неопределенности измерения» — Трансформирование распределений с использованием метода Монте-Карло (см. раздел 2),
- JCGM 102. Оценивание данных измерений — Приложение 2 к «Руководству по выражению неопределенности измерения» — Модели с любым количеством выходных величин,
- JCGM 103. Оценивание данных измерений — Приложение 3 к «Руководству по выражению неопределенности измерения» — Моделирование,
- JCGM 104. Оценивание данных измерений — Введение к «Руководству по выражению неопределенности измерения» и сопутствующим документам (данный документ),
- JCGM 105. Оценивание данных измерений — Понятия и основные принципы,
- JCGM 106. Оценивание данных измерений — Роль неопределенности измерения в оценке соответствия, и
- JCGM 107. Оценивание данных измерений — Применения метода наименьших квадратов.

Отчет о неопределенности измерения является необходимым при оценивании пригодности значения измеряемой величины для требуемой задачи. Покупатель в овощной лавке будет удовлетворен в том случае, если при покупке килограмма фруктов веса дают значение, отклоняющееся в диапазоне, допустим, 2-х грамм от действительного значения веса фруктов. Однако пространственные компоненты гироскопа в инерциальных навигационных системах коммерческой авиации проверяются на корректность работы измерениями с точностью до миллионных долей.

Неопределенность измерения — это основное понятие, связанное с любым измерением. Оно может использоваться для профессионального принятия решений, а также для оценивания свойств во многих областях как теоретических, так и экспериментальных. Так как требования к допускам, применяемым в промышленном производстве, становятся все более строгими, роль неопределенности измерений при оценке соответствия этим допускам возрастает все больше. Неопределенность измерения играет центральную роль в оценке качества и установлении стандартов качества.

Измерения присутствуют практически во всех видах человеческой деятельности, которые включают промышленную, коммерческую, научную деятельность, здравоохранение, безопасность и охрану окружающей среды, но ограничивается не только ими. Измерение помогает принимать решения во всех этих видах деятельности. Неопределенность измерения позволяет тем, кто работает со значением измеряемой величины, проводить сравнения при оценке соответствия, получать вероятность принятия неправильного решения, основанного на измерении, и управлять возникающими рисками.

Этот документ служит введением в неопределенность измерений, в GUM и сопутствующие документы, указанные в Пре-

словии. Для оценивания неопределенности используется вероятностная основа. В приложении А приведены аббревиатуры и сокращения, использованные в этом документе.

В будущих изданиях JCGM 200 (VIM) предполагается сделать четкое разделение между применением понятия *погрешность* как для величины, так и для значения величины. Также это решение будет применено для термина *показание*. В данном документе сделано такое разделение. JCGM 200:2008 не дает четкого разграничения между такими применениями.

ОЦЕНИВАНИЕ ДАННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ — ВВЕДЕНИЕ К «РУКОВОДСТВУ ПО ВЫРАЖЕНИЮ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ» И СОПУТСТВУЮЩИМ ДОКУМЕНТАМ

1 Область применения

Объединенный комитет по руководствам в метрологии (ОКРМ) подготовил этот документ для того, чтобы содействовать надежной оценке неопределенности измерения с использованием GUM (см. раздел 2) и предоставить вводный документ для приложений GUM и других документов ОКРМ, которые находятся в стадии создания: ОКРМ 101:2008 (см. раздел 2) и ссылки [3, 4, 5, 6, 7].

Как и в GUM, этот документ, в первую очередь, касается выражения неопределенности, относящейся к измерениям хорошо определенной величины — *измеряемой величины* [JCGM 200:2008 (VIM) 2.3] — которая может быть охарактеризована *существенно единственным истинным значением* [JCGM 200:2008 (VIM) 2.11 ПРИМЕЧАНИЕ 3]. GUM приводит обоснование для того, чтобы не использовать термин «истинное», но этот термин будет сохранен в данном документе, т. к. в противном случае существует вероятность для внесения неясности или путаницы.

Цель Приложений GUM и других документов, создаваемых ОКРМ, состоит в том, чтобы помочь интерпретации GUM и расширить сферу его применения. Приложения GUM и другие документы вместе направлены на то, чтобы иметь значительно более широкую область применения, чем область применения GUM.

Этот документ знакомит с понятием неопределенности измерения, с GUM и Приложениями GUM и другими документами, которые поддерживают GUM. Он направлен преимущественно на измерение величин, которые могут быть охарактеризованы непрерывными переменными, такими как длина, температура, время и количество вещества.

Данный вводный документ нацелен на следующие направления, включая их в себя, но не ограничиваясь ими:

- научная деятельность и дисциплины в целом,
- промышленная деятельность и дисциплины в целом,
- калибровка, тестирование и проверка лабораторий в промышленности, и лабораторий, которые связаны со здоровьем, безопасностью и окружающей средой, и
- органы оценивания и аккредитации.

Есть надежда на то, что он будет полезен для проектировщиков, т. к. характеристики продукта, которые лучше учитывают требования при экспертизе (и соответствующие измерения), могут в результате дать менее строгие требования при производстве. Он также направлен на академическую науку с надеждой, что большее число университетских факультетов будет включать разделы по неопределенности измерения в их курсы. Как результат, новое поколение студентов должно быть лучше подготовлено к тому, чтобы понимать и представлять отчеты о неопределенности, соответствующей значениям измеряемой величины, и таким образом получать улучшенную оценку измерения.

Этот вводный документ к GUM, Приложения к GUM и другие документы должны использоваться вместе с «Международным словарем по метрологии — Основные и общие понятия и соответствующие термины» и всеми тремя частями ISO 3534, цитируемыми в разделе 2, которые определяют статистические термины (используемые в статистике и теории вероятностей, включая прикладную статистику и планирование экспериментов) и показывают их место в понятийной структуре в соответствии с нормативной терминологической практикой. Последнее соображение относится к тому факту, что теоретическая основа оценивания данных измерений и оценивания неопределенности измерений поддерживается математической статистикой и теорией вероятностей.

2 НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

Документы, на которые приведены ссылки ниже, обязательны при применении данного документа. Для ссылок с датами применимы только те версии, которые цитируются. Для ссылок без дат применимо последнее издание документа, на который приведена ссылка (включая любые поправки).

JCGM 100:2008. Evaluation of measurement data — Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM). Joint Committee for Guides in Metrology.

JCGM 101:2008. Evaluation of measurement data — Supplement 1 to the «Guide to the expression of uncertainty in measurement» — Propagation of distributions using a Monte Carlo method. Joint Committee for Guides in Metrology.

JCGM 200:2008. International Vocabulary of Metrology — Basic and general concepts and associated terms, 3rd Edition. Joint Committee for Guides in Metrology.

ISO 3534-1:2006. Statistics — Vocabulary and symbols — Part 1: General statistical terms and terms used in probability.

ISO 3534-2:2006. Statistics — Vocabulary and symbols — Part 2: Applied statistics.

ISO 3534-3:1999. Statistics — Vocabulary and symbols — Part 3: Design of experiments.

3 ЧТО ТАКОЕ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ?

3.1 Цель измерения состоит в том, чтобы предоставить информацию об интересующей величине — *измеряемой величине* [JCGM 200:2008 (VIM) 2.3]. Измеряемой величиной может быть объем сосуда, разность потенциалов между контактами батареи или массовая концентрация свинца во флаконе воды.

3.2 Ни одно из измерений не является безошибочным. Когда измеряется величина, выходное значение зависит от измерительной системы [JCGM 200:2008 (VIM) 3.2], методики измерения, мастерства оператора, окружающих условий и других воздействий [1]. Даже если величина измерена несколько раз тем же способом и в одинаковых условиях, в большинстве случаев каждый раз получается различное *значение показания* [JCGM 200:2008 (VIM) 4.1] (значение измеряемой величины [JCGM 200:2008 (VIM) 2.10]), если принять предположение, что измерительная система имеет достаточное разрешение для того, чтобы различать значения показаний. Такие значения показаний рассматриваются как варианты показания величины.

3.3 *Разброс* значений показаний относится к тому, насколько хорошо проведено измерение. Их *среднее* должно обеспечить *оценку* [ISO 3534-1:2006 1.31] *истинного значения величины* [JCGM 200:2008 (VIM) 2.11], которая в общем случае будет более надежной, чем индивидуальное значение показания. Разброс и число значений показаний дает информацию, относящуюся к среднему значению как оценке истинного значения величины. Однако эта информация в большинстве случаев не будет достаточно полной.

3.4 Измерительная система может давать значения показаний, которые разбросаны не вокруг истинного значения величины, а вокруг какого-то значения, которое смещено от него. Разница

между смещенным значением и истинным значением величины иногда называется значением систематической погрешности [JCGM 200:2008 (VIM) 2.17]. Возьмем домашние весы в ванной. Предположим, что они не настроены так, чтобы показывать ноль, когда никого нет на весах, а так, чтобы показывать какое-то значение, отличающееся от нуля. Тогда вне зависимости от того, сколько раз масса человека была вновь измерена, воздействие этого смещения будет, по сути, присутствовать в среднем значений показаний. В большинстве случаев систематическая погрешность, рассматриваемая как величина — это составляющая погрешности, которая остается постоянной или зависит особым образом от какой-то другой величины.

