

Guide

OIML G 19
Редакция 2017

The role of measurement uncertainty in conformity
assessment decisions in legal metrology

**Роль неопределенности измерений при принятии решений об
оценке соответствия в законодательной метрологии**



**Международная организация
законодательной метрологии**

Содержание

Предисловие	5
1 Область применения и цели	6
2 Термины и определения	9
2.а. Обозначения и сокращения	15
3 Введение	16
3.1 Определение характеристик средств измерений и измерительных систем.....	16
3.2 Решения о соответствии с использованием неопределенности измерений.....	16
3.3 Сравнение погрешности и неопределенности	17
3.4 Поверка, включающая неопределенность измерений	17
3.5 Максимальные допускаемые погрешности и неопределенность измерений.....	17
4 Основные положения, касающиеся решений о соответствии при испытаниях и неопределенности измерений	18
5 Решения о соответствии при испытаниях, которые в явном виде включают неопределенность измерений	20
5.1 Плотность распределения (Probability density function - PDF).....	22
5.2 Вероятность соответствия	24
5.3 “Риски” и “правила принятия решения”, связанные с решениями о соответствии	25
6 Решения о соответствии, которые в неявном виде включают неопределенность измерений	32
7 Учет неопределенности измерений при установлении максимальных допускаемых погрешностей (MPE) и классов точности	34
8 Варианты предлагаемого для включения в Рекомендации и другие публикации МОЗМ текста по “неопределенности измерений”	35
8.1 Включение неопределенности измерений для лабораторных испытаний	35
8.2 Расчет неопределенности измерений	36
8.3 Установление MPE и MPU	37
8.4 Установление приемлемых уровней риска	37
8.5 Установление неопределенности погрешности показания, когда совместный риск не используется.....	38
8.6 Сложность оценки неопределенности погрешности показания	38
8.7 Указание неопределенности измерений в протоколах испытаний МОЗМ по оценке типа	39
8.8 Предоставление рекомендаций по использованию неопределенности измерений для периодической поверки.....	39
9 Библиография	40

Приложение А Совместное существование "погрешности измерения" и "неопределенности измерений" в области законодательной метрологии (взаимосвязь между калибровкой и поверкой).....	43
Приложение В Использование таблицы стандартного нормального распределения (Z-таблицы)	51
Приложение С Пример по оценке неопределенности измерений погрешности показания ...	56
Приложение D Пример оценки риска, включающей неопределенность измерений.....	63
Приложение Е Индекс измерительных возможностей (C_m)	70
Приложение F Установление неопределенности измерений с целью использования со средствами измерений и измерительными системами, которые прошли испытания на соответствие	72

Предисловие

Международная Организация Законодательной Метрологии (МОЗМ) является всемирной межправительственной организацией, которая своей первоочередной целью ставит гармонизацию правил и процедур и метрологического контроля, выполняемых национальными метрологическими службами или соответствующими организациями государств-членов.

Существуют основные категории публикаций МОЗМ:

- **Международные Рекомендации (OIML R)**, которые являются моделью правил, устанавливающих требуемые метрологические характеристики определенных средств измерений и определяющих методы и оборудование для проверки их соответствия. Государства-члены МОЗМ должны обеспечивать внедрение этих Рекомендаций в наиболее возможной степени.

- **Международные Документы (OIML D)**, которые по характеру являются информативными и предназначены для улучшения работы в области законодательной метрологии.

- **Международные Руководства (OIML G)**, которые также носят информативный характер и предназначены для предоставления руководящих положений по применению определенных требований в законодательной метрологии; и

- **Основные Международные Публикации (OIML V)**, которые определяют правила эксплуатации различных структур и систем МОЗМ.

Проекты Рекомендаций, Документов и Руководств МОЗМ разрабатываются техническими комитетами или подкомитетами, которые образуются из представителей государств-членов. Определенные международные и региональные институты также принимают участие на консультационной основе. Соглашения о сотрудничестве заключены между МОЗМ и некоторыми институтами, такими как ИСО и МЭК, с целью исключения противоречивых требований. Следовательно, производители и потребители средств измерений, испытательные лаборатории и другие могут применять одновременно публикации МОЗМ и публикации других организаций.

Международные Рекомендации, Документы и Руководства публикуются на английском языке (E) и переводятся на французский язык и периодически подлежат пересмотру.

Дополнительно МОЗМ публикует или участвует в публикациях **Словарей (OIML V)** и периодически поручает экспертам законодательной метрологии составление письменных **Отчетов Экспертов (OIML E)**. Отчеты Экспертов, предназначенные для предоставления информации и консультаций, выражают исключительно мнение автора, без привлечения какого-либо Технического Комитета или Подкомитета или МКЗМ. Поэтому их мнение не обязательно отражает взгляды МОЗМ.

Данная публикация, имеющая обозначение OIML G 19, издание англоязычной версии 2017(E), была разработана Проектной группой 2 Технического Подкомитета TC 3/SC 5 *Новое руководство: Выражение неопределенности измерений в прикладных задачах законодательной метрологии*. Она была одобрена для окончательной публикации Президентом Международного комитета законодательной метрологии (CIML) в феврале 2017 года.

Публикации МОЗМ могут быть загружены с веб-сайта МОЗМ в виде файлов в PDF формате. За дополнительной информацией по вопросам Публикаций МОЗМ можно обращаться в штаб-квартиру этой Организации:

Bureau International de Métrologie Légale
11, rue Turgot - 75009 Paris - France
Telephone: 33 (0)1 48 78 12 82
FAX: 33 (0)1 42 82 17 27
E-mail: biml@oiml.org
Internet: www.oiml.org

© Перевод на русский язык.
БелГИМ, 2017

1 Область применения и цели

Настоящее Руководство МОЗМ предоставляет секретариатам и организационным структурам МОЗМ, а также техническим комитетам, подкомитетам и проектным группам МОЗМ руководство по внедрению концепции неопределенности измерений в Рекомендации МОЗМ и другие публикации МОЗМ, используемые для целей законодательной метрологии. Предполагается, что читатель в некоторой степени знаком с понятиями, представленными в *Руководстве по выражению неопределенности измерений* [1] (далее упоминаемым как GUM) и возможно также с понятиями, содержащимися в Дополнениях к нему [2], [3], [4], [5]. Предполагается, что данное Руководство в конечном итоге станет Документом МОЗМ; его положения, как таковые, должны будут включаться соответствующим образом в Рекомендации и Документы МОЗМ. Однако, эта первоначальная версия представлена в качестве Руководства МОЗМ для того, чтобы предоставить техническим комитетам, подкомитетам и проектным группам МОЗМ дополнительное время для изучения положений документа и способов их включения в Рекомендации и Документы, за которые они являются ответственными.

Главной целью этого Руководства МОЗМ является обеспечение руководящими указаниями в отношении включения в публикации МОЗМ текста, который содержит информацию о том, когда и как учитывать неопределенность измерений при оценке соответствия, осуществляемой посредством контроля, то есть, когда определяется, соответствует ли объект (продукт, процесс, система, лицо или орган) определенным стандартам или выполняет ли он заданные требования. Основной упор делается на оценку соответствия средств измерений (или измерительных систем), когда заключения о годности (соответствии/несоответствии) в законодательной метрологии осуществляются главным образом на основании измеренных значений, полученных при испытании или поверке средств измерений или измерительных систем. Роль неопределенности измерений для других важных объектов, подлежащих оценке соответствия в законодательной метрологии, таких как фасованные товары (как пример случая более общей оценки соответствия), и в более общем плане для объектов всех видов, в настоящем документе не рассматривается.

Практические рекомендации, касающиеся способов включения положений этого Руководства МОЗМ в другие публикации МОЗМ, представлены в разделе 8.

Рекомендации содержат информацию, включая ссылки на различные источники, о том, как оценить возможные риски принятия ошибочных решений о соответствии. Такие риски неизбежно возникают из-за неопределенности измерений, связанной с измеренными значениями, полученными при испытании или поверке средства измерений или измерительной системы. То есть, неопределенность измерений в результате испытаний – очевидный разброс значений характеристики изделия, обусловленный определенным уровнем качества измерений - может стать проблемой при выполнении оценки соответствия посредством контроля, так как если она не учитывается, то это может привести к неверным оценкам последствий, связанных с погрешностью объекта, и увеличить риск принятия неверных решений, таких как браковка соответствующего объекта или принятие несоответствующего объекта, когда результат испытаний находится вблизи границы поля допуска.

Это Руководство также детально описывает отличие между "погрешностью" и "неопределенностью", чтобы при этом показать, как оба понятия (и оба термина) важны в законодательной метрологии. Это Руководство также предоставляет совместимые с GUM и его Дополнениями рекомендации и примеры по определению и выражению неопределенности измерений в прикладных задачах законодательной метрологии.

Рекомендации, представленные в этом Руководстве, предназначены для использования как при оценке типа, так и при поверке средств измерений, применяемых в области законодательной метрологии. Однако, признавая, что во многих случаях определение неопределенности измерений может оказаться сложной, требующей времени и поэтому дорогостоящей операцией, в настоящем документе приводятся рекомендации в отношении того, как однозначно и четко отлаженный процесс оценивания неопределенности измерений может быть упрощен до определенной степени или даже совсем опущен в некоторых программах измерений, таких как поверка.

Другой важной задачей настоящего Руководства является демонстрация того, каким образом может приниматься во внимание неопределенность измерений, по крайней мере в неявном виде, для средств измерений или измерительных систем, которые были поверены. Такая возможность является важным моментом, так как оценка неопределенности крайне необходима для того, чтобы результаты измерений (значения и неопределенности), которые в дальнейшем будут получаться с использованием поверенных средств/систем, могли иметь метрологическую прослеживаемость.

Гармонизированные методы для оценивания неопределенностей измерений и их включение в критерии принятия решений, используемые для метрологического оценивания средств измерений и систем, являются необходимыми для того, чтобы выводы по результатам испытаний и метрологические решения могли приводить к сопоставимым результатам, получаемым двумя национальными органами, являющимися ответственными в области законодательной метрологии. Такая сопоставимость является важным элементом для достижения доверия между органами при признании утверждения типа, приводящего к предполагаемому внедрению и функционированию Системы сертификатов МОЗМ (OIML-CS) [6], которая заменит Систему основного сертификата [7] и Соглашение МОЗМ о взаимном признании (МАА) [8]. Такое доверие, как правило, также необходимо для обеспечения достоверности процессов и сертификатов поверки.

Руководящие указания, представленные в настоящем Руководстве, согласуются с положениями ISO/IEC 17025 [9] "Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий" в части требований, связанных с использованием неопределенности измерений.

Данное Руководство не предназначено для использования в случаях, когда государство должно потребовать аккредитацию своих калибровочных и испытательных лабораторий на соответствие ISO/IEC 17025 или даже в случаях, в которых государство должно определить, когда и как следует потребовать использовать неопределенность измерений в своем национальном законодательстве. Испытательные лаборатории, которые использует Орган по сертификации в OIML-CS, должны следовать рекомендациям, приведенным в OIML D10 [10] "Руководство по применению ISO/IEC 17025 для оценки испытательных лабораторий, участвующих в законодательной метрологии".

Как ранее было указано, другие вопросы, имеющие отношение к оценке рисков и не рассмотренные в настоящем Руководстве являются следующими:

- выборочный контроль по качественным признакам (например, нарушение пломбировки, маркировка и т.д.);

- совокупность приборов в смысле "статистического анализа", и
- масса-нетто и маркировка фасованных товаров (смотри OIML R 87 [11] и OIML R 79 [12]).

2 Термины и определения

Термины и определения, представленные в разделе 2, взяты из следующих источников: VIM 3 [14], VIML [15] и JCGM 106 [5]. В общем случае примеры и примечания здесь не приводятся, и при необходимости следует обращаться к первоисточникам. Примечания были включены в случаях, когда они были признаны важными для понимания определения.

2.1 Величина (quantity) (VIM3 1.1)

свойство явления, тела или вещества, которое может быть выражено количественно в виде числа с указанием отличительного признака как основы для сравнения.

2.2 Значение величины (quantity value) (VIM3 1.19)

число с указанием основы для сравнения, выражающее размер величины.

2.3 Истинное значение величины (true quantity value) (VIM3 2.11)

значение величины, которое соответствует определению величины.

2.4 Измеряемая величина (measurand) (VIM3 2.3)

величина, подлежащая измерению.

2.5 Модель измерений (measurement model) (VIM3 2.48)

математическая связь между всеми величинами, о которых известно, что они участвуют в измерении.

2.6 Функция измерений (measurement function) (VIM3 2.49)

функция величин, значение которой, вычисленное с использованием известных значений входных величин в модели измерений, является измеренным значением выходной величины в этой модели измерений.

2.7 Измеренное значение величины (measured quantity value) (VIM3 2.10)

значение величины, которое представляет результат измерения.

2.8 Неопределенность измерений (measurement uncertainty) (VIM3 2.26)

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

Примечание: (не из VIM3): В Дополнении GUM JCGM 104 [4] неопределенность измерений описана как степень уверенности в том, насколько хорошо нам известно по сути единственное истинное значение измеряемой величины.

2.9 Результат измерения (measurement result) (VIM3 2.9)

набор значений величины, приписываемых измеряемой величине вместе с любой другой доступной и существенной информацией.

2.10 Погрешность измерения (measurement error) (VIM3 2.16)

разность между измеренным значением величины и опорным значением величины.

Примечание 1: Понятие "погрешность измерения" может использоваться двояко:

- a) когда имеется единственное опорное значение величины, как в случае калибровки по эталону, у которого измеренное значение величины имеет пренебрежимо малую неопределенность измерений, или когда дано принятое значение величины. В этом случае погрешность измерения известна, а также
- b) если предполагается, что измеряемая величина представлена единственным истинным

значением величины или совокупностью истинных значений в пренебрежимо малом диапазоне. В этом случае погрешность измерения неизвестна.

Примечание 2: Погрешность измерения не следует путать с производственной ошибкой или ошибкой, связанной с человеческим фактором.

Примечание 3: (не из VIM3): Существует два подхода в отношении того, как следует рассматривать "погрешность": как "значение" в соответствии с приведенным выше определением, или как "величину", которая имеет значение. В литературе можно найти оба способа применения термина "погрешность". В настоящем Руководстве будет использоваться определение, приведенное выше. Следует отметить, что в [5] рассматривается другой подход.

2.11 Смещение (при измерении) (measurement bias) (VIM3 2.18)

оценка систематической погрешности измерения

2.12 Показание (indication) (VIM3 4.1)

значение величины, формируемое средством измерений или измерительной системой.

Примечание 1: Показание может быть представлено в визуальной или звуковой форме или может быть передано на другое устройство. Показание часто представляется в виде позиции указателя на дисплее для аналоговых выходов, отображенного или напечатанного числа для цифровых выходов, кодовой комбинации для кодовых выходных сигналов или приписанного значения величины для материальных мер.

Примечание 2: Показание и соответствующее значение измеряемой величины не обязательно являются значениями величин одного рода.

Примечание 3: (не из VIM3): Существует два подхода в отношении того, как следует рассматривать "показание": как "значение" в соответствии с приведенным выше определением, или как "величину", которая имеет значение. В литературе можно найти оба способа применения термина "показание". В настоящем Руководстве будет использоваться определение, приведенное выше. Следует отметить, что в [5] рассматривается другой подход.

2.13 Погрешность показания (error of indication) (VIML 0.04)

разность между показанием и опорным значением величины.

Примечание: Иногда для "опорного значения" используют термин "(условно) истинное значение величины". См. также OIML V2-200:2012, 2.12, Примечание 1.

2.14 Максимальная допустимая погрешность измерения (maximum permissible measurement error) (MPE) (VIM3 4.26)

крайнее значение погрешности измерения относительно известного опорного значения величины, разрешенное спецификацией или нормативными документами для данного измерения, средства измерений или измерительной системы

Примечание 1: Обычно, когда существует два крайних значения, используют термины "максимальные допустимые погрешности" или "пределы погрешности".

Примечание 2: Не следует использовать термин "допуск" для обозначения понятия "максимальная допустимая погрешность".

Примечание 3: (не из VIM3): Существует два подхода в отношении того, как следует рассматривать "максимальную допустимую погрешность": как "значение" в соответствии с приведенным выше определением, или как "величину", которая имеет значение. В настоящем Руководстве будет использоваться определение, приведенное выше. Следует отметить, что в [5] рассматривается другой подход.

2.15 Максимальная допустимая неопределенность (maximum permissible

uncertainty, (MFU_E))

наибольшее значение, которое может иметь неопределенность измерений погрешности показания для результата испытаний при использовании подхода с совместным риском.

2.16 Метрологическая прослеживаемость (metrological traceability) (VIM3 2.41)

свойство результата измерения, в соответствии с которым результат может быть соотнесен с основой для сравнения через документированную непрерывную цепь калибровок, каждая из которых вносит вклад в неопределенность измерений.

2.17 Показатель измерительных возможностей (measurement capability index) (C_m) (JCGM 106 3.3.17)

допуск, разделенный на число, кратное стандартной неопределенности измерения, соответствующей измеренному значению свойства объекта.

Примечание 1: $C_m = MPE/U_{E_i}$

2.18 Риск ложной приемки (risk of false acceptance) (в JCGM 106 (п. 3.3.13) он называется частным риском потребителя (specific consumer's risk))

вероятность того, что конкретный принятый объект окажется несоответствующим.

2.19 Риск ложной браковки (risk of false rejection) (в JCGM 106 (п. 3.3.14) он называется частным риском производителя)

вероятность того, что конкретный забракованный объект окажется соответствующим.

2.20 совместный риск (shared risk)

риск, основанный на соглашении между сторонами, заинтересованными в результате испытания, о том, что ни одна из сторон не получит преимущество или не будет нести убытки из-за учета неопределенности измерений.

2.21 Защитная полоса (guard band) (JCGM 106 3.3.11)

интервал между границей поля допуска и соответствующей приемочной границей.

2.22 Измерительная система (measuring system) (VIM3 3.2)

набор из одного или более средств измерений, а часто и других устройств, включая реактивы и источники питания, собранный и приспособленный для получения информации об измеренных значениях величин в пределах установленных интервалов для величин указанного рода

Примечание: Измерительная система может состоять только из одного средства измерений.

2.23 Нормальные условия эксплуатации (reference operating condition) (VIM3 4.11)

условия эксплуатации, предписанные для оценивания характеристик средства измерений или измерительной системы или для сравнения результатов измерений.

2.24 Нормированные условия эксплуатации (rated operating condition) (VIM3 4.9)

условия эксплуатации, которые должны выполняться во время измерения для того, чтобы средство измерений или измерительная система функционировали в соответствии со своим назначением.

2.25 Оценка соответствия (conformity assessment) (VIML A.1)

доказательство того, что заданные требования к продукции, процессу, системе, лицу или органу, выполнены.

2.26 Оценка типа (образца) (type (pattern) evaluation) (VIML 2.04)

процедура оценки соответствия одного или нескольких экземпляров определенного типа (образца) средств измерений, результатом которой является отчет об оценке и/или сертификат об оценке.

2.27 Поверка (средства измерений) (verification) (VIM3 2.44)

предоставление объективных свидетельств того, что данный объект полностью удовлетворяет установленным требованиям.

2.28 Поверка средства измерений (verification of a measuring instrument) (VIML 2.09)

процедура оценки соответствия (отличная от оценки типа), результатом которой является присвоение знака поверки и/или выдача свидетельства о поверке.

2.29 Калибровка (calibration) (VIM3 2.39)

операция, в ходе которой при заданных условиях на первом этапе устанавливаются соотношение между значениями величин с неопределенностями измерений, которые обеспечивают эталоны, и соответствующими показаниями с присущими им неопределенностями, а на втором этапе на основе этой информации устанавливают соотношение, позволяющее получать результат измерения исходя из показания.

2.30 Контроль (inspection) (VIML A.11)

проверка проектной документации на продукцию, продукции, процесса или монтажа и определение их соответствия заданным требованиям или, на основе профессионального суждения, общим требованиям.

Примечание: Контроль процесса может включать проверку персонала, оборудования, технологии и методологии.

2.31 Метрология (metrology) (VIM3 2.2)

наука об измерениях и их применении.

Примечание: Метрология включает все теоретические и практические аспекты измерений, независимо от неопределенности измерений и области применения.

2.32 Законодательная метрология (legal metrology) (VIML 1.01)

деятельность и процессуальные нормы применения системы нормативных и регулирующих правил и их обязательного выполнения в метрологии.

Примечание 1: Область распространения законодательной метрологии в разных странах может различаться.

Примечание 2: Законодательная метрология включает:

- установление законодательных требований,
- контроль/оценку соответствия регулируемой продукции и регулируемых видов деятельности,
- надзор за регулируемой продукцией и регулируемыми видами деятельности,
- обеспечение необходимой инфраструктуры для реализации прослеживаемости законодательно контролируемых измерений и средств измерений к Международной системе SI или национальным эталонам.

Примечание 3: Существуют также регламентирующие документы, касающиеся точности и правильности методов измерений, которые не входят в сферу законодательной метрологии.

2.33 Эталон (measurement standard, etalon) (VIM3 5.1)

реализация определения данной величины с установленным значением величины и связанной с ним неопределенностью измерений, используемая в качестве основы для сравнения.

- Пример 1 Эталон массы 1 кг со связанной стандартной неопределенностью измерений 3 мкг.
- Пример 2 Эталонный резистор 100 Ом со связанной стандартной неопределенностью измерений 1 мкОм.
- Пример 3 Цезиевый эталон частоты с относительной стандартной неопределенностью измерений 2×10^{-15} .
- Пример 4 Эталонный водородный электрод с приписанным значением величины 7,072 и связанной стандартной неопределенностью измерений 0,006.
- Пример 5 Набор образцовых растворов кортизола в сыворотке крови человека, имеющих аттестованное значение величины с неопределенностью измерений для каждого раствора.
- Пример 6 Стандартный образец, обеспечивающий значения величины с неопределенностями измерений массовой концентрации каждого из десяти различных белков.
- Примечание 1 “Реализация определения данной величины” может обеспечиваться измерительной системой, материальной мерой или стандартным образцом.
- Примечание 2 Эталон часто используется как основа для сравнения при установлении измеренных значений других величин того же рода и связанных с ними неопределенностей измерений и, таким образом, для установления метрологической прослеживаемости через калибровку других эталонов, средств измерений или измерительных систем.
- Примечание 3 Термин “реализация” используется здесь в самом общем смысле. Он означает три процедуры “реализации”. Первая состоит в физической реализации единицы измерения из ее определения и является реализацией в буквальном смысле. Вторая, называемая “репродукцией”, состоит не в реализации единицы измерения из ее определения, а в установлении высокостабильного эталона, основанного на физическом явлении, как, например, в случае использования стабилизированных по частоте лазеров для установления эталона метра, эффекта Джозефсона для вольта, квантового эффекта Холла для ома. Третья процедура состоит в принятии материальной меры в качестве эталона. Это имеет место, например, в случае эталона 1 кг.
- Примечание 4 Стандартная неопределенность измерений, связанная с эталоном, всегда является составляющей суммарной стандартной неопределенности измерений (см. ISO/IEC Guide 98-3:2008, п. 2.3.4) для результата измерения, который получен с использованием эталона. Часто такая составляющая мала по сравнению с другими составляющими суммарной стандартной неопределенности измерений.
- Примечание 5 Значение величины и неопределенность измерений должны определяться для времени использования эталона.
- Примечание 6 Несколько величин одного или разного родов могут быть реализованы в одном устройстве, которое обычно также называют эталоном.
- Примечание 7 Иногда вместо слова “realization” (реализация) в английском языке используют слово “embodiment” (воплощение).
- Примечание 8 В науке и технике английское слово “standard” (стандарт) используют по крайней мере в двух различных значениях: как спецификация, техническая рекомендация или подобный нормативный документ (во французском языке слово “norme”) и как измерительный эталон (во французском языке слово “étalon”). В этом словаре рассматривается только второе значение.
- Примечание 9 Термин “эталон” (“measurement standard”) иногда используют для обозначения других метрологических средств, например, “эталонное программное обеспечение” (см. ISO 5436-2).

