**Раздел 8 Международное сотрудничество в области метрологии**

**§ 1 Международное руководство по выражению неопределенности измерения. Цели принятия**

В нашей стране долгое время для описания точности результата измерений широко использовался (и до сих пор часто используется) аппарат расчета характеристик погрешности измерений, в который входили такие характеристики, как «предел погрешности», «доверительные границы погрешности», «СКО случайной погрешности», «СКО систематической погрешности», «границы неисключенной систематической погрешности (НСП)». Этот же аппарат, известный как «Error analysis – Анализ погрешности» использовался до середины 90-х годов и в других странах.

В 1993 г. был выпущен документ ИСО/МЭК «Руководство по выражению неопределенности измерений (GUM)», в котором было введено понятие «неопределенность измерений».

Слово "неопределенность" означает сомнение, и, таким образом, в широком смысле "неопределенность измерения" означает сомнение в достоверности результата измерения(п. 2.2.1).

В настоящее время общепризнанно, что после того, как найдены оценки всех ожидаемых составляющих погрешности и в результат измерения внесены соответствующие поправки, все еще остается некоторая неопределенность в отношении полученного результата, т.е. сомнение в том, насколько точно он соответствует значению измеряемой величины.

В связи с вступлением России в ВТО, принято решение перевести правила проведения и оценки качества работ (в том числе и метрологических) в соответствие с международными стандартами ИСО. Все измерительные лаборатории стран-членов ВТО должны оценивать точность результатов измерений в терминах неопределенности. О необходимости расчета неопределенности измерений говорится в:

1. ГОСТ ISO/IEC 17025-2019 Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий п. 7.6 Оценивание неопределенности измерений:

«7.6.1 Лаборатории должны определять вклад (ы) в неопределенность измерений. При оценивании неопределенности измерений все существенные вклады, в том числе связанные с отбором образцов, должны учитываться с применением соответствующих методов анализа.

7.6.2 Лаборатория, выполняющая калибровки, в том числе собственного оборудования, должна оценивать неопределенность измерений для всех калибровок.

 7.6.3 Лаборатория, выполняющая испытания, должна оценивать неопределенность измерений.

1. ГОСТ Р ИСО 10576-1-2006 п 5.1:

«При сравнении результатов измерений или испытаний с предельными значениями необходимо учитывать неопределенность результатов измерений. Неопределенность должна быть оценена в соответствии с GUM»

1. СанПиН 2.2.4.3359-16 п. 1.5 и др.

В связи с этим, серия межгосударственных стандартов ГОСТ 34.100-2017 вводит документы, которые устанавливают общий единообразный подход к оценке точности измерений через концепцию неопределенности измерений и включают в себя как методы вычисления неопределенности измерения в разных измерительных задачах, так и учет неопределенности измерения при применении результатов измерения.

Данные документы идентичны международным документам ISO/IEC Guide 98:2009.

Эксперты МБМВ в документе МЭК/ИСО «ISO/IEC Guide 98-1:2009» постарались как можно понятнее для всех метрологов объяснить причины перехода на концепцию «неопределенность» и выделить основные преимущества введения этого понятия.

**Данная концепция разработана для выражения качества результата измерения взамен концепции погрешностей измерений с целью придания методической корректности используемым теоретико-вероятностным моделям.**

Особенностью концепции неопределенности измерения является использование теоретико-вероятностных методов на основе субъективной (байесовской) интерпретации вероятности в отличие от теории погрешностей измерений, где при описании результата измерения используется частотная интерпретация вероятности. Выбранный байесовский подход при вычислении неопределенности измерения позволил обосновать единые правила вычисления и суммирования составляющих неопределенности.

Достоинством байесовского подхода, а значит, и концепции неопределенности измерений, является наличие формализованной процедуры учета априорной информации разного рода (в том числе о возможных или наиболее вероятных значениях измеряемой величины) при получении результата измерений.

Как известно, термин «погрешность» привязан к истинному значению измеряемой величины. Однако, это исходное «истинное значение» неизвестно. И при проведении измерений указывают интервал, в котором это «истинное значение» находится с определенным уровнем вероятности:

**Х = А ± Δ , Р = 0,95** (где Р – доверительная вероятность).

То есть, интервал от (А – Δ) до (А + Δ) с вероятностью Р содержит в себе:

1) «истинное» значение измеряемой величины.

