

УДК 622.87:614.891.1

Т.С. БУТУКОВА, зав. лаб.,
П.А. БРЮХАНОВ, канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник,
А.И. ДЕМЕНКОВ, ст. науч. сотрудник,
С.В. НОТИЧ, инженер; *МакНИИ, Макеевка*

ЗНАЧИМОСТЬ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ РЕЗУЛЬТАТА ИЗМЕРЕНИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГОРНО-ШАХТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Проведен анализ документов, регламентирующих общие требования к оценке неопределенности измерения. Приведен пример измерения диаметра отверстия листа коуша.

Ключевые слова: неопределенность измерения, погрешность, среднеквадратическое отклонение погрешности результата измерения, неопределенность, стандартная неопределенность, расширенная неопределенность, коэффициент охвата.

Глобализация экономики и углубление международных связей показали, что на современном этапе вопросы сопоставимости и взаимного признания результатов измерений, полученных в разных лабораториях и в разное время, являются актуальными. Лозунг “раз испытано – принято повсюду” лежит в основе международной системы признания результатов и приобретает большое экономическое значение в современном мире, когда речь идет о точности результата, что, в свою очередь, создает условия для производства национальными товаропроизводителями конкурентоспособной экспортной продукции.

Целью данной статьи является ознакомление специалистов, проводящих испытания горно-шахтного оборудования, экспертные обследования оборудования повышенной опасности, измерения при проведении научно-исследовательских работ, с концепцией точности результата измерения.

В 1978 году ведущий мировой авторитет в области метрологии – Международный комитет мер и весов (МКМВ) – обратился в Международное бюро мер и весов (МБМВ) с просьбой рассмотреть проблему международной единой оценки точности результатов измерения совместно с национальными метрологическими лабораториями и разработать соответствующую рекомендацию.

В 1979 году МБМВ организована встреча с экспертами из 11 национальных метрологических лабораторий с целью принятия единой и общепризнанной методики для определения неопределенности.

В 1980 году создана Рабочая Группа 1 (РГ 1) Объединенного Коми-

тета по Руководству в Метрологии (ОКРМ/JCGM) под председательством директора МБМВ. Первым документом, разработанным и выпущенным этой группой, была Рекомендация – INC “Выражение экспериментальных неопределенностей”. Эта Рекомендация принята МКМВ в 1981 г.

В 1986 году создана Рабочая группа 3 (РГ 3) в рамках Технической консультативной группы по метрологии (ТГК-4) для разработки руководящего документа по вопросу оценивания неопределенности результата измерения.

В 1993 году Международной организацией по стандартизации (ИСО) принята первая редакция “Руководства по выражению неопределенности измерения” (Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement: First edition). (GUM:1993) [1].

В 1997 году от имени семи авторитетных международных организаций: МКМВ, Международной электротехнической комиссии (МЭК), ИСО, Международной организации по законодательной метрологии (МОЗМ), Международного союза по чистой и прикладной физике (ИЮПАП), Международного союза по чистой и прикладной химии (ИЮПАК), Международной федерации клинической химии (МФХК) опубликовано “Руководство по выражению неопределенности измерения” (GUM:1993), которое содержит единые в международной практике правила выражения неопределенности и является новой концепцией оценки точности измерения. GUM переиздавалось дважды: в 1995 и 2008 годах без существенных изменений.

Переход от классической теории погрешности измерения к новой концепции неопределенности измерения обоснован использованием философских неопределимых на практике величин, таких как “истинное значение” и “погрешность”. По мнению специалистов, в классической теории используется неправильная терминология (семантика) для обозначения точности измерения [2]. Для количественного обозначения погрешности использовались слова: the error (английский язык), erreur (французский) – ошибка, просчет. В свете требований к обеспечению качества производства проведение измерений с ошибками и просчетами является неприемлемым, и этот термин пытались заменить, иногда используя термины precision (точность) и variation (вариация). Однако по определению точность – это качественная оценка результата измерений, а вариация – параметр, характеризующий относительный разброс результатов измерений. Понятие неопределенности измерения (uncertainty of measurement), которое и ранее использовалось в измерительной практике, и определение которого приводится уже в 1993 году в Международном словаре основных и общих терминов в метрологии (VIM-93) [3], явилось наиболее удачным для характеристики рассеяния результатов измерений. Следует подчеркнуть, что физический смысл неопределенности измерений не соответствует понятию погрешности измерений.

Основные особенности новой концепции [4]:

- отказ от использования понятий “погрешность” и “истинное значение измеряемой величины”;
- введение новых терминов “неопределенность” и “оцененное значение измеряемой величины”;
- переход от классификации погрешностей по природе их проявления на случайные и систематические к другому делению – по способу оценивания неопределенностей измерений (по типу А – методами математической статистики и по типу В – другими методами).

В таблице 1, представлен сравнительный анализ классической теории погрешностей и концепции неопределенности.

Таблица 1

Сравнительный анализ классической теории погрешностей
и концепции неопределенности

Классическая теория погрешности	Концепция неопределенности
Погрешность результата измерения Δ δ	Неопределенность результата измерения U
Случайная погрешность $\delta = X - Q$	Неопределенность, оцениваемая по типу А $u_{A,i} = \sqrt{\frac{1}{(n_i - 1)} \sum_{q=1}^{n_i} (x_{iq} - \bar{x}_i)^2}$ $u_A(x_i) = \sqrt{\frac{1}{n_i(n_i - 1)} \sum_{q=1}^{n_i} (x_{iq} - \bar{x}_i)^2}$
Неисключенная погрешность $\theta(p) = k \sqrt{\sum_{i=1}^m \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2} \theta_i^2$	Неопределенность, оцениваемая по типу В $u_B(x_i) = \frac{b_{i+} - b_{i-}}{2\sqrt{3}}$
Среднеквадратическое отклонение погрешности результата измерений $S_n = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2}{n - 1}}$	Стандартная неопределенность результата измерения $u = \delta(x) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2}{n - 1}}$
Доверительные границы результатов измерения $\Delta = \delta = t_p * S_x^-$	Расширенная неопределенность результата измерения $U_p = t_p (v_{eff}) * u_c$
Доверительная вероятность p	Вероятность охвата (покрытия) p
Коэффициент (квантиль) распределения погрешности k	Коэффициент охвата (покрытия) $k(p)$

Принципы оценивания неопределенности необходимы для:

- проведения фундаментальных и прикладных исследований и разработок в науке и технике (в эту сферу деятельности попадает и проведение экспертного обследования оборудования повышенной опасности);
- поддержания контроля качества и обеспечения качества в процессе производства;
- обеспечения качества испытаний продукции;
- обеспечения единства измерений;
- гармонизации законов и регулирующих актов;
- использования национальных эталонов и приборов для калибровки;
- разработки, поддержания и сличения международных и национальных эталонов единиц физических величин, включая стандартные образцы веществ и материалов.

Разработка единого, стандартизированного на международном уровне подхода к оцениванию неопределенности измерения, отражена в документах, регламентирующих оценивание неопределенности на законодательном уровне:

– Закон Украины “Про метрологію та метрологічну діяльність” ст. 1 определяет, что “единство измерений – состояние измерений, при котором их результаты выражаются в единицах измерения, определенных этим Законом, а