

CONDITIONS OF UNCERTAINTY: AS A FACTOR OF FORMATION OF THE MEASUREMENT RESULT

Matyakubova P.M.¹, Kuluyev R.R.², Kadirova D.A.³ (Republic of Uzbekistan)
Email: Matyakubova442@scientifictext.ru

¹Matyakubova Parahat Mailievna - Doctor of technical sciences, Professor, Head of the Department, DEPARTMENT METROLOGY, STANDARDIZATION AND CERTIFICATION, FACULTY ELECTRONICS AND AUTOMATICS;

²Kuluev Ruslan Raisovich - PhD Student;

³Kadirova Diloromkhon Abroro qizi -Master Student, DEPARTMENT OF METROLOGY, STANDARDIZATION AND CERTIFICATION, TASHKENT STATE TECHNICAL UNIVERSITY, TASHKENT, REPUBLIC OF UZBEKISTAN

Abstract: the article states that measurement uncertainty is a parameter associated with a measurement result and characterizing the variation of values (for example, the width of the confidence interval, the standard deviation), which can be attributed to the measured value with sufficient reason. The situation with the formation of the measurement result and the assessment of uncertainty in the context of international norms and agreements are also analyzed. Methods for obtaining estimates can be divided into two large groups. When using the first group of methods and the parametric estimates obtained with their help, it is necessary to operate with distribution functions of random variables, and the nature of the distribution function is assumed to be known, and only some of their numerical parameters are unknown.

Keywords: measurement result, error/uncertainty of measurement.

УСЛОВИЯ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ КАК ФАКТОР ОБРАЗОВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТА ИЗМЕРЕНИЯ

Матякубова П.М.¹, Кулуев Р.Р.², Кадирова Д.А.³ (Республика Узбекистан)

¹Матякубова Парохат Майлиевна – доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой, кафедра метрологии, стандартизации и сертификации, факультет электроники и автоматики;

²Кулуев Руслан Раисович – докторант PhD;

³Кадирова Дилоромхон Аброр кизи – магистр, кафедра метрологии, стандартизации и сертификации, Ташкентский государственный технический университет, г. Ташкент, Республика Узбекистан

Аннотация: в статье говорится, что неопределенность измерения – это параметр, связанный с результатом измерения и характеризующий разброс значений (например, ширина доверительного интервала, стандартное отклонение), которые с достаточным основанием могут быть приписаны измеряемой величине. Также проанализирована ситуация с формированием результата измерений и оценкой неопределенности в контексте международных норм и соглашений. Методы получения оценок можно разделить на две большие группы. При использовании первой группы методов и полученных с их помощью параметрических оценок приходится оперировать функциями распределения случайных величин, причем характер функции распределения предполагается известным, а неизвестными являются лишь их некоторые числовые параметры.

Ключевые слова: результат измерения, погрешность, неопределённость измерения.

Неопределенность измерения – это параметр, связанный с результатом измерения и характеризующий разброс значений (например, ширина доверительного интервала, стандартное отклонение), которые с достаточным основанием могут быть приписаны измеряемой величине.

Понятие неопределенность измерения появилось в метрологии в 90-х годах. Неопределенность измерения и погрешность измерения – разные понятия. Если погрешность имеет единственное значение в каждом эксперименте, то неопределенность выражается в виде некоторого интервала.

В настоящее время в предметной области измерений главенствующими являются две концептуальные модели:

- 1) концептуальная модель, основанная на погрешности измерения (классическая модель);
- 2) концептуальная модель, основанная на неопределенности измерения. Последняя концептуальная модель была разработана Объединенным комитетом по руководствам в метрологии (JCGM), возглавляемым директором

Эпоха глобального рынка ставит задачу обеспечения единства измерений в широком масштабе: методы оценки результатов измерений и выражения неопределенности должны быть глобально едиными с тем, чтобы измерения, проводимые в разных странах, были сопоставимы по единым правилам. В период вступления страны в ВТО, учитывая задачи гармонизации национальной нормативной базы при сохранении достижений отечественной метрологической школы, вопрос правильного понимания новых концептуальных представлений и понятий в рамках положений этой концепции планирования и организации измерений является особенно актуальным.