2) погрешность измерений величины.

****

Термин «неопределенность» привязан к измеренному значению величины А, а не к ее абстрактному «истинному» значению. Также, как для «погрешности», результат измерения записывается в виде интервала:

**Х = А ± U** , **Р = 0,95** (**Р** – вероятность охвата).

То есть, интервал от **(A – U)** до **(A + U)** содержит бОльшую долю ( **Р**) значений, которые могли бы быть приписаны к измеряемой величине.

****

**§ 2 Основные понятия GUM. Характеристики неопределенности. Алгоритм оценки неопределенности измерения.**

Общие правила оценивания и выражения неопределенности измерения, которые следует соблюдать при измерениях разной точности и в разных областях - от технических измерений на производстве до фундаментальных научных исследований устанавливает ГОСТ 34100.3-2017/ISO/IEC Guide 98-3:2008 Неопределенность измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерения (*Руководство).*

Подход, установленный  *Руководством*, распространяется на широкий спектр измерений, включая те, что используют для:

- обеспечения требуемого качества продукции и контроля качества на производстве;

- проверки выполнения требований законов и нормативных документов;

- проведения фундаментальных и прикладных исследований и разработок в науке и технике;

- калибровки эталонов и приборов, а также проведения испытаний в соответствии с национальной схемой обеспечения единства измерений (для обеспечения прослеживаемости к национальным эталонам);

- разработки, поддержания и сличения международных и национальных эталонов единиц величин, включая стандартные образцы веществ и материалов.

**Неопределенность (измерения)** трактуется в *Руководстве* как параметр, относящийся к результату измерения и характеризующий разброс значений, которые могли бы быть обоснованно приписаны измеряемой величине (п. 2.3.3).

**Источниками неопределенности** измерений являются:

a) неполное определение измеряемой величины;

b) несовершенная реализацию определения измеряемой величины;

c) нерепрезентативность выборки (измерения проводят на образце, не представляющем измеряемую величину);

d) неточное знание влияния условий окружающей среды на результат измерения или неточное измерение величин, характеризующих эти условия;

e) субъективная систематическая погрешность (вносимая оператором при снятии показаний аналоговых приборов);

f) конечная разрешающая способность или порог чувствительности прибора;

g) неточные значения, приписанные эталонам и стандартным образцам;

h) неточные знания физических констант и других параметров, полученных из сторонних источников и используемых при обработке данных;

i) аппроксимации и предположения, используемые в методе и методике измерений (измерительной процедуре);

j) изменчивость в повторных наблюдениях при, казалось бы, неизменных условиях измерений

Неопределенность результата измерения обычно состоит из нескольких составляющих, которые можно сгруппировать в **две категории в зависимости от способа их оценивания:**

**A**. статистическими методами;

**B.** другими методами, исходя из предположений о виде закона распределения, основанных на опыте или иной информации.

Такая информация может включать в себя:

- данные предшествующих измерений;

- полученные опытным или теоретическим путем сведения о свойствах материалов и характеристиках приборов;

- характеристики, заявляемые изготовителем;

- данные, приводимые в свидетельствах о калибровке и других документах;

- неопределенности величин, которые вместе со значениями этих величин приведены в справочниках.

Оба способа оценивания основаны на распределении вероятностей, и **независимо от способа оценивания составляющие неопределенности количественно характеризуются одним и тем же параметром: дисперсией или стандартным отклонением**.

**Стандартная неопределенность** — это неопределенность, выраженная в форме стандартного отклонения результатов измерения.

Оценку дисперсии $u\_{A}^{2}$ для составляющей неопределенности, оцениваемой по типу А, получают на основе ряда повторных наблюдений, и она совпадает с известной статистической характеристикой - выборочной дисперсией $S$. Оценка стандартного отклонения $u\_{A}$ , представляющая собой положительный квадратный корень из $u\_{A}^{2}$ , совпадает, таким образом, с выборочным стандартным отклонением $S$ и для удобства ее иногда называют **стандартной неопределенностью типа А.**

$$u\_{A}=S=\sqrt{\frac{\sum\_{j=1}^{n}(q\_{j}-\overbar{q})^{2}}{n-1}}$$

Где $q\_{j}$ - результат $j$ -го измерения; $\overbar{q}$ - среднее арифметическое для ряда и $n$ измерений.