2.34 Точность измерений (measurement accuracy, accuracy of measurement, accuracy) (VIM3 2.13)

близость измеренного значения к истинному значению измеряемой величины.

Примечание 1 “Точность измерений” не является величиной и ей не может быть присвоено числовое значение величины. Считается, что измерение является более точным, если оно имеет меньшую погрешность измерения.

Примечание 2 Термин “точность измерений” не следует использовать для обозначения правильности измерений, а термин прецизионность измерений — для обозначения “точности измерений”, хотя последнее имеет связь с двумя этими понятиями.

Примечание 3 Под “точностью измерений” иногда понимают близость между значениями величины, приписываемыми измеряемой величине.

2.35 Граница поля допуска (JCGM 106 3.3.4)

заданные верхнее или нижнее предельное значение для допустимых значений свойства.

2.36 Поле допуска (tolerance interval) (JCGM 106 3.3.5)

интервал допустимых значений свойства.

2.а. Обозначения и сокращения

BIMP	Международное бюро мер и весов
E_I	Погрешность показания
f_{E_I}	= 1/TUR
f_S	= 1/TAR
GUM	Руководство по выражению неопределенности измерений [1]
IEC	Международная электротехническая комиссия
IFCC	Международная федерация клинической химии
ILAC	Международная организация по аккредитации лабораторий
ISO	Международная организация по стандартизации
IUPAC	Международный союз теоретической и прикладной химии
IUPAP	Международный союз теоретической и прикладной физики
IUT	Испытываемое средство измерений
JCGM	Объединенный комитет по руководствам в метрологии
МАА	Соглашение МОЗМ о взаимном признании
MPE	максимальная допускаемая погрешность
MPU	максимальная допускаемая неопределенность
OIML	Международная организация законодательной метрологии
p_n	вероятность не соответствия
p_{fa}	вероятность (риск) ложной приемки
p_{fr}	вероятность (риск) ложной браковки
PDF	плотность распределения (вероятностей)
SC	Технический подкомитет МОЗМ
TAR	соотношение точностей при испытаниях
TC	Технический комитет МОЗМ
TUR	соотношение неопределенностей при испытаниях
u_{E_I}	стандартная неопределенность измерений погрешности показания
u_S	стандартная неопределенность измерений эталона (или системы)
u_I	стандартная неопределенность измерений показания
u_{rep}	стандартная неопределенность измерений, связанная с повторяемостью
u_{roc}	стандартная неопределенность измерений, связанная с нормированными условиями эксплуатации
VIM	Международный словарь терминов по метрологии
VIML	Международный словарь терминов по законодательной метрологии
Z-таблица	таблица стандартного нормального распределения

3 Введение

Концепция “неопределенности измерений”, как указано в GUM, совершила настоящую революцию в современной метрологии. Важность учета неопределенности измерений широко признана как в области метрологии, так и в области аккредитации лабораторий, как основополагающего элемента метрологической прослеживаемости результатов измерений.

Постоянно расширяется список литературы, которая предоставляет методы для расчета и использования неопределенности измерений для самого различного применения, включая принятие решений при испытаниях и поверке в области законодательной метрологии. Методы различаются между собой по использованию времени и сложности. Детальное определение и использование неопределенности измерений обычно применяется к калибровочным или испытательным лабораториям. В области законодательной метрологии множество измерений не выполняется в лаборатории. Для обеспечения оперативного принятия решений они выполняются чаще вне лаборатории, и поэтому методы определения и использования неопределенности измерений могут играть важную роль с точки зрения эффективности и практичности этих видов деятельности (см. раздел 6).

3.1 Определение характеристик средств измерений и измерительных систем

Законодательная метрология – это деятельность и процессуальные нормы применения системы нормативных и регулирующих правил и их обязательного выполнения в метрологии [15]. Важнейшим аспектом законодательной метрологии является определение характеристик средств измерений и измерительных систем, которые используются в таких областях, как торговля, здравоохранение и безопасность, а также охрана окружающей среды. Сюда включается классификация и оценка конструкции средств измерений и измерительных систем (или их типов), а также калибровка или поверка характеристик отдельных средств и систем, как непосредственно после их производства, так и после их установки и использования вне лаборатории.

Оценка соответствия в контексте законодательной метрологии означает оценку конструкции и характеристик средств измерений и измерительных систем на соответствие техническим и метрологическим требованиям и спецификациям, которые приводятся в нормативных метрологических документах. Хотя в некоторых странах и юрисдикциях могут существовать собственные требования, одной из ключевых целей МОЗМ является предоставление общепринятых требований в своих публикациях, в частности, в Рекомендациях МОЗМ, которые могут быть приняты и использованы по всему миру полностью или по меньшей мере в качестве основы для гармонизированных требований в области законодательной метрологии.

3.2 Решения о соответствии с использованием неопределенности измерений

Принятие решений об оценке соответствия в законодательной метрологии становится более сложным при включении неопределенности измерений, поскольку начинают учитываться понятия вероятности и риска (см. пп. 5.2 и 5.3). В частности, становится необходимым думать в терминах степени доверия (или уровня доверия, выраженного в виде вероятности) о том, что по сути единственное истинное значение (обозначаемое далее как “истинное значение”) предположительно постоянной систематической погрешности

показания (далее обозначаемое только как “погрешность показания”) на самом деле лежит за пределами заданной максимальной допускаемой погрешности (maximum permissible error - MPE) вне зависимости от того, находится или нет измеренное значение в пределах MPE (см. Приложение А). Для определения того, успешно ли “прошло” испытание на основании представленной вероятности, могут устанавливаться различные “правила принятия решения” и рассчитываться соответствующие “риски” принятия неверных решений (см. п. 5.2, Приложение D). При использовании способов, описанных далее в данном Руководстве (см. п. 6), необходимость однозначного расчета вероятностей и рисков для многих основанных на измерениях программ по принятию решений можно свести к минимуму или даже избежать ее, однако при этом неопределенность измерений все равно требуется принимать во внимание.

3.3 Сравнение погрешности и неопределенности

Но не только внедрение неопределенности измерений усложняет принятие решений при оценке соответствия. Иногда язык, используемый при принятии таких решений, может вводить в заблуждение или даже казаться противоречивым. В частности, хотя понятия “погрешность” и “неопределенность” имеют определенное сходство в том, что они оба относятся к качеству измерений, на самом деле они в значительной степени отличаются друг от друга. Возможно будет выглядеть парадоксальным то, что “погрешность показания” сама может быть измерена, и поэтому она имеет значение с соответствующей неопределенностью измерений. Данное различие между “погрешностью” и “неопределенностью”, а также их совместное существование в законодательной метрологии (и других областях метрологии) более подробным образом рассматриваются в источнике [16] и Приложении А.

3.4 Поверка, включающая неопределенность измерений

Хотя концепция неопределенности измерений, подробным образом представленная в GUM, является достаточно новой (создана около 20 лет назад), поверка в области законодательной метрологии всегда включала в себя некоторое упоминание неопределенности измерений в том смысле, что максимальные допускаемые погрешности (Maximum Permissible Errors - MPE) обычно устанавливались таким образом, чтобы учитывать приемлемую неопределенность измерений, по крайней мере в неявном виде. Одним из примеров является практика установления MPE с запасом (MPE при эксплуатации) для получения “безопасных” решений в отношении того, находятся ли измеренные погрешности показания в допустимых пределах. Практика определения доли, такой как 1/3 или 1/5, для максимального допустимого отношения погрешности (фактически, неопределенности) эталонного (референтного) средства измерений к MPE представляет собой другой пример учета неопределенности измерений в неявном виде. Одна из важных тем, обсуждаемых в данном Руководстве, рассматривает вопросы в отношении того, когда и каким образом в неявном, а не в явном виде, учитывать неопределенность измерений при принятии решений о соответствии в программах испытаний и поверки для того, чтобы можно было установить и поддерживать прослеживаемость измерений (см. п. 6) при дальнейшем использовании средства измерений или измерительной системы.

3.5 Максимальные допускаемые погрешности и неопределенность измерений

Учет неопределенности измерений также необходим при установлении соответствующих MPE для используемых программ испытаний. Расходы для потребителя, продавца или производителя, связанные с заданными в технических условиях

максимальными допускаемыми погрешностями, значения которых являются слишком большими или слишком малыми, можно сократить посредством учета неопределенности измерений при первичном установлении МРЕ. Задание МРЕ, которые являются слишком малыми, может оказаться весьма дорогостоящим для производителя прибора, которому потребуется спроектировать и изготовить более дорогое средство измерений для соответствия более жестким требованиям для соответствующего применения, и, скорее всего, перенести дополнительные расходы на заказчика. Для достижения приемлемых уровней риска МРЕ могут быть определены с максимальной экономической эффективностью посредством учета потенциальных уровней неопределенности измерений для различных прикладных целей и сфер применения средств измерений. В разделе 7 кратко рассматриваются способы учета неопределенности измерений при предписывании МРЕ в рекомендациях и прочих публикациях МОЗМ (см. также OIML R 34 "Классы точности средств измерений" [13]). Для удобства в разделе 8 приводятся определенные текстовые формулировки, касающиеся учета неопределенности измерений в явном или неявном виде, которые следует рассматривать в качестве вариантов для включения в рекомендации либо другие документы МОЗМ.

4 Основные положения, касающиеся решений о соответствии при испытаниях и неопределенности измерений

Одной из ключевых ролей законодательной метрологии является оценка характеристик и соответствия конструкций (или типов) средств измерений и измерительных систем (оценка типа), а также характеристик отдельных средств измерений и систем (первичная или последующая поверка) для различных областей применения, подлежащих контролю на законодательном уровне. Основной вид испытания, который используется для проведения таких оценок, включает сравнение "погрешности показания" с "максимальной допускаемой погрешностью" (МРЕ), которая установлена для соответствующего применения. Погрешность показания (обозначается как E_I) обычно определяется как разность между показанным средством измерений или измерительной системой значением, полученным при измерении измеряемой величины, и истинным значением этой измеряемой величины. Поскольку невозможно выполнить "идеальное" измерение, и поэтому "истинное" значение измеряемой величины не может быть известно, то погрешность показания в рабочем порядке принимается как разность между показанным средством измерений или измерительной системой значением (Y_I), полученным при измерении измеряемой величины, и значением (Y_S) той же измеряемой величины, определенной с использованием эталона. Математически это выражается следующим образом:

$$E_I = Y_I - Y_S . \quad (4.1)$$

Следует отметить, что исторически в законодательной метрологии термин "истинное значение" обычно не используется в приведенном здесь смысле, а скорее означает значение, связанное с эталоном, который используется в процессе испытаний средства измерений. Это последнее объяснение не является эквивалентным пониманию термина "истинное" значение, используемым в данном Руководстве. Более подробную информацию можно найти в Приложении А и JCGM 106 [5].

В общем смысле Y_s представляет собой показываемое значение, полученное непосредственно на основании показания эталона или из сертификата калибровки эталона.

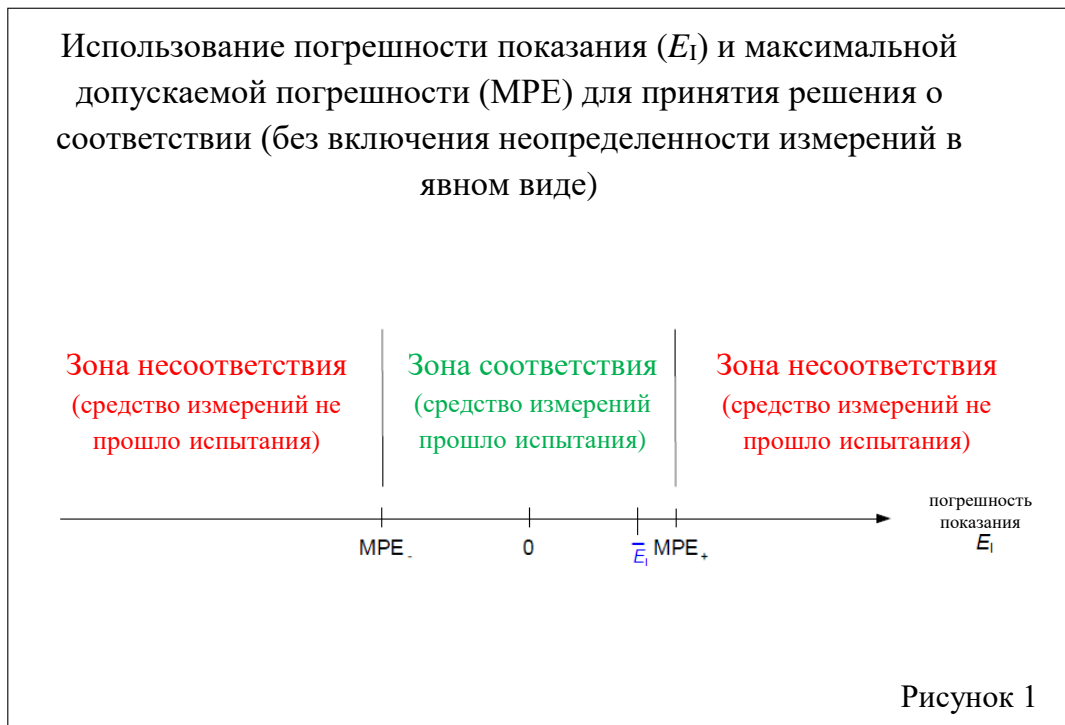
Для более сложных эталонов (или систем) Y_s можно определить посредством использования "модели измерения" [1][2][3][4], которая соотносит значение измеряемой величины со значениями (X_i) "входных величин в модели измерения" [4] (т.е., Y_s зависит от, или является функцией (f), значений X_i):

$$Y_s = f(X_1, X_2, \dots, X_n). \quad (4.2)$$

В зависимости от категории выполняемого испытания (оценка типа, первичная поверка или последующая поверка) существует множество вариантов проведения испытания. Спецификация определенного испытания может включать определенное число отдельных погрешностей показания, которые должны быть получены (посредством повторных измерений), а также требования к тому, когда и как должны контролироваться условия эксплуатации средства измерений (если применимо). Тем не менее, общим условием для всех категорий испытаний является то, что принятие решений о соответствии в конечном итоге основывается на результатах одного или нескольких испытаний с последующим сравнением измеренных погрешностей с МРЕ.

Сравнение измеренной погрешности показания с МРЕ с целью принятия решения о соответствии в виде схемы показано на рисунке 1. Горизонтальная ось представляет возможные значения погрешности показания E_I . Верхние и нижние МРЕ, обозначаемые как MRE_+ и MRE_- соответственно, показаны как симметричные относительно нуля, но это не всегда может быть так. В случае, когда только единичное значение измеренной погрешности показания должно использоваться для принятия решения о соответствии, то, если это единичное значение измеренной погрешности показания лежит в интервале, определенном МРЕ (обозначается как "зона соответствия" на рисунке 1), считается, что средство измерений прошло данное испытание (как показано на рисунке 1). В противном случае считается, что средство измерений не прошло испытание. Следует отметить, что неопределенность измерений не рассматривается в явном виде в настоящем рассуждении или на рисунке 1. Тем не менее, предполагается, что МРЕ установлены на основании возможных уровней неопределенности измерений для соответствующего типа измерений.

Следует отметить, что для учета случайных изменений в измеренных значениях погрешности показания в некоторых Рекомендациях МОЗМ испытания построены таким образом, чтобы отдельные решения о соответствии не основывались на единичном значении измеренной погрешности показания, а основывались на получении двух или более значений погрешности показания и использовании среднего значения в качестве основы для принятия решения о соответствии. Это отражено посредством использования символа \bar{E}_I на рисунке 1, где испытание считается успешным, поскольку \bar{E}_I находится в зоне соответствия. Еще одна возможность - получить два или более значений измеренных погрешностей измерения, и затем потребовать, чтобы определенная их часть (например, два или три значения) находилась в зоне соответствия. Когда неопределенность измерения учитывается, как будет показано в разделе 5, различия между данными двумя способами принятия решения о соответствии не может привести к принятию различных решений, поскольку случайные изменения в измерении включены в неопределенность измерений.



5 Решения о соответствии при испытаниях, которые в явном виде включают неопределенность измерений

Как указано во Введении, включение концепции неопределенности измерений в решения о соответствии при испытаниях в области законодательной метрологии требует иного пути мышления и другого рассмотрения решений, чем это описано в разделе 4 (см. Приложение А и JCGM 106 [5]). Вместо того, чтобы однозначно заявлять, что средство измерений соответствует заданным в виде MPE требованиям и поэтому проходит определенное испытание о соответствии, можно лишь установить некоторую степень уверенности (или вероятности, выраженной в виде уровня доверия) в отношении соответствия средства измерений каждому требованию, выраженному в виде MPE. Характерная черта такого вероятностного подхода заключается в том, что нужно учитывать определенные риски (например, риск принятия неверного решения) при принятии решения о прохождении/непрохождении испытания. Неопределенность измерения используется в процессе установления количественных значений таких вероятностей и рисков.

Предполагается, что читатель данного Руководства уже знаком с концепцией неопределенности измерений и процедурой GUM для ее расчета. Тем не менее, для тех, кто не знаком с ними, в Приложении С приводятся соответствующие примеры. Также имеется Дополнение GUM [2], в котором рассматривается другой подход к расчету неопределенности измерений, основанный на методе Монте-Карло.

ISO/IEC 17025 [9] стал общепризнанным стандартом, который используется в области международной аккредитации лабораторий для оценки компетентности испытательных и калибровочных лабораторий. В соответствии с данным стандартом “[п. 5.4.6.2] испытательные лаборатории должны иметь и применять методики оценивания неопределенности измерений” и “[п. 5.4.6.3] При оценивании неопределенности измерений должны учитываться с помощью принятых методов анализа все ее составляющие, которые являются существенными в данной ситуации”.

Примечание: См. п. 5.4.6.2, Примечание 2 в ISO/IEC 17025: В случаях, когда общепризнанный метод испытания устанавливает пределы для значений основных источников неопределенности измерений, а также устанавливает форму представления расчетных результатов, считается, что лаборатория выполнила требования этого раздела, применив данный метод испытаний и выполнив инструкции по представлению отчета (см. п. 5.10).

В разделе 5 рассматривается использование неопределенности измерений в явном виде для целей принятия решений о соответствии, например, когда измерения выполняются в лабораторной среде. В Разделе 6 рассматривается использование неопределенности измерений в неявном виде для принятия решений о соответствии, когда измерения выполняются вне лабораторной среды, или когда используется измерительная система, для которой сложно оценить неопределенность полученных результатов в явном виде. Тем не менее, крайне важно понимать, что неопределенность измерений учитывается при обоих условиях измерений, поэтому результаты измерений, полученные впоследствии с использованием испытанных средств измерений, могут являться прослеживаемыми.

Независимо от измерения, применяемого в процессе испытания в целях оценки типа, установленных в Рекомендации МОЗМ (или иной публикации МОЗМ), в публикациях МОЗМ должны предоставляться соответствующие рекомендации по эффективным и практическим методам, которые могут использоваться для расчета неопределенности измерений для модели(ей) измерения, которая(ые) соответствуют типу средства измерений, на который распространяется Рекомендация.

В частности, публикации МОЗМ должны содержать руководство по описанию испытательной установки (включая эталон и любое дополнительное измерительное оборудование), а также методы составления модели измерения (как в уравнении 4.2) и описание входных величин. С целью приемки или браковки определенного средства измерений или измерительной системы может потребоваться отдельно отслеживать неопределенности, обусловленные воздействиями, которые влияют на испытательную установку, а также неопределенности, обусловленные воздействиями, которые влияют на испытываемое средство измерений или измерительную систему. Если это не сделано, на самом деле "хорошее" средство измерений может быть ошибочно забраковано на основании учета неопределенности.

Затем в публикациях МОЗМ должно быть предоставлено руководство по методам, которые могут использоваться для определения или расчета стандартной неопределенности измерений (u_S), связанной с испытательной установкой (включая эталон и любое дополнительное измерительное оборудование). В идеальном варианте неопределенности, связанные с величинами, которые влияют на испытательную установку, могут поддерживаться на низком уровне по отношению к максимальным допустимым погрешностям (maximum permissible errors - MPEs).

По аналогии, в публикациях МОЗМ должно предоставляться руководство по методам, которые могут использоваться для расчета стандартной неопределенности, (u_I), связанной с показываемым значением измеряемой величины (включая составляющие неопределенности, обусловленные разрешением показывающего устройства, изменчивостью и т. д.), а также стандартной неопределенности, (u_{rep}), связанной с повторяемостью или воспроизводимостью как испытываемого средства измерений, так и измерительной системы и/или методики.

Если показания средства измерений изменяются во всем диапазоне нормированных условий эксплуатации (при фиксированном входном сигнале, подаваемом на средство

измерений), то должна включаться соответствующая составляющая неопределенности измерений ($u_{\text{гос}}$).

И наконец, в публикациях МОЗМ должно содержаться руководство по суммированию этих составляющих неопределенности измерений для расчета суммарной стандартной неопределенности, ($u_{\text{ЕI}}$), связанной с погрешностью показания (на основании формулы (4.1)).

В этих рекомендациях вся информация должна основываться и быть совместимой с методами GUM и дополнениям к данному изданию. Примеры процедур, соответствующих GUM, по составлению модели измерения, определению и оценке отдельных составляющих неопределенности измерений и окончательного расчета суммарной стандартной и расширенной неопределенностей, связанных с погрешностью показания, приводятся в Приложении С.