3.5 Существует два типа значений погрешности измерения: *систематическая и случайная* [JCGM 200:2008 (VIM) 2.19]. Систематическая погрешность (оценка которой известна, как *смещение при измерении* [JCGM 200:2008 (VIM) 2.18]) связана с тем, что значение измеряемой величины содержит смещение. Случайная погрешность связана с тем, что, когда измерение повторяется, оно в большинстве случаев будет давать значение измеряемой величины, которое отличается от предыдущего значения. Это случайно с той точки зрения, что следующее значение измеряемой величины не может быть точно предсказано из таких же предыдущих значений. (Если бы существовала возможность ее предсказать, это воздействие можно было бы принять в расчет!) В общем случае может существовать большое число вкладов в каждый из типов погрешности.

3.6 Проблема измерения в том, как наилучшим образом выразить то, что известно об измеряемой величине. Выражение значений систематических и случайных погрешностей, относящихся к измерению, вместе с наилучшей оценкой измеряемой величины — это тот подход, который часто использовался до введения GUM. GUM предложил другой подход к пониманию измерения, особенно к тому, как выражать воспринимаемое качество результата измерения. Вместо того чтобы выражать результат измерения, давая наилучшую оценку измеряемой величины вместе с информацией о систематическом и случайном значениях погрешности (в форме

«анализа погрешностей»), подход GUM состоит в том, чтобы выражать результат измерения, как наилучшую оценку измеряемой величины вместе с соответствующей *неопределенностью измерения*.

3.7 Одна из основных предпосылок подхода GUM в том, что существует возможность охарактеризовать качество измерения, вычисляя и систематическую, и случайную погрешности на сравнимой основе, и дается метод для того, чтобы это сделать (см. 7.2). Этот метод уточняет информацию, которая была предварительно получена в результате «анализа погрешностей», и с помощью концепции неопределенности измерения подводит под нее вероятностную основу.

3.8 Другая основная предпосылка подхода GUM состоит в том, что невозможно установить, насколько хорошо известно существенно единственное истинное значение, но можно только узнать, насколько велико доверие тому, что оно известно. Таким образом, неопределенность измерения может быть описана как мера того, насколько сильно человек уверен, что он знает «по сути» единственное истинное значение измеряемой величины. Эта неопределенность отражает неполное знание об измеряемой величине. Понятие «доверия» очень важно, так как оно перемещает метрологию в сферу, где результат измерения должен рассматриваться и численно определяться в терминах *вероятностей*, которые выражают степени доверия.

3.9 Приведенное выше обсуждение касается прямого измерения величины, которое, кстати, случается редко. Весы в ванной могут преобразовывать растяжение пружины в оценку измеряемой величины — массу человека на весах. Индивидуальное соотношение между растяжением и массой определяется с помощью *калибровки* [JCGM 200:2008 (VIM) 2.39] весов.

3.10 Отношение, подобное тому, что описывается в 3.9, устанавливает правило по преобразованию численного значения в соответствующее значение измеряемой величины. Это правило обычно известно, как *модель измерения* [JCGM 200:2008 (VIM) 2.48] или просто модель. Существует много видов измерений на практике и соответственно много правил или моделей. Даже для одного отдельного вида измерений может быть более, чем одна модель.

Простая модель (например, правило пропорции, в котором масса пропорциональна растяжению пружины) может быть достаточно для повседневного использования в домашних условиях. Как альтернатива более сложные модели взвешивания, включающие дополнительные воздействия, такие как плавучесть в воздухе, способны предоставить лучшие результаты для промышленных и научных целей. В общем случае часто существует несколько различных величин, например, температура, влажность и (вытесненный) объем, которые вносят свой вклад в определение измеряемой величины и которые необходимо измерить.

3.11 В модель должны вводиться поправочные члены, когда условия измерения не совсем точно совпадают с оговоренными. Эти члены соответствуют значениям систематической погрешности [JCGM 200:2008 (VIM) 2.17]. Когда дается оценка поправочного члена, соответствующая величина должна быть скорректирована этой оценкой [JCGM 100:2008 (GUM) 3.2.4]. Также будет присутствовать неопределенность, связанная с такой оценкой, даже если оценка равна нулю, как это часто случается. Примеры систематических погрешностей возникают при измерениях высоты, когда средство измерений выравнено не абсолютно вертикально, и температура окружающей среды отличается от предписанной. Ни выравнивание средства, ни температура окружающей среды не определяются точно, но информация, касающаяся этих воздействий доступна, например, недостаток выравнивания составляет не более $0,001^\circ$, а температура окружающей среды во время измерения отличается от оговоренной не больше, чем на 2°C .

3.12 Величина может зависеть от времени, например, распад радионуклида с определенной скоростью. Такое воздействие должно быть включено в модель, чтобы получить измеряемую величину, соответствующую измерению в данный момент времени.

3.13 Наряду с необработанными данными, представляющими значения измеряемой величины, существует другая форма данных, которые часто необходимы для модели. Некоторые такие данные касаются величин, представляющих физические константы, каж-

для которых известна недостаточно точно. Примерами служат константы материалов, такие как модуль упругости и удельная теплоемкость. Также часто присутствуют другие значимые данные, которые даются в справочниках, калибровочных сертификатах и т. д., рассматриваемые как оценки дополнительных величин.

3.14 Данные, которые необходимы модели для того, чтобы определить измеряемую величину, известны как *входные величины в модели измерений* [JCGM 200:2008 (VIM) 2.50]. На правило или модель часто ссылаются, как на *функциональную зависимость* [JCGM 100:2008 (GUM) 4.1]. *Выходной величиной в модели измерений* [JCGM 200:2008 (VIM) 2.51] является измеряемая величина.

3.15 Формально выходная величина, обозначаемая Y , о которой необходима информация, часто связана с входными величинами, обозначаемыми $X_1, \dots, X_N$, информация о которых доступна, моделью измерений [JCGM 100:2008 (GUM) 4.1.1] в виде функции измерений [JCGM 200:2008 (VIM) 2.49]

$$Y = f(X_1, \dots, X_N). \quad (1)$$

3.16 Общее выражение для модели измерений [JCGM 200:2008 (VIM) 2.48 примечание 1] это:

$$h(Y, X_1, \dots, X_N) = 0. \quad (2)$$

Принимается, что существует методика для вычисления Y по данным $X_1, \dots, X_N$ в выражении (2), и что Y однозначно определяется этим выражением.

3.17 Истинные значения входных величин $X_1, \dots, X_N$ неизвестны. В поддерживаемом подходе $X_1, \dots, X_N$ характеризуются распределениями вероятностей [JCGM 100:2008 (GUM) 3.3.5, ISO 3534-1:2006 2.11] и обрабатываются математически, как случайные переменные [ISO 3534-1:2006 2.10]. Эти распределения описывают соответствующие вероятности нахождения их истинных значений в различных интервалах и приписываются, основываясь на доступном знании о $X_1, \dots, X_N$. Иногда некоторые из величин или все $X_1, \dots, X_N$ взаимосвязаны, и соответствующие распределения, из-

вестные как *совместные*, применяются к этим величинам, взятым вместе. Следующие рассуждения, которые широко применяются к несвязанным (независимым) величинам, могут быть расширены до взаимосвязанных величин.

3.18 Рассмотрим оценки $x_1, \dots, x_N$ входных величин $X_1, \dots, X_N$ соответственно, полученные из сертификатов и отчетов, спецификаций производителей, анализа измерительных данных и т.д. Распределения вероятностей, характеризующие $X_1, \dots, X_N$ выбраны таким образом, что оценки $x_1, \dots, x_N$, соответственно, являются *ожиданиями* [JCGM 100:2008 3.8, ISO 3534-1:2006 2.12] $X_1, \dots, X_N$. Более того, для i -той входной величины рассмотрим так называемую *стандартную неопределенность* [JCGM 200:2008 (VIM) 2.30], обозначаемую символами $u(x_i)$ и определяемую как стандартное отклонение [JCGM 100:2008 3.8, ISO 3534-1:2006 2.37] входной величины X_i . Говорят, что стандартная неопределенность *связана* с (соответствующей) оценкой x_i . Оценка x_i , является наилучшей в том смысле, что $u^2(x_i)$ меньше, чем ожидание квадрата отклонения X_i от любого другого значения.

3.19 Использование доступного знания применяется для установления распределения вероятностей, чтобы охарактеризовать каждую интересующую величину X_i , а также Y . В последнем случае распределение вероятностей, характеризующее Y , определяется функциональной зависимостью (1) или (2) вместе с распределениями вероятностей для X_i . Определение распределения вероятностей для Y из этой информации известно как *трансформирование распределений* [JCGM 101:2008 5.2].

