

УДК 006.1+006.91

В. Л. СОЛОМАХО, директор Республиканского института инновационных технологий Белорусского национального технического университета, доктор технических наук, профессор
Б. В. ЦИТОВИЧ, профессор кафедры стандартизации, метрологии и управления качеством УО «Белорусский государственный институт повышения квалификации и переподготовки кадров по стандартизации, метрологии и управлению качеством», кандидат технических наук

КОНЦЕПЦИЯ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ И ТЕОРИЯ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИЗМЕРЕНИЙ – НЕСУЩЕСТВУЮЩАЯ АЛЬТЕРНАТИВА

Прошло несколько десятков лет с тех пор, как перед метрологами встала задача представления результатов измерений физических величин с учетом неопределенности их оценивания. За прошедший период накоплен большой фактический материал по данному вопросу и имеется достаточный опыт применения теории погрешностей и концепции неопределенности при решении различных метрологических задач. В статье предпринята попытка сопоставления обоих подходов и анализ эффективности их применения, что может быть полезно специалистам, занимающимся измерениями.

Ключевые слова: измерения, концепция неопределенности, метрология, теория погрешности.

Идея оценивания неопределенности при измерениях физических величин была официально предложена в начале 80-х годов прошлого столетия, когда специально созданная Международным бюро мер и весов Рабочая группа разработала первую Рекомендацию INC-1. Наименование этой Рекомендации обычно переводят

как «Выражение экспериментальных неопределенностей». Следующим шагом было создание «Руководства по представлению неопределенности в измерениях» [1] и сопутствующих документов, включая его официальный перевод на русский язык «Руководство по выражению неопределенности измерений» [2] (далее – Руководство) и рекомендации по его применению [3].

Концепция неопределенности в измерениях не оформлена в явном виде до сих пор, однако в Руководстве сказано следующее: «Понятие «неопределенности» как определяемого в количественном отношении атрибута является относительно новым в истории измерения, хотя термины «погрешность» и «анализ погрешностей» давно уже используются в практике науки об измерениях, или метрологии. Сейчас общепризнанно, что, когда все известные или предполагаемые компоненты погрешности оценены и внесены соответствующие поправки, все еще остается неопределенность относительно истинности указанного результата, т. е. сомнение в том, насколько точно результат измерения представляет значение измеряемой величины».

Поскольку поправки вносят по результатам оценивания систематических погрешностей, можно предполагать, что оставшиеся погрешности носят случайный характер, хотя об этом в Руководстве и не сказано прямо. После исключения систематических погрешностей в результатах измерений остаются случайные составляющие, которые Руководство характеризует как вносящие неопределенность в измерения. Кроме того, подразумевается, что из рассмотрения исключены ошибочные результаты (так называемые «результаты с грубыми погрешностями» или «промахи»).

Из сказанного вытекают два основных положения Концепции неопределенности в измерениях:

1. Однозначное представление результата измерений не может быть признано адекватным отражением измеряемой величины, поскольку не является ее истинным значением.

2. Представление результата измерений конкретной физической величины с учетом неопределенности (описываемой средствами теории вероятностей и математической статистики) должно включать качественную характеристику (вид распределения случайной величины) и количественную характеристику (параметры распределения случайной величины).

Противопоставление теории погрешностей и концепции неопределенности измерений является искусственным и обусловлено различием методологических подходов к трактовке точности измерений.

Можно утверждать, что в традиционной метрологии принят диалектический подход, который основан на возможности достаточного для конкретной ситуации приближения к абсолютной истине, если за нее принимать истинное значение измеряемой физической величины. Что касается Руководства, его появление связано с применением неопозитивистского подхода к измерениям, утверждающего невозможность постижения абсолютной истины. К этому положению добавляют очевидное утверждение о невозможности строгого решения уравнения с двумя неизвестными, на основании чего часть традиционной метрологии, основанную на теории погрешностей, пытаются объявить несостоятельной.

