

Воронова Тамара Сергеевна,

к.т.н., доцент, Ангарский государственный технический университет,
email: candell@mail.ru

Пильцов Михаил Владимирович,

к.т.н., доцент, Ангарский государственный технический университет,
email: mpilcov@yandex.ru

Кулыгин Валентин Андреевич,

обучающийся, Ангарский государственный технический университет,
email: leopardjwj@gmail.com

НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЬ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ИХ ТОЧНОСТИ

Voronova T.S., Piltsov M.V., Kulygin V.A.

UNCERTAINTY OF MEASUREMENTS IN DETERMINING THEIR ACCURACY

Аннотация. Согласно действующей на сегодняшний день нормативной документации при оценке точности измерений для многих метрологических задач следует применять такой термин как неопределенность. Приводятся основные нормативные документы в этой области и пример расчета расширенной неопределенности при прямых измерениях.

Ключевые слова: точность результатов измерений, измеряемая величина, концепция неопределенности измерений, погрешность измерений, неопределенность, стандартная неопределенность, оценивание неопределенности типа А, оценивание неопределенности типа В, суммарная стандартная неопределенность, расширенная неопределенность.

Abstract. According to the current normative documentation, when assessing the accuracy of measurements for many metrological tasks, such a term as uncertainty should be used. The main regulatory documents in this area and an example of calculating the expanded uncertainty in direct measurements are given.

Keywords: accuracy of measurement results, measurand, concept of measurement uncertainty, measurement error, uncertainty, standard uncertainty, type A uncertainty estimation, type B uncertainty estimation, total standard uncertainty, expanded uncertainty.

В настоящее время единственной признанной на международном уровне оценкой точности результатов измерений является неопределенность измерений. Концепция неопределенности измерений появилась более 35 лет назад под эгидой нескольких международных метрологических организаций, таких как: Международное бюро мер и весов (МБМВ), Международная организация по стандартизации (ИСО), Международная организация законодательной метрологии (МОЗМ) и др. Результатом их работы в 1993 году явился документ «Руководство по выражению неопределенности измерений» (GUM), который был переведен на русский язык и опубликован в 1999 году [1].

Основные положения Руководства базируются на отказе от использования понятия «погрешность измерений», поскольку «истинное значение измеряемой величины», применяемое для оценки погрешности, является непознаваемым. В Руководстве предпринят переход от деления погрешностей по природе их проявления (случайные и систематические) к делению по способу оце-

нивания неопределенностей измерений: полученным статистически (тип А), и полученным другими методами (тип В).

Поскольку в последние десятилетия усилился процесс международной интеграции в экономике и науке, то потребовалось и единство оценки точности результатов измерений. В связи с этим в нашей стране разрабатываются и внедряются нормативные документы, в которых результаты измерений описываются в концепции неопределенности измерений. Однако отечественная нормативная база, по крайней мере на данном этапе, не отвергает полностью оценку точности результатов измерений на основе «классической» теории погрешностей. Такая двойственность оценки качества измерений в нормативной документации, отраженная, например, в [2], иногда приводит в замешательство не только рядовых пользователей, но даже и некоторых специалистов-метрологов.

В обоих подходах к оценке качества измерений имеются схожие черты. Так, оба они требуют анализа уравнения измерений с качественной и количественной оценкой всех погрешностей (или, соответственно, неопределенностей) измерений. Методы их вычисления основаны на применении схожих понятий математической статистики и теории вероятностей, но при этом используются различные интерпретации закона распределения вероятностей случайной величины.

Сравнительный анализ двух подходов к выражению характеристик точности измерений можно рассмотреть на примере, основанном на измерении силы электрического тока с помощью вольтметра и токового шунта, приведенном в [3, Приложения Б и В]. Следует отметить, что этот документ отменен с 1 октября 2012 года в связи с утверждением и введением в действие трех стандартов ГОСТ Р 54500 (части 1, 3 и 3.1), которые разработаны на основе [1]. Введенные стандарты достаточно сложны и объемны, в то время как в РМГ 43 методика оценки неопределенности измерений и сопоставление обоих подходов представлены в четкой и компактной форме, подкрепленной указанным выше примером. Более современные рекомендации (с учетом [2]) по корректному применению понятий «погрешность измерения» и «неопределенность измерений» изложены в [4].

Согласно [2] и [4] неопределенность измерений – это неотрицательный параметр, характеризующий рассеяние значений величины, приписываемых измеряемой величине на основании измерительной информации. Неопределенность измерений включает в себя много составляющих. Некоторые из них могут быть оценены по типу А статистической обработкой серии измерений и характеризоваться стандартными отклонениями u_A . Другие составляющие, оцениваемые по типу В, также могут характеризоваться стандартными отклонениями u_B с учетом законов распределения. Суммированием этих составляющих неопределенностей для всех входных величин в модели измерения получают

либо суммарную стандартную неопределенность u_c , либо расширенную неопределенность U . Последнюю получают умножением суммарной стандартной неопределенности на коэффициент охвата, зависящий от вида распределения выходной величины и уровня доверия. Процедура оценивания неопределенности измерения представлена в [5].

