

**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

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

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.