3.20 Априорное знание об истинном значении выходной величины Y также может быть учтено. Для домашних весов в ванной те факты, что масса человека положительна и что измеряется масса — человека, а не масса автомобиля, оба предоставляют априорное знание о возможных значениях измеряемой величины в этом примере. Такая дополнительная информация может быть использована, чтобы обеспечить распределение вероятностей для Y , которое может дать меньшее стандартное отклонение для Y и, следовательно, меньшую стандартную неопределенность, связанную с оценкой Y [2, 13, 24].

4 ПОНЯТИЯ И ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ

4.1 Дополнительно к разделу 3 основополагающие понятия и принципы теории вероятностей, которые лежат в основе поддерживаемого подхода к оцениванию и выражению неопределенности измерения, представлены в JCGM 105:2008 [4].

4.2 Неопределенность измерения определяется как [JCGM 200:2008 (VIM) 2.26]

неотрицательный параметр, характеризующий рассеяние значений величины, приписываемых измеряемой величине на основании используемой информации.

Это определение согласуется с рассуждениями в подразделах 3.8 и подразделах от 3.17 до 3.20.

4.3 При вычислении неопределенности для случайной переменной X используются два представления распределения вероятностей [JCGM 101:2008 3.1, ISO 3534-1:2006 2.11]:

- *функция распределения* [JCGM 101:2008 3.2, ISO 3534-1:2006 2.7] — функция, дающая для любого значения ее аргумента вероятность того, что X может быть меньше или равен этому значению, и
- *функция плотности вероятностей* [JCGM 100:2008 3.3, ISO 3534-1:2006 2.26] — производная функции распределения.

4.4 Знание каждой входной величины X_i в модели измерений часто в итоге сводится к наилучшей оценке x_i и связанной с ней стандартной неопределенности $u(x_i)$ (см. 3.18). Если для каждого i и j X_i и X_j связаны между собой (зависимы), итоговая информация

будет также включать в себя меру (стохастической) зависимости, которая определяется ковариацией [ISO 3534-1:2006 2.43] или корреляцией. Если X_i и X_j не связаны (независимы), их ковариация равна нулю.

4.5 *Оценивание данных измерений* в контексте модели измерений (1) или (2) — это использование доступного знания, относящегося к входным величинам $X_1, \dots, X_N$, представленного распределениями вероятностей, используемыми для их описания, так чтобы вывести соответствующее распределение, которое характеризует выходную величину Y . Оценивание данных измерений может повлечь за собой определение только итогового описания последнего распределения.

4.6 Знание о входной величине X_i в модели измерений выводится из повторных значений показаний (*оценивание неопределенности по типу A*) [JCGM 100:2008 (GUM) 4.2, JCGM 200:2008 (VIM) 2.28], или основываясь на научном заключении или другой информации, касающейся возможных значений величины (*оценивание неопределенности по типу B*) [JCGM 100:2008 (GUM) 4.3, JCGM 200:2008 (VIM) 2.29].

4.7 При оценивании неопределенности по типу A [JCGM 200:2008 (VIM) 2.28] часто делается предположение, что распределение, которое наилучшим образом описывает входную величину X , имея повторные значения показаний для нее (полученные независимо), это распределение Гаусса [ISO 3534-1:2006 2.50]. В таком случае X имеет ожидание, равное среднему значению показаний, и стандартное отклонение, равное стандартному отклонению среднего. Когда неопределенность оценивается по малому числу значений показаний (рассмотрим, как пример, значения показаний, характеризуемые распределением Гаусса), соответствующее распределение может быть рассмотрено, как t -распределение [ISO 3534-1:2006 2.53]. Рисунок 1 показывает распределение Гаусса и (прерывистая кривая) t -распределение с четырьмя степенями свободы. Когда значения показаний не получены независимо, применяются другие соображения.

4.8 Для оценивания неопределенности по типу В [JCGM 200:2008 (VIM) 2.29] часто единственной доступной информацией является то, что X лежит в определенном интервале $[a, b]$. В таком случае знание о величине может быть охарактеризовано прямоугольным распределением вероятностей [JCGM 100:2008 (GUM) 4.3.7, ISO 3534-1:2006 2.60] с пределами a и b (рис. 2). Если была доступна другая информация, то должно быть использовано распределение вероятностей, согласующееся с этой информацией [26].

4.9 Как только входные величины $X_1, \dots, X_N$ были охарактеризованы соответствующими распределениями вероятностей и была разработана модель измерений, распределение вероятностей для измеряемой величины Y уже полностью определено с точки зрения этой информации (см. также 3.19). В частности, ожидание Y используется в качестве оценки Y и стандартное отклонение Y как стандартная неопределенность, связанная с этой оценкой.

4.10 Рисунок 3 показывает аддитивную функцию измерения $Y = X_1 + X_2$ в том случае, когда X_1 и X_2 каждая охарактеризована (различным) прямоугольным распределением вероятностей. В таком случае Y имеет симметричное трапециoidalное распределение вероятностей.

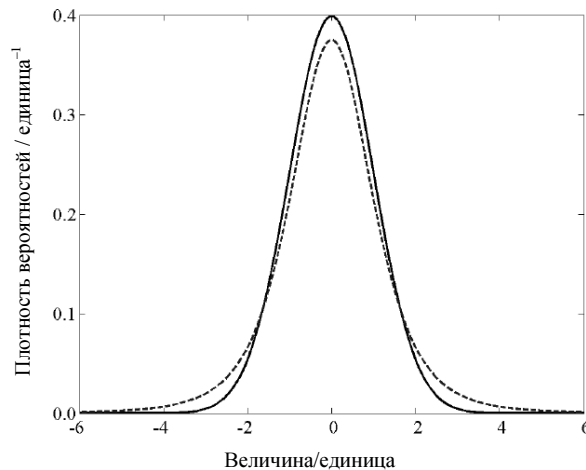


Рисунок 1 – Распределение Гаусса (сплошная черная кривая) и t -распределение с четырьмя степенями свободы (прерывистая кривая) («единица» обозначает любую единицу)



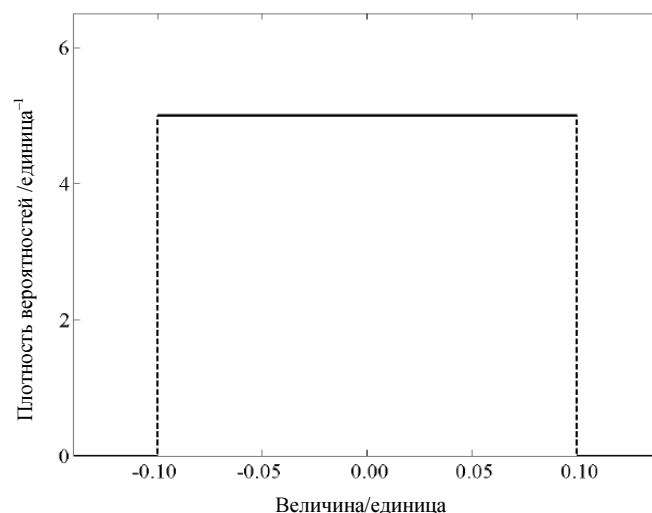


Рисунок 2 – Прямоугольное распределение с границами $-0,1$ единицы и $0,1$ единицы («единица» обозначает любую единицу)

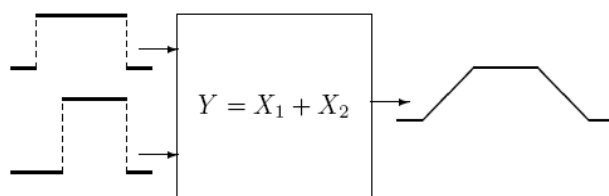


Рисунок 3 – Аддитивная функция измерения с двумя входными величинами X_i и X_j , характеризуемыми прямоугольными распределениями вероятностей

4.11 Часто требуется интервал, содержащий Y с заданной вероятностью. Такой интервал, *интервал охвата* [JCGM 200:2008 (VIM) 2.36], может быть получен из распределения вероятностей для Y . Указанная вероятность известна как *вероятность охвата* [JCGM 200:2008 (VIM) 2.37].

4.12 Для заданной вероятности охвата существует более, чем один интервал охвата:

- а) *вероятностно симметричный интервал охвата* [JCGM 101:2008 3.15], для которого вероятности (в сумме равные единице минус вероятность охвата) расположения значения справа или слева от интервала равны, и
- б) *наименьший интервал охвата* [JCGM 101:2008 3.16], протяженность которого является наименьшей из всех интервалов охвата, имеющих такую же вероятность охвата.