Руководство, с одной стороны, признает погрешности измерений («измерение обладает рядом несовершенств, которые вызывают погрешность результата измерения»), а с другой – противопоставляет им «неопределенность», поскольку «Погрешность – идеализированное понятие, и погрешности не могут быть известны точно». Это и является поводом для акцентированного рассмотрения не погрешности, а неопределенности, которая сопровождает любые измерения.

Парадокс заключается в том, что сторонники неопределенности измерений вместо категорического отрицания познаваемости погрешности измерения и истинного значения измеряемой физической величины сами вносят их в «обновленную» метрологию.

В частности, в п. 2.2.4 Руководства сказано «Определение неопределенности измерения... сфокусировано на результат измерения и его оцененную неопределенность. Однако оно не расходится с другими понятиями неопределенности измерения, такими как:

– мера возможной погрешности оцененного значения измеряемой величины, полученной как результат измерения;

– оценка, характеризующая диапазон значений, в пределах которого находится истинное значение измеряемой величины (VIM¹, первое издание, 1984, п. 3.09).

Хотя эти два традиционных понятия справедливы как идеальные, они сосредоточивают внимание на неизвестных величинах: «погрешности» результата измерения и «истинном значении» измеряемой величины (в противоположность его оцененному значению) соответственно. Тем не менее независимо от того, какое понятие неопределенности принято, составляющая неопределенности всегда оценивается с использованием тех же самых данных и имеющейся информации».

Анализ Руководства показывает, что оценивание погрешностей и неопределенности измерений осуществляется на основе одинаковых подходов, с применением одних и тех же методов и использованием одних и тех же исходных данных. Это означает, что результаты оценивания также должны быть одинаковыми. Подтверждением может служить сегодняшнее определение единства измерений, в котором говорится о «точности, известной с заданной вероятностью», что дает возможность рассчитывать ее оценки как на основе теории погрешностей, так и с применением концепции неопределенности.

И теория погрешностей, и концепция неопределенности уделяют достаточное внимание оцениванию случайных составляющих результата измерений (случайных погрешностей или оценок неопределенности). Это оценивание выполняется после поиска и исключения систематических погрешностей (его иногда называют «исправление результатов измерений»). В Руководстве говорится

о необходимости исключения «систематических эффектов», что подразумевает выполнение той же работы (в п. 3.2.4 Руководства сказано: «Предполагают, что в результат измерения внесены поправки на все известные значимые систематические эффекты и что предприняты все усилия, чтобы узнать такие эффекты»).

Описание методов поиска и исключения «систематических эффектов» в самом Руководстве отсутствует, поскольку для этого нужно было бы включить в него значительный объем дополнительных материалов, применение которых требует достаточно высокой квалификации. Акцент на случайных составляющих, оцениванию которых посвящена концепция неопределенности, в Руководстве очевиден и понятен.

Что касается традиционной метрологии, то проблеме оценивания и исключения систематических погрешностей в ней всегда уделялось достаточно внимания. Отсутствие однотипных подходов к оцениванию и исключению систематических погрешностей требует описания множества конкретных методов и значительного объема информации. Поэтому для поиска и исключения «систематических эффектов» любой сторонник концепции неопределенности вынужден обращаться к традиционной метрологии.

Кроме того, из результатов серии измерений должны быть исключены ошибочные значения («результаты с грубыми погрешностями»). В п. 3.4.7 Руководства записано: «Грубые ошибки при регистрации или анализе данных могут вносить значительную неизвестную погрешность в результат измерения. Большие грубые ошибки обычно можно распознать путем должной проверки данных; небольшие – могут быть замаскированы или даже проявиться в виде случайных

¹ Международный словарь метрологических терминов, который ISO представляет аббревиатурой VIM – International vocabulary of basic and general terms in metrology.

изменений. Меры неопределенности не предназначены дать объяснение таким ошибкам».