Основополагающим понятием классической концептуальной модели является погрешность Δ , определяемая выражением:

$$X = X_{\text{изм}} - X_0, \quad (1)$$

\uparrow
 $X_{\text{дейс}}$

Деление погрешностей по характеру проявления на систематические и случайные [JCGM 200:2008 (VIM) 2.19] [1, п. 3.5] приводит к внутреннему противоречию в этой модели: анализ погрешностей содержит как статистические, так и нестатистические процедуры. А из этого следует, что не существует математически корректных и общепринятых средств комбинирования систематической и случайной составляющих погрешности в одну суммарную (полную) погрешность, которая давала бы общее представление о качестве результата измерения, т.е. его близости к истинному значению физической величины. Кроме того, невозможно корректно (а не на описательном уровне) определить X_0 и $X_{\text{дейс}}$ – первое является только теоретическим понятием, с его единственным и несуществующим значением, а второе «как можно ближе» (а как близко?) приближается к нему.

Преодоление указанных противоречий классической модели привело к появлению концепции неопределенности, которая согласно [JCGM 200:2008 (VIM) 2.26] [1, п. 4.2] определяется как «неотрицательный параметр, характеризующий рассеяние значений величины, приписываемых измеряемой величине на основании используемой информации» (заметим, что погрешность по знаку могла быть как положительной, так и отрицательной).

Вероятностная основа концепции неопределенности позволяет оценивать качество измерения, вычисляя и систематическую, и случайную погрешности на сравнимой основе [1, п. 3.7]. (Соответствующие составляющие неопределенности группируются по способу оценивания в две категории – типа А [JCGM 100:2008 (GUM) 4.2, JCGM 200:2008 (VIM) 2.28] и типа В [JCGM 100:2008 (GUM) 4.3, JCGM 200:2008 (VIM) 2.29] [1, п. 4.6], и обрабатываются для получения дисперсии результата измерения в соответствии с правилами математической статистики и теории вероятностей). В том, что касается случайных воздействий, новая концепция дает в сущности такие же результаты, как и анализ погрешностей, но это абсолютно не так в отношении неизвестных систематических эффектов [2]. В последнем случае результаты оценивания данных измерений признаются более приемлемыми, чем результаты анализа погрешностей.

Концепция неопределенности не отбрасывает понятие «истинное значение», оно необходимо для формулировки цели измерения, а также модели измерения, однако в интервале охвата:

$$(x - U_p, X(x + U_p)), \quad (2)$$

где U_p – расширенная неопределенность для данной вероятности охвата p , лежит не одно, а множество истинных значений величины X .

Образно говоря, в первой модели (на основе погрешности Δ) система отсчета связана с результатом измерения, во второй модели (на основе неопределенности $u(x)$) – со значением измеряемой ФВ. Последнее иллюстрирует рис. 1, показывающий в метрологическом пространстве сформированных образов две нечисловые шкалы линейного порядка и получаемый про-ецированием на эти шкалы результат измерения в соответствии с каждой из этих концепций. Но оценка погрешности как разница между результатом измерения $X_{\text{изм}}$ и референтным значением $X_{\text{дейс}}$ тоже имеет свою неопределенность, формируемую неопределенностями результата измерения и референтного значения [2]. Таким образом, неопределенность результата измерения является его неотъемлемым свойством, независимо от выбранной модели описания его качества, и в этом смысле термин «неопределенность результата погрешности, так и в случае обращения к концепции неопределенности измерения» корректен как в случае использования концепции

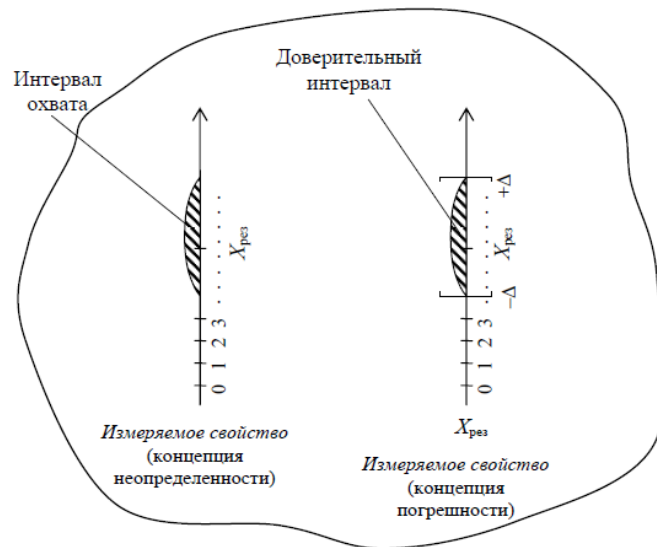


Рис. 1. Метрологическое пространство сформированных образов, нечисловые шкалы линейного порядка и результат измерения в соответствии с концепцией погрешности/неопределенности

Определение оценки погрешности и принадлежащей этой оценке не определенности иллюстрирует совместимость и непротиворечивость этих двух концептуальных моделей, что наилучшим образом объясняется тем, что обе модели описывают один и тот же объект измерения.