4.13 Рисунок 4 показывает распределение вероятностей (усеченное и масштабированное распределение Гаусса, показанное убывающей кривой) с граничными точками наименьшего (сплошные вертикальные линии) и вероятностно симметричного (прерывистые вертикальные линии) 95 %-ных интервалов охвата для величины, которая охарактеризована этим распределением. Распределение асимметрично и два интервала охвата различны (особенно это заметно в их крайних справа граничных точках). Крайняя левая граничная точка наименьшего интервала охвата находится на нуле, наименьшем возможном значении для этой величины. Вероятностно симметричный интервал охвата в этом случае на 15 % протяженней, чем наименьший интервал охвата.

4.14 Коэффициенты чувствительности $c_1, \dots, c_N$ [JCGM 100:2008 (GUM) 5.1.3] описывают, как на оценку y величины Y будут влиять небольшие изменения в оценках $x_1, \dots, x_N$ входных величин $X_1, \dots, X_N$. Для функции измерений (1) c_i равно частной производной первого порядка от f по X_i , вычисленной при $X_1 = x_1, X_2 = x_2$ и т. д. Для линейной функции измерений

$$Y = c_1 X_1 + \dots + c_N X_N \quad (3)$$

при независимых $X_1, \dots, X_N$ изменение в x_i , равное $u(x_i)$, даст изменение, равное $c_i u(x_i)$ в y . Это утверждение в большинстве случаев будет приблизительным для моделей измерений (1) и (2) (см. 7.2.4). Относительные модули членов $|c_i| u(x_i)$ являются полезными

при оценке вкладов от входных величин в стандартную неопределенность $u(y)$, связанную с y .

4.15 Стандартная неопределенность $u(y)$, связанная с оценкой y выходной величины Y , дается не суммой $|c_i|u(x_i)$, но суммой квадратов этих членов, а именно (выражение, которое в большинстве случаев будет приблизительным для моделей измерений (1) и (2))

$$u^2(y) = c_1^2 u^2(x_1) + \dots + c_N^2 u^2(x_N). \quad (4)$$

4.16 Когда входные величины X_i зависят друг от друга, формула (4) дополняется членами, содержащими ковариации [JCGM 100:2008 (GUM) 5.2.2], которые могут увеличить или уменьшить $u(y)$.

4.17 Согласно Резолюции 10 22-го CGPM (2003) «... символом десятичного знака должна быть либо точка на линии, либо запятая на линии...» JCGM решил использовать в своих документах на английском языке точку на линии.

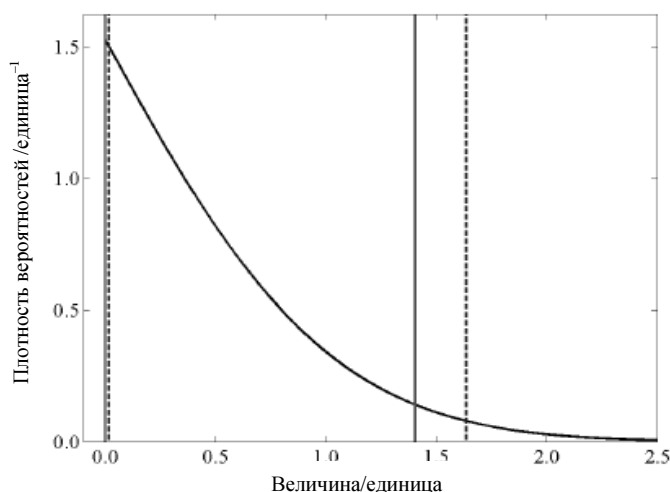


Рисунок 4 – Наименьший 95 %-ный интервал охвата (граничные точки показаны сплошными вертикальными линиями) и вероятностно симметричный 95 %-ный интервал охвата (прерывистая) для величины, характеризуемой усеченным и масштабированным распределением Гаусса («единица» обозначает любую единицу)

5 ЭТАПЫ ОЦЕНИВАНИЯ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

5.1 Основные этапы оценивания неопределенности включают в себя формулирование и вычисление, последнее состоит из трансформирования и подведения итога.

5.2 Этап формулирования (см. пункт б) включает:

- а) задание выходной величины Y (измеряемой величины),
- б) нахождение входных величин, от которых зависит Y ,
- в) разработка модели измерений, соотносящей Y с входными величинами, и
- г) приписывание распределения вероятностей — Гаусса, прямоугольного и т. д. — входным величинам (или совместного распределения вероятностей для тех входных величин, которые не являются независимыми) на основе доступного знания.

5.3 Этап вычислений (см. раздел 7) состоит из трансформирования распределений вероятностей для входных величин с помощью модели измерений, с целью получения распределения вероятностей для выходной величины Y , и подведения итога с использованием этого распределения для получения

- а) ожидания Y , взятого, как оценка y величины Y ,
- б) стандартного отклонения величины Y , взятого как стандартная неопределенность $u(y)$, связанная с y [JCGM 100:2008 (GUM) E.3.2], и
- в) интервала охвата, содержащего Y с заданной вероятностью охвата.

6 ЭТАП ФОРМУЛИРОВАНИЯ: РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ИЗМЕРЕНИЙ

6.1 Этап формулирования при оценивании неопределенности включает в себя разработку модели измерений, учет соответствующих поправок и других воздействий, если это необходимо. В некоторых областях измерений этот этап может быть очень трудным. Он также включает использование доступного знания для того, чтобы охарактеризовать входные величины модели с помощью распределений вероятностей. JCGM 103 [6] дает руководство по разработке и применению модели измерений. Приписывание распределений вероятностей входным величинам модели измерений рассмотрено в JCGM 101 [JCGM 101:2008 6] и JCGM 102 [5].

6.2 Изначально разрабатывается модель измерений, соотносящая входные и выходную величины. Может существовать более, чем одна выходная величина (см. 6.5). Модель формируется на теоретической или эмпирической основе, или на той, и другой вместе, и в большинстве случаев зависит от метрологической дисциплины: электрические измерения, измерения размера, температуры, массы и т. д. Затем модель дополняется членами, включающими в себя другие входные величины, описывающие воздействия, влияющие на измерение. JCGM 103 [6] содержит руководство по работе с этими дополнительными воздействиями, которые могут быть разделены на случайные и систематические воздействия.

6.3 JCGM 103 рассматривает более широкие классы моделей измерений, чем GUM, разделяя модели по следующим признакам:

- а) используемые величины являются действительными или комплексными,

- б) модель измерений принимает общую форму (2) или может быть выражена, как функция измерений (1), и
- в) существует одна выходная величина или более, чем одна выходная величина (см. 6.5).

В категории (а) комплексные величины появляются, главным образом, в электрических измерениях, а также в измерениях в области акустики и оптики. В категории (б) для функции измерений выходная величина выражается непосредственно как формула, содержащая входные величины. Для общей модели измерений уравнение решается для выходной величины через входные величины (см. 6.5).

6.4 Примеры из области метрологических дисциплин иллюстрируют разные аспекты применения JCGM 103. Дано руководство по вопросам численного анализа, которые возникают при рассмотрении этих примеров. Руководство также включает использование замены переменных таким образом, чтобы все или некоторые итоговые величины были некоррелированы или только слабо коррелированы.

6.5 GUM и JCGM 101:2008 сконцентрированы на моделях измерений в виде функций измерений, в которых есть только одна выходная величина Y . Однако возникает множество измерительных задач, для которых существует более, чем одна выходная величина, зависящая от общего набора входных величин. Эти выходные величины обозначаются через $Y_1, \dots, Y_m$. Примеры включают: (а) выходная величина является комплексной и представляется в виде действительных и мнимых частей (или амплитуды и фазы), (б) величины, представляющие параметры функции калибровки, и (в) величины, описывающие геометрию поверхности искусственного объекта. GUM напрямую не адресован к таким моделям, хотя в нем приводятся примеры одновременного измерения активного и реактивного сопротивления [JCGM 100:2008 (GUM) Н.2] и калибровки термометра [JCGM 100:2008 (GUM) Н.3].

6.6 Этап формулирования при оценивании неопределенности для случая с более, чем одной измеряемой величиной, согласуется

с аналогичным этапом для модели измерений с единственной измеряемой величиной: он включает разработку модели и приписывание распределений вероятностей входным величинам на основе доступного знания. Как и для модели измерений с одной выходной величиной, существует оценка каждой входной величины и стандартной неопределенности, связанной с этой оценкой (и возможные ковариации, связанные с парами оценок). Так как в общем случае каждая выходная величина зависит от всех входных величин, в дополнение к определению оценок этих выходных величин и стандартных неопределенностей, связанных с этими оценками, требуется оценить ковариации всех пар таких оценок.

6.7 Эквивалентом функции измерений (1) для числа m выходных величин являются выражения

$$Y_1 = f_1(X_1, \dots, X_N), Y_2 = f_2(X_1, \dots, X_N), \dots, Y_m = f_m(X_1, \dots, X_N),$$

в которых присутствует m функций $f_1, \dots, f_m$. Рисунок 5 показывает такую функцию измерений.