Высказанное в Руководстве положение о том, что небольшие грубые ошибки «могут проявиться в виде случайных изменений», не вполне корректно. Принципиальные различия между грубыми и случайными погрешностями заключаются в том, что причиной грубой погрешности является ошибка, например связанная с неправильными действиями оператора при измерении или записи результата, со сбоем в работе средства измерений и т. д., которую необходимо устранить. Случайные погрешности являются неуничтожимым атрибутом измерений, и их причиной являются стохастические воздействия на объект и средства измерений, предвидеть и устранить которые в принципе невозможно. Именно они и вызывают «неопределенности измерений».

Очевидно, что концепция неопределенности не включает вопросы решения задач выявления и исключения ошибочных результатов, а также методов выявления, оценивания и исключения систематических составляющих результатов измерений (систематических эффектов). В связи

с тем что концепция неопределенности не охватывает систематические искажения результатов измерений и возможности возникновения ошибок при измерении, Руководство никаких рекомендаций по их выявлению и исключению не дает, а сосредоточено на задачах оценивания стохастических составляющих результата измерения («неопределенности измерений»).

После того, как систематические составляющие погрешностей найдены и исключены, а также (при необходимости) исключены ошибочные результаты, можно приступать к оцениванию случайных составляющих результата измерений (случайных погрешностей, которые эквивалентны оценкам неопределенности). Это означает, что неопределенность всегда присутствует в результатах измерений и ее оценки применялись и сейчас применяются сторонниками теории погрешностей.

Зависимости, применяемые для получения статистических оценок случайной составляющей результатов измерений в традиционной метрологии, регламентирует ГОСТ 8.207-76 [4], а при использовании концепции неопределенности – Руководство [2] (таблица 1).

Таблица 1 – Зависимости для расчета статистических оценок

ГОСТ 8.207 [4]	Руководство [2]
<p>Оценка среднего квадратического отклонения результатов многократных наблюдений S</p> $S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \tilde{A})^2}{n-1}},$ <p>где x_i – i-й результат наблюдения; \tilde{A} – точечная оценка результата измерения (среднее арифметическое значение многократных наблюдений); n – число результатов наблюдений</p>	<p>Стандартная неопределенность единичного измерения входной величины $u_{A,t}$</p> $u_{A,t} = \sqrt{\frac{1}{n_i - 1} \sum_{q=1}^{n_i} (x_{iq} - \bar{x}_i)^2},$ <p>где x – среднее арифметическое результатов измерений i-й входной величины; n – число результатов измерений</p>
<p>Оценка среднего квадратического отклонения результата измерения $S(\tilde{A})$</p> $S(\tilde{A}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \tilde{A})^2}{n(n-1)}}$	<p>Стандартная неопределенность измерений i-й входной величины, при которых результат определяют как среднее арифметическое</p> $u_A(x_i) = \sqrt{\frac{1}{n_i(n_i - 1)} \sum_{q=1}^{n_i} (x_{iq} - \bar{x}_i)^2}$
<p>Доверительные границы случайной погрешности ε результата измерения</p> $\varepsilon = t \cdot S(\tilde{A}),$ <p>где t – коэффициент Стьюдента</p>	<p>Расширенная неопределенность U</p> $U = k u,$ <p>где u – стандартная неопределенность; k – коэффициент охвата</p>

Сравнение представленных зависимостей позволяет сделать вывод о практическом совпадении подходов к оцениванию случайной составляющей результата измерения.

Утверждение о том, что неопределенность измерения можно рассчитать, не прибегая к использованию оценки истинного значения, изначально ошибочно. Для представления результата измерения конкретной физической величины расширенную неопределенность (доверительную границу случайной составляющей погрешности измерения) необходимо представить на координатной оси в виде интервала, построенного около точечной оценки истинного значения измеряемой величины. Область «неопределенности измерений» строят, используя оценки, связанные с дисперсией (в частности, средние квадратические отклонения, поскольку они имеют наименование измеряемой величины, а не ее квадрата). В традиционной метрологии их называют оценками случайной погрешности измерений.