Крайне важно отметить, что в случаях выполнения многократных измерений конкретной погрешности показания с целью оценки повторяемости или воспроизводимости процесса измерений, нет необходимости оценивать неопределенность измерений, связанную с каждым отдельным измеренным значением погрешности показания. Более предпочтительным является способ, когда среднее значение погрешности показания (\bar{E}_T) может быть рассчитано из набора отдельных измеренных значений и использоваться в качестве "измеренной" погрешности показания, а стандартное отклонение среднего значения для набора отдельных значений (т.е., $S/n^{1/2}$, где S - экспериментальное стандартное отклонение, а n - число измеренных значений в наборе) может использоваться в качестве составляющей неопределенности измерений, которая должна быть связана со средним значением. Рекомендации МОЗМ (и прочие публикации МОЗМ), тем не менее, должны подчеркивать тот факт, что неопределенность измерений, основанная только на случайных эффектах, не является полной неопределенностью измерений, и в нее также следует включать другие составляющие неопределенности, в том числе обусловленные систематическими эффектами.

В пунктах 5.1 - 5.3.6 рассматриваются способы, в которых рассчитанная суммарная стандартная неопределенность измерений, связанная с погрешностью показания ($u_{\text{ЕI}}$), может и должна использоваться в целях принятия решения о соответствии для испытываемых средств измерений/измерительных систем. Дополнительная информация приводится в JCGM 106 [5].

5.1 Плотность распределения (Probability density function - PDF)

Одна из характерных черт концепции неопределенности измерений заключается в том, что "истинное" значение величины, подлежащей измерению, является неизвестным, поскольку невозможно знать, была ли допущена ошибка при выполнении измерения. И даже если бы было известно об отсутствии ошибок при выполнении измерения, фактически все измерения обладают некоторыми присущими им неизвестными систематическими аспектами и случайными изменениями, которые невозможно полностью понять или проконтролировать. Соответственно, следует рассуждать в терминах знания истинного значения измеряемой величины на вероятностной основе, когда предполагается, что некоторые значения, по-видимому, в большей степени соответствуют истинному значению измеряемой величины, чем другие. Одним из способов демонстрации этого факта является функция, известная как плотность распределения, которая может быть построена таким образом, чтобы показывать определенную степень уверенности (уровень доверия) о знании истинного значения измеряемой величины.

Плотность распределения вероятностей (PDF)



Рисунок 2

Концепция плотности распределения (probability density function - PDF) схематически показана на рисунке 2. Как и на рисунке 1 горизонтальная ось представляет возможные значения погрешности показания E_I . На рисунке 2 была добавлена вертикальная ось, которая представляет возможные плотности вероятности, с которой истинное значение погрешности показания отдельного средства измерений лежит в пределах бесконечной области вокруг конкретного значения погрешности показания. Вероятность (или степень уверенности, выраженная в виде уровня доверия и основанная на предположении о том, что не было допущено ошибок) того, что истинное значение погрешности показания находится где-то на горизонтальной оси между двумя заданными значениями погрешности показания, может быть получена посредством математического интегрирования области под кривой плотности распределения, ограниченной двумя заданными значениями.

Кривая PDF показана по форме как гауссова, которая является наиболее часто используемой на практике (но не всегда, см. [2]). Показаны среднее значение (\bar{E}_I) кривой и стандартная неопределенность измерений (обозначенная как u_{EI}). Кривая нормализуется таким образом, чтобы общая площадь под кривой составляла 1, что означает 100 %-ую вероятность нахождения истинного значения погрешности показания на горизонтальной оси. Не смотря на то, что это должно быть так, следует отметить, что "истинное" значение погрешности показания фактически может находиться весьма далеко от среднего значения кривой PDF, как, например, в случае наличия ошибки при выполнении измерения. Следует отметить, что для гауссовой PDF вероятность (степень уверенности или уровень доверия) того, что истинное значение погрешности показания находится в интервале $\bar{E}_I \pm u_{EI}$, составляет 68 %, а в интервале $\bar{E}_I \pm 2u_{EI}$ составляет 95 %. В общем и целом

интервал можно записать как $\bar{E}_I \pm U_{E_I}$, где $U_{E_I} = k \cdot u_{E_I}$ называется расширенной неопределенностью измерений, а k - коэффициентом охвата.

Также крайне важно подчеркнуть, что PDF выражает всю известную информацию об измеряемой величине, включая систематические и случайные эффекты. Хотя кривая на гистограмме только случайных колебаний часто имеет гауссову форму, PDF не совпадает с гистограммой, так как содержит дополнительную информацию, обусловленную систематическими эффектами в измерении.

5.2 Вероятность соответствия

Рисунок 2 можно использовать для демонстрации важных различий при принятии решений о соответствии с использованием классического подхода, рассматриваемого в разделе 4, и подхода с использованием неопределенности по GUM. При использовании классического подхода, поскольку среднее значение (\bar{E}_I) погрешности показания находится в зоне соответствия, как указано на рисунке 1, считается, что средство измерений прошло испытание, показанное на рисунке 2.

Используя подход неопределенности и учет неопределенности измерений для конкретного испытания, на рисунке 2 можно увидеть, что значительная часть области под кривой PDF лежит вне области соответствия (которая находится справа от MPE_+), что означает наличие существенной вероятности (степени уверенности или уровня доверия) того, что истинное значение погрешности показания лежит вне зоны соответствия, хотя среднее значение (\bar{E}_I) погрешности показания находится в зоне соответствия.



Если область под кривой PDF, которая лежит вне зоны соответствия (как указано незаштрихованной областью под гауссовой кривой на рисунке 3), определяется как A_n , (где “n” обозначает “несоответствие”), то вероятность p_n того, что истинное значение погрешности показания находится вне зоны соответствия и, следовательно, средство измерений не соответствует требованиям к MPE, определяется как $p_n = A_n$ или p_n (в %) = $100A_n$. Решение о том, оказался ли результат конкретного испытания средства измерений положительным, может тогда зависеть от того, были ли соблюдены приемлемые уровни вероятности (риска) для этого вида испытаний. Например, может считаться, что средство измерений успешно прошло испытание, если существует вероятность менее 10 % того, что фактически негодное средство измерений признано годным, т. е., $p_n = A_n < 0,1 = 10 \%$.

Следует отметить, что если среднее значение погрешности показания (\bar{E}_I) лишь в незначительной степени выходит за пределы зоны соответствия, то вероятность того, что истинное значение погрешности показания находится в зоне соответствия, все еще может оказаться достаточно большой. Хотя средство измерений не пройдет конкретное испытание, если неопределенность измерений не учитывается, все же испытание может считаться успешным в таком случае при условии учета приемлемого уровня риска и сопряженных с

ним последствий. Если \bar{E}_I является точно равным MPE_+ , то существует 50 %-ая вероятность того, что погрешность показания находится в зоне соответствия, и 50 %-ая - что вне зоны. Проблема оценки риска вместе с правилами принятия решения на предмет соответствия результатов конкретного испытания рассматривается в следующем пункте.

Построение PDF и расчет областей под кривой PDF, как правило, носят нетривиальный характер, поэтому любые советы и содействие по данным вопросам в Рекомендации(ях) должны в максимальной степени учитываться в процессе их разработки. Когда PDF может рассматриваться как гауссова, существует удобный метод, который включает “таблицу нормального стандартного распределения” (или Z-таблицу) для расчета области под кривой

для установленного \bar{E}_I , MPE_+ и u_{E_I} [19]. В Приложении В содержится таблица нормального стандартного распределения вместе с примером ее использования.

5.3 “Риски” и “правила принятия решения”, связанные с решениями о соответствии

Как уже обсуждалось ранее, поскольку вероятностный характер подхода GUM к неопределенности измерений и принятию решений о положительном результате испытания основывается на том, лежит ли измеренное значение погрешности показания в области, ограниченной MPE, существует вероятность (риск) принятия ошибочного решения. Таким образом, истинное значение показания может фактически находиться в области, ограниченной MPE, которая отличается от области, где лежит измеренное значение. В данном пункте рассматриваются типы рисков, связанных с неопределенностью измерений, которая включена в процесс принятия решения, а также правила, которые можно применять при принятии решения о соответствии для испытаний в области законодательной метрологии. Данные правила следует рассматривать для возможного включения в

Рекомендации МОЗМ и прочие публикации МОЗМ в процессе их разработки или пересмотра.

Различные варианты и названия были присвоены типам рисков, связанных с принятием решений о соответствии для испытаний, которые основаны на соответствии требованиям к полю допуска, например, МРЕ [5][19]. В качестве резюме можно выделить три основных типа рисков: 1) риск ложной приемки испытания, 2) риск ложной браковки результата испытаний, 3) совместный риск.

5.3.1 Риск и правило принятия решения для ложной приемки

Риск ложной приемки означает, что испытание считается пройденным, но в реальности требование, выраженное в виде МРЕ, не выполнено. В данном случае измеренное значение погрешности показания находится в области, ограниченной МРЕ, но PDF распространяется на область вне ограничения МРЕ, как показано на рисунке 3. Это означает, что истинное значение погрешности показания, возможно, лежит за пределами области, ограниченной МРЕ. Следует отметить, что риск ложной приемки возлагается на оценщика или пользователя средства измерений или измерительной системы. Риск заключается в том, что средство измерений или система не работают в "рамках спецификации", хотя результат испытаний говорит об обратном. Значение риска ложной приемки рассчитывается как область A_n под кривой PDF, которая находится вне области, ограниченной МРЕ (показана как незаштрихованная на рисунке 3).

Возможное правило принятия решения, которое может быть связано с испытаниями в области законодательной метрологии, заключается в том, что вероятность или риск ложной приемки (p_{fa}) должны быть меньше, чем заявленное значение (например, 5 %). Применение данного риска выгодно для оценщика или пользователя средства измерений/измерительной системы, но для производителя или продавца средства измерений/измерительной системы

может привести к убыткам, поскольку измеренное значение погрешности показания \bar{E}_T , будет лежать в области, ограниченной МРЕ, и при этом как правило не сможет лежать слишком близко к соответствующей границе МРЕ, если правило принятия решения выполняется. (см. пример в Приложении В).

5.3.2 Риск и правило принятия решения для ложной браковки

И наоборот, риск ложной браковки означает, что испытание считается неудачным, но в реальности требование, выраженное в виде МРЕ, выполнено. В данном случае измеренное значение погрешности показания лежит вне области, ограниченной МРЕ, но PDF захватывает часть внутри области, ограниченной МРЕ. Следует отметить, что риск ложной браковки возлагается на производителя или продавца средства измерений или измерительной системы. Риск заключается в том, что средство измерений или система работают в "рамках спецификации", хотя результат испытаний говорит об обратном. Значение риска ложной браковки рассчитывается как область под PDF, которая находится внутри области, ограниченной МРЕ, когда измеренное значение погрешности показания находится вне области, ограниченной МРЕ.

Возможное правило принятия решения, которое может быть связано с испытаниями в области законодательной метрологии, заключается в том, что риск ложной браковки (p_{fd}) должен быть меньше, чем заявленное значение (например, 2 %). Применение данного риска выгодно для производителя и продавца средства измерений/измерительной системы, но для оценщика или пользователя средства измерений/измерительной системы может привести к

убыткам, поскольку измеренное значение погрешности показания \bar{E}_T , будет лежать вне области, ограниченной MPE, и при этом как правило не сможет лежать слишком близко к соответствующей границе MPE, если правило принятия решения выполняется.

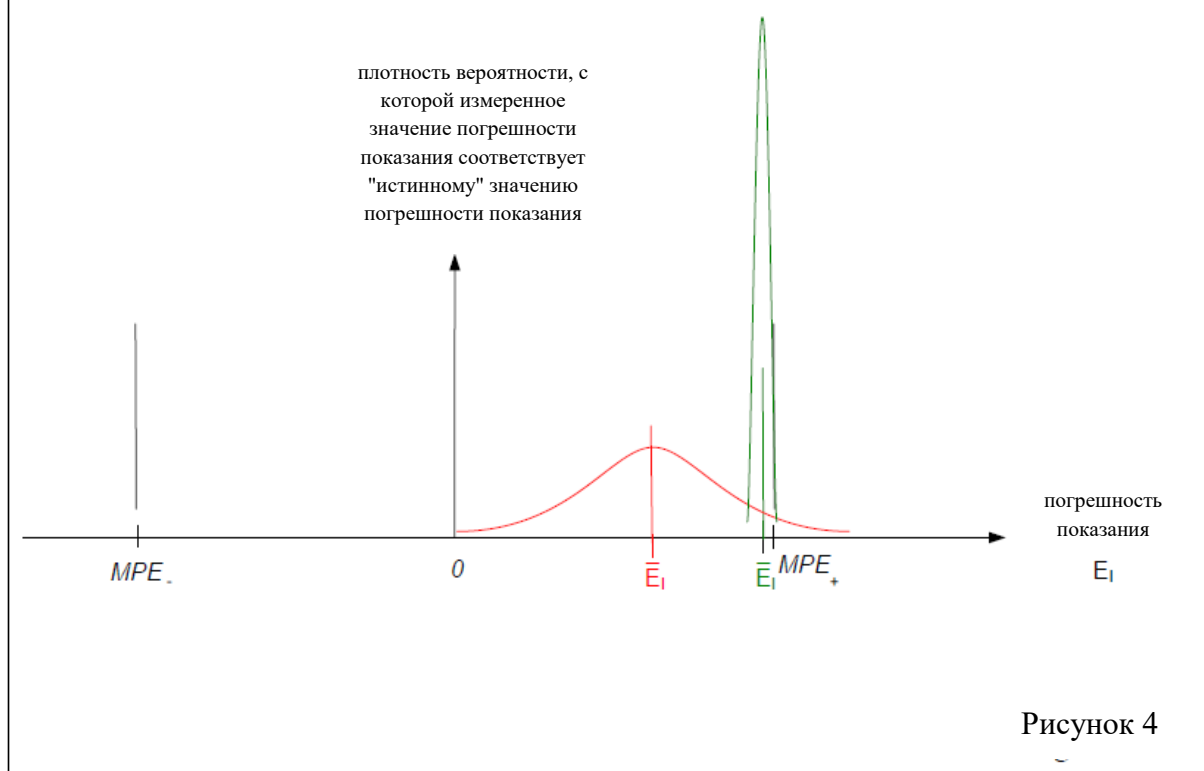
Крайне важно отметить, что невозможно получить правило принятия решения для испытания, которое включает как риск ложной приемки, так и риск ложной браковки. Таким образом, "преимущество" получает или оценщик/пользователь, или производитель/продавец, но не оба одновременно! Также следует отметить, что для расчета риска ложной приемки или ложной браковки должна быть известна PDF.

5.3.3 Совместный риск

С другой стороны, совместный риск является соглашением между сторонами, заинтересованными в результате испытаний, когда отсутствуют преимущества, получаемые из-за принятия во внимание неопределенности измерений. В данном соглашении подразумевается, что расширенная неопределенность измерений U_{E1} является "малой" по

отношению к MPE (т. е., отношение (U_{E1}/MPE) является "малым"), поэтому для значений \bar{E}_T , которые являются крайне близкими к границам MPE существует значительный риск принятия ошибочного решения. Это показано на рисунке 4 для двух возможных PDF в отношении данного измерения. Неопределенность U_{E1} , связанная с левой (красной) гауссовой кривой, возможно, является слишком большой для совместного риска, тогда как неопределенность U_{E1} , связанная с правой (зеленой) гауссовой кривой, возможно, окажется приемлемой для большинства случаев применения.

Плотность распределения вероятностей (PDF)



Одно из важных преимуществ подхода с совместным риском заключается в том, что нет необходимости знать PDF для погрешности показания, поскольку риск делится поровну и рассчитывать его не нужно. Данное преимущество способствует использованию подхода с совместным риском при определении правила решения, которое можно предложить в Рекомендации МОЗМ или прочих публикациях МОЗМ, поскольку оно существенно упрощает процесс принятия решения.

Фактически, во многих Рекомендациях МОЗМ в настоящее время уже используется подход с совместным риском, по крайней мере в неявном виде. В целях соответствия требованиям ISO/IEC 17025 [9] неопределенность измерений должна учитываться как минимум в зависимости от определенной степени строгости, и поэтому для всех измерений в подобных случаях рекомендуется включать в публикации МОЗМ четко сформулированный текст, содержащий информацию об использовании совместного риска.

Следует отметить, что при подходе с совместным риском все же требуется рассчитывать неопределенность измерений U_{E_i} , чтобы отношение (U_{E_i}/MPE) можно было оценить - является ли оно "достаточно малым", как описано в п. 5.3.4. Также следует отметить, что если максимальные допускаемые погрешности необходимо регулировать по некоторым причинам (например, поправка для условий эксплуатации) с использованием метода защитной полосы (см. п. 5.3.6), то подход с совместным риском можно продолжать использовать с новыми или защищенными MPE.

5.3.4 Максимальная допускаемая неопределенность погрешности показания

Становится общей тенденцией (например, [20]) ограничивать отношение U_{E1}/MPE максимальным значением, называемым “максимальной допускаемой неопределенностью” (обозначаемой как MPU_{E1}) погрешности показания и определяемым как:

$$MPU_{E1} \equiv f_{E1} \cdot MPE \quad (5.1)$$

где f_{E1} - определенное число, меньше единицы, обычно порядка 1/3 или 1/5 (0,33 или 0,2) [17].

Примечание: Неравенство $f_{E1} < 1$ не всегда является справедливым в некоторых Рекомендациях МОЗМ (например, в R 76 для неавтоматических взвешивающих приборов, а также иногда для тензодатчиков и автоматических взвешивающих приборов), особенно когда все измеренные значения погрешностей показания находятся очень близко к максимальным допускаемым погрешностям.

Максимальная допускаемая неопределенность (maximum permissible uncertainty - MPU_{E1}) обычно рассматривается как максимальное значение, которое U_{E1} может иметь для определенного измерения погрешности показания \bar{E}_1 , для которой может использоваться подход с совместным риском. Правило принятия решения, которое должно применяться в отношении MPU_{E1} , заключается в том, что если U_{E1} превышает MPU_{E1} , то испытание считается неудачным, что означает необходимость разработки способов для снижения U_{E1} (или для увеличения MPE).

Другой аргумент в отношении необходимости определения MPU_{E1} заключается в том, что если U_{E1} сопоставимо с MPE, то для значений \bar{E}_1 , которые, находятся примерно посередине между 0 и MPE_+ и отображаются левой кривой на рисунке 4, может существовать относительно высокая вероятность того, что истинное значение погрешности показания лежит далеко справа от MPE_+ (т. е., когда E_1 лежит слишком близко к MPE_+), что обуславливает во многих случаях неприемлемый риск. При использовании MPU_{E1} такая вероятность исключается.

Следует отметить, что $1/f_{E1}$ иногда называется коэффициентом отношения неопределенности при испытании (test uncertainty ratio - TUR). Также следует отметить, что если неопределенность, связанная с эталоном (U_S), существенно превышает неопределенность, связанную с другими составляющими, которые вносят свой вклад в U_{E1} , то MPU_{E1} практически равна “максимальной допускаемой неопределенности (эталоны)” (обозначается как MPU_S) (см. п. 5.3.5).

Стоит еще раз здесь подчеркнуть, что U_{E1} - это не просто расширенная неопределенность, связанная со средством измерений, подвергаемым оценке, но она также включает неопределенность, связанную со всей испытательной установкой, а также любыми эффектами со стороны условий окружающей среды. Таким образом, предполагается, что в процессе получения измеренных погрешностей показания оцениваемое средство измерений работает в рамках заданных нормированных условий эксплуатации. Если фактические условия эксплуатации варьируются за пределами нормированных условий эксплуатации, то может потребоваться учитывать дополнительную неопределенность измерений.

5.3.5 Максимальная допускаемая неопределенность эталона

Кроме необходимости задания в технических условиях "максимальной допускаемой неопределенности (погрешности показания)", по указанным выше причинам используется достаточно часто другое правило принятия решения, которое заключается в том, чтобы определять "максимальную допускаемую неопределенность (эталона)" (обозначается как MPU_S) по формуле:

$$MPU_S \equiv f_S \cdot MPE \quad (5.2)$$

где f_S - определенное число, меньше единицы, обычно порядка 1/3 или 1/5 (0,33 или 0,2). Таким образом, максимальная допускаемая неопределенность (MPU_S) представляет собой максимальное допускаемое значение, которое U_S может принимать для данного измерения погрешности показания E_I .

Обоснование данного требования заключается в том, что если MPU_S является слишком большой, то на приведенное выше решение об успешности испытания на основании MPU_{E_I} качество эталона и/или испытательной лаборатории может влиять в большей степени, чем качество испытуемого средства измерений/системы (следует отметить, что U_{E_I} содержит U_S , а также другие составляющие неопределенности). Можно было бы считать несправедливым испытывать средство измерений производителя с использованием эталона, который обладает неопределенностью, включающей большую часть U_{E_I} , поскольку неопределенность, связанная с показываемым значением (U_I), так же как и другие возможные составляющие неопределенности, связанные со средством измерений/системой, должны были бы быть достаточно малыми для того, чтобы неопределенность, связанная с погрешностью показания, оставалась на приемлемо низком уровне для конкретного испытания (например, меньше, чем MPU_{E_I}). Посредством применения требования, согласно которому значение f_S должно быть относительно малым (скажем, менее 1/5) можно избежать существенных различий между испытательными лабораториями. В конкретных Рекомендациях МОЗМ, таким образом, должно быть задано приемлемое значение f_S (или MPU_S), которое соответствует каждому отдельному виду испытаний.

Следует отметить, что значение $1/f_S$ иногда называется коэффициентом отношения точности при испытании (test accuracy ratio - TAR), хотя в таком случае MPU_S рассматривается как максимальная допускаемая погрешность (эталона), поскольку TAR обычно рассматривается как отношение погрешностей. Также следует отметить, что если неопределенность эталона является наиболее существенной составляющей в общей неопределенности, то MPU_{E_I} является практически равным MPU_S , что представляет собой нежелательную ситуацию за исключением случаев, когда общая неопределенность значительно меньше MPE.

5.3.6 Выводы по положениям о принятии решений

При выборе решений о принятии, которые должны включаться в Рекомендации МОЗМ, а также другие документы МОЗМ необходимо учитывать последствия принятия неверного решения, связанные с предлагаемыми уровнями риска. Если последствия неверного принятия не рассматриваются как слишком серьезные, рекомендуется использование подхода с совместным риском, поскольку это относительно эффективное средство принятия решения, при котором все еще принимается во внимание неопределенность измерений. В законодательной метрологии обычными являются случаи, когда подход с совместным риском можно успешно использовать для испытания до тех пор, пока соответствующая MPE

для этого вида испытания не станет слишком "маленькой" (см. раздел 7), а неопределенность измерения погрешности показания не является слишком большой.

Для множества ситуаций в законодательной метрологии используются МРЕ, которые предусматривают возможный уровень неопределенности измерений таким образом, чтобы риск уже учитывался. Данное условие должно быть задокументировано в соответствующем случае, чтобы избежать двойного учета неопределенности измерений.

Использовать f_{E1} или f_S (TUR или TAR) в целях принятия решения об использовании подхода с совместным риском зависит от уровня информации и доступных ресурсов, а также от последствий в случае принятия неверного решения. В то время как отдельно f_S (TAR) можно определить самым простым способом - обычно на основании только технических требований производителя в отношении точности, использование f_{E1} (TUR) - это самый безопасный способ, поскольку он учитывает все значимые составляющие неопределенности.