Оценку дисперсии $u\_{B}^{2}$ для составляющей неопределенности, оцениваемой по типу В, получают по имеющейся информации. Оценку стандартного отклонения $u\_{B}^{}$ иногда называют **стандартной неопределенностью типа В.**

Как следует из *Руководства*, наиболее распространенным способом формализации неполного знания о значении величины заключается в постулировании равномерного закона распределения возможных значений этой величины в указанных (нижней и верхней) границах [$b\_{i-}, b\_{i+}$ для  i-й входной величины].

При этом стандартную неопределенность, вычисляемую по типу В – $u\_{B}^{}$, определяют по формуле:

$$u\_{B}(x\_{i})= \frac{b\_{i+}-b\_{i-}}{2\sqrt{3}}$$

а для симметричных границ $u\_{B}^{}$ - по формуле

$$u\_{B}(x\_{i})= \frac{b\_{i}}{\sqrt{3}}$$

Таким образом, стандартную неопределенность типа А рассчитывают по плотности распределения, полученной из распределения частот, а стандартную неопределенность типа В - по предполагаемой плотности распределения, отражающей степень уверенности в появлении того или иного события [часто называемой субъективной вероятностью]. Оба подхода являются общепринятой интерпретацией понятия вероятности.

Для наиболее точного вычисления неопределенности типа В необходимо, по возможности, использовать всю доступную надёжную информацию о факторах неопределённости, влияющих на точность измерения и оценке уверенности в появлении каждого из этих событий (субъективная вероятность).

**Суммарная стандартная неопределенность** результата измерения одновременно учитывает влияние случайных и известных факторов неопределённости. По сути, суммирует все факторы неопределённости, с учётом их вклада в результат измерений. Вычисляется по следующей формуле:

$$u\_{c}^{2} \left(y\right)=\sum\_{i=1}^{M}u\_{i}^{2}(y)$$

где $u\_{i}^{2}(y)$ - i-ый фактор неопределённости,

M – количество факторов неопределённости.

Для удовлетворения потребностей в ряде областей промышленности и торговли, а также требований в областях здравоохранения и обеспечения безопасности используют расширенную неопределенность $U$ , получаемую умножением суммарной стандартной неопределенности $u\_{c}^{} \left(y\right)$ на коэффициент охвата $k$.

$$U=k∙u\_{c}^{} \left(y\right)$$

При этом результат измерения удобно выражать в виде$ Y=y\pm U$ , означающем, что лучшей оценкой значения, приписываемого измеряемой величине $Y$, является $y$ и что интервал от $y-U$ до $y+U$ содержит, как можно ожидать, большую часть распределения значений, которые можно с достаточным основанием приписать $Y$. Другой формой записи такого интервала будет $y-U\leq Y\leq y+U$.

Интервал (y-U; y+U)трактуется в Руководстве как интервал, содержащий заданную долю распределения значений, которые могли бы быть обоснованно приписаны измеряемой величине (субъективная интерпретация вероятности).

Выбор коэффициента $k$, обычно принимающего значения от 2 до 3, зависит от вероятности охвата или уровня доверия, соответствующего данному интервалу.

Во многих практических случаях при вычислении неопределенностей результатов измерений делают предположение о нормальности закона распределения возможных значений измеряемой величины и полагают $k$ = 2 при Р ≈ 0,95 и $k$ = 3 при Р ≈ 0,99.

При предположении о равномерности закона распределения полагают $k$ = 1,65 при Р ≈ 0,95 и $k$ = 1,71 при Р ≈ 0,99.

Примечание - Вместе со значением расширенной неопределенности $U$ следует всегда указывать коэффициент охвата $k$. Это позволит восстановить значение стандартной неопределенности измеряемой величины, которая впоследствии может быть использована для расчета суммарной стандартной неопределенности результата измерения другой величины, зависящей от первой.

Обычно для $u\_{c}^{} \left(y\right)$ и $U$ достаточно указывать две значащие цифры, хотя в некоторых случаях может оказаться необходимым сохранить больше значащих цифр, чтобы избежать погрешностей округления в последующих расчетах (п. 7.2.6).

Смотрите обучающее видео <https://www.youtube.com/watch?v=1LwUGO4WaJA>