В примечании 3 к п. 2.2.3 Руководства записано: «Очевидно, что результат измерения является наилучшей оценкой значения измеряемой величины и что все составляющие неопределенности, включая те, которые возникают от систематических эффектов, таких как составляющие, связанные с поправками и эталонами сравнения, вносят вклад в дисперсию». В переводе на язык традиционной метрологии это означает, что точечную оценку результата измерения, рассчитанную как среднее арифметическое (после исключения систематических составляющих и обнаруженных ошибочных результатов) принимают за оценку истинного значения («наилучшую оценку») измеряемой величины.

Статистическая обработка результатов многократных измерений одной физической величины является одним из методов оценивания погрешностей, для реализации которого необходимо предварительно провести измерения. Этому методу, иногда называемому экспериментальным,

противопоставляют аналитическое оценивание погрешностей, которое можно осуществлять без выполнения измерений. Базой для применения последнего метода является описание методики выполнения измерений, а исходные данные получают в ходе аналитического исследования причин возникновения погрешностей. Оценки погрешностей (качественные и количественные) получают аналитическими расчетами либо находят в разных информационных источниках, которыми могут быть справочники, нормативные документы по стандартизации, отчеты о подобных исследованиях и др.

Если сведения о какой-либо погрешности не удастся найти, можно попытаться оценить ее опытным путем, для чего приходится разрабатывать методику исследования и проводить эксперименты. В таком случае вместо чистого аналитического оценивания погрешностей реализуют «смешанное оценивание».

Погрешность измерения Δ , которая всегда является интегральной погрешностью, может оцениваться путем объединения составляющих погрешностей от разных источников, например:

$$\Delta = \Delta_{\text{сн1}} * \Delta_{\text{сн2}} * \Delta_{\text{м}} * \Delta_{\text{у1}} * \Delta_{\text{у2}} * \Delta_{\text{у3}} * \Delta_{\text{оп}}, \quad (1)$$

где Δ – погрешность измерения; $\Delta_{\text{сн1}}$, $\Delta_{\text{сн2}}$, $\Delta_{\text{м}}$, $\Delta_{\text{у1}}$, $\Delta_{\text{у2}}$, $\Delta_{\text{у3}}$, $\Delta_{\text{оп}}$ – составляющие погрешности измерения, происходящие от разных источников (погрешности средств измерений, погрешности метода измерений, погрешности «условий» и субъективные погрешности), * – знак объединения (комплексирования, а не алгебраического сложения), поскольку погрешности разного характера объединяют с использованием разных математических операций.

Учитывая, что Закон Республики Беларусь «Об обеспечении единства измерений» фактически требует освободить результаты от систематических составляющих погрешности измерения, это необходимо выполнить в ходе аналитического оценивания погрешностей. Если избавиться от значимых систематических составляющих

погрешности, то случайные составляющие погрешности измерений удобно комплексировать, используя «геометрическое сложение» (сложение квадратов средних квадратических отклонений под корнем квадратным).

Для случая некоррелированных случайных составляющих и одинаковых весовых коэффициентов можно записать

$$\sigma_{\Sigma} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 + \dots}, \quad (2)$$

где σ_{Σ} – оценка средней квадратической погрешности результата измерений; σ_i – оценка частной средней квадратической погрешности.

При наличии отличающихся весовых коэффициентов зависимость трансформируется к виду

$$\sigma_{\Sigma} = \sqrt{k_1^2 \sigma_1^2 + k_2^2 \sigma_2^2 + k_3^2 \sigma_3^2 + \dots}, \quad (3)$$

где σ_{Σ} – оценка средней квадратической погрешности результата измерений; σ_i – оценка частной средней квадратической погрешности; k_i – весовой коэффициент частной погрешности.

При наличии стохастических связей между частными погрешностями зависимости несколько усложняются.