Методы получения оценок можно разделить на две большие группы. При использовании первой группы методов и полученных с их помощью параметрических оценок приходится оперировать функциями распределения случайных величин, причем характер функции распределения предполагается известным, а неизвестными являются лишь их некоторые числовые параметры. При использовании второй группы непараметрических методов знания функций распределения не требуется, иногда предполагается их непрерывность (непрерывность всегда предполагается в задачах измерений).

Среди методов первой группы определения оценок наиболее широкую известность получили метод максимального правдоподобия, байесовский метод получения оценок, метод условных математических ожиданий, метод моментов. Как частные случаи этих методов, выступают метод наименьших квадратов, метод наименьших положительно определенных форм, являющийся обобщением метода наименьших квадратов, метод наименьших модулей.

Полезными свойствами оценок являются свойства адаптивности и робастности. При адаптивном (или асимптотически всюду эффективном) оценивании благодаря наличию параметра формы имеется возможность для методов оценивания адаптироваться к свойствам ошибок измерений. При робастном оценивании процедуры устойчивы в окрестности выбранной параметрической модели. Робастность оказывается полезным свойством для байесовского подхода, причем не только как средство защиты от дезинформирующих отклонений в строго параметрической модели, что характерно в частотной теории, но и от изменений в априорном распределении параметров. Строгая байесовская теория требовала бы априорных распределений для всего, включая модели и полные окрестности моделей.

И, наконец, если говорить о точечных и интервальных оценках, то в силу нечисловой природы результата измерения, гомоморфности прямого отображения реального измеряемого свойства объекта измерения на нечисловую шкалу и изоморфности обратного преобразования имеем интервальную неопределенность результата [4]: в классической концепции погрешности выражаемую доверительным интервалом, а в концепции неопределенности – интервалом охвата (JCGM 200:2008 (VIM) 2.36) [1, п. 4.11; п. 5.3].

Рассмотрим вероятностный байесовский метод получения оценки случайной величины. Введем обозначения: $g(x, \hat{x})$ – совместная плотность распределения x и \hat{x} ; $g_0(\hat{x} | x)$ – плотность вероятности распределения \hat{x} при условии, что уже получены наблюдения x^1, x^2, \dots, x_n случайной величины x , т.е. апостериорная вероятность \hat{x} ; $g^1(x)$ – априорная плотность распределения величины x ; $g_2(\hat{x})$ априорная плотность распределения \hat{x} , если \hat{x} является случайной величиной. Теорема Байеса представляет, по существу, математическое описание познавательного процесса [5]. Имея априорную оценку величины и располагая дополнительной информацией о ней, получаем с помощью этой теоремы соответствующую новую (апостериорную) оценку величины. Математически теорема Байеса представляет собой следствие закона умножения условных вероятностей в теории вероятности и является формальным правилом для изучения явлений, процессов, объектов на основе наблюдений. Последнее символически может быть представлено как

апостериорная \propto правдоподобие \times априорная

Согласно теореме умножения вероятностей правило Байеса записывается в принятых обозначениях следующим образом:

$$g_0(\hat{x}|x) = \frac{g(x, \hat{x})}{g_1(x)} = \frac{g_0(x|\hat{x})g_2(\hat{x})}{g_1(x)}. \quad (3)$$

Задача отыскания байесовских оценок состоит в том, чтобы при данных наблюдениях x_1, x_2, \dots, x_n случайной величины x найти такое значение \hat{x} , которое обращает в максимум апостериорную вероятность $g_0(\hat{x}|x)$. Но тогда байесовский метод совпадает с методом максимального правдоподобия, так как решаем в каждом случае соответствующее уравнение

$$\frac{\partial g(x|\hat{x})}{\partial \hat{x}} = 0; \quad \frac{\partial g_0(\hat{x}|x)}{\partial \hat{x}} = 0 \quad (4)$$

$$\frac{\partial g(\hat{x}|x)}{\partial \hat{x}} = \frac{\partial}{\partial \hat{x}} \left(\frac{g(x|\hat{x})g_2(\hat{x})}{g_1(x)} \right) = \frac{\partial g_2(x|\hat{x})}{\partial \hat{x}} = \text{const}. \quad (5)$$