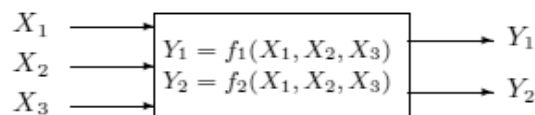


Рисунок 5 – Измерительная функция с тремя входными величинами X_1 , X_2 и X_3 и двумя выходными величинами Y_1 и Y_2

6.8 *Многоступенчатые модели измерений*, в которых выходные величины с предыдущих ступеней становятся входными величинами для последующих ступеней, также рассматриваются в JCGM 103. Распространенный пример многоступенчатой модели измерений относится к составлению и использованию функции калибровки [JCGM 200:2008 (VIM) 2.39] (см. рисунок 6):

- а) Имея значения величины, полученные с помощью измерительных эталонов, и соответствующие значения показаний, полу-

ченные с помощью измерительной системы, определяют оценки параметров функции калибровки. Стандартные неопределенности, связанные со значениями измеряемой величины и значениями показаний, являются источниками стандартных неопределенностей, связанных с этими оценками, и в общем случае ковариаций, связанных со всеми парами этих оценок.

- б) Имея последующее значение показаний, оцените функцию калибровки, чтобы получить соответствующее значение измеряемой величины. Эта ступень включает инверсию функции калибровки. Стандартные неопределенности и ковариации, связанные с оценками параметров функции калибровки, вместе со стандартной неопределенностью, связанной со следующим значением показания, являются источником стандартной неопределенности, связанной со значением измеряемой величины.

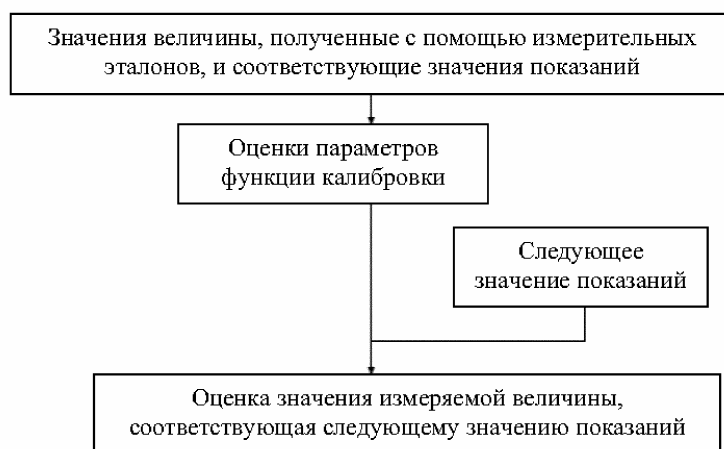


Рисунок 6 – Двухступенчатая модель измерений для функции калибровки, в которой значения величины, полученные с помощью измерительных эталонов, и соответствующие значения показаний используются для определения оценок параметров функции калибровки, которые, в свою очередь, после того как задается следующее значение показаний, используются для оценки соответствующего значения измеряемой величины

7 ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ (ТРАНСФОРМИРОВАНИЕ И ПОДВЕДЕНИЕ ИТОГА) ЭТАП ОЦЕНИВАНИЯ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

7.1 Обзор

7.1.1 Этап трансформирования при оценивании неопределенности известен под названием *трансформирование распределений* [JCGM 101:2008 5.2]. К нему известны различные подходы, среди них:

- а) структура оценивания неопределенности GUM, устанавливающая применение закона распространения неопределенности и характеризующая выходную величину Y распределением Гаусса или t -распределением (см. [7.2](#));
- б) аналитические методы, в которых для получения алгебраической формы распределения вероятностей для Y используется математический анализ (см. [7.3](#)), и
- в) метод Монте-Карло (ММК), в котором аппроксимацию функции распределения для Y получают численно, выбирая случайные значения из распределений вероятностей для входных величин, подставляя полученные значения в модель (см. [7.4](#)).

7.1.2 Для каждой отдельной задачи по оцениванию неопределенности применяется подход а), б) или в) (или какой-то другой подход), при этом а) является в большинстве случаев приближенным, б) точным, а в) дает решение с числовой точностью, которую можно контролировать.

7.1.3 Применение подходов а) и в) к функциям измерений с любым числом выходных величин и общим моделям измерений рассматривается в [7.5](#).

7.2 Структура оценивания неопределенности GUM

7.2.1 Структура оценивания неопределенности GUM [JCGM 100:2008 (GUM) 3.4.8, 5.1] (изображенная на рисунке 7) использует

- а) наилучшие оценки x_i входных величин X_i ,
- б) стандартные неопределенности $u(x_i)$, связанные с x_i , и
- в) коэффициенты чувствительности c_i (см 4.14)

для получения оценки y выходной величины Y и связанной стандартной неопределенности $u(y)$.

7.2.2 Вариант [JCGM 100:2008 (GUM) 5.2] подраздела 7.2.1 применяется, когда входные величины являются взаимно зависимыми (не показано на рис. 7). Рассматривая распределение вероятностей для Y , как распределение Гаусса, также определяется интервал охвата для Y , соответствующий заданной вероятности охвата [JCGM 100:2008 (GUM) G.2]. Когда степени свободы [ISO 3534-1:2006 2.54], относящиеся к любому $u(x_i)$, конечны, (эффективные) степени свободы, относящиеся к $u(y)$, определены, то распределение вероятностей для Y берется, как t -распределение.

7.2.3 Существует множество случаев, когда структура оценивания неопределенности GUM [JCGM 100:2008 (GUM) 5] может быть применена и приводит к достоверным отчетам о неопределенности. Если функция измерений линейна по входным величинам и распределения вероятностей для этих величин Гауссовы, структура оценивания неопределенности GUM дает точные результаты [JCGM 101:2008 5.7]. Даже если эти условия не соблюдаются, подход часто может работать достаточно хорошо на практике [JCGM 101:2008 5.8].

7.2.4 Есть ситуации, при которых структура оценивания неопределенности GUM не может быть удовлетворительной. Среди них следующие:

- а) функция измерений нелинейна,

- б) распределения вероятностей для входных величин асимметричны,
- в) вклады в неопределенность $|c_1|u(x_1), \dots, |c_N|u(x_N)$ (см. 4.14) не являются величинами приблизительно одного порядка [JCGM 100:2008 (GUM) G.2.2], и
- г) распределение вероятностей для выходной величины либо асимметрично, либо не Гауссово или t -распределение.

Иногда трудно установить заблаговременно, будут ли выполняться условия применения структуры оценивания неопределенности GUM.

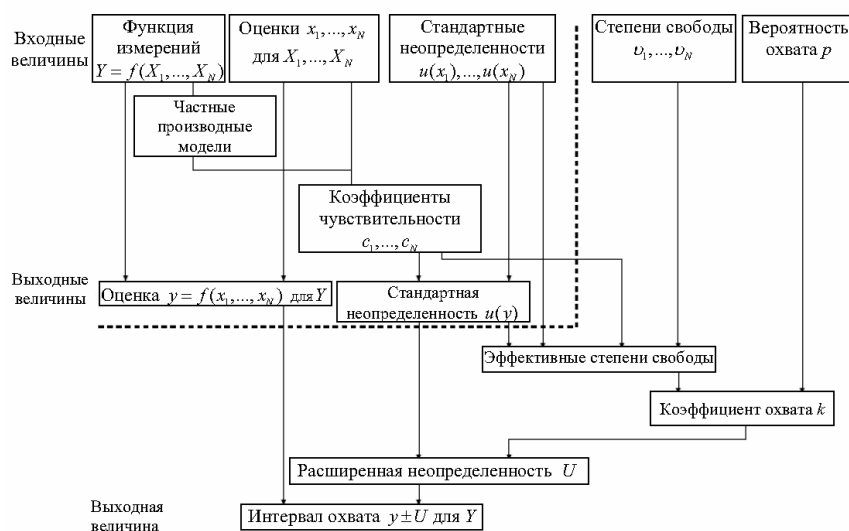


Рисунок 7 – Оценивание неопределенности измерения с использованием структуры оценивания неопределенности GUM, где верхняя левая часть рисунка (ограничена прерывистыми линиями) относится к получению оценки y выходной величины Y и связанной стандартной неопределенности $u(y)$, а остальная часть относится к определению интервала охвата для Y

7.2.5 Использование структуры оценивания неопределенности GUM усложняется при нахождении частных производных (или численных приближений к ним) для сложной модели измерений, как требуется законом распространения неопределенности (возможно, с членами высших порядков) [JCGM 100:2008 (GUM) 5]. Пригодный и иногда более легко применимый способ — это использование подходящей реализации трансформирования распределений по методу Монте-Карло (см. 7.4).