Особым случаем комплексирования частных погрешностей является расчет погрешности результата косвенного измерения. Исходными данными для такого расчета являются частные погрешности E_{X_i} результатов каждого из прямых измерений физических величин X_i , являющихся аргументами функции, используемой для расчета результата косвенного измерения Q .

$$Q = f(X_1, X_2, \dots, X_n). \quad (4)$$

Оценку каждой частной погрешности E_{X_i} с учетом ее весового коэффициента $k_i = \partial f / \partial X_i$ определяют из зависимости

$$E_{X_i} = k_i S(X_i). \quad (5)$$

Оценку погрешности результата косвенного измерения при отсутствии стохастических связей между частными погрешностями рассчитывают по аналогии с зависимостью (3):

$$\sigma_{\Sigma} = \sqrt{k_1^2 S^2(X_1) + k_2^2 S^2(X_2) + k_3^2 S^2(X_3) + \dots}, \quad (6)$$

В Руководстве предусмотрен аналогичный подход к расчету «суммарной стандартной

неопределенности измерений» (u_c), который называют оцениванием неопределенности по типу В. Исходные данные для комплексирования берут из специально составляемого бюджета неопределенностей. В бюджет неопределенностей включают «частные неопределенности», представленные стандартными неопределенностями, с указанием вида распределения и, при необходимости, значений весовых коэффициентов и коэффициентов корреляции. Эти данные получают из разных источников, включающих нормативную документацию, результаты поверки или калибровки и др.

В соответствии с Руководством суммарная стандартная неопределенность – это «стандартная неопределенность результата измерений, полученного через значения других величин, равная положительному квадратному корню суммы членов, причем члены являются дисперсиями или ковариациями этих других величин, взвешенными в соответствии с тем, как результат измерений изменяется при изменении этих величин».

Из определения следует, что суммарная стандартная неопределенность распространяется только на косвенные измерения, что противоречит содержанию Руководства, предусматривающего возможность комплексирования частных неопределенностей при прямых измерениях. В остальном методика оценивания погрешности измерений (прямых и косвенных) комплексированием частных погрешностей и методика оценивания неопределенности измерений комплексированием частных неопределенностей совершенно одинаковы.

Что касается «неопределенностей, которые возникают от систематических эффектов» и «вносят вклад в дисперсию», то они требуют особого рассмотрения. Поскольку в Руководстве сказано: «Предполагают, что в результат измерения внесены поправки на все известные значимые систематические эффекты...», это означает, что «неопределенностей, которые возникают от систематических эффектов» в принципе быть не

должно. В теории погрешностей проблемы исключения систематических погрешностей рассматриваются достаточно глубоко, вплоть до оценивания неисключенных остатков систематических погрешностей, поскольку абсолютное исключение систематических погрешностей («систематических эффектов») невозможно. Неисключенные остатки систематических погрешностей вносят искажения в итоговую оценку погрешности наряду с собственно случайной составляющей, однако внесение неопределенностей «систематическими эффектами», к которым относятся не только систематические погрешности, но и их неисключенные остатки, теоретически невозможно.

В теории погрешностей разработаны методы получения комплексной оценки погрешности измерений, которые позволяют учитывать влияние неисключенных остатков систематических погрешностей. Суть получения оценки состоит в комплексировании случайных и квазислучайных составляющих общей погрешности как случайных величин в соответствии с положением теории вероятностей «дисперсия суммы равна сумме дисперсий».

Неисключенные остатки систематических погрешностей представляют собой не случайные, а детерминированные величины, которые не имеют дисперсий. Однако в метрологии разработан и применяется искусственный прием, который называется «рандомизация систематических погрешностей». Суть этого приема заключается в такой организации данных, при которой множество систематических погрешностей представляет собой ансамбль случайно распределенных величин.

Например, однозначная мера массы (гиря) имеет систематическую постоянную погрешность, которая представляет собой отклонение истинного значения ее массы от предписанного ей номинального значения. В рядовых измерениях этой систематической погрешностью пренебрегают ввиду ее малости, принимая ее за неисключенный остаток систематической погрешности.