Если подход с совместным риском использовать невозможно, а вместо этого при определении соответствия необходимо использовать риск ложной приемки, то для этого существует удобный способ, посредством которого можно свести к минимуму время и усилия, необходимые оценщику испытаний. Этот способ основан на использовании концепции "индекса измерительных возможностей" [5], установленному для целей законодательной метрологии как $C_m = MPE/(2i_{E1})$. Следует отметить, что значение C_m пропорционально MPE_{E1} и обратно пропорционально f_{E1} . В Приложении E рассматривается данный вопрос и приводятся примеры использования индекса измерительных возможностей для принятия относительно "оперативного" решения по результату испытания для случая, когда известны МРЕ, риск ложной приемки (p_{fa}), измеренное значение E_1 и рассчитанное значение i_{E1} .

Для специальных случаев использования риска ложной приемки (или ложной браковки), когда стандартная неопределенность, связанная с погрешностью показания (i_{E1}), может рассматриваться как постоянная (т. е., одинаковая для каждой погрешности показания), то удобным средством принятия решения о соответствии может являться так называемый метод "защитной полосы". При таких условиях границы МРЕ просто "смещаются" внутрь (для ложной приемки) или наружу (для ложной браковки) на величину, соответствующую рискам, а решения о соответствии затем принимаются на основании того, лежит ли измеренная погрешность показания (E_1) внутри или снаружи смещенных границ области соответствия. В источнике [5] приводится полезная информация о принципе построения защитных полос. Для утверждения типа в области законодательной метрологии используются только защитные полосы, которые смещают границы внутрь.

В то время как правила принятия решений и связанные с ними риски вместе с последствиями должны рассматриваться в Рекомендациях МОЗМ, также необходимо определить, требуются или хотя бы предполагаются ли установленные уровни приемлемой вероятности для различных видов испытаний. Если да, то данные аспекты должны рассматриваться только в контексте нормативов. Рекомендации могут содержать предложения, хотя обычно это предоставляется национальным или региональным органам. Различные риски могут иметь серьезные экономические последствия для различных сторон, и проблемы задания требований к таким рискам, как правило, находятся вне области действия Рекомендации.

6 Решения о соответствии при испытаниях, которые в неявном виде включают неопределенность измерений

Как указано во Введении, важность учета неопределенности измерений широко признана как в области метрологии, так и в области аккредитации лабораторий, как основополагающего элемента метрологической прослеживаемости результатов измерений. Как уже говорилось, многие испытания в области законодательной метрологии выполняются вне лабораторной среды и предназначены для принятия "оперативных" решений о соответствии, поэтому неопределенность измерений иногда предоставляется лишь в неявном виде. Таким образом, крайне важно рассмотреть, каким образом поддерживать метрологическую прослеживаемость результатов измерений вне лабораторной среды, когда неопределенность измерений в явном виде не предоставляется.

В качестве примера необходимости учета неопределенности измерений при выполнении измерений в соответствии с пунктом 3.1.2 GUM - "В общем и целом результат измерений является только аппроксимацией или оценкой значения измеряемой величины и, таким образом, будет полным только в том случае, если он сопровождается указанием неопределенности этой оценки". VIM3 [14] определяет "метрологическую прослеживаемость" как "2.41 свойство результата измерений, в соответствии с которым результат может быть соотнесен с основой для сравнения через документированную непрерывную цепь калибровок, каждая из которых вносит вклад в неопределенность", поэтому для того, чтобы результат измерения был прослеживаемым, неопределенность измерений должна приниматься во внимание как минимум в неявном виде.

Иногда, когда измерения выполняются вне лабораторной среды, предполагается, что неопределенность измерений является незначительной. См. GUM, 3.4.5:

"Зачастую на практике, возникают ситуации, особенно в области законодательной метрологии, когда средство измерений испытывается посредством сравнения с эталоном, и неопределенности, связанные с эталоном и процедурой сравнения, являются пренебрежительно малыми в отношении требуемой точности испытания. Примером может служить использование набора хорошо откалиброванных эталонов массы для проверки точности торговых весов. В таких случаях, если составляющими неопределенности вследствие их малости пренебрегают, при измерении можно определять только погрешность испытываемого прибора".

В этом случае "погрешность" означает "погрешность показания". В то время как GUM признает существование ситуаций, когда "составляющими неопределенности пренебрегают вследствие их малости", крайне важно понимать, что этот факт нуждается в демонстрации и документировании, а одного предположения недостаточно.

Сложности, иногда возникающие при выполнении оценки неопределенности измерений, даже в лабораторной среде, когда речь идет об испытательной лаборатории, рассматриваются в ISO/IEC 17025 [9], где в пункте 5.4.6.2 установлено следующее:

"Испытательные лаборатории должны иметь и применять методики оценивания неопределенности измерений. В некоторых случаях природа метода испытаний может помешать выполнить строгий, метрологически и статистически достоверный расчет неопределенности измерений. В этих случаях лаборатория должна, по крайней мере, попытаться выявить все составляющие неопределенности, выполнить приемлемое оценивание и обеспечить, чтобы форма представления отчета о результатах не производила неправильного впечатления о неопределенности. Приемлемое оценивание должно быть основано на знании характеристик метода, на области измерений, и в нем должны

использоваться, например, предыдущий опыт работы и данные по валидации. Примечание 1 - Степень строгости, необходимая при оценивании неопределенности измерений, зависит от таких факторов, как: требования метода испытаний; требования заказчика; наличие узких границ (допусков), на которых основываются решения о соответствии техническим условиям. Примечание 2 - В тех случаях, когда широкопризнанный метод испытаний устанавливает пределы для значений основных источников неопределенности измерения и форму представления расчетных результатов, считается, что лаборатория выполнила требования этого раздела, применив данный метод испытаний и выполнив инструкции по представлению отчета.“

Эти доводы справедливы также для измерений, выполняемых вне лабораторной среды.

И наконец, GUM в пункте 7.1.3 также устанавливает следующее:

“В промышленности и торговле каждый день проводится огромное количество измерений без подробных описаний неопределенности. Однако многие из них выполняют с применением приборов, подлежащих периодической поверке и калибровке. Если известно, что приборы соответствуют техническим требованиям или распространяющимся на них нормативным документам, то неопределенности их показаний могут быть получены на основании информации, приведенной в этих технических требованиях или в этих нормативных документах.

Использование нормативных документов или технических условий имеет важнейшее значение для законодательной метрологии, поскольку открывает возможность не указывать неопределенность измерений для каждого измерения, выполненного вне лабораторной среды, когда указание неопределенности зачастую является не удобным на практике.

Приведенная выше в данном пункте информация направлена на укрепление мнения о том, что для того, чтобы еще можно было заявлять о метрологической прослеживаемости результатов измерений, не требуется каждый раз в явном виде рассчитывать и заявлять неопределенность измерений. Тем не менее, важно отметить наличие понимания того, что уровень неопределенности результатов измерений был обеспечен, а метод обеспечения четко задокументирован. Это обеспечение обычно предоставляется на более высоком уровне организации, ответственной за выполнение нормативов, а не на уровне лица, которое фактически выполняет измерения при поверке. Кроме того, понятно, что в спорных ситуациях для таких измерений, выполняемых вне лабораторной среды, может быть предоставлена надежная неопределенность измерений (например, с целью поверки средства измерений, находящегося в индивидуальном пользовании).

Например, когда заданный коэффициент отношения точности при испытаниях (*test accuracy ratios* - TAR) поддерживался посредством цепи калибровок в лаборатории или использования измерительной системы вне лабораторной среды, верхнюю границу стандартной неопределенности для конечных измерений зачастую можно получить достаточно легко. Это можно выполнить без предоставления в явном виде неопределенности измерений на каждом этапе, предполагая, что оно содержится в каждом звене калибровочной цепи¹:

- используемое TAR поддерживается на достаточно высоком уровне, обычно 4:1,
- в местах выполнения измерений используются системы, которые уменьшают влияние любых потенциальных источников неопределенности, не учтенных в используемом TAR, и

¹ Обратите внимание, что эта цепь может состоять из одного или двух звеньев

• коэффициент отношения точности при испытании (test accuracy ratio - TAR) определяется таким образом, чтобы его числитель и знаменатель могли быть множителями² стандартных неопределенностей (т. е. коэффициентами охвата) для измерений, которые будут выполняться с использованием испытываемого прибора, и для эталона, применяемого для установления прослеживаемости для испытываемого прибора.

Когда вышеуказанные условия выполнены, стандартная неопределенность для измерений, выполненных с использованием испытываемого прибора, может быть оценена достаточно просто с использованием методов, описанных в GUM. Значение этой стандартной неопределенности будет основано на заданных в технических требованиях характеристиках испытываемого прибора, уровне TAR, поддерживаемом посредством калибровочной цепи, а также отношения соответствующих множителей для стандартных неопределенностей испытываемого прибора и поправки калибровки, рассмотренных выше и используемых при определении TAR.

Чтобы проиллюстрировать вышесказанное, рассмотрим определение TAR, когда числитель TAR составляет половину допуска, указанного в технических требованиях на прибор и который будет соответствовать интервалу в размере примерно трех стандартных неопределенностей в предположении того, что погрешности измерений прибора характеризуются гауссовым распределением. Предположим, что знаменатель составляет половину интервала возможных значений эталона при уровне доверия 95 %, что будет, как правило, соответствовать диапазону примерно в две стандартных неопределенности. Следовательно, отношение соответствующих множителей для стандартных неопределенностей этого TAR будет составлять 6/4. При комбинировании со значением TAR, поддерживаемым на каждом этапе калибровочной цепи (например, $TAR \geq 4$) это отношение может затем использоваться для определения верхней границы неопределенности, используемой при установлении прослеживаемости измерений, выполненных с применением прибора в конце калибровочной цепи [25].

7 Учет неопределенности измерений при установлении максимальных допускаемых погрешностей (MPE) и классов точности

Многие Рекомендации МОЗМ, а также некоторые прочие публикации МОЗМ, устанавливают MPE, которые нужно использовать для определенных испытаний. Установление того, какие значения должны быть у MPE, включает в себя баланс анализа положений, направленных на защиту заказчика или пользователя средства измерений/измерительной системы, а также защиты производителя или дистрибьютора с точки зрения стоимости. Иногда не учитывается минимальный уровень неопределенности измерений, который может быть физически получен для определенного испытания, выполняемого с целью установления нижнего предела для MPE, который может быть использован. Это обстоятельство следует учитывать при установлении MPE для определенного испытания или при установлении классов точности типа средства измерений, особенно в случаях, когда заданы MPU.

Например, в случае испытаний, когда расширенная неопределенность U_{E1} известна и обычно составляет определенное число (и не может быть снижена), MPE, соответствующие данному испытанию, должны быть установлены таким образом, чтобы отношение

² Хотя эти множители часто являются целыми числами (например, $k = 2$ или $k = 3$), это не всегда бывает так.

$f_{E1} = U_{E1}/MPE$), как описано в пункте 5.3.4, было достаточно низким. В этом случае, поскольку u_{E1} не может быть снижено, может потребоваться увеличить MPE, чтобы получить условия, продемонстрированные правой кривой на рисунке 4.

По аналогии, для эталона, если $f_S (= U_S/MPE)$ слишком велико для данного вида испытаний, то MPE может оказаться несоответствующей, и, таким образом, по мере возможности, может потребоваться установление в Рекомендации большей MPE. Если MPE нельзя увеличить по другим причинам, то может потребоваться указать тип эталона/системы, которая обладает более низкой неопределенностью измерений (U_S).

Для получения дополнительных руководящих указаний по включению в Рекомендации информации по заданию в технических требованиях соответствующих MPE и классов точности можно воспользоваться соответствующей литературой (например, [21][22])

8 Варианты предлагаемого для включения в Рекомендации и другие публикации МОЗМ текста по “неопределенности измерений”

При определении способа включения положений по неопределенности измерений в Рекомендации и прочие публикации МОЗМ необходимо рассмотреть следующие приведенные ниже возможные варианты и выбрать из них подходящий. Предлагаемый текст представлен (*курсивом*) и может включаться в Рекомендации и прочие публикации МОЗМ.

8.1 Включение неопределенности измерений для лабораторных испытаний

Когда Рекомендация или публикация МОЗМ включают оценку типа или другие лабораторные испытания средства измерений или измерительной системы, в них должен быть представлен пункт, который подчеркивает возможность и необходимость включения неопределенности измерений в решения о соответствии, которые связаны с Рекомендацией (см. раздел 5). Предлагаемый текст (*курсивом*):

“ XX Неопределенность измерений

Оценивание и использование неопределенности измерений имеют важнейшее значение и являются основными элементами всех аспектов метрологии, включая законодательную метрологию. С целью общего понимания терминологии и понятий, связанных с неопределенностью измерений, а также для получения руководящих указаний по оценке и использованию неопределенности измерений следует обращаться к Руководству OIML G 19 о “Роли неопределенности измерений при принятии решений о соответствии в законодательной метрологии”.

Неопределенность измерений должна учитываться во всех аспектах измерений и при принятии решений об оценке соответствия, связанных с оценкой типа, а также с другими лабораторными испытаниями, предусмотренными в этой Рекомендации МОЗМ. Руководство предоставляется в xxx. Для проверки соответствия требованиям каждое испытание включает измерения, выполняемые в соответствии с согласованными условиями проведения испытаний. Неопределенность измерений является атрибутом каждого измерения. Неопределенность, связанная с методом испытаний, должна учитываться при принятии решения о применимости метода испытаний.

Результаты измерений, которые заявляются в процессе лабораторных испытаний средства измерений или измерительной системы, должны включать измеренное значение вместе со связанной с ним неопределенностью измерений. Исключения составляют случаи, когда отдельные измеренные значения получают с целью оценки составляющей

неопределенности измерений, связанной с повторяемостью или воспроизводимостью средства измерений/измерительной системы и/или процедурой испытаний, и тогда вместо измеренного значения неопределенность измерений относится к среднему значению отдельных измеренных значений, либо случаю, когда установлено, что составляющая неопределенности измерений является незначимой для конкретного применения (это должно быть отмечено)”.

8.2 Расчет неопределенности измерений

Отдельные Рекомендации МОЗМ при необходимости должны предоставлять руководство для расчета неопределенности измерений для модели(ей) измерения, которая соответствует типу средств(а) измерений, системе для проведения испытаний и процессам, рассматриваемым в Рекомендации (см. пример в Приложении С). Примеры такого руководства представлены ниже в виде семи шагов. Как правило, руководство должно предоставляться в отношении следующих аспектов:

- (Шаг 1) Опишите испытываемый прибор (instrument under test (IUT)) вместе с измерительной системой, которая будет использоваться для выполнения испытания(й). Включите в описание все влияющие величины, которые могут оказывать влияние на средство измерений, все влияющие величины, которые могут оказать влияние на средство измерений/измерительную систему, и четко установите условия (если таковые имеются), при которых влияющие величины должны поддерживаться во время выполнения испытаний (например, нормированные условия эксплуатации и/или нормальные условия эксплуатации как для средства измерений/измерительной системы, так и для IUT).

- (Шаг 2) Установите все различные виды испытаний, которые следует выполнить в лаборатории с целью оценки типа и/или поверки. На основании описания в Шаге 1, для каждого вида испытаний составьте математическую модель измерений (как в выражении (4.2)). Каждая модель должна в итоге обеспечивать выражение для "погрешности показания", а также включать выражение для стандартной неопределенности измерений, связанной с каждой измеренной погрешностью показания (за исключением случая, когда требуется получить повторные измерения погрешности показания, в этом случае следует представить среднее значение погрешности показания вместе с соответствующей стандартной неопределенностью измерений, которая включает составляющую, полученную из повторных измерений; см. Шаг 5 ниже).

- (Шаг 3) Рассчитайте стандартную неопределенность измерений (u_s), связанную с эталоном или системой.

- (Шаг 4) Рассчитайте стандартную неопределенность измерений (u_l), связанную с показываемым значением измеряемой величины (включая составляющие, возникающие из-за разрешающей способности и/или случайных колебаний).

- (Шаг 5) Рассчитайте стандартную неопределенность измерений (u_{rep}), связанную с повторяемостью или воспроизводимостью средства измерений/измерительной системы и/или методики испытаний.

- (Шаг 6) Рассчитайте стандартную неопределенность измерений (u_{roc}) для случая, когда показание средства измерений изменяется в условиях функционирования прибора во всем диапазоне нормированных условий эксплуатации при фиксированном значении сигнала, поступающего на вход средства измерений. (Следует отметить, что эта составляющая неопределенности измерений иногда в явном виде рассматривается как часть неопределенности измерений погрешности показания, а иногда на основании соглашения

включается в МРЕ, так что следует проявлять внимание при определении того, какое было использовано правило [36]);

- (Шаг 7) Просуммируйте все составляющие неопределенности измерений (с использованием методологии [1][2][3][4][5]) для того, чтобы рассчитать суммарную стандартную неопределенность измерений (u_{E1}), связанную с погрешностью показания. (См. примеры в Приложении С).

Шаги 2-7 можно обобщить следующим образом:

- для каждого испытания разработайте модель, которая учитывает все составляющие неопределенности;

- рассчитайте стандартную неопределенность для каждой составляющей;

- рассчитайте суммарную стандартную неопределенность для данного испытания.

Рекомендации МОЗМ (и прочие публикации МОЗМ) должны подчеркивать, что составляющая неопределенности измерений, полученная как стандартное отклонение отдельных измеренных значений (составляющая по типу А) не представляет собой полную неопределенность измерений, и что составляющие неопределенности по типу В, получаемые в приведенных выше шагах с 3 по 6 должны также включаться в суммарную стандартную неопределенность измерений.

Включите рассмотрение специальных или нестандартных способов оценки составляющих неопределенности измерений при их наличии (см. также пункт 8.8).

8.3 Установление МРЕ и МРУ

Для каждого вида испытаний, указанных в п. 8.2, Шаг 2, Рекомендация МОЗМ должна рассматривать и задавать приемлемую для данного вида испытаний МРЕ. Например, для испытаний, выполняемых с целью оценки типа, задаваемая МРЕ могла бы соответствовать одному из нескольких возможных классов точности, на соответствие которым испытывается прибор. Для испытаний, выполняемых при проведении операций поверки, задаваемая МРЕ должна быть основана на ряде соображений, рассмотренных в разделе 7.

Следует также рассмотреть то, какими будут при проведении испытания возможные значения u_{E1} и u_S для того, чтобы решить должны ли быть заданы значения MPU_{E1} и MPU_S и если да, то какими должны быть эти значения (или даже значения f_{E1} и f_S). Смотри пп. 5.3.5 и 7.

8.4 Установление приемлемых уровней риска

При разработке Рекомендаций МОЗМ или других публикаций МОЗМ, следует рассмотреть возможность включения в тексты документов предлагаемых "приемлемых" уровней риска для различных видов испытаний. Правила принятия решений и связанные с ними риски наряду с их последствиями должны рассматриваться и анализироваться в Рекомендациях МОЗМ. Однако такие аспекты должны рассматриваться только в контексте нормативных вопросов. Риски для производителя могут иметь серьезные экономические последствия, которые, как правило, выходят за рамки области распространения Рекомендаций (см. раздел 7).

В зависимости от значений MPU_{E1} и MPU_S , установленных выше в п. 8.3 (если он был выполнен), следует обсудить вопрос, связанный с необходимостью использования принципа "совместного риска", или же существованием заданного риска (вероятности), который следует использовать, и в том случае, если он существует, следует определить, является ли он риском ложной приемки (см. п. 5.3.1) или же риском ложной браковки (см. п. 5.3.2). Следует обратить внимание, что если подход с использованием "совместного риска"

применяется в Рекомендации МОЗМ (или в других публикациях МОЗМ), то его не следует использовать в неявном виде, скорее должно быть представлено однозначное заявление о его использовании в Рекомендации.

8.5 Установление неопределенности погрешности показания, когда совместный риск не используется

Если следует использовать риск ложной приемки или риск ложной браковки, то в дальнейшем следует определить, рассматривается ли значение u_{E1} как фиксированное для всех измерений, и в этом случае защитная полоса могла бы использоваться для принятия решения о соответствии (см. пункт 5.3.6), или же u_{E1} следует рассчитывать отдельно для каждого измерения погрешности показания, и в этом случае может использоваться z-статистика или индекс измерительных возможностей. При этом следует приводить ссылку на Приложение В и Приложение Е настоящего Руководства МОЗМ вместе с описанием того, каким образом следует использовать z-статистику и/или индекс измерительных возможностей для конкретной Рекомендации.

Построение PDF и расчет площади под кривой PDF является в общем нетривиальной задачей, и поэтому любые рекомендации, предоставляемые в отношении этого вопроса в Рекомендации(ях), должны тщательным образом анализироваться в процессе их разработки.

8.6 Сложность оценки неопределенности погрешности показания

Оценивание неопределенности измерений погрешности показания для отдельного измерения в отношении определенного типа средства измерений может оказаться достаточно сложной задачей. Тем не менее, важно отметить, что единожды выполнив дифференцирование по всем переменным и получив значения и связанные с ними неопределенности измерений для типовых условий измерения, процесс получения значения u_{E1} для каждого последующего отдельного измерения, выполняемого в лаборатории в процессе оценки определенного типа или поверки, должен стать относительно простым. Большинство составляющих неопределенности измерений будут одинаковыми для нескольких отдельных измерений. Этот аспект обработки неопределенности измерений должен быть включен в виде обсуждаемой темы в каждую Рекомендацию МОЗМ, в которой неопределенность измерений играет важную роль. Предлагаемый текст (*курсивом*):

"Оценивание неопределенности измерений погрешности показания при отдельном измерении для определенного типа средства измерений может оказаться достаточно сложной задачей. Тем не менее, важно отметить, что единожды выполнив дифференцирование по всем переменным и получив значения и связанные с ними неопределенности измерений для типовых условий измерения, процесс получения значения u_{E1} для каждого последующего отдельного измерения, выполняемого во время испытания с целью оценки типа, должен стать относительно простым. Большинство составляющих неопределенности измерений будут одинаковыми для нескольких отдельных измерений. Это может упростить процесс включения неопределенности измерений для случаев испытаний вне лабораторной среды, поскольку могут быть использованы защитные полосы или непосредственно таблицы индекса измерительных возможностей (например, см. Приложение Е в Руководстве OIML G 19 о "Роли неопределенности измерений при принятии решений об оценке соответствия в законодательной метрологии".)"

В качестве альтернативы должна предоставляться ссылка на рекомендации, содержащиеся в настоящем Руководстве МОЗМ с примечанием, содержащим ссылку на Приложение Е.