7.3 Аналитические методы

7.3.1 Аналитические методы, с помощью которых может быть получена алгебраическая форма для распределения вероятностей выходной величины, не вносят никаких приближений, но могут быть применены только в сравнительно простых случаях. Применение таких методов доступно [8, 12]. Некоторыми случаями, которые могут быть обработаны таким образом для общего числа входных величин N , являются линейные функции измерений (выражение (3)), в которых распределения вероятностей для всех входных величин Гауссовы, или все — прямоугольные с одинаковой шириной. Пример с двумя входными величинами ($N=2$), для которого распределения вероятностей входных величин прямоугольные, и распределение вероятностей для выходной величины трапециoidalно [10], изображен на рисунке 3.

7.3.2 Случаи, в которых имеется одна входная величина ($N=1$), часто могут быть обработаны аналитически с использованием формулы [25, стр. 57–61] для алгебраического получения распределения вероятностей выходной величины. Такие случаи возникают при преобразовании единиц измерения, например, из линейных единиц в логарифмические [10, стр. 95–98].

7.3.3 Преимуществом алгебраического решения является то, что оно дает возможность понять суть измерения, показывая зависимость распределения вероятностей выходной величины от параметров распределений вероятностей входных величин.

7.4 Метод Монте-Карло

7.4.1 JCGM 101:2008 дает детальную информацию по ММК как способу реализации трансформирования распределений [JCGM 101:2008 5.9]. Для ММК существует меньше условий, связанных с его использованием, чем в структуре оценивания неопределенности GUM [JCGM 101:2008 5.10]. Рисунок 8 иллюстрирует эту методику. JCGM 101:2008 дает примеры сравнения ММК с использованием структуры оценивания неопределенности GUM [JCGM 101:2008 9].

7.4.2 JCGM 101:2008 приводит адаптивную методику ММК, в которой число испытаний Монте-Карло определяется автоматически с использованием меры сходимости всего процесса в целом [JCGM 101:2008 7.9].

7.4.3 В JCGM 101:2008 представлена методика, которая использует ММК, чтобы решить, приемлемо ли применение структуры оценивания неопределенности GUM в каждом отдельном случае [JCGM 101:2008 8].



Рисунок 8 – Оценивание неопределенности измерения с использованием метода Монте-Карло, на котором левая от прерывистой линии часть рисунка относится к получению оценки y выходной величины Y и связанной стандартной неопределенности $u(y)$, а оставшаяся часть относится к определению интервала охвата для Y

7.5 Модели измерений с любым числом выходных величин

7.5.1 Чтобы оценить неопределенности и ковариации, связанные с оценками выходных величин, для моделей измерений с любым числом выходных величин как структура оценивания неопределенности GUM, так и ММК, в том виде, в котором они трактуются в JCGM 101:2008, должны быть расширены. GUM [JCGM 100:2008 (GUM) F.1.2.3] приводит основные черты такого расширения структуры оценивания неопределенности GUM, но рассматривает его далее только в примерах.

7.5.2 В JCGM 102 [5] заявлено, что закон распространения неопределенности, основная составная часть структуры оценивания неопределенности GUM, когда он применяется к модели измерений, имеющей всего одну выходную величину, может быть кратко выражен в эквивалентной матричной форме. Матричное выражение имеет преимущество в том, что может подойти, как основа для реализации в программном виде, а также может быть расширено на более общие виды модели измерений.

7.5.3 Такое расширение приведено в JCGM 102 для функции измерений, имеющей любое число выходных величин. Расширение для любого числа выходных величин в общей модели измерений (см. 3.16) также рассматривается в JCGM 102.

7.5.4 JCGM 102 также применяет ММК для моделей измерений с любым числом выходных величин. Дается дискретное представление распределения вероятностей для выходных величин. Приводятся выражения для оценок выходных величин, стандартных неопределенностей, связанных с этими оценками, и ковариаций, связанных с парами этих оценок, на языке этого представления.

7.5.5 В дополнение к получению оценок выходных величин вместе со связанными стандартными неопределенностями и ковариациями может потребоваться получение *области*, содержащей выходные величины с заданной вероятностью (охвата). Вполне естественно рассматривать расширение на области вероятностно сим-

метричного интервала охвата и наименьшего интервала охвата. Однако не существует естественного аналога вероятностно симметричного интервала охвата в виде области охвата, несмотря на то, что такой аналог существует для наименьшего интервала охвата. Нахождение наименьшей области охвата является, в общем случае, трудной задачей.

7.5.6 При некоторых обстоятельствах разумно предоставить *приближенную* область охвата, имеющую простую геометрическую форму. С этой точки зрения рассматриваются две отдельные формы области охвата. Одна форма вытекает из характеристики выходных величин совместным распределением Гаусса, например на основе центральной предельной теоремы [JCGM 100:2008 (GUM) G.2]. В этом случае наименьшая область охвата ограничена гиперэллипсоидом. Другой формой является гиперпрямоугольная область охвата. Методики получения этих форм приведены в JCGM 102.

8 НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ ПРИ ОЦЕНКЕ СООТВЕТСТВИЯ

8.1 Оценка соответствия — это важная область в контроле качества производства, законодательной метрологии и поддержания здравоохранения и безопасности. При промышленной проверке произведенных деталей принимаются решения о соответствии деталей спецификации проекта. В контексте регулирования (относящегося к выхлопам, радиации, наркотикам, допинг — контролю и др.) возникают аналогичные вопросы, касающиеся того, были ли превышены установленные пределы истинных значений величин. Руководство приведено в JCGM 106 [7]. Также см. ссылку [18].

8.2 Измерение является существенной частью оценки соответствия при решении того, соответствует ли выходная величина или измеряемая величина установленному требованию. Для единственной величины такое требование обычно принимает вид заданных пределов, которые определяют интервал допускаемых значений величины. При отсутствии неопределенности значение измеряемой величины, лежащее в этих пределах, считается соответствующим, а в противном случае — несоответствующим. Влияние неопределенности измерения на процесс оценки делает необходимым установление баланса рисков между производителями и потребителями.

8.3 Возможные значения искомой величины Y представляются распределением вероятностей. Вероятность, с которой Y соответствует условиям спецификации, может быть вычислена при данном распределении вероятностей и указанных в спецификации пределов.

8.4 Из-за неполного знания величины Y (что отражено в ее распределении вероятностей), существует риск ошибочного решения в определении соответствия спецификации. Такие ошибочные ре-

шения бывают двух типов: величина, принятая соответствующей, может на самом деле быть несоответствующей, и величина отклоненная, как несоответствующая, может на самом деле соответствовать. Связанный с этим риск, соответственно, относится к *риску потребителя* и *риску производителя* (см. JCGM 106).

8.5 Риски ошибочного решения, касающегося принятия или отклонения, могут быть сбалансированы определением *интервала принятия* допустимых значений измеряемой величины таким образом, чтобы минимизировать затраты, связанные с этими решениями [19]. Задача вычисления вероятности соответствия и вероятностей ошибочных решений двух типов при данном распределении вероятностей, указанных в спецификации пределов и границ интервала принятия рассмотрена в JCGM 106. Выбор границ интервала принятия — это вопрос, который зависит от учета таких ошибочных решений.

8.6 Хотя распределения вероятностей в 8.3 и 8.5 имеют общий характер, дальнейшая обработка в JCGM 106 специализируется на наиболее важных случаях из практики, то есть на случаях, когда распределение Гауссово.

9 ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА НАИМЕНЬШИХ КВАДРАТОВ

9.1 Руководство по применению метода наименьших квадратов (также известного, как согласование наименьших квадратов) для задач по оцениванию данных в метрологии представлено в JCGM 107 [3]. В таких задачах часто есть лежащее в основе теоретическое соотношение между независимой переменной и зависимой переменной. Это соотношение составляет основу для согласования параметра или решения задачи подбора кривой. Входные величины в соответствующей модели измерений — это величины, для которых измеренные значения независимых и зависимых переменных являются выходами. Выходные величины — это величины, представляющие требуемые параметры. Способ, которым выходные величины получают из входных величин посредством метода наименьших квадратов, определяет модель измерений.

9.2 В терминологии калибровки (см. 6.8) значение измеряемой величины независимой переменной должно быть в большинстве случаев значением измерительного эталона. Значение зависимой переменной будет значением показания, полученным измерительной системой для соответствующего значения независимой переменной. В контексте подбора кривой, который как частный случай включает калибровку, такая процедура согласования, используемая в JCGM 107 — это обобщенная версия обычного метода наименьших квадратов.

9.3 Задача в том, чтобы оценить параметры (и иногда даже их количество) из пар измеряемых значений величины и соответствующих значений показаний. Эти пары вместе со связанными стандартными неопределенностями и, когда это приемлемо, ковариациями, составляют входные данные для согласования.

9.4 Типичными измерительными задачами, к которым может быть применен JCGM 107, включают в себя (а) линейные или нелинейные задачи подбора кривой, включая случай неполностью известных значений независимой переменной, и (б) подбора общих моделей для оценки параметров в физическом процессе. Применение JCGM 107 не ограничено в самом строгом смысле задачами подбора кривой. Оно также может быть использовано для обработки, например, в задачах свёртки [21], согласования фундаментальных констант [22] и оценивания данных ключевых сличений [9].