Рандомизация при использовании гирь данного номинального значения и уровня точности заключается в признании случайного выбора (реального или виртуального) одной гири из генеральной совокупности гирь данного номинального значения и уровня точности (всех гирь государства, области, города ...). При этом генеральная совокупность истинных размеров масс всех гирь представляет собой ансамбль случайно распределенных величин, которому можно приписать некоторый закон распределения. Если гири успешно прошли поверку, их погрешности не выходят за пределы допустимых значений, которые можно принять за количественную оценку границ погрешностей (границ усеченного распределения).

При недостатке информации о возможном виде распределения для аппроксимации, как правило, принимают равновероятное распределение, как одно из наихудших при измерениях. Известные границы и вид распределения позволяют довести рандомизацию до получения искомой количественной оценки исследуемой квазислучайной величины, которую в теории погрешностей считают оценкой среднего квадратического значения погрешности, а в рамках концепции неопределенности называют стандартной неопределенностью, оцененной по типу В. Если же гиря подвергалась калибровке или метрологической аттестации и в результате измерений внесена поправка, стандартная неопределенность гири известна из методики калибровки (метрологической аттестации). В таком случае неопределенность (случайная погрешность), вносимая гирей, представляет собой оценку неопределенности (погрешности) ее калибровки или метрологической аттестации.

Совместный анализ аналитического оценивания погрешностей и неопределенностей результата измерений подтверждает практическое совпадение действий с одинаковыми исходными данными и, следовательно, ожидаемых результатов.

Для максимальной корректности следует уточнить некоторые положения Руководства. В частности, следует уделить внимание примечанию 2 п. 3.2.2, в котором сказано: «В этом Руководстве большое внимание уделяется различию терминов «погрешность» и «неопределенность». Они не синонимы и представляют собой совершенно различные понятия; их не следует путать друг с другом или неправильно использовать».

С тем, что термины «погрешность» и «неопределенность» – не синонимы, можно согласиться.

Термин «погрешность» в традиционной метрологии охватывает систематические, случайные и грубые погрешности, которые могут быть представлены разнообразными оценками. Например, случайная погрешность может быть представлена средним значением, размахом результатов, значением среднего квадратического отклонения, доверительной границей с выбранной вероятностью и др. Корректное представление некоторой конкретной оценки погрешности требует использования четкого и однозначного термина, например: «доверительная граница случайной погрешности», «неисключенный остаток систематической погрешности средства измерений» и т. д.

Термин «неопределенность» относится исключительно к стохастическим составляющим результата измерения. «Стандартная неопределенность» есть оценка среднего квадратического отклонения, «расширенная неопределенность» – граница случайной составляющей результата измерения, принятая с выбранной доверительной вероятностью P , причем доверительную вероятность обычно принимают 0,95 для рядовых измерений и 0,99 для более ответственных измерений, так же, как это делают при оценивании границы случайной погрешности.

Выполненный сравнительный анализ оценивания неопределенностей и погрешностей можно завершить наиболее компактным представлением некоторых результатов. В таблице 2 представлен ряд значимых метрологических положений, при-

чем во второй и третьей колонках даны интерпретации из традиционной метрологии и интерпретации на базе концепции неопределенности.

Вторая колонка таблицы для краткости озаглавлена «Интерпретация ГОСТ 8.207», поскольку именно в этом стандарте положения традиционной метрологии нашли наиболее краткое и емкое отражение.

Представленный анализ позволяет сделать несколько принципиальных выводов:

1. Концепция неопределенности не противоречит теории погрешности, так как оценивание случайной составляющей результата измерения всегда было одной из важнейших задач метрологии. Называть оценки случайной составляющей результата измерения случайными погрешностями или неопределенностями не принципиально. Важно то, что для такого оценивания используют одни и те же исходные данные и математический аппарат, в результате чего ожидаемо получают одинаковые оценки.

2. Неправомерно отождествлять «неопределенность измерения» с «погрешностью измерения», поскольку теория погрешностей распространяется на любые погрешности, в то время как концепция неопределенности направлена на оценивание только случайной составляющей результата измерения (в теории погрешностей это осуществляют с помощью оценивания его случайной погрешности).