8.7 Указание неопределенности измерений в протоколах испытаний МОЗМ по оценке типа

Для оценки типа Рекомендации МОЗМ должны предоставлять Форму протокола испытаний для записи неопределенности измерений (см. пункт 5), сопровождающей каждое измеренное значение (за исключением выполнения измерений для оценки повторяемости и/или воспроизводимости). В случаях, когда неопределенностью измерений можно пренебречь, это должно быть задокументировано с соответствующей пометкой и строка не должна остаться пустой. Кроме того, если нужно использовать метод "индекса измерительных возможностей" (C_m) или метод "защитной полосы", это также должно быть указано в Форме протокола испытаний вместе с указанием значений соответствующих параметров (например, размер защитной полосы) и результатом испытаний. Также должно предусматриваться место для указания ссылки на источник, в котором можно найти используемую диаграмму C_m .

8.8 Предоставление рекомендаций по использованию неопределенности измерений для периодической поверки

Рекомендации МОЗМ должны предоставлять руководство по обработке неопределенности измерений для испытаний при периодической поверке с подчеркиванием любых различий, мер предосторожности и/или специальных положений из руководства, предоставленного для испытаний по оценке типа. Например, для определенного типа средства измерений может быть рекомендовано включать некоторые источники неопределенности измерений из процесса по оценке типа, хотя данные источники неопределенности могут не иметь значения в случаях увеличения МРЕ, например, при испытаниях при периодической поверке некоторых средств измерений. Кроме того, для оценки типа может быть рекомендовано использование защитных полос, а для испытаний при периодической поверке может оказаться приемлемым подход с совместным риском.

9 Библиография

- [1] JCGM 100:2008 (GUM 1995 with minor corrections) - BIPM, IEC, IFCC, ILAC, ISO, IUPAC, IUPAP, OIML, *Evaluation of measurement data - Guide to the expression of uncertainty in measurement* (Published by the OIML as OIML G 1-100:2008 at www.oiml.org/en/publications/guides/)
- [2] JCGM 101:2008 - BIPM, IEC, IFCC, ILAC, ISO, IUPAC, IUPAP, OIML, *Evaluation of measurement data - Supplement 1 to the "Guide to the expression of uncertainty in measurement" - Propagation of distributions using a Monte Carlo method* (Published by the OIML as OIML G 1-101:2008 at www.oiml.org/en/publications/guides/)
- [3] JCGM 102:2011 - BIPM, IEC, IFCC, ILAC, ISO, IUPAC, IUPAP, OIML, *Evaluation of measurement data - Supplement 2 to the "Guide to the expression of uncertainty in measurement" - Extension to any number of output quantities* - (Published by the OIML as OIML G 1-102:2008 at www.oiml.org/en/publications/guides/)
- [4] JCGM 104:2009 - BIPM, IEC, IFCC, ILAC, ISO, IUPAC, IUPAP, OIML, *Evaluation of measurement data - An introduction to the "Guide to the expression of uncertainty in measurement" and related documents*, (Published by the OIML as OIML G 1-104:2011 at www.oiml.org/en/publications/guides/)
- [5] JCGM 106:2012 - BIPM, IEC, IFCC, ILAC, ISO, IUPAC, IUPAP, OIML, *Evaluation of measurement data - The role of measurement uncertainty in conformity assessment* (Published by the OIML as OIML G 1-106:2012 at www.oiml.org/en/publications/guides/)
- [6] OIML B 18:2016, *Framework for the OIML Certification System (OIML-CS)*, (www.oiml.org/en/publications/basic)
- [7] OIML B 3:2013, *OIML Basic Certificate System for OIML Type Evaluation of Measuring Instruments* (www.oiml.org/en/publications/basic)
- [8] OIML B 10:2011, amended 2012, *Framework for a Mutual Acceptance Arrangement on OIML Type Evaluations (MAA)*, (www.oiml.org/en/publications/basic)
- [9] ISO/IEC 17025:2005, *General requirements for the competence of testing and calibration laboratories*
- [10] OIML D 30:2008, *Guide for the application of ISO/IEC 17025 to the assessment of Testing Laboratories involved in legal metrology* (www.oiml.org/en/publications/documents)
- [11] OIML R 87:2016, *Quantity of product in prepackages*, (www.oiml.org/en/publications/recommendations)
- [12] OIML R 79:2015, *Labeling requirements for prepackages*, (www.oiml.org/en/publications/recommendations)
- [13] OIML R 34:1979, *Accuracy classes of measuring instruments*, (www.oiml.org/en/publications/recommendations)
- [14] JCGM 200:2012 - BIPM, IEC, IFCC, ILAC, ISO, IUPAC, IUPAP, OIML, *International Vocabulary of Metrology – Basic and General Concepts and Associated Terms (VIM) - (JCGM 200:2008 with minor corrections)* (Published by the OIML as OIML V 2-200:2012 at www.oiml.org/en/publications/guides/) Also referred to in the present Guide as “VIM3”.
- [15] OIML V 1:2013 *International vocabulary of terms in legal metrology (VIML) (bilingual French-English) / Vocabulaire international des termes de métrologie légale (VIML) (bilingue français-anglais)*, (www.oiml.org/en/publications/vocabularies/)

- [16] Ehrlich, C., Dybkaer, R., and Woger, W., *Evolution of philosophy and description of measurement (preliminary rationale for VIM3)*, OIML Bulletin, April 2007, pp. 23–35 (www.oiml.org/en/publications/bulletin)
- [17] Sommer, K.-D. and Kochsiek, M., *Role of measurement uncertainty in deciding conformance in legal metrology*, OIML Bulletin, Volume XLIII, Number 2, April 2002, pp. 19–24 (www.oiml.org/en/publications/bulletin)
- [18] Ehrlich, C. and Rasberry, S., *Metrological Timelines in Traceability*, Metrologia, 1997, 34, pp. 503–514
- [19] www.itl.nist.gov/div898/handbook/eda/section3/eda3671.htm
- [20] Kallgren, H. and Pendrill, L., *Uncertainty in conformity assessment in legal metrology (related to the MID)*, OIML Bulletin, Volume XLVII, Number 3, July 2006, pp. 15–21 (www.oiml.org/en/publications/bulletin)
- [21] WELMEC Guide 4.2, Elements for deciding the appropriate level of confidence in regulated measurements, Issue 1, June 2006
- [22] The Expression of Uncertainty in EMC Testing, United Kingdom Accreditation Service (LAB34), Edition 1, August 2002
- [23] Deaver, D., An Application of the Guide to Measurement Uncertainty, 2000, Proceedings of the Measurement Science Conference (US).
- [24] Philips, Steven, Eberhardt, K.R., Estler, W.T., Measurement Uncertainty and Uncorrected Bias, Proceedings of the NCSL Workshop & Symposium, 1999, pp. 831–849
- [25] Guthrie, William, Easy Translation of TAR or TUR into Uncertainty. NCSLI 2013 - Session 6B: (www.nist.gov/itl/sed/pubarchives/loader.cfm?csModule=security/getfile&pageid=3204506)

Дополнительная литература:

- [26] OIML D 8 *Measurement standards. Choice, recognition, use, conservation and documentation* (www.oiml.org/en/publications/documents/)
- [27] OIML D 18 *The use of certified reference materials in fields covered by metrological control exercised by national services of legal metrology. Basic principles* (www.oiml.org/en/publications/documents/)
- [28] OIML D 23 *Principles for metrological control of equipment used for verification* (www.oiml.org/en/publications/documents/)
- [29] EA-4/02 M:2013 *Evaluation of the Uncertainty of Measurement In Calibration*
- [30] ILAC P-14 *ILAC Policy for Uncertainty in Calibration*
- [31] ILAC G-8 *Guidelines on the Reporting of Compliance with Specification*
- [32] L R Pendrill 2014, “Using measurement uncertainty in decision-making & conformity assessment”, *Metrologia* **51** S206, doi:10.1088/0026-1394/51/4/S206
- [33] H Karlsson, Å Olsen, L R Pendrill 2016, “Conformance assessment of electrical energy meters investigated by risk analysis – a case study”, OIML Bulletin **LVI I** (no. 2 April), 5 – 20 (www.oiml.org/en/publications/bulletin)
- [34] I Hendriks, B Jovanoski, N Tuneski 2016, “Dynamic simulations of market surveillance actions”, IEEE Product Safety conference, May 2016, California (US)
- [35] Ehrlich, Charles, Terminological aspects of the Guide to the expression of Uncertainty in Measurement (GUM), *Metrologia*, 51 (2014) S145-S154
- [36] Ehrlich, Charles D., Traceability Considerations for the Characterization and Use of Measuring Systems, NCSLI Measure J. Meas. Sci., Vol. 10, No. 4, December 2015

Приложение А

Совместное существование "погрешности измерения" и "неопределенности измерений" в области законодательной метрологии (взаимосвязь между калибровкой и поверкой)

Введение в "Руководстве по выражению неопределенности в измерениях" редакции 1993 года (также называемом GUM) открыло новый подход к пониманию не только понятия "измерение", но и к выражению воспринимаемого качества результата измерения. Вместо того, чтобы выражать результат измерения, предоставляя наилучшую оценку истинного значения измеряемой величины вместе с информацией об известных систематических и случайных погрешностях, GUM предложил альтернативный подход, в соответствии с которым результат измерения выражается в виде наилучшей оценки по существу единственного истинного значения (обозначаемого далее как "истинное" значение) величины, подлежащей для измерению ("измеряемая величина") вместе с соответствующей "неопределенностью измерений". (Следует отметить, что исторически в области законодательной метрологии термин "истинное значение" иногда используется для значения, связанного с эталоном, который используется в процессе поверки средства измерений. Но в этом документе такое толкование не используется).

Понятие неопределенности измерений может быть представлено в виде меры степени уверенности в том, насколько хорошо известно "истинное" значение измеряемой величины. (Следует обратить внимание на то, что в соответствии с подходом GUM невозможно узнать насколько хорошо известно "истинное" значение измеряемой величины, но можно только сформулировать степень нашей уверенности в том, что оно известно). Понятие "уверенности" очень важно, так как оно перемещает метрологию (и законодательную метрологию) в сферу, где результаты измерений должны рассматриваться и выражаться (иногда только в неявном виде) в терминах вероятностей или степеней уверенности. Когда принимаются решения в области законодательной метрологии в отношении того, функционируют ли измерительные системы в соответствии с заданными требованиями, то - если требуется следовать подходу GUM - принятие решений необходимо осуществлять с использованием вероятностной основы. Настоящее Руководство МОЗМ предоставляет рекомендации в отношении того, как использовать подход GUM и принимать во внимание основные понятия неопределенности измерений и вероятности, когда осуществляется принятие таких решений об оценке соответствия.

Законодательная метрология – это деятельность и процессуальные нормы применения системы нормативных и регулирующих правил и их обязательного выполнения в метрологии, которая является наукой об измерениях и их применении. Большинство задач, решаемых в области законодательной метрологии, связано с испытаниями или поверкой средств измерений/измерительных систем при их разработке и эксплуатации как в лабораторных, так и во внелабораторных условиях для того чтобы гарантировать, что в регулируемых ситуациях с помощью средств/систем могут выполняться и выполняются надежные измерения. Испытание или поверка в этом контексте означает, что принимается решение о том, обеспечивает ли проверяемая система показываемые значения для измеряемой величины, которые для рассматриваемой регулирующей цели предполагаются

быть "достаточно близкими" к "истинному" значению, установленному с помощью эталонов. В технических регламентах задаются достаточно жесткие условия, которые могут быть выражены в терминах "максимальных допускаяемых погрешностей" (МРЕ) или "классов точности". Используя подход GUM, целью поверки тогда становится определение степени уверенности (уровня доверия) в том, что "истинное" значение "погрешности показания" находится внутри максимальных допускаяемых погрешностей с учетом принятия во внимание неопределенности измерений ("погрешности показания"!).

Одновременное использование концепций "погрешности измерения" и "неопределенности измерений" может показаться на первый взгляд несовместимым и сбивающим с толку. Казалось бы, GUM не одобряет использование погрешности измерения и отдает предпочтение концепции неопределенности. Однако следует помнить, что вопросы, на которых сфокусирован GUM, связаны с использованием откалиброванных средств измерений для выполнения измерений, а не на испытаниях или поверке самих средств измерений. С точки зрения GUM на известные погрешности измерения, возникающие при использовании средства измерений, должны быть "внесены поправки", но при этом остаются неизвестные (систематические) погрешности измерения. (Тем не менее, методы обработки известных систематических погрешностей или смещений в таком контексте существуют. См. например, ссылки [23] и [24]). В противоположность сказанному, в контексте поверки в области законодательной метрологии (как и в некоторых других областях метрологии) погрешности используются для оценки рабочих характеристик средств измерений (и для них не вносятся поправки), и погрешность (или, фактически, погрешность показания) может на самом деле рассматриваться в качестве абсолютно приемлемого значения для такой оценки вместе со своей соответствующей неопределенностью. Именно такой подход для использования термина "погрешность" принят в настоящем Руководстве.

Как уже было отмечено, оценка соответствия в законодательной метрологии обычно включает сравнение измеренной погрешности показания средства измерений или системы с МРЕ, которая задана в регламентирующих ТНПА. Погрешность показания обычно рассчитывается в законодательной метрологии как разность между показанным значением и значением, заданным эталоном. Известно, что значение, задаваемое эталоном, скорее всего не является "истинным" значением измеряемой величины, но, как правило, считается очень близким к нему для рассматриваемой ситуации. Однако, так как "погрешностью показания" на самом деле обозначается разность между показанным значением и "истинным" значением эталона, то неопределенность, связанная со значением, задаваемым эталоном (как заявлено в сертификате калибровки) должна учитываться, когда принимается решение об оценке соответствия. Этот вопрос далее по тексту рассматривается более подробным образом.

Используя основной подход, который включает простой пример с эталоном массы и поверяемыми весами, это Приложение будет далее подробным образом рассматривать то, как погрешность измерения и неопределенность измерений могут совместно существовать при рассмотрении измерений в контексте поверки.

Как и в GUM (раздел 3), в этом Приложении в первую очередь следует рассмотреть погрешность измерения и неопределенность измерений с точки зрения описания цели измерения. Для этого будет использоваться терминология, такая же, как в VIM3 [10], которая в некоторых случаях в незначительной степени отличается от GUM по причинам, которые будут объяснены при необходимости. Несколько важных определений из VIM3 представлены в разделе 2 настоящего Руководства МОЗМ.

Под целью измерения можно понимать получение, посредством некоторых типов "экспериментов", количественного выражения для "измеряемой величины". Выражение, как

правило, включает в себя понятие и термин "значение" ("значение величины" в VIM), которое представляет собой число и основу для сравнения, вместе выражающие размер "величины". Основой для сравнения обычно является "единица" измерения, которая принимается на основании договоренности таким образом, чтобы другие величины такого же рода могли сравниваться с ней.

До того как была разработана концепция неопределенности измерения, цель измерения заключалась в получении результата измерения, который как правило выражался в виде наилучшей оценки "истинного" значения измеряемой величины и иногда сопровождался "анализом погрешностей", который включал в себя любые систематические погрешности (для которых должны были вноситься поправки при расчете наилучшей оценки) и описание "рассеяния" случайных погрешностей (если было получено более одного результата наблюдения), которые возникали при выполнении измерения. Понятие метрологической прослеживаемости использовалось для выражения результата измерения в терминах соответствующей единицы измерения посредством установления цепи сличений или калибровок до реализации единицы измерения. Кроме указания возможных систематических погрешностей, связанных с цепью прослеживаемости, никакая другая информация о возможных источниках систематических погрешностей как правило не указывалась.

Как уже обсуждалось ранее, концепция неопределенности измерения коренным образом изменила способ мышления метрологов о цели измерения. В частности одна из основных предпосылок подхода GUM заключается в том, что качество измерения можно охарактеризовать посредством учета одинаковым способом и случайных и систематических "эффектов", тем самым уточняя полученную ранее с помощью анализа погрешностей информацию и подводя под нее вероятностную основу. Вместо того, чтобы выражать результат измерения в виде наилучшей оценки "истинного" значения измеряемой величины вместе с анализом погрешностей, результат измерения следует представлять в виде наилучшей оценки "истинного" значения измеряемой величины вместе с неопределенностью измерения, которая является мерой степени уверенности в том, насколько хорошо известна установленная наилучшая оценка (на основании данных измерений и других знаний, обычно имеющих отношение к систематическим эффектам, и предположения о том, что при выполнении измерения не было допущено ошибок).

Вероятностная основа подхода GUM первоначально происходит из другой основной предпосылки GUM (п. 3.3.1), которая заключается в том, что невозможно узнать истинное значение измеряемой величины: "Результат измерения после внесения в него поправки на известные систематические эффекты остается только оценкой значения измеряемой величины вследствие неопределенности, возникающей из-за случайных эффектов и из-за неполного внесения поправки в результат на систематические эффекты". Это ключевой и очень важный момент, который следует помнить. Другое важное утверждение, обсуждаемое в GUM (D.3.4), заключается в том, что не существует такого явления как единственное истинное значение измеряемой величины, так как на определенном уровне всегда существует "внутренняя" неопределенность, возникающая из-за неизбежно неполного определения измеряемой величины (VIM3 называет ее "дефинициальной неопределенностью"). В GUM (п. 1.2) уточняется что, по этой причине невозможно иметь единственное истинное значение измеряемой величины, но возможно иметь только "по существу единственное" истинное значение, на которое, как упоминалось ранее, в данном Руководстве с целью краткости ссылались, как на "истинное" значение.

Следует отметить, что в GUM (п. 3.1.1, Примечание) объясняется, почему GUM рассматривает термин "значение измеряемой величины" и "истинное значение измеряемой

величины" как "эквивалентные", и поэтому использует только термин "значение", когда имеется в виду понятие "истинного" значения (как это определено в GUM (п. B.2.3)), а именно - значение в соответствии с определением измеряемой величины. VIM3 [10] и настоящее Руководство не принимают это допущение GUM и используют термин "истинное значение", когда это понятие используется строго по своему назначению (в буквальном смысле), так как термин "значение" уже используется в более общем смысле, приведенном выше. В противном случае существует вероятность появления путаницы при использовании термина "значение" для двух различных понятий [12].

Кроме понятия "погрешность", еще одним понятием (и термином), которое не приветствуется в GUM, по крайней мере, в количественном смысле, является "точность". Это произошло потому, что под "точностью", как правило, понимается понятие противоположное по смыслу "погрешности", то есть, чем больше погрешность, тем меньше точность. Поскольку "погрешность" не может быть известна в соответствии с принципами GUM, то и "точность" также нельзя определить. Поэтому следует проявлять особое внимание в Рекомендациях МОЗМ, чтобы почувствовать то, как используется термин "точность" как в отношении "классов точности", так и в общем смысле. Классы точности предназначены для того, чтобы передать информацию о том, какой может быть достигнут уровень максимальной допускаемой погрешности средства измерений, соответствующей заданному классу точности.

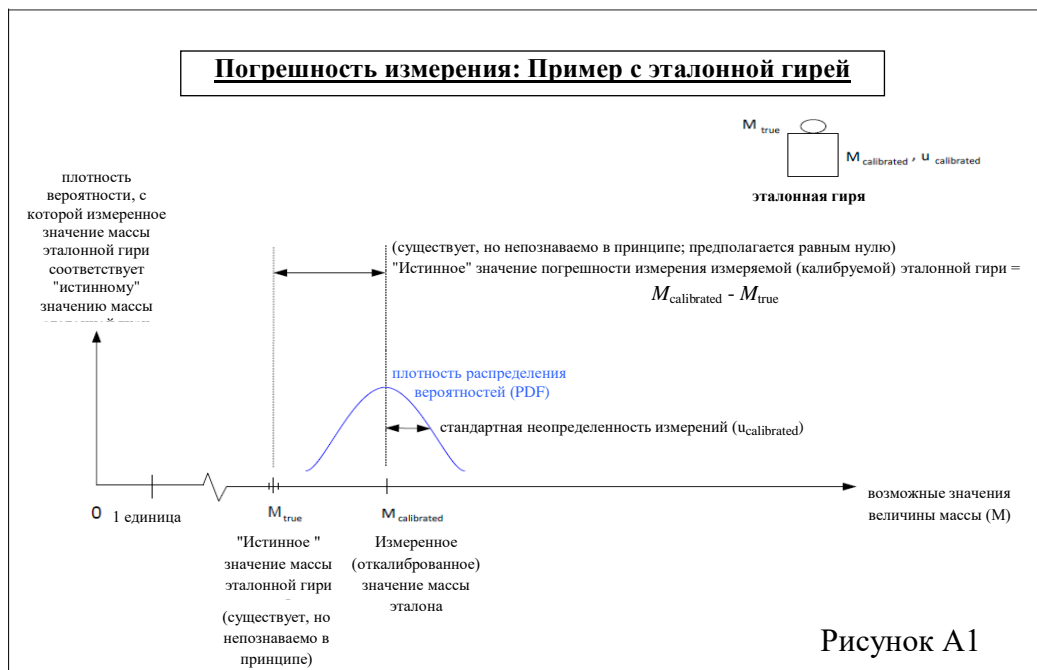
Метрологическая прослеживаемость продолжает оставаться очень важным понятием в подходе к измерениям, представленном в концепции неопределенности (в GUM), и к тому же вбирает в себя дополнительный аспект, который связывает ее очень тесно с концепцией неопределенности измерений. Кроме сохранения свойства, в соответствии с которым метрологическая прослеживаемость выступает в качестве основы для установления цепи сличений или калибровок к единице измерения с целью получения возможности выражения "измеренного значения" в терминах единиц измерений, понятие метрологической прослеживаемости также используется для того, чтобы стало возможным проследить прохождение неопределенности измерений по цепи прослеживаемости. В этом смысле метрологическая прослеживаемость и неопределенность измерений оказываются неразрывно связанными [14], что однозначно подтверждается определениями метрологической прослеживаемости, приведенными в VIM3 (и в VIM2).

A.1 Калибровка

Понятия "единица измерения", "истинное значение", "погрешность измерения" и "стандартная неопределенность измерений" показаны на рисунке A1 применительно к измерению (калибровке) эталонной гири, которая схематично изображена в правом верхнем углу. Предполагается, что гиря откалибрована с помощью измерительной системы высокого качества, которая не показывается и о которой больше ничего неизвестно. Сертификат калибровки на эталонную гирю содержит измеренное значение массы ($M_{\text{calibrated}}$) эталонной гири вместе с соответствующей стандартной неопределенностью измерений ($u_{\text{calibrated}}$). Стандартная неопределенность измерений (или расширенная неопределенность, $U_{\text{calibrated}}$) получена при калибровке эталонной гири с использованием принципа прослеживаемости, приводящего к единице измерения, показанной на горизонтальной оси рисунка. "Истинное" значение массы эталонной гири также изображено на рисунке в правом верхнем углу и на горизонтальной оси, где показано, что оно существует, но в принципе является непознаваемым. Небольшие вертикальные полосы вокруг "истинного" значения массы

эталонной гири на горизонтальной оси предназначены для обозначения дефинициональной неопределенности, связанной с "истинным" значением.