9.5 Для задач типа (а) из 9.4 после того, как метод наименьших квадратов был применен для оценивания параметров функции калибровки и оценивания связанных стандартных неопределенностей и ковариаций, измерительная система будет далее использоваться для измерения. Оценки параметров функции калибровки вместе с отдельным значением показания затем используются для оценивания соответствующей величины. Стандартная неопределенность, связанная с этой оценкой, вычисляется с использованием стандартных неопределенностей и ковариаций, связанных с оценками параметров, и стандартной неопределенностью, связанной со значением показания.

9.6 В JCGM 107 подчеркивается, что *структура неопределенности* должна полностью приниматься в расчет при формулировании и решении задачи наименьших квадратов. «Структура неопределенности» относится к стандартным неопределенностям, связанным со значениями измеряемых величин и значениями показаний, а также с любыми ковариациями, связанными с парами этих значений.

9.7 Для задач типа (б) из 9.4 или, в терминах определения параметров в задачах типа (а), задача согласования — это редко задача только одной выходной величины. Скорее, задача включает много выходных величин, для которых может быть удобно сформулировано математическое выражение в матричной форме. JCGM 107 рассматривает всестороннее использование матричного формализма, что хорошо согласуется с числовым решением с применением компьютера, что обычно требуется на практике (также см. 7.5).

А. Аббревиатуры и сокращения

В таблице А.1 представлены аббревиатуры и сокращения, использованные в документе

Таблица А.1 — Аббревиатуры и сокращения

Аббревиатура или сокращение	Описание
BIPM, МБМВ	Международное бюро мер и весов
GUM	Руководство по выражению неопределенности измерения
IEC, МЭК	Международная электротехническая комиссия
IFCC	Международная федерация клинической химии и лабораторной медицины
ILAC	Международная кооперация по аккредитации лабораторий
ISO, ИСО	Международная организация по стандартизации
IUPAC	Международный союз по теоретической и прикладной химии
IUPAP	Международный союз по теоретической и прикладной физике
JCGM, ОКРМ	Объединенный комитет по руководствам в метрологии
MCM, ММК	Метод Монте-Карло
TAG 4	Техническая консультативная группа 4 ИСО
VIM	Международный словарь по метрологии — Основные и общие понятия и соответствующие термины

- [1] Bell, S. Measurement Good Practice Guide No. 11. A Beginner's Guide to Uncertainty of Measurement. Tech. rep., National Physical Laboratory, 1999. 3.2
- [2] Bernardo, J., and Smith, A. Bayesian Theory. John Wiley & Sons, New York, USA, 2000. 3.20
- [3] BIPM, IEC, IFCC, ILAC, ISO, IUPAC, IUPAP, and OIML. Evaluation of measurement data — Applications of the least-squares method. Joint Committee for Guides in Metrology, JCGM 107, in preparation. 1, 9.1
- [4] BIPM, IEC, IFCC, ILAC, ISO, IUPAC, IUPAP, and OIML. Evaluation of measurement data — Concepts and basic principles. Joint Committee for Guides in Metrology, JCGM 105, in preparation. 1, 4.1
- [5] BIPM, IEC, IFCC, ILAC, ISO, IUPAC, IUPAP, and OIML. Evaluation of measurement data — Supplement 2 to the «Guide to the expression of uncertainty in measurement» — Models with any number of output quantities. Joint Committee for Guides in Metrology, JCGM 102, in preparation. 1, 6.1, 7.5.2
- [6] BIPM, IEC, IFCC, ILAC, ISO, IUPAC, IUPAP, and OIML. Evaluation of measurement data — Supplement 3 to the «Guide to the expression of uncertainty in measurement» — Modelling. Joint Committee for Guides in Metrology, JCGM 103, in preparation. 1, 6.1, 6.2
- [7] BIPM, IEC, IFCC, ILAC, ISO, IUPAC, IUPAP, and OIML. Evaluation of measurement data — The role of measurement uncertainty in conformity assessment. Joint Committee for Guides in Metrology, JCGM 106, in preparation. 1, 8.1
- [8] Casella, G. C., and Berger, R. L. *Statistical Inference*. Duxbury Press, Pacific Grove, 2001. Second Edition. 7.3.1
- [9] Cox, M. G. The evaluation of key comparison data. *Metrologia* 39 (2002), 589–595. 9.4

- [10] Cox, M. G., and Harris, P. M. SSfM Best Practice Guide No. 6, Uncertainty evaluation. Tech. Rep. DEM-ES-011, National Physical Laboratory, Teddington, UK, 2006. 7.3.1, 7.3.2
- [11] Cox, M. G., and Harris, P. M. Software specifications for uncertainty evaluation. Tech. Rep. DEM-ES-010, National Physical Laboratory, Teddington, UK, 2006.
- [12] Dietrich, C. F. *Uncertainty, Calibration and Probability*. Adam Hilger, Bristol, UK, 1991. 7.3.1
- [13] Elster, C. Calculation of uncertainty in the presence of prior knowledge. *Metrologia* 44 (2007), 111–116. 3.20
- [14] EURACHEM/CITAC. Quantifying uncertainty in analytical measurement. Tech. Rep. Guide CG4, EURACHEM/CITEC, [EURACHEM/CITAC Guide], 2000. Second edition.
- [15] Feller, W. *An Introduction to Probability Theory and its Applications, Volume I*. Wiley, 1968.
- [16] Feller, W. *An Introduction to Probability Theory and its Applications, Volume II*. Wiley, 1971.
- [17] Hibbert, D. B. *Quality Assurance for the Analytical Chemistry Laboratory*. Oxford University Press, Oxford, UK, 2007.
- [18] IEC. IEC Guide 115. Application of uncertainty of measurement to conformity assessment activities in the electrotechnical sector. International Electrotechnical Commission, Geneva, Switzerland, 2007. 8.1
- [19] ISO. ISO 10576-1. Statistical methods — Guidelines for the evaluation of conformity with specified requirements — Part 1: General principles, 2003. International Standards Organization, Geneva. 8.5
- [20] ISO/IEC. ISO/IEC 17025. General requirements for the competence of testing and calibration laboratories, 2005. International Standards Organization, Geneva.
- [21] Korczynski, M. J., Cox, M. G., and Harris, P. M. Convolution and uncertainty evaluation. In *Advanced Mathematical Tools in Metrology VII* (Singapore, 2006), P. Ciarlini, E. Felipe, A. B. Forbes, and F. Pavese, Eds., World Scientific, pp. 188–195. 9.4
- [22] Mohr, P. J., and Taylor, B. N. CODATA recommended values of the fundamental physical constants: 2002. *Rev. Mod. Phys.* 76 (2004), 4. 9.4
- [23] NIST. Uncertainty of measurement results.

- [24] Possolo, A., and Toman, B. Assessment of measurement uncertainty via observation equations. *Metrologia* 44 (2007), 464–475. 3.20
- [25] Rice, J. R. *Mathematical Statistics and Data Analysis*, second ed. Duxbury Press, Belmont, Ca., USA, 1995. 7.3.2
- [26] Weise, K., and Wöger, W. A Bayesian theory of measurement uncertainty. *Meas. Sci. Technol.* 3 (1992), 1–11. 4.8

аналитический метод	7.1.1, 7.3
априорное знание	3.20

B

величина	8.2, 8.4
возможные значения	8.3
входная.....	3.14, 3.15, 5.2, 6.6, 6.8, 7.1.1, 7.2.3, 7.3, 9.1
выходная	3.14, 3.15, 5.2, 6.6, 6.8, 7.2.1, 7.2.4, 7.3, 7.5.1, 7.5.2, 7.5.4, 7.5.5, 8.2, 9.1, 9.7
зависимая	4.4, 4.16, 7.2.2
зависимая от времени	3.12
независимая	4.14
погрешности	
систематической.....	3.4, 3.5
случайной	3.5
показания	3.2, 4.7
вероятность.....	3.8, 8.3
охвата	4.11, 4.12, 7.2.2, 7.5.5
соответствия	8.5
вычисление	см. этапы оценивания неопределенности

Д

диапазон принятия	8.5
доступное знание	3.19, 5.2, 6.6

E

единицы измерения, преобразование7.3.2

3

закон распространения
неопределенности 7.1.1, 7.5.2

с членами высших порядков.....	7.2.5
законодательная метрология	8.1
здравоохранение и безопасность	8.1
значение величины.....	6.8
измеряемое	3.2, 6.8, 8.2, 8.5, 9.2, 9.3, 9.6
интервал допускаемых.....	8.2
истинное	3.3, 8.1
не соответствующее	8.2
соответствующее.....	8.2
значение погрешности	
систематической.....	3.4, 3.6, 3.11
случайной	3.6
значения показаний.....	3.2, 6.8, 9.2, 9.3, 9.5, 9.6
малое количество	4.7
не полученные независимо.....	4.7
повторные	4.6