Несмотря на различие между понятиями «погрешность измерения» и «неопределенность измерений» в [4] рекомендуется гармонично пользоваться этими понятиями в соответствующих ситуациях. Так, неопределенностью измерений рекомендуется представлять результаты измерений, а пределами погрешности – нормативы точности средств измерений.

Рассмотрим метод оценки неопределенности измерений на часто встречающемся случае - прямом измерении величины. Пусть на анализ представлена проба трансформаторного масла (далее масло) для определения концентрации растворенных в масле газов. Измерение проводится с помощью измерителя «Иркут» ТУ 4215-028-00202904 (далее измеритель). В документации на прибор сказано, что абсолютная погрешность измерителя $\Delta_{\text{и}}$ в рабочих условиях составляет не более:

- $\pm 0,15\%$ в диапазоне объемной доли газов от 0,1 до 1,0% включительно;
- $\pm 0,75\%$ в диапазоне объемной доли газов свыше 1,0 до 12,0 %.

В соответствии с инструкцией по применению прибора произведено пять ($n=5$) независимых измерений из представленной пробы масла. На основании измерений получены следующие значения объемной доли газов в масле y_i : 0,78 %; 0,81 %; 0,84 %; 0,86 %; 0,87 %.

Поскольку в данном случае проведены прямые измерения искомой величины, то анализа уравнения измерений не требуется.

Для вычисления неопределенности измерений определим среднее арифметическое результатов измерений.

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum y_i = \frac{1}{5} (0,78 + 0,81 + 0,84 + 0,86 + 0,87) = 0,83 \%$$

Произведем оценку стандартной неопределенности типа А измерения объемной доли воздуха в масле:

$$u_A(y) = \sqrt{\frac{\sum (y_i - \bar{y})^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{(0,78 - 0,83)^2 + \dots + (0,87 - 0,83)^2}{5 \cdot 4}} = 0,012 \%$$

Произведем оценку стандартной неопределенности типа В измерения объемной доли воздуха в масле, учитывая пределы абсолютной погрешности измерителя для диапазона измерений от 0,1 до 1,0%. Поскольку в документации не представлен закон распределения погрешности, то по рекомендациям [5] принимаем его равновероятным. При этом предполагают, что погрешность может находиться с равной вероятностью в интервале, ограниченном пределами погрешности. Тогда оценка стандартной неопределенности типа В равна

$$u_B(y) = \frac{\Delta_{\text{и}}}{\sqrt{3}} = \frac{0,15}{1,731} \approx 0,087 \%$$

Оценим суммарную стандартную неопределенность

$$u_c(y) = \sqrt{u_A^2(y) + u_B^2(y)} = \sqrt{0,012^2 + 0,087^2} = 0,088 \%$$

Определим расширенную неопределенность, принимая $k=2$ при вероятности охвата $P=0,9545$ (нормальное распределение)

$$U(y) = k \cdot u_c(y) = 2 \cdot 0,088 = 0,176 \%$$

Запись результата измерения: объемная доля газов, растворенных в трансформаторном масле, составляет $(0,83 \pm 0,18) \%$ при $P=0,9545$.

Исходя из концепции неопределенностей в соответствии с [2] истинные значения объемной доли газов в масле находятся в интервале от 0,65 % до 1,01 % с уровнем доверия $P=0,9545$.

Приведенный пример наиболее простой. Например, если бы для данного измерителя нормировалась основная абсолютная погрешность, а не погрешность в рабочих условиях применения, то пределы погрешности при определении $u_B(x)$ должны учитывать и погрешности от влияющих величин.

Трудности в понимании и применении концепции неопределенности измерений сохраняются еще достаточно долго, однако пройти этот этап необходимо, чтобы соответствовать современному уровню развития метрологии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Руководство по выражению неопределенности измерения / пер. с англ. под ред. В. А. Слаева. – СПб.: ГП ВНИИМ им. Д. И. Менделеева, 1999. – 134 с.
2. РМГ 29—2013 Государственная система обеспечения единства измерений. Метрология. Основные термины и определения. - М: Стандартинформ, 2014.- 56 с.
3. РМГ 43-2001 Государственная система обеспечения единства измерений. Применение “Руководства по выражению неопределенности измерений”. - ИПК Издательство стандартов, 2002. – 20 с.
4. РМГ 91—2019 Государственная система обеспечения единства измерений. Использование понятий «погрешность измерения» и «неопределенность измерений». Общие принципы. – М: Стандартинформ, 2019.- 20 с.
5. ГОСТ 34100.3-:2017 Неопределенность измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерения.- М.: Стандартинформ, 2018.- 104 с.