На рисунке A1 также показана плотность распределения вероятностей (probability density function, PDF), которая, как описано в п. 5.1, показывает плотности вероятностей того, что "истинное" значение массы эталонной гири находится внутри бесконечно малой области, расположенной вокруг отдельно взятого возможного "истинного" значения массы эталонной гири. Стандартная неопределенность измерений ($u_{\text{calibrated}}$) получена обычным способом из PDF в виде стандартного отклонения, что также показано на рисунке.



На рисунке A1 показано также "истинное" значение "погрешности измерения" массы эталонной гири, определенной как разность между измеренным (откалиброванным) значением массы эталонной гири и "истинным" значением массы эталонной гири. Важно отметить, что на рисунке A1 эта погрешность рассматривается как непознаваемая, так как "истинное" значение массы эталонной гири является непознаваемым. GUM не приветствует использование концепции погрешности в некоторых случаях, так как в контексте измерений погрешность является непознаваемой, и вместо этого рекомендует использовать неопределенность измерений, так как неопределенность измерений может быть рассчитана и предоставляет меру уверенности в том, насколько хорошо известно "истинное" значение массы эталонной гири. Очень важно помнить, что в контексте измерений, несмотря на возможную реальную ситуацию, показанную на рисунке A1, "истинное" значение погрешности измерения измеряемой (калибруемой) массы эталона предполагается равным нулю на основании всей имеющейся информации, полученной в процессе измерений (калибровки), так как поправки должны были быть внесены для всех известных систематических погрешностей.

A.2 Поверка

Теперь рассмотрим ситуацию, когда откалиброванная эталонная гиря используется с целью поверки, а не калибровки весов, как показано на рисунке A2. При выполнении поверки средства измерений показанные значения для величины, подлежащей измерению,

сравниваются с откалиброванными значениями (той же самой величины), полученными с использованием эталона.

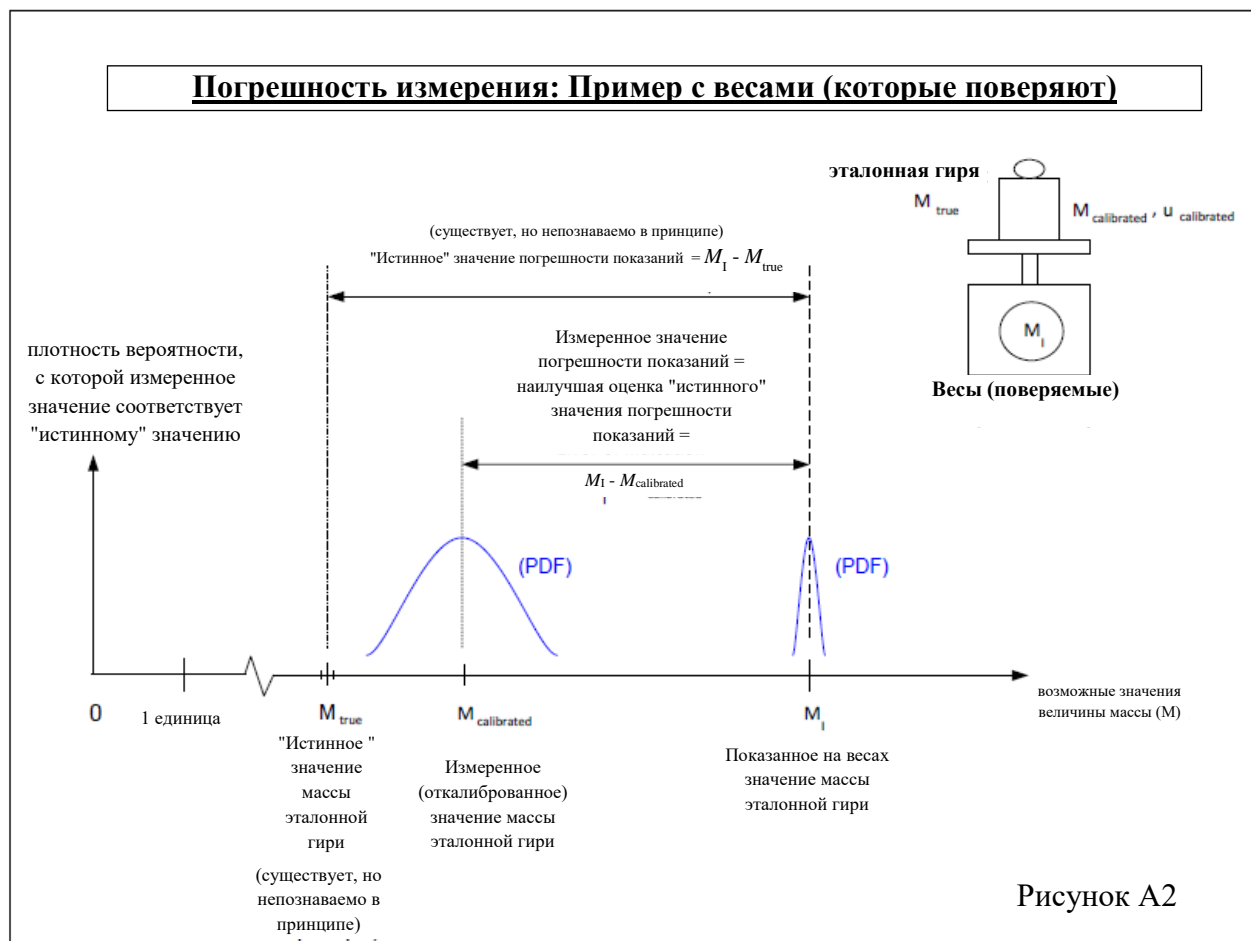


Рисунок А2 содержит много информации из рисунка А1, но в дополнение показывает значение (M_I) показания массы эталонной гири, полученное на поверяемых весах. Также изображены две "погрешности показания", одна по отношению к "истинному" значению массы эталонной гири (которая по-прежнему непознаваема), а другая по отношению к измеренному (откалиброванному) значению массы эталонной гири (которая известна). Как отмечено на рисунке А2, измеренное значение погрешности показания принимается в качестве "наилучшей оценки" "истинного" значения погрешности показания, так как на основании вышеприведенных рассуждений "истинное" значение погрешности измеренной (откалиброванной) массы эталона (эталонной гири) предполагается равным нулю.

Поверка часто выполняется как в лабораторных, так и во внелабораторных условиях. В соответствии со сценарием выполнения операций при поверке целью является не внесение поправок или подгонка показанного значения к измеренному (откалиброванному) значению массы эталона, а оценка того, находится ли разность (погрешность показания) между показанным значением и откалиброванным значением массы эталона внутри допустимых границ максимальных допускаемых погрешностей (MPE, см. раздел 4), содержащихся в нормативном документе (например, в Рекомендации МОЗМ). Не смотря на то, что весьма желательно, чтобы погрешность показания была мала (и даже нулевой), этого обычно не происходит при поверке.

В программу испытаний, проводимых с целью оценки типа в лабораторных условиях, обычно включают такие испытания, в которых величины, оказывающие влияние на показываемое средством измерений значение (так называемые влияющие величины, такие как температура окружающей среды и влажность) изменяются контролируемым образом, в

то время как все остальные остаются неизменными (включая величину, подлежащую измерению, которой в рассматриваемом примере является эталонная гиря). Допустимая вариация значений погрешности показания в таких условиях либо содержится в рекомендациях МОЗМ либо в национальных регламентах. При оценке того, прошла ли успешно испытания влияющая величина, важно учитывать неопределенность измерений, связанную с измерением влияющей величины.

На рисунке A2 также показаны две PDF. PDF, которая расположена слева, - это та же самая PDF, что и на рисунке A1. А та PDF, которая расположена справа построена для показанных значений массы эталонной гири (источниками этой неопределенности могут быть нестабильность (изменчивость) показываемого значения, конечная разрешающая способность показывающего устройства и другие случайные эффекты, которые обычно приводят к ухудшению повторяемости при получении многократных значений погрешности показания). Следует отметить, что ширина PDF для M_1 показана на рисунке, как имеющая значительно меньший размер, чем ширина PDF для $M_{\text{calibrated}}$ (скажем, если разрешающая способность и повторяемость показываемых значений массы достаточно мала по сравнению с неопределенностью откалиброванной массы), но это вовсе не означает, что так бывает всегда. (Следует также отметить, что обе PDF показаны без соблюдения масштаба по отношению друг к другу). Используя информацию, содержащуюся в этих PDF, требуется сделать возможным утверждение о степени нашей уверенности в том, насколько хорошо известно "истинное" значение погрешности показания. Это показано на рисунке A3.

Следует отметить, что горизонтальная ось на рисунке A3 теперь изменена по сравнению с рисунками A1 и A2 и имеет название "возможные значения величины погрешности показания". Величина измеренного значения погрешности показания осталась такой же, как на рисунке A2 и, как обсуждалось ранее, она является наилучшей оценкой "истинного" значения погрешности показания. PDF можно построить таким образом, чтобы она показывала плотность вероятности того, что "истинное" значение погрешности показания лежит внутри бесконечно малой области, расположенной вокруг отдельно взятого возможного "истинного" значения погрешности показания. Такая PDF показана на рисунке A3 вместе с соответствующей стандартной неопределенностью измерений (u_{E_1}). Эта PDF получена с помощью объединения (иногда называемого сверткой) двух PDF, представленных на рисунке A2 [2]. Интересно заметить, что u_{E_1} является "стандартной неопределенностью погрешности (показания)", которая однозначным образом демонстрирует совместное использование терминов и понятий "неопределенность" и "погрешность" в сценарии по испытаниям.

Погрешность показаний: Пример с весами (которые поверяют)



Рисунок А3

А.3 Краткое резюме

Подводя итог вышесказанному можно отметить, что не смотря на то, что "неопределенность измерений" была разработана с целью замены теории "погрешности измерения" и "анализа погрешностей" в контексте выполнения измерений, термин и понятие "погрешность" остается полезным в контексте поверки средств измерений и измерительных систем. На самом деле имеет смысл говорить о неопределенности измеренной погрешности показания! Неопределенность измерений, связанная с эталоном(ами), которые используются при выполнении операций поверки, должна учитываться при принятии (вероятностных) решений об оценке соответствия, так как они вносят вклад в стандартную неопределенность погрешности показания (u_{E_I}).

Приложение В

Использование таблицы стандартного нормального распределения (Z-таблицы)

Настоящее Приложение является адаптированной версией материала, представленного в электронной книге по статистическим методам (<http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/eda/section3/eda3671.htm>).

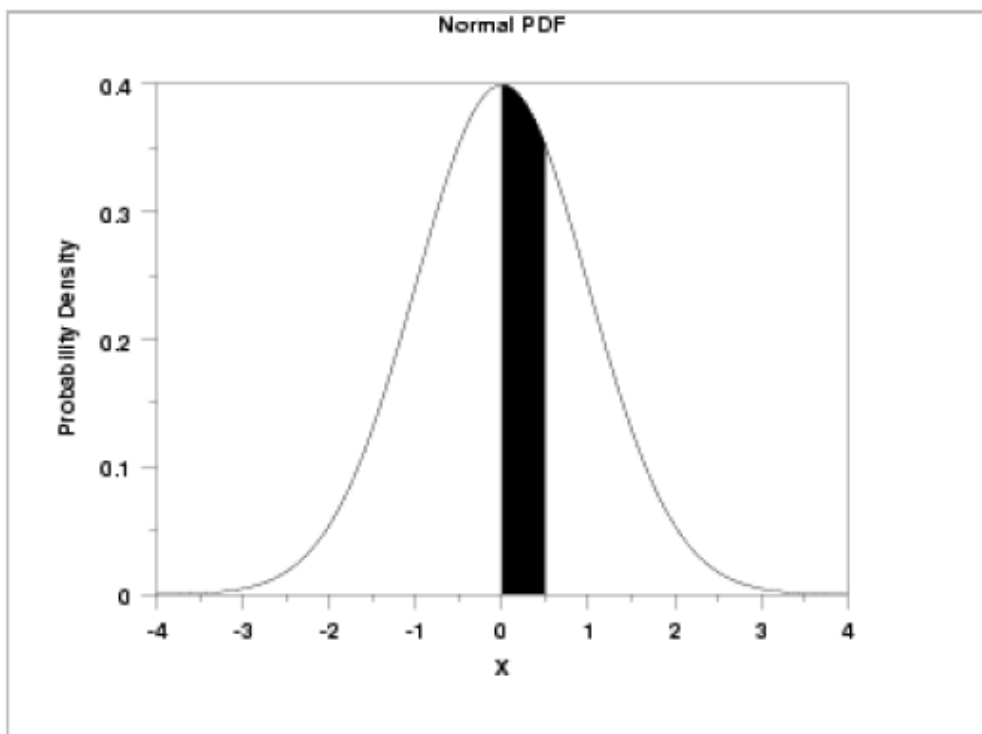
Основная формула для расчета плотности вероятности нормального распределения выглядит следующим образом:

$$f(x) = \frac{e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}}{\sigma\sqrt{2\pi}}$$

где μ – это параметр положения и σ – это параметр масштаба. В случае, когда $\mu = 0$ и $\sigma = 1$, распределение называется стандартным нормальным распределением. Выражение для стандартного нормального распределения выглядит следующим образом:

$$f(x) = \frac{e^{-\frac{x^2}{2}}}{\sqrt{2\pi}}$$

На рисунке ниже проиллюстрировано стандартное нормальное распределение (иногда также называемое нормированным распределением Гаусса). Закрашенная область под кривой представляет собой вероятность того, что параметр x находится между 0 и α (рисунок соответствует случаю, когда $\alpha = 0,5$).



Значения областей под кривой для дискретных значений α могут быть получены из таблицы стандартного нормального распределения, представленной ниже. В таблице, представленной ниже, содержатся площади под кривой стандартного нормального распределения, ограниченные значениями на оси абсцисс от $x = 0$ до указанного значения $x = \alpha$.

Таблица – Таблица стандартного нормального распределения (Площадь под кривой нормального распределения от $x = 0$ до $x = \alpha$)

α	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.0	0.00000	0.00399	0.00798	0.01197	0.01595	0.01994	0.02392	0.02790	0.03188	0.03586
0.1	0.03983	0.04380	0.04776	0.05172	0.05567	0.05962	0.06356	0.06749	0.07142	0.07535
0.2	0.07926	0.08317	0.08706	0.09095	0.09483	0.09871	0.10257	0.10642	0.11026	0.11409
0.3	0.11791	0.12172	0.12552	0.12930	0.13307	0.13683	0.14058	0.14431	0.14803	0.15173
0.4	0.15542	0.15910	0.16276	0.16640	0.17003	0.17364	0.17724	0.18082	0.18439	0.18793
0.5	0.19146	0.19497	0.19847	0.20194	0.20540	0.20884	0.21226	0.21566	0.21904	0.22240
0.6	0.22575	0.22907	0.23237	0.23565	0.23891	0.24215	0.24537	0.24857	0.25175	0.25490
0.7	0.25804	0.26115	0.26424	0.26730	0.27035	0.27337	0.27637	0.27935	0.28230	0.28524
0.8	0.28814	0.29103	0.29389	0.29673	0.29955	0.30234	0.30511	0.30785	0.31057	0.31327
0.9	0.31594	0.31859	0.32121	0.32381	0.32639	0.32894	0.33147	0.33398	0.33646	0.33891
1.0	0.34134	0.34375	0.34614	0.34849	0.35083	0.35314	0.35543	0.35769	0.35993	0.36214
1.1	0.36433	0.36650	0.36864	0.37076	0.37286	0.37493	0.37698	0.37900	0.38100	0.38298
1.2	0.38493	0.38686	0.38877	0.39065	0.39251	0.39435	0.39617	0.39796	0.39973	0.40147
1.3	0.40320	0.40490	0.40658	0.40824	0.40988	0.41149	0.41308	0.41466	0.41621	0.41774
1.4	0.41924	0.42073	0.42220	0.42364	0.42507	0.42647	0.42785	0.42922	0.43056	0.43189
1.5	0.43319	0.43448	0.43574	0.43699	0.43822	0.43943	0.44062	0.44179	0.44295	0.44408
1.6	0.44520	0.44630	0.44738	0.44845	0.44950	0.45053	0.45154	0.45254	0.45352	0.45449
1.7	0.45543	0.45637	0.45728	0.45818	0.45907	0.45994	0.46080	0.46164	0.46246	0.46327
1.8	0.46407	0.46485	0.46562	0.46638	0.46712	0.46784	0.46856	0.46926	0.46995	0.47062
1.9	0.47128	0.47193	0.47257	0.47320	0.47381	0.47441	0.47500	0.47558	0.47615	0.47670
2.0	0.47725	0.47778	0.47831	0.47882	0.47932	0.47982	0.48030	0.48077	0.48124	0.48169
2.1	0.48214	0.48257	0.48300	0.48341	0.48382	0.48422	0.48461	0.48500	0.48537	0.48574
2.2	0.48610	0.48645	0.48679	0.48713	0.48745	0.48778	0.48809	0.48840	0.48870	0.48899
2.3	0.48928	0.48956	0.48983	0.49010	0.49036	0.49061	0.49086	0.49111	0.49134	0.49158
2.4	0.49180	0.49202	0.49224	0.49245	0.49266	0.49286	0.49305	0.49324	0.49343	0.49361
2.5	0.49379	0.49396	0.49413	0.49430	0.49446	0.49461	0.49477	0.49492	0.49506	0.49520
2.6	0.49534	0.49547	0.49560	0.49573	0.49585	0.49598	0.49609	0.49621	0.49632	0.49643
2.7	0.49653	0.49664	0.49674	0.49683	0.49693	0.49702	0.49711	0.49720	0.49728	0.49736
2.8	0.49744	0.49752	0.49760	0.49767	0.49774	0.49781	0.49788	0.49795	0.49801	0.49807
2.9	0.49813	0.49819	0.49825	0.49831	0.49836	0.49841	0.49846	0.49851	0.49856	0.49861
3.0	0.49865	0.49869	0.49874	0.49878	0.49882	0.49886	0.49889	0.49893	0.49896	0.49900
3.1	0.49903	0.49906	0.49910	0.49913	0.49916	0.49918	0.49921	0.49924	0.49926	0.49929
3.2	0.49931	0.49934	0.49936	0.49938	0.49940	0.49942	0.49944	0.49946	0.49948	0.49950
3.3	0.49952	0.49953	0.49955	0.49957	0.49958	0.49960	0.49961	0.49962	0.49964	0.49965
3.4	0.49966	0.49968	0.49969	0.49970	0.49971	0.49972	0.49973	0.49974	0.49975	0.49976
3.5	0.49977	0.49978	0.49978	0.49979	0.49980	0.49981	0.49981	0.49982	0.49983	0.49983
3.6	0.49984	0.49985	0.49985	0.49986	0.49986	0.49987	0.49987	0.49988	0.49988	0.49989
3.7	0.49989	0.49990	0.49990	0.49990	0.49991	0.49991	0.49992	0.49992	0.49992	0.49992
3.8	0.49993	0.49993	0.49993	0.49994	0.49994	0.49994	0.49994	0.49995	0.49995	0.49995
3.9	0.49995	0.49995	0.49996	0.49996	0.49996	0.49996	0.49996	0.49996	0.49997	0.49997

В настоящем Руководстве параметр α определяется как

$$\alpha = [(MPE_+ - \bar{E}_T)/u_{E_T}] \quad (B.1)$$

для случая, когда $\bar{E}_T > 0$. Случай, когда $\bar{E}_T < 0$ обсуждается ниже.

На рисунке В1 проиллюстрированы соответствующие параметры.

**Принятие решения о соответствии на основании суммарной стандартной
неопределенности погрешности показания**

плотность вероятности, с которой измеренное значение погрешности показаний соответствует (по существу единственному) "истинному" значению погрешности показания



Возможный критерий соответствия: Какова вероятность того, что истинное значение погрешности показания (E_I) лежит вне зоны соответствия?

Определить площадь под PDF с помощью таблицы стандартного нормального распределения

Рисунок В1

Пример

Рассмотрим отдельное испытание средства измерений длины, такого как штриховая мера, в котором показанное значение длины (L_I) составляет 1,0006 м, когда значение эталонной длины высокоточной штриховой меры (L_R), взятое из сертификата калибровки, составляет 1,0003 м. Измеренное значение погрешности показания тогда составит:

$$E_I = L_I - L_R = 0,0003 \text{ м} = 300 \text{ мкм} \quad (\text{В.2})$$

Предположим, что в результате оценивания стандартной неопределенности погрешности показания было получено значение:

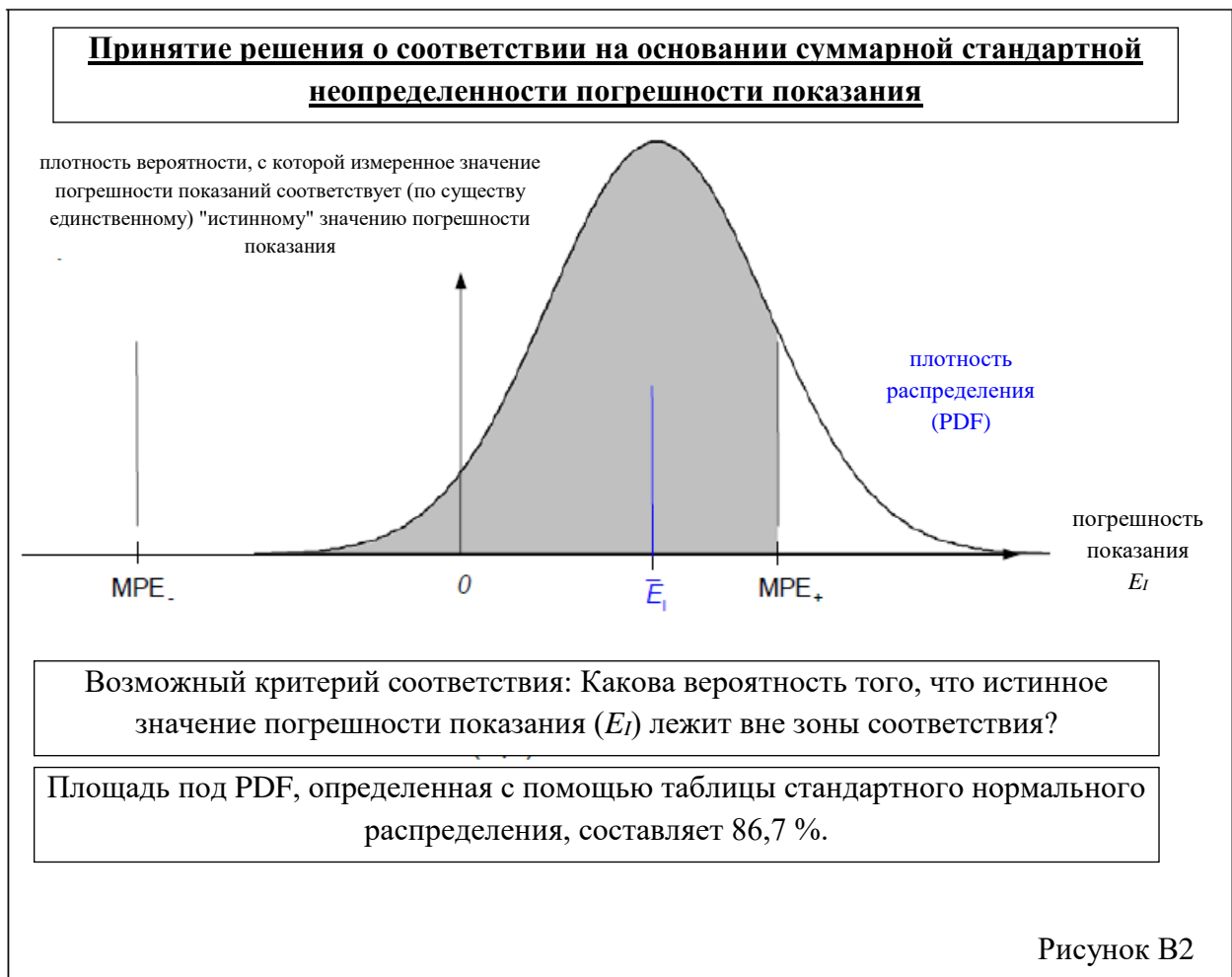
$$u_{E_I} = 180 \text{ мкм} \quad (\text{В.3})$$

Если MPE для этого конкретного испытания составляет 500 мкм, то параметр α рассчитывается как:

$$\alpha = [(MPE_+ - \bar{E}_I) / u_{E_I}] = [(500 - 300) / 180] = 1,11 \quad (\text{В.4})$$

Из приведенной выше таблицы стандартного нормального распределения находим ячейку для значения параметра $\alpha = 1,11$ путем поиска места пересечения строки, соответствующей значению параметра α , равного "1,1", и столбца с шапкой "0,01". Содержащееся в указанной ячейке значение равно 0,3665.