И

измерительная система	3.2, 3.4, 9.2, 9.5
измерительный эталон.....	6.8, 9.2
измеряемая величина	3.1, 3.6, 5.2, 8.2
интервал охвата.....	4.11, 7.2.2
вероятностно симметричный.....	4.12, 7.5.5
наименьший.....	4.12, 7.5.5
интервал принятия	8.5
истинное значение	3.17

К

калибровка.....	3.9, 9.2
ключевые сличения.....	9.4
ковариация.....	4.4, 4.16, 6.6, 6.8, 7.5.1, 7.5.4, 7.5.5, 9.3, 9.5, 9.6
контроль качества	8.1
корреляция.....	4.4
коэффициент чувствительности.....	4.14, 7.2.1

Л

лежащее в основе соотношение	9.1
------------------------------------	-----

М

матричная форма.....	7.5.2, 9.7
метод Монте-Карло.....	7.1.1, 7.2.5, 7.4, 7.5.1, 7.5.4
адаптивный.....	7.4.2
в сравнении со структурой оценивания	
неопределенности GUM.....	7.4.1
примеры.....	7.4.1
условия использования.....	7.4.1
число испытаний.....	7.4.2
метод наименьших квадратов.....	9, 9.5, 9.6
согласование.....	9.1, 9.2, 9.4
согласование параметра.....	9.1, 9.3
модель измерений.....	3.10, 3.14, 3.15, 4.14, 5.2, 6.6, 7.5.1, 7.5.2
многоступенчатая.....	6.8
общая форма.....	3.16, 7.1.3
оценивание.....	7.1.1
с любым числом выходных величин.....	6.6, 7.5, 7.5.3, 7.5.4
сложная.....	7.2.5

Н

научное заключение.....	4.6
неопределенность измерения.....	3.6, 3.8, 4.2, 8.2, 9.6
неполное знание.....	8.4

О

область охвата.....	7.5.5
гиперпрямоугольная.....	7.5.6
гиперэллипсоид.....	7.5.6
наименьшая.....	7.5.5, 7.5.6
приближенная.....	7.5.6
ожидание.....	3.18, 4.9
определенный (заданный) интервал.....	4.8
отклонение.....	8.5
оценивание данных.....	9.1
оценивание неопределенности	
по типу А.....	4.6, 4.7
по типу В.....	4.6, 4.8
этапы.....	5

оценка	3.3, 4.9, 6.6, 6.8, 7.2.1, 7.5.1, 7.5.4, 7.5.5
наилучшая.....	3.18, 4.4, 7.2.1
ошибочное решение.....	8.4, 8.5

П

параметр	
оценивание	9.4
функции калибровки.....	9.5
переменная	
зависимая.....	9.1, 9.2
измеряемые значения.....	9.1
независимая	9.1, 9.2, 9.4
подбор кривой	9.1, 9.2, 9.4
подведения итога	5.1
показания	3.2, 4.7
поправочный коэффициент	
связанная неопределенность	3.11
пределы заданные (оговоренные)	8.2, 8.3, 8.5
принятие	8.5
программная реализация	7.5.2
промышленная проверка	8.1

Р

разброс	3.3
распределение вероятностей	3.17, 3.18, 4.3, 5.2, 6.6, 7.1.1, 7.2.2–7.2.4, 7.3, 8.3–8.6
асимметричное	4.13, 7.2.4
Гаусса.....	4.7, 5.2, 7.1.1, 7.2.2, 7.2.3, 7.3.1, 8.6
дискретное представление.....	7.5.4
приписанное входным величинам.....	6.1
прямоугольное.....	4.8, 4.10, 7.3.1
совместное	3.17
совместное Гаусса.....	7.5.6
t-распределение	4.7, 7.11, 7.2.2
трапециoidalное	4.10, 7.3.1
функция плотности	4.3
функция распределения	4.3, 7.1.1
регулирование	8.1

риск	8.4
баланс.....	8.2
потребителя	8.4
производителя	8.4

С

свёртка	9.4
случайная переменная	3.17
смещение при измерении	3.5
соответствие	8.5
оценка	8, 8.1, 8.2
условия спецификации	8.3, 8.4
спецификация проекта.....	8.1
среднее.....	3.3
стандартная неопределенность	3.18, 4.4, 4.9, 4.14, 6.6, 6.8, 7.2.1, 7.5.4, 7.5.5, 9.3, 9.5, 9.6
стандартное отклонение	3.18, 4.7, 4.9
степени свободы.....	7.2.2
эффективные.....	7.2.2
степень доверия.....	3.8
структура оценивания неопределенности GUM	7.1.1, 7.2, 7.2.3–7.2.5, 7.4, 7.5.1, 7.5.2
проверка приемлемости с помощью ММК.....	7.4.3
сравнение с методом Монте-Карло.....	7.4.1
условия использования	7.2.3, 7.2.4
сумма квадратов членов	4.15

Т

трансформирование	5.1
распределений	3.19, 7.1.1, 7.2.5, 7.4.1

У

указанное (заданное) требование.....	8.2
установленные пределы.....	8.1

Ф

физическая константа	3.13
формулирование.....	см. этапы оценивания неопределенности

фундаментальная константа.....	9.4
функция измерений.....	3.15, 4.14
аддитивная.....	4.10
линейная	4.14, 7.2.3, 7.3.1
нелинейная.....	7.2.4
функция калибровки	6.5, 6.8
инверсия.....	6.8
параметр	6.8, 9.7

Ц

центральная предельная теорема	7.5.6
--------------------------------------	-------

Ч

частная производная	4.14, 7.2.5
численное решение	9.7

Э

этапы оценивания неопределенности	
вычисление	5.1, 7
формулирование.....	5.1, 6

Приложение ZZ

(информативное)

Соответствующие руководства ISO/IEC для руководящих документов JCGM, для которых в тексте не даны эквиваленты

На момент публикации этой части руководства ISO/IEC 98, действующими были редакции следующих документов.

Документ ОКРМ	Руководство ИСО/МЭК
JCGM 100	ISO/IEC Guide 98-3:2008, <i>Неопределенность измерения — Часть 3: Руководство по выражению неопределенности измерения (GUM:1995)</i>
JCGM 101	ISO/IEC Guide 98-3:2008/Приложение 1:2008, <i>Неопределенность измерения — Часть 3: Руководство по выражению неопределенности измерения (GUM:1995) — Приложение 1: Трансформирование распределений с использованием метода Монте-Карло</i>
JCGM 102	ISO/IEC Guide 98-3:2008/Приложение 2, <i>Неопределенность измерения — Часть 3: Руководство по выражению неопределенности измерения (GUM:1995) — Приложение 2: Модели с любым количеством выходных величин</i>
JCGM 103	ISO/IEC Guide 98-3:2008/Приложение 3, <i>Неопределенность измерения — Часть 3: Руководство по выражению неопределенности измерения (GUM:1995) — Приложение 3: Моделирование</i>
JCGM 104	ISO/IEC Guide 98-1:2009, <i>Неопределенность измерения — Часть 1: Введение к выражению неопределенности измерения</i>
JCGM 105	ISO/IEC Guide 98-2 ^a , <i>Неопределенность измерения — Часть 2: Понятия и основные принципы</i>

Окончание табл.

Документ ОКРМ	Руководство ИСО/МЭК
JCGM 106	ISO/IEC Guide 98-4 ^a , <i>Неопределенность измерения — Часть 4: Роль неопределенности измерения в оценке соответствия</i>
JCGM 107	ISO/IEC Guide 98-5 ^a , <i>Неопределенность измерения — Часть 5: Применения метода наименьших квадратов</i>
JCGM 200	ISO/IEC Guide 99:2007, <i>Международный словарь по метрологии — Основные и общие понятия и соответствующие термины</i>
^a Планируется	

ВВЕДЕНИЕ
К «РУКОВОДСТВУ ПО ВЫРАЖЕНИЮ
НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ»
и сопутствующим документам
– ОЦЕНИВАНИЕ ДАННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Научные редакторы
д.т.н., профессор Слаев Валерий Абдуллович
д.т.н. Чуновкина Анна Гурьевна

Ответственный за издание *А.А. Полуда*
Ответственный за выпуск *Н.В. Емельянова*
Ответственный за подготовку *Е.М. Криворучко*
Корректор *С.Е. Парфенова*
Компьютерная верстка *Н.В. Коробова*
Техническое сопровождение *Т.И. Жадобина*
Оператор цифровой печати *А.В. Егорова*

Издание подготовлено в НПО «Профессионал»
197341, Санкт-Петербург, ул. Горная, д. 1, корп. 1, оф. 22-Н.
Тел.(факс): (812) 601-30-70, 601-32-49, 715-14-35

mail@naukaspb.ru
<http://www.naukaspb.ru>

Подписано в печать 18.03.2011.
Формат 60×84/16. Бумага офсетная.
Объем 10,25 печ. л. Тираж 200 экз.

Отпечатано в центре цифровой печати НПО «Профессионал»