3. Оценки погрешностей измерений (в первую очередь систематических и грубых погрешностей), механизмы оценивания которых хорошо разработаны в традиционной метрологии, совершенно необходимы для расчета оценок неопределенности измерений, о чем прямо говорится в Руководстве.

4. Грамотное использование Руководства должно принести прямую пользу, поскольку работает на исполнение требований единства измерений. Попытки применения неопределенности в иных областях, например при оценивании результатов испытаний или исследований, выйдут за область распространения Руководства.

Таблица 2 – Сопоставление метрологических положений

Объект сравнения	Интерпретация Руководства [2]	Интерпретация ГОСТ 8.207 [4]
Методы оценивания погрешностей/неопределенности при измерениях		
Метод оценивания случайной величины	Оценивание неопределенности по типу А	Экспериментальное оценивание погрешности
	Оценивание неопределенности по типу В	Аналитическое оценивание частной составляющей погрешности или заимствование оценки частной составляющей погрешности из информационных источников
	Расчет суммарной стандартной неопределенности результата измерений (на основе бюджета неопределенности) по «закону распространения неопределенности»	Комплексирование частных составляющих погрешности для получения оценки погрешности измерений
Техника математической обработки массивов результатов повторных измерений		
Подготовка к оцениванию случайной величины	Исключение значимых систематических эффектов (в Руководстве не описывается)	«Исправление результатов измерений» – выявление и исключение систематических составляющих погрешности измерений
Исключение ошибочных результатов	Исключение «грубых промахов» (в Руководстве не описывается)	Проверка подозрительных результатов и цензурирование или статистическое отбраковывание
Статистическая обработка результатов (оценки погрешностей см. ниже)	Применение аппарата теории вероятностей и математической статистики	Применение аппарата теории вероятностей и математической статистики
Оценивание неисключенных систематических составляющих погрешности измерений (неисключенных остатков систематических составляющих)	Оценивание частных неопределенностей, «возникающих из-за внесения поправок» по типу В	Рандомизация и получение оценок неисключенных остатков систематических составляющих
Комплексирование неисключенной систематической погрешности и случайной погрешности	Расчет суммарной стандартной неопределенности результата измерений, на основе бюджета неопределенности, включающего «неопределенности из-за внесения поправок»	Комплексирование оценок неисключенных остатков систематических составляющих. Комплексирование неисключенной систематической погрешности и случайной погрешности
Оценки погрешностей		
Среднее квадратическое отклонение случайной величины	Стандартная неопределенность	Среднее квадратическое отклонение результатов наблюдений
Среднее квадратическое отклонение среднего арифметического значения	Стандартная неопределенность результата измерений	Среднее квадратическое отклонение результата измерений
Доверительный интервал, накрывающий истинное значение величины с выбранной вероятностью	Расширенная неопределенность результата измерений	Случайная погрешность измерений

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Guide to the Expression of Uncertainty in measurement: First edition. ISO, Geneva, 1993. – 101 p.
2. Руководство по выражению неопределенности измерений : пер. с англ. под науч. ред. проф. В. А. Слава, ГП ВНИИМ им. Д. И. Менделеева.– СПб., 1999. – 134 с.
3. РМГ 43–2001 Государственная система обеспечения измерений. Применение Руководства по выражению неопределенности измерений.
4. ГОСТ 8.207–76 Государственная система обеспечения единства измерений. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений. Основные положения.

SUMMARY

V. L. Solomakho, B. V. Tsitovich

It's been a few decades since before metrologists began the task of presenting the results of measurements of physical quantities, taking into account the uncertainty of their assessment. In the intervening period has accumulated extensive factual material on this subject and has enough experience in the application of the theory of errors and the concept of uncertainty when solving various metrological tasks. The article attempted to both approaches and mapping analysis of the effectiveness of their application, which may be useful for specialists, who deal with measurements.

Поступила в редакцию 27.02.2017.