Если придерживаться теории Гаусса, лучшая оценка для X дается точкой \hat{x} , вокруг которой наиболее сильно концентрируется приписанная функция pdf. Эта точка определяется минимумом от $E(X - \hat{x})^2$, т.е. лучшей оценкой для X является

$$\hat{x} = EX = \int xf_X(x|I)dx, \quad (6)$$

а соответствующим значением меры концентрации –

$$u^2(x) = E(X - x)^2 = \int (x - \hat{x})^2 f_X(x|I)dx. \quad (7)$$

Это стандартное отклонение pdf принимается за стандартную неопределенность $u(x)$ для измеряемой ФВ X (JCGM 200, словарная статья 2.30) (из списка № 6 ГОСТ Р 54500.1–2011 «Неопределенность измерения. Часть 1. Введение в руководства по неопределенности измерения», п. 3.18). Следует отметить, что в то время, как стандартная неопределенность $u(x)$ отражает свойство pdf для X , это не справедливо для расширенной неопределенности.

Если значение измеряемой ФВ задается функцией $X = G(X^m : X^1, X^2, \dots, X^m)$ и содержит m -мерную информацию, то наилучшая оценка \hat{X} и соответствующая стандартная неопределенность непосредственно получаются из m -мерных интегралов:

$$\begin{cases} \hat{x} = \int G(\hat{x}) f_X(x|I^m) dx, \\ u^2(x) = \int (G(x) - \hat{x})^2 f_X(x|I^m) dx. \end{cases} \quad (8)$$

В заключение можно сказать, что в связи с актуальностью поставленного вопроса проведен сопоставительный анализ основных представлений концептуальных моделей погрешности и неопределенности измерения для решения задач оценивания данных по результатам измерений и формирования результата измерений в условиях неопределенности.

Список литературы / References

1. Введение к «Руководству по выражению неопределенности измерения» и сопутствующим документам. Оценивание данных измерений / пер. с англ. под науч. ред. д.т.н., проф. В.А. Слаева, д.т.н. А.Г. Чуновкиной. СПб.: Профессионал, 2011. 58 с.
2. Данилов А.А. Планирование эксперимента в условиях неопределенности результатов измерений / А.А. Данилов, Н. П. Ординарцева // METROLOGY AND METROLOGY ASSURANCE 2012 : Proceeding of the 22th National Scientific Symposium with International Participation, September 10–14, 2012, Sozopol, Bulgaria, Technical University of Sofia, 2012. P. 29–34.
3. Ординарцева Н.П. Математическая модель измерительной задачи / Н.П. Ординарцева // Известия ЮТУ. Технические науки. Тематический выпуск «Компьютерные и информационные технологии в науке, инженерии и управлении», 2012. № 5 (130). С. 90–94.

4. *Ординарцева Н.П.* Регрессионная модель на данных с интервальной неопределенностью / Н.П. Ординарцева // Ползуновский вестник, 2012. № 2/1. С. 83–87 // [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://mca.altsu.ru/download/M12-2_1p3.pdf/ (дата обращения: 14.12.2018).
5. *Вегер В.* Информация об измеряемой величине как основа формирования функции плотности вероятности / В. Вегер // Измерительная техника, 2003. № 9. С. 3–9.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Introduction to the Measurement Uncertainty Guidelines and related documents. Evaluation of measurement data / trans. from English under the scientific ed. Doctor of Technical Sciences, prof. V.A. Slaeva, Doctor of Technical Sciences A. G. Chunovkina. SPb. : Professional, 2011. 58 p.
2. *Danilov A.A.* Planning of an experiment under conditions of uncertainty of measurement results / A. A. Danilov, N.P. Ordinartseva // METROLOGY AND METROLOGY ASSURANCE 2012: Proceeding of the 22th National Scientific Symposium with International Participation, September 10–14, 2012. Sozopol, Bulgaria, Technical University of Sofia, 2012. P. 29–34.
3. *Ordinartseva N.P.* Mathematical model of the measuring task / N.P. Ordinartseva // Izvestiya YUT. Technical science. Thematic issue "Computer and information technology in science, engineering and management.", 2012. № 5 (130). P. 90–94.
4. *Ordinartseva N.P.* A regression model on data with interval uncertainty / N.P. Ordinartseva // Polzunovsky Vestnik, 2012. № 2/1. P. 83–87 // [Electronic resource]. URL: http://mca.altsu.ru/download/M12-2_1p3.pdf/ (date of acces: 14.12.2018).
5. *Weger V.* Information about the measured value as the basis for the formation of the probability density function / V. Weger // Measuring technique, 2003. № 9. P. 3–9.