Это означает, что площадь под кривой между \bar{E}_I и MPE_+ на рисунке В1 равна 0,3665. Следовательно, так как площадь под кривой слева от \bar{E}_I составляет 0,5000, то вероятность (в предположении отсутствия сделанных ошибок при измерении) того, что истинное значение погрешности показания находится внутри зоны соответствия, составляет $0,3665 + 0,5000$ или 0,8665 (86,7 %). Поэтому риск ложной приемки составляет $p_{fa} = 1 - 0,8665 = 0,133 = 13,3 \%$. Следует отметить, что $f_{E_I} = u_{E_I}/MPE = 0,36$, и поэтому проверка условия о неперевышении максимальной допускаемой неопределенности может привести к неудовлетворительному выводу в случае, когда максимальное значение f_{E_I} для этого испытания было задано как 1/3.



В случае, когда \bar{E}_I меньше нуля, таблица стандартного нормального распределения также может использоваться в силу симметричности кривой Гаусса, но в этом случае параметр α следует определять по формуле:

$$\alpha = [(\bar{E}_I - MPE_-)/u_{E_I}] \quad (B.5)$$

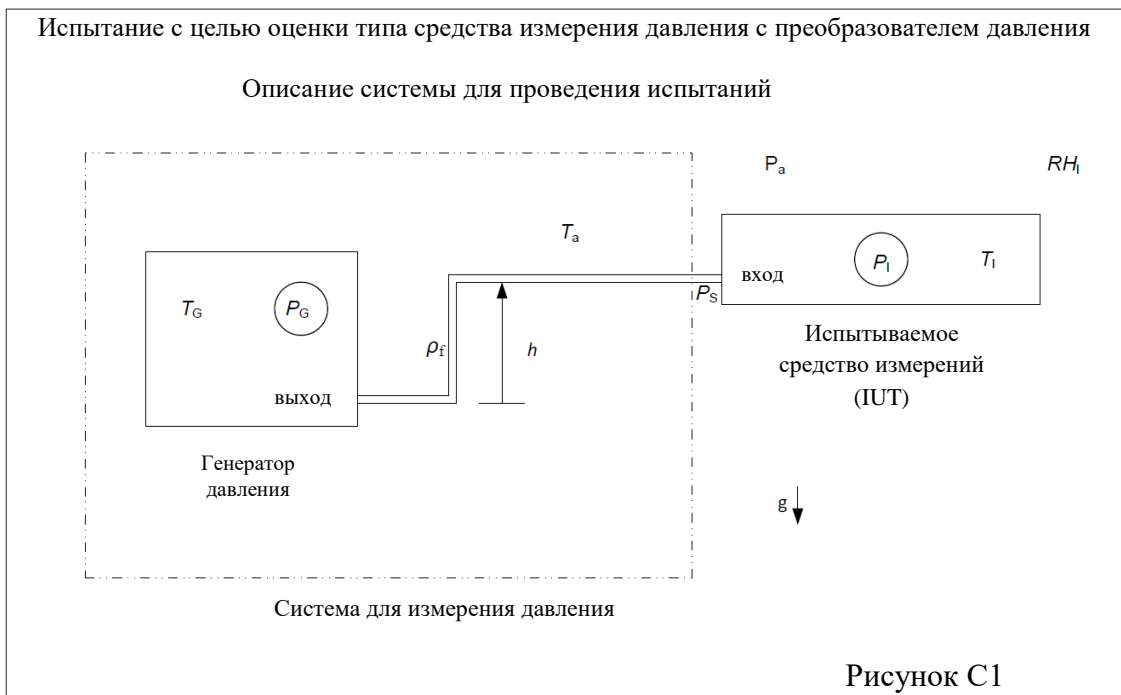
Приложение С

Пример по оценке неопределенности измерений погрешности показания

Рассмотрим случай учета неопределенности измерений при принятии решения об успешном/неуспешном прохождении испытания с целью оценки типа средства измерения давления с преобразователем давления.

Будем следовать шагам, перечисленным в пункте 8.2 и представленным ниже курсивом:

(Шаг 1) Опишите испытываемый прибор (instrument under test (IUT)) вместе с измерительной системой, которая будет использоваться для выполнения испытания(й). Включите в описание все влияющие величины, которые могут оказывать влияние на средство измерений, все влияющие величины, которые могут оказывать влияние на измерительную систему, и четко установите условия (если таковые имеются), при которых влияющие величины должны поддерживаться в период выполнения испытаний (например, нормированные условия эксплуатации и/или нормальные условия эксплуатации как для измерительной системы, так и для IUT).



Испытываемое средство измерений (IUT) – это средство измерений давления, использующее преобразователь давления, который с иллюстративной целью, будет рассматриваться как настроенный в так называемом "манометрическом режиме", означающем что одна сторона преобразователя открыта для внешнего (атмосферного) давления (обозначенного на рисунке С1 как P_a).

IUT располагается таким образом, что либо он установлен на стенд, который является открытым для влияния окружающей среды (как на рисунке С1) либо располагается в камере, в которой температура и относительная влажность могут контролироваться. Температура

испытываемого средства измерений обозначается как T_I , а относительная влажность – как RH_I . Вход в IUT показан на рисунке, и он устанавливает уровень расположения для IUT по отношению к показываемому в манометрическом режиме давлению P_I .

Система для измерения давления показана прямоугольником с пунктирными линиями и состоит из генератора давления и жесткой трубки, соединяющей выход генератора давления со входом IUT. Рабочая жидкость (которая должна быть определена) известна и имеет плотность, обозначаемую как ρ_f , а высота уровня расположения (reference level) IUT по отношению к уровню, на котором размещен генератор давления обозначается как h (даже если генератор давления располагается на том же самом стенде, что и IUT, эти два уровня вероятно будут все равно отличаться). Давление, создаваемое генератором давления в манометрическом режиме на его уровне расположения, обозначается как P_G , а температура генератора давления – как T_G , которая может быть отличной от температуры окружающего воздуха, обозначаемой как T_a . Местное ускорение свободного падения в месте проведения испытаний задается как g .

Тогда влияющими величинами, которые могут повлиять на результат испытаний, являются P_a , T_a , T_G , RH_I и T_I . При проведении любого вида испытаний первые три величины не будут контролироваться, а будут только измеряться (за T_G будет установлено наблюдение для того, чтобы быть уверенным в том, что генератор давления всегда работает в пределах своих нормированных условий эксплуатации). С другой стороны, некоторые виды испытаний будут включать изменение (и измерение) температуры IUT (T_I) и относительной влажности воздуха, окружающего IUT (RH_I).

Другие параметры испытаний h , g и ρ_f не рассматриваются в качестве влияющих величин, так как они не влияют на IUT (или генератор давления).

(Шаг 2) Установите все различные виды испытаний, которые следует выполнить с целью оценки типа. На основании описания в Шаге 1, для каждого вида испытаний составьте математическую модель измерения. Каждая модель должна в итоге обеспечивать выражение для "погрешности показания", а также включать выражение для стандартной неопределенности измерений, связанной с каждой измеренной погрешностью показания (за исключением случая, когда требуется получить повторные измерения погрешности показания, в этом случае следует представить среднее значение погрешности показания вместе с соответствующей стандартной неопределенностью измерений, которая включает составляющую, полученную из повторных измерений). Отчет должен учитываться при анализе неопределенности диапазона значений погрешности показания, который может быть получен, когда IUT используется в любой точке диапазона нормированных условий эксплуатации.

Различные виды испытаний, которые должны проводиться, приводятся в OIML R 101 "Манометры, вакуумметры, мановакуумметры показывающие и записывающие с упругими элементами (рабочие приборы)" ("Indicating and recording pressure gauges, vacuum gauges and pressure-vacuum gauges with elastic sensing elements (ordinary instruments)) и в OIML R 109 "Манометры и вакуумметры с упругими чувствительными элементами (эталонные приборы)" (Pressure gauges and vacuum gauges with elastic sensing elements (standard instruments)), включая температурные испытания, испытания на влагостойкость и испытания на гистерезис.

Основная математическая модель (для погрешности показания) для всех этих видов испытаний основана в первую очередь на разработке математического выражения для

наилучшей оценки "истинного" значения гидростатического избыточного давления, подаваемого системой для измерения давления на вход ИУТ (это давление на рисунке С1 обозначается как P_S):

$$P_S = P_G + (\rho_f - \rho_a) \cdot g \cdot h \quad (C.1)$$

где ρ_a – это плотность атмосферного воздуха. Математическая модель для погрешности показания (E_I) средства измерений затем принимается в качестве разности между показанием, которое может быть получено при отсутствии случайных влияний на средство измерений (P_I) и наилучшей оценки "истинного" значения гидростатического избыточного давления (P_S), подаваемого системой для измерения давления на вход ИУТ:

$$E_I = P_I - P_S \quad (C.2)$$

Комбинируемая стандартная неопределенность отдельно измеренного значения погрешности показания затем получается из формулы (10), приведенной в GUM:

$$u_{E_I}^2 = u_{P_I}^2 + u_{P_S}^2 \quad (C.3)$$

где $u_{P_I}^2$ включает только ограничение разрешающей способности и "неустойчивость" показания ИУТ, и

$$u_{P_S}^2 = \sum_i \left(\frac{\partial P_S}{\partial x_i} \right)^2 u_{x_i}^2 \quad (C.4)$$

Суммирование по индексу i охватывает все величины, от которых зависит P_S . (Следует отметить, что формулы (C.3) и (C.4) основаны на предположении того, что между величинами отсутствует корреляция. Если корреляция существует, то следует использовать формулу (13), представленную в GUM). Из формул (C.1) и (C.4) получим:

$$u_{P_S}^2 = u_{P_G}^2 + (g \cdot h)^2 \cdot u_{\rho_f}^2 + (-g \cdot h)^2 \cdot u_{\rho_a}^2 + [(\rho_f - \rho_a) \cdot h]^2 \cdot u_g^2 + [(\rho_f - \rho_a) \cdot g]^2 \cdot u_h^2 \quad (C.5)$$

где отдельные составляющие неопределенности измерений должны быть получены из различных источников, таких как таблицы или сертификаты калибровки. (Следует отметить, что $u_{\rho_a}^2$ в свою очередь сама зависит от температуры и относительной влажности воздуха). Затем формулу (C.5) можно объединить с формулой (3) для получения суммарной стандартной неопределенности измерений, связанной с отдельными измеренными значениями погрешности показания.

Однако, для каждого вида испытаний, выполняемых для оценки типа, необходимо также включить составляющую неопределенности измерений для повторяемости испытания (обозначаемую как u_{rep}). Она может быть получена посредством выполнения серий повторных "идентичных" измерений и расчета стандартного отклонения измеренных значений или посредством получения такой информации из измерений, которые были выполнены раньше (используемый способ должен быть указан).

Также функционирование ИУТ должно быть оценено в отношении того, как изменяются показания (при постоянном входном сигнале), когда некоторые условия, влияющие на прибор, могут одновременно изменяться в пределах своих условий эксплуатации при использовании прибора во внелабораторных условиях. Составляющая неопределенности (обозначаемая как u_{roc}), которая может быть получена как стандартное отклонение ряда значений, полученных в таких условиях, когда условия эксплуатации ИУТ случайным образом изменяются по всему диапазону нормированных условий эксплуатации, должна также быть рассмотрена для включения в окончательное выражение для u_{E_I} :

$$u_{E_I}^2 = u_{P_I}^2 + u_{P_S}^2 + u_{r_{сп}}^2 + u_{roc}^2 \quad (C.6)$$

где $u_{P_S}^2$ получено по формуле (C.5).

Рассмотрим конкретное испытание, выполняемое с целью оценки типа, когда ИУТ функционирует при номинальном значении своего максимального нормированного рабочего давления, равного 1,01 МПа (10 атмосфер). Пусть генератор давления настроен так, чтобы создавать давление (P_G), равное 1,0000 МПа с неопределенностью (u_{P_G}), которая в соответствии с его сертификатом калибровки составляет 0,0001 МПа (или 100 Па).

Рабочая текучая среда – это жидкость с массовой плотностью (заданной производителем) 900 кг/м³ и соответствующей установленной неопределенностью (u_{ρ_f}), равной 10 % или 90 кг/м³. Плотность окружающего воздуха (ρ_a) зависит от температуры воздуха (T_a) [которая после измерения оказалась равной 23 °С с неопределенностью 0,01 °С], атмосферного давления (P_a) [которое после измерения оказалась равным 0,10147 МПа с неопределенностью 0,00010 МПа], и относительной влажности (RH_1) [которая после измерения оказалась равной 60 % с неопределенностью 5 %]. Используя известные выражения для расчета плотности воздуха, в результате расчета для ρ_a было получено значение 1,194 кг/м³ с неопределенностью 0,005 кг/м³.

Так как полная вариация в значениях местного ускорения свободного падения по всей поверхности Земного шара может достигать 0,5 %, значение местного ускорения свободного падения необходимо установить с неопределенностью, подходящей для такого использования. Существуют таблицы, позволяющие рассчитать значения местного ускорения свободного падения для широты и долготы. Для этого конкретного испытания значение g , полученное из такой таблицы оказалось равным 9,79560 м/с² с неопределенностью (u_g), равной 0,00005 м/с².

Высота (h) уровня расположения ИУТ относительно уровня расположения генератора давления после измерения оказалась равной 0,0213 м, с неопределенностью измерений (u_h), равной 0,0001 м.

(Шаг 3) Рассчитайте стандартную неопределенность измерений, связанную с эталоном или системой.

Стандартная неопределенность измерений (u_{P_S}) давления, подаваемого измерительной системой на вход ИУТ может быть рассчитана по формуле (C.5) следующим образом:

$$\begin{aligned}
u_{p_s}^2 &= (100)^2 + (9,79260 \cdot 0,0213)^2 \cdot (90)^2 + (-9,79560 \cdot 0,0213)^2 \cdot (0,005)^2 \\
&\quad + [(900 - 1,194) \cdot 0,0213]^2 \cdot (0,00005)^2 + [(900 - 1,194) \cdot 0,0213]^2 \\
&\quad \cdot (0,0001)^2 = [10^4 + 352,62 + 1,09 \times 10^{-6} + 9,16 \times 10^{-7} + 0,775] \text{ Па}^2 \\
&\approx 10353 \text{ Па}^2
\end{aligned}
\tag{C.7}$$

или

$$u_{p_s} \approx 102 \text{ Па}$$

Из этого анализа можно заметить, что значение неопределенности создаваемого генератором давления доминирует в общей неопределенности давления, поставляемого на вход ИУТ, за которым на втором месте по величине следует неопределенность плотности рабочей жидкости. Такой анализ помогает установить, где наилучшим способом могли бы быть потрачены усилия при попытке уменьшить неопределенность давления, подаваемого на вход ИУТ.

(Шаг 4) Рассчитайте стандартную неопределенность измерений (u_{p_I}), связанную с показываемым значением измеряемой величины (включая составляющие, возникающие из-за разрешающей способности и/или случайных колебаний).

Наблюдаемые случайные колебания (неустойчивость) в показываемом ИУТ давлении (P_I) при постоянном входном давлении, равном 1,01 МПа, и для условий эксплуатации ИУТ, поддерживаемых в пределах заданных нормальных условий эксплуатации, находятся в пределах ± 15 Па, которые можно перевести в составляющую неопределенности для u_{p_I} , равную $15/\sqrt{3} = 8,7$ Па. Следует отметить, что коэффициент $\sqrt{3}$ происходит из рассмотрения неопределённости, как для прямоугольного распределения (см. GUM, п. 4.3.7). Другие предполагаемые распределения будут приводить к другим значениям делителей.

Разрешение показания составляет 10 Па, что приводит к составляющей неопределенности для u_{p_I} , равной $10/\sqrt{12} = 2,9$ Па.

Суммарная стандартная неопределенность, связанная с показанием ИУТ, тогда составит:

$$u_{p_I} = \sqrt{[(15/\sqrt{3})^2 + (5/\sqrt{3})^2]} = 9,13 \text{ Па}$$

(Шаг 5) Рассчитайте стандартную неопределенность измерений ($u_{r_{exp}}$), связанную с повторяемостью или воспроизводимостью средства измерений/измерительной системы и/или методики испытаний.

Для ИУТ выполняется серия испытаний на повторяемость, где условия повторяемости заключались в том, что давление от генератора давления попеременно то прикладывалось и то снималось 50 раз, при этом все остальное оставалось постоянным. Между моментами, когда подавалось давление, выдерживался достаточный для установления теплового равновесия промежуток времени. Эффекты, возникающие из-за возможного гистерезиса, также анализируются. Стандартное отклонение (u_{SD}), рассчитанное на основании 50

значений, берется в качестве составляющей неопределенности измерений с целью оценки количественной характеристики повторяемости/воспроизводимости для этого конкретного типа испытаний. Для целей этого примера, предположим, что было рассчитано значение $u_{SD} = u_{rep} = 20$ Па.

(Шаг 6) Рассчитайте стандартную неопределенность измерений (u_{roc}) для случая, когда показание средства измерений изменяется в условиях функционирования прибора во всем диапазоне нормированных условий эксплуатации при фиксированном значении сигнала, поступающего на вход средства измерений.

Возвращаясь к условиям испытаний из шага 4, теперь методично изменяйте (если это возможно) условия эксплуатации для ИУТ во всем диапазоне его нормированных условий эксплуатации и наблюдайте соответствующую вариацию в показываемом давлении P_I . Опять же, если возможно, изменяйте условия эксплуатации как по отдельности, так и все одновременно, чтобы имитировать возможные условия (температурные испытания, испытания на влагостойкость, испытания на гистерезис и т. д.), которые ИУТ может испытывать во внелабораторных условиях. Предположим, что для такого испытания было установлено, что показываемое давление изменяется в пределах ± 30 Па. Соответствующая составляющая неопределенности измерений (u_{roc}) вследствие (возможной) вариации в условиях эксплуатации по всему диапазону нормированных условий эксплуатации тогда составит:

$$u_{roc} = 30/\sqrt{3} = 17,3 \text{ Па}$$

Следует отметить, что эта составляющая неопределенности измерений иногда однозначно рассматривается как часть неопределенности измерений погрешности показания, но иногда по договоренности включается в МРЕ, так что следует проявить осторожность при определении того, какое используется правило. В этом примере эта составляющая неопределенности измерений не рассматривается, как включенная в МРЕ.

(Шаг 7) Просуммируйте эти составляющие неопределенности измерений для того, чтобы рассчитать суммарную стандартную неопределенность измерений (u_{E_I}), связанную с погрешностью показания.

Теперь можно рассчитать суммарную стандартную неопределенность измерений погрешности показания (u_{E_I}) для конкретного испытания, выполняемого с целью оценки типа, где ИУТ функционирует при номинальном значении своего максимального нормированного рабочего давления, составляющего 1,01 МПа (10 атмосфер), как уже было сказано выше по тексту. Используя выражение (С.6):

$$u_{E_I}^2 = u_{P_I}^2 + u_{P_S}^2 + u_{rep}^2 + u_{roc}^2 = (9,13)^2 + (102)^2 + (20)^2 + (17,3)^2 = 11187 \text{ Па}^2$$

или

$$u_{E_I} = 105,8 \text{ Па} \tag{C.8}$$

Несмотря на то, что этот пример показывает фактически все, что необходимо учесть для того, чтобы оценить неопределенность измерений погрешности показания для отдельного измерения для данного типа средств измерений (и это может даже показаться несколько сложным), важно помнить, что единожды выполнив все выводы и получив значения и соответствующие стандартные неопределенности для типовых условий измерений, процесс получения значения u_{E_i} для каждого последующего отдельного измерения давления, выполняемого во время испытания с целью оценки типа, должен стать достаточно несложным, так как многие составляющие неопределенности измерений будут одинаковыми для нескольких отдельных измерений.

На самом деле интересным оказался тот факт, что неопределенность погрешности показания, представленная в формуле (С.8) была найдена даже без получения в явном виде значения отдельной погрешности показания, но при установленном номинальном (максимальном) значении давления для испытания. Хотя некоторые составляющие неопределенности измерений могут уменьшиться при низких давлениях, иногда просто удобно (с большим запасом) использовать значение неопределенности измерений, которое предположительно окажется максимальным для всех испытаний одного вида.

Также интересно отметить, что в этом случае, почти все неопределенности погрешности показания связаны с эталоном (т. е. с генератором давления). Но это не всегда так.

Теперь, после того, как в этом примере был представлен способ оценки неопределенности измерений погрешности показания для определенной последовательности испытаний, можно расширить пример для того, чтобы рассмотреть, как устанавливаются требования к МРЕ, максимально допускаемым неопределенностям и типам риска, которые следует учитывать при принятии решений об оценке соответствия. Эти вопросы будут рассмотрены в Приложении D.

Приложение D

Пример оценки риска, включающей неопределенность измерений

Для каждого установленного вида испытаний Рекомендация МОЗМ должна рассматривать и задавать приемлемую для данного вида испытаний МРЕ. Например, для испытаний, выполняемых с целью оценки типа, задаваемая МРЕ могла бы соответствовать одному из нескольких возможных классов точности, на соответствие которым испытывается прибор. Для испытаний, выполняемых при проведении операций проверки, задаваемая МРЕ должна быть основана на ряде соображений, рассмотренных в разделе 7.

Следует также рассмотреть то, какими будут при проведении испытаний возможные значения u_{E1} и u_S для того, чтобы решить должны ли быть заданы значения MPU_{E1} и MPU_S и если да, то какими должны быть эти значения (или даже значения f_{E1} и f_S). См. пп. 5.3.4, 5.3.5 и 7.

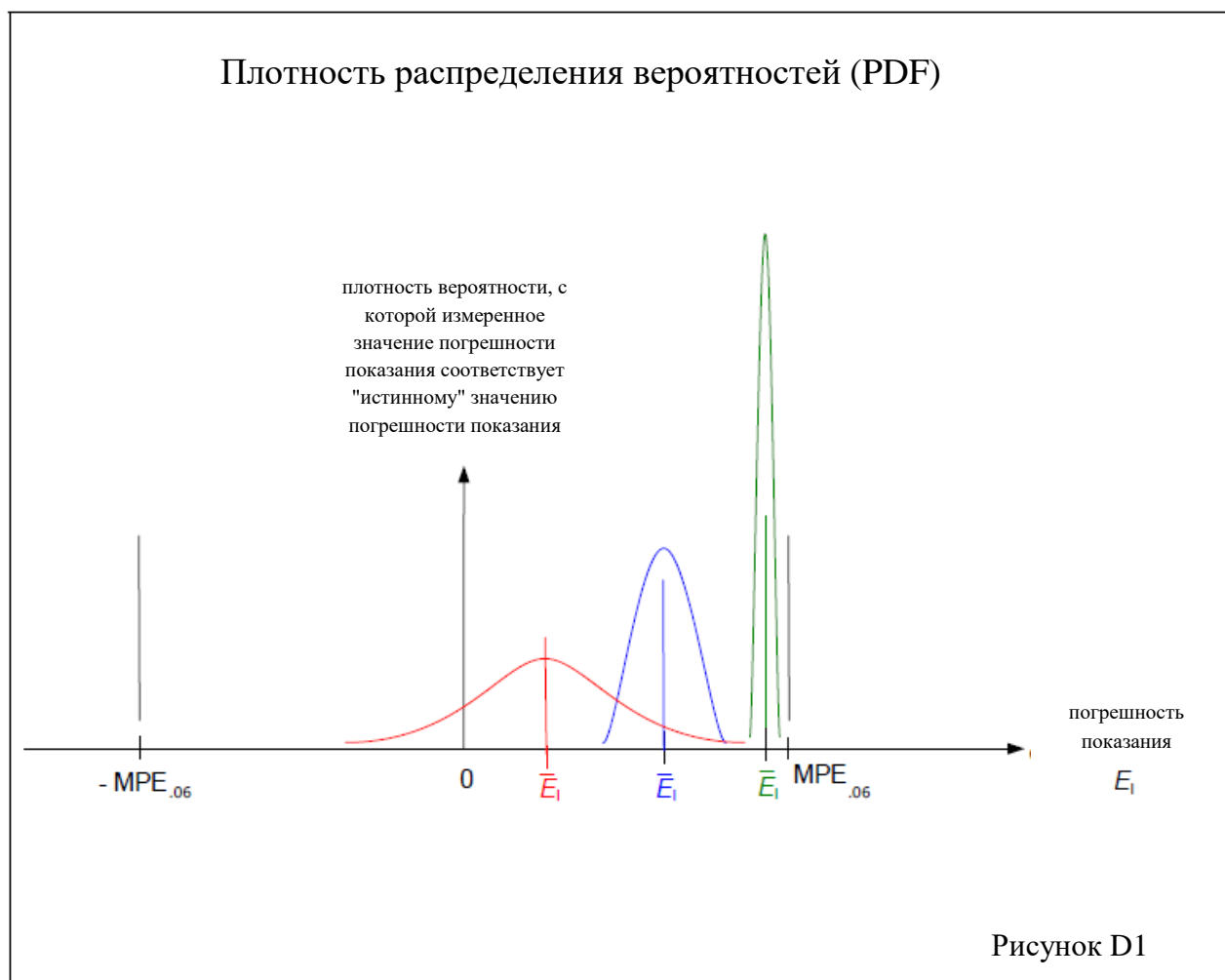
Продолжая рассмотрение примера из Приложения C1, рассмотрим случай, когда IUT должно подвергаться испытаниям с целью определения возможности классификации типа прибора в соответствии с заданным классом точности (скажем, заданный в соответствии с OIML R 109 класс 0,06), который имеет соответствующую МРЕ, определяемую как $MP_{E0,06} = 0,06\% (1 \text{ МПа}) = 0,0006 \text{ МПа} = 600 \text{ Па}$.

Анализ должен проводиться в отношении того, какой для представленного в Приложении C вида испытаний для данного типа прибора, окажется более подходящим для использования риск: риск потребителя, риск производителя или совместный риск. При таком анализе следует рассмотреть последствия (с точки зрения аспектов безопасности, экономичности и других), которые могут возникнуть для пользователя и производителя прибора вследствие неверного принятия решения о годности (для заданного или наиболее вероятного использования типа прибора) и каковы будут возможные значения u_{E1} при проведении испытания.

Например, если тип IUT как правило используется для наблюдения за атмосферным давлением для прогноза погоды, то можно предположить, что подход с совместным риском окажется вполне адекватным до тех пор, пока будет выполняться заданное значение f_{E1} (такое как, например 1/3). С другой стороны, для типа средства измерений давления, используемого для контроля за критическим давлением внутри сосуда на атомной электростанции, или используемого для измерения высоты в авиации, вероятно более подходящим должен стать подход с использованием риска потребителя с гораздо меньшим (с запасом) значением коэффициента f_{E1} .

Перед тем как принять решение в отношении использования того или иного подхода к риску, необходимо (или по крайней мере полезно) в первую очередь провести некоторые предварительные измерения для определения типичных значений u_{E1} (которое уже было установлено с помощью формулы (C.8) в Приложении C как примерно равное 105 Па). Эти

измерения могут также помочь в установлении подходящего заданного значения f_{E_1} , которое приводило бы к очень малой вероятности принятия неверного решения о годности.



На рисунке D.1 показана ситуация с обсуждаемым здесь примером. Средняя (синяя) кривая представляет Гауссову PDF, в которой неопределенность (стандартное отклонение кривой) составляет около 1/6 от MPE ($u_{E_1}/MPE_{0,06} = 105/600$). Крайняя слева (красная) кривая представляет Гауссову PDF, в которой неопределенность составляет около 1/3 от MPE. Затем с помощью анализа этих двух кривых, основываясь только на визуальном анализе, можно определить наиболее приемлемую ситуацию, для которой следует установить в качестве требования в Рекомендациях либо отношения (соответствующие f_{E_1} , как обсуждалось в п. 5.3.4) или другое отношение. Для конкретного обсуждаемого примера предположим, что тип IUT будет использоваться в не слишком ответственной области и поэтому значение f_{E_1} , равное 1/3, рассматривается как подходящее. Для критически важной области применения может оказаться более подходящим значение f_{E_1} , равное 1/20 и схематически показанное крайней справа (зеленой) кривой на рисунке D1. В этом последнем случае для того, чтобы достигнуть меньшего значения f_{E_1} , следует либо уменьшить значение u_{E_1} либо выбрать для этого типа средства измерений большее значение для MPE (класс точности) из тех, к которым он мог бы принадлежать.

Вернемся к требованиям, предъявляемым к эталону. Для того чтобы помочь решить, является ли эталон или измерительная система подходящими для использования в

конкретном виде испытаний, на основании анализа измерительной системы, включающей информацию, содержащуюся в сертификате калибровки эталона, могут быть получены значения u_{P_S} . Этот аспект испытаний должен рассматриваться и задаваться в Рекомендациях (например, приемлемое значение f_S должно по возможности быть задано, как об этом сказано в п.5.3.5). Для рассматриваемого примера с давлением неопределенность, связанная с давлением, полученная и измеренная с помощью "эталона" по формуле (С.7) составляет $u_{P_S} = 102$ Па, что совсем на небольшую величину меньше, чем u_{E_I} , и поэтому находящаяся в середине кривая на рисунке D1 может снова использоваться для решения (на основе визуального анализа) о том, является ли приемлемой неопределенность, связанная с эталоном. Поскольку большая часть неопределенности, обусловлена эталоном, а не IUT, то в этом случае следует принять решение о том, насколько сильно повлияет неопределенность, связанная с эталоном, на принятие решения о годности с точки зрения производителя. Для конкретного рассматриваемого здесь примера, требуемое значение $f_S = 1/3$ оказалось бы вполне приемлемым (так как измеренное значение составляет 1/6).

При разработке Рекомендаций МОЗМ или других публикаций МОЗМ, следует рассмотреть возможность включения в тексты документов предлагаемых "приемлемых" уровней риска для различных видов испытаний. Правила принятия решений и связанные с ними риски наряду с их последствиями должны рассматриваться и анализироваться в Рекомендациях МОЗМ. Однако такие аспекты должны рассматриваться только в контексте нормативных вопросов. Риски для производителя могут иметь серьезные экономические последствия, которые, как правило, выходят за рамки области распространения Рекомендаций.

В зависимости от значений MPU_{E_I} и MPU_S (или f_{E_I} и f_S), установленных на предыдущем шаге (если он был выполнен), следует обсудить вопрос, связанный с необходимостью использования принципа "совместного риска", или же существованием заданного риска (вероятности), который следует использовать, и в том случае, если он существует, следует определить, является ли он риском ложной приемки или же риском ложной браковки. Следует обратить внимание, что если подход с использованием "совместного риска" применяется в Рекомендации МОЗМ (или в других публикациях МОЗМ), то его не следует использовать в неявном виде, а скорее должно быть представлено однозначное заявление о его использовании в Рекомендации.

Возвращаясь к примеру из Приложения С, теперь рассмотрим случай, когда IUT должен пройти испытания в соответствии с требованиями первичной поверки. В этом случае MPE для первичной поверки (MPE_{iv}) должна быть задана в Рекомендации, и поэтому Рекомендация должна рассматривать различные аспекты, приводящие к выбору соответствующей MPE_{iv} , такие как требования проверяющего органа и потребителя, а также достижимые уровни функционирования прибора во внелабораторных условиях.

Как и в случае с испытанием, выполняемым с целью оценки типа, для первичной поверки также должен быть проанализирован вопрос о том, какой тип риска и какое правило принятия решения следует использовать, но только теперь по отношению к (как правило) большей MPE (часто MPE_{iv} выбирается так, чтобы быть равной удвоенному значению MPE, однако это не всегда необходимо), и поэтому ответ на вопрос может быть другим. Например, для испытания, выполняемого с целью оценки типа, может быть принято решение о приемлемости использования риска потребителя вместе с заданным значением f_{E_I} , в то

время как для испытаний, выполняемых при проведении операций первичной (или периодической) поверки, вполне нормальным является использование совместного риска (с которым удобнее обращаться во внелабораторных условиях), так что, при большей МРЕ, PDF может теперь выглядеть не как средняя кривая на рисунке D1, а как крайняя справа. В таком случае имеет смысл обойтись без сложных вычислений и сделать риск совместным, так как "некорректное" решение может быть принято только на основании относительной ширины (которая очень мала) крайней правой кривой.

Если используется риск ложной приемки или риск ложной браковки, то в дальнейшем следует определить, рассматривается ли значение u_{E_I} как фиксированное для каждого измерения, и в этом случае защитная полоса могла бы использоваться для принятия решения о соответствии, или же u_{E_I} следует рассчитывать отдельно для каждого измерения погрешности показания, и в этом случае может использоваться z-статистика или индекс измерительных возможностей. При этом следует приводить ссылку на настоящее Руководство МОЗМ вместе с описанием того, каким образом следует использовать z-статистику и/или индекс измерительных возможностей для конкретной Рекомендации.

Построение PDF и расчет площади под кривой PDF является в общем нетривиальной задачей, и поэтому любые рекомендации, предоставляемые в отношении этого вопроса в Рекомендации(ях), должны тщательным образом анализироваться в процессе их разработки.

Для ситуации, в которой принято решение об использовании подхода с риском ложной приемки, должно приниматься решение о том, каким является приемлемый уровень риска для ложной приемки (p_{ca} , см. п.5.3.1), также должен проводиться дальнейший анализ в отношении того, может ли неопределенность погрешности показания рассматриваться в качестве постоянной величины для каждого измерения или же ее каждый раз следует пересчитывать.

Если u_{E_I} следует рассчитывать каждый раз, то необходимо либо каждый раз использовать Z-таблицы (например, см. Приложение В) либо каждый раз рассчитывать индекс измерительных возможностей (C_m) (например, см. приложение Е) и каждый раз использовать соответствующую таблицу со значениями C_m .

Если u_{E_I} может рассматриваться как постоянное значение для данного типа измерений и поэтому ее не требуется рассчитывать каждый раз, то можно построить защитную полосу с помощью смещения границ допускаемых погрешностей, соответствующих МРЕ, внутрь на постоянную величину (чтобы обеспечить вероятность ложной приемки меньше заданного значения; смотри [5]). Решение о годности затем производится на основании того, лежит ли измеренное значение E_I внутри новых (уменьшенных) границ допускаемых погрешностей, соответствующих МРЕ.

Возвращаясь к испытанию, выполняемому с целью оценки типа, из примера в Приложении С, рисунок С1 (и выше), предположим, что было принято решение о том, что 5 % -ый уровень риска ложной приемки (риск потребителя) будет использоваться для этой области применения IUT (например, $p_{ca} = 0,5$, и тогда вероятность соответствия составляет $p_{ca} = 0,95 = 95\%$). Так как для этого примера определено, что $MRE_{0,06} = 600$ Па и u_{E_I} (при максимальном давлении 1 МПа) = 105 Па, то таблица стандартного нормального распределения из Приложения В может использоваться для определения максимального значения погрешности показания. Начнем с нахождения ячейки в этой таблице для значения 0,9500 (или на самом деле для значения 0,4500, так как в данном случае для таблицы

Приложения В из 0,9500 следует вычесть 0,5000), которая находится между ячейками со значением 0,4495 ($\alpha = 1,64$) и значением 0,4505 ($\alpha = 1,65$). Используя интерполяцию, найдем значение α , равное 1,645, которое затем и будет использоваться. Формула (В.1) может затем использоваться в несколько измененном виде:

$$\bar{E}_I = MPE_{0,06} - (u_{E_I} \cdot \alpha) \quad (D.1)$$

для того, чтобы получить $\bar{E}_I = 425$ Па, которое является максимальным значением, которое может иметь \bar{E}_I , когда риск того, что рассматривая результат испытания, как положительный, при на самом деле имеющем место отрицательном исходе, составит не более 5 %. Эта ситуация графически показана на рисунке D2.



Прежде чем использовать Z-таблицу, может оказаться более удобным применить диаграмму индекса измерительных возможностей для получения такого же решения (см. Приложение Е). В этом случае, сначала рассчитывается индекс измерительных возможностей по формуле (Е.1) как $C_m = MPE / [2 \cdot u_{E_I}] = 600 / [2 \cdot 105] = 2,86$. Используя диаграмму, построенную для 95 %, из Приложения Е, соответствующее значение \bar{E}_I составляет примерно 0,85. Преобразовав выражение (Е.2), получим $E_I = MPE (2 \cdot \bar{E}_I - 1) = 600(1,7 - 1) = 420$ Па, которое является близким к значению 425 Па, полученному при использовании более точной Z-таблицы.

Так как оценивание неопределенности измерений погрешности показания для отдельного измерения в отношении определенного типа средства измерений может оказаться достаточно сложной задачей, важно отметить, что единожды выполнив дифференцирование по всем переменным и получив значения и связанные с ними неопределенности измерений для типовых условий измерения, процесс получения значения u_{E_1} для каждого последующего отдельного измерения, выполняемого во время испытания с целью оценки типа, должен стать относительно простым, так как большинство составляющих неопределенности измерений будут одинаковыми для нескольких отдельных измерений. Этот аспект обработки неопределенности измерений должен быть включен в виде обсуждаемой темы в каждую Рекомендацию МОЗМ, в которой неопределенность измерений играет важную роль.

Если экспериментально определено, что существует значительная вариация в значениях u_{E_1} в различных измерениях, то следует использовать Z-таблицу или индекс измерительных возможностей для каждого измерения \bar{E}_1 . Однако, как было показано ранее, маловероятно, что u_{E_1} будет значительно изменяться при каждом измерении и, кроме того, иногда более удобно использовать подход с запасом и рассматривать u_{E_1} , определенную в Приложении С, в качестве возможного верхнего предельного значения для всех значений u_{E_1} и поэтому принимать ее, как имеющую постоянное значение. В этом случае можно построить защитную полосу (где новая МРЕ сдвинута с 600 Па до 425 Па), и процесс принятия решений станет более простым: результаты испытаний будут рассматриваться как положительные, когда полученные в них измеренные значения E_1 окажутся меньше, чем 425 Па, а в случае превышения этого значения – как отрицательные. Этот подход с использованием защитной полосы проиллюстрирован на рисунке D3.

Плотность распределения вероятностей (PDF)

плотность вероятности, с
которой измеренное
значение погрешности
показания соответствует
"истинному" значению
погрешности показания

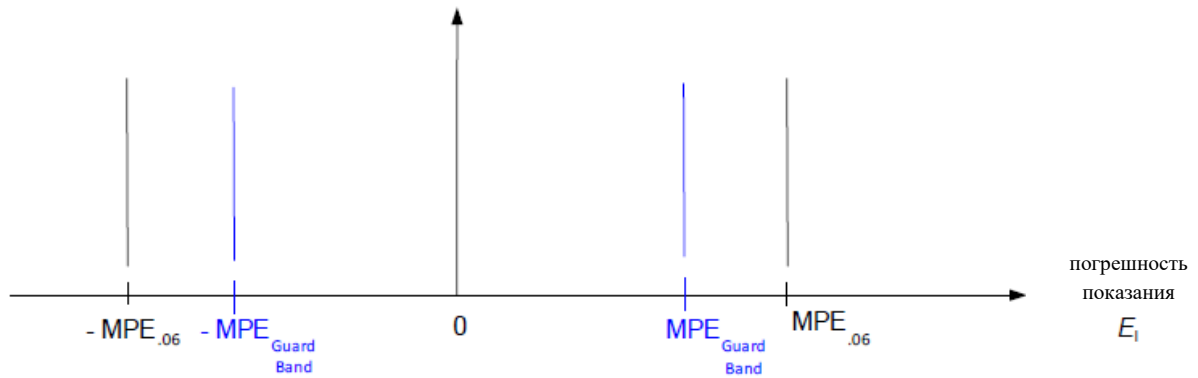


Рисунок D3

Приложение Е

Индекс измерительных возможностей (C_m)

"Индекс измерительных возможностей", описанный и рассмотренный в [5], является полезным инструментом для быстрого оценивания того, рассматривается ли измеренная погрешность показания (E_I), вместе со связанной с нею суммарной стандартной неопределенностью (u_{E_I}), как соответствующая требованию, представленному в виде максимальной допустимой погрешности (MPE) в рамках заданной вероятности соответствия (p_c).

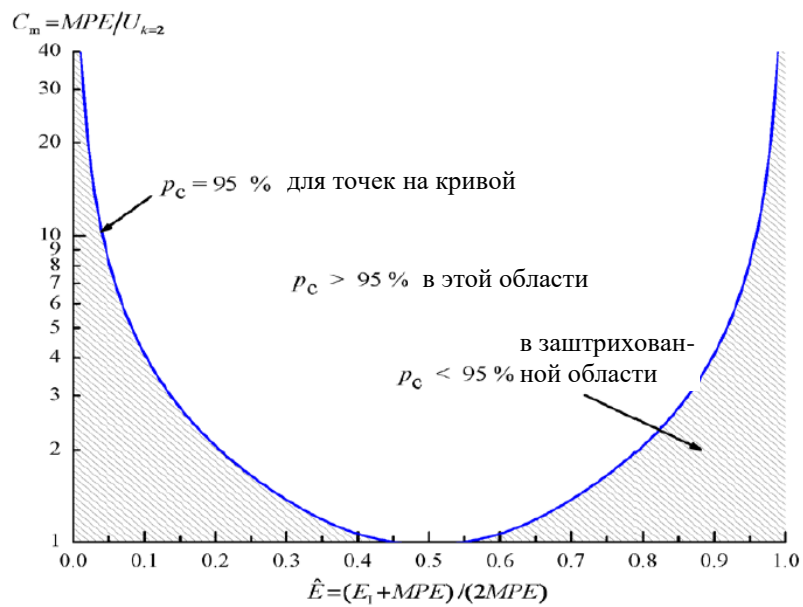
Индекс измерительных возможностей является безразмерным и для законодательной метрологии определяется как:

$$C_m = \text{MPE} / [2 \cdot u_{E_I}] = \text{MPE} / U_{k=2} \quad (\text{E.1})$$

Чтобы использовать индекс измерительных возможностей, сначала требуется рассчитать другой безразмерный параметр, \hat{E} , определяемый как:

$$\hat{E} = [E_I + \text{MPE}] / [2\text{MPE}] \quad (\text{E.2})$$

Следует отметить, что значения в интервале $-\text{MPE} < E_I < \text{MPE}$ приводят к $0 < \hat{E} < 1$. Такая диаграмма, как показана ниже, может быть построена для заданного p_c (приведенная здесь построена для $p_c = 95\%$), где найдя пересечение \hat{E} и C_m , можно увидеть в какой области оно находится: если в заштрихованной области – испытание прошло успешно, если в незаштрихованной – испытание имеет отрицательный результат. (Рисунок предоставлен W. Tyler Estler)



Приложение F

Установление неопределенности измерений с целью использования со средствами измерений и измерительными системами, которые прошли испытания на соответствие

Средство измерений, единожды прошедшее первичную или последующую поверку, иногда используется для выполнения измерения, в котором требуется, чтобы измеренное значение сопровождалось связанной с ним неопределенностью измерений. В такой ситуации, за исключением случая, **когда прибор был не только поверен, но также и откалиброван**, все что можно сказать о любом измеренном значении, полученном с использованием прибора, это только выдвинуть предположение о том, что "истинное" значение измеряемой величины лучше всего представляется измеренным значением (задаваемым показанием средства измерений), но при этом "истинное" значение может лежать в любом месте (с одинаковой вероятностью) в диапазоне, определяемом измеренным значением плюс или минус MPE. Это так называемое "прямоугольное распределение вероятностей" - смотри GUM, п. 4.4.5.

В соответствии с таким анализом, неопределенность измерений, которая должна быть связана с измеренным (показанным) значением, составляет:

$$u = \text{MPE} / \sqrt{3}, \quad (\text{F.1})$$

где MPE – это максимальная допустимая погрешность, которая использовалась при испытании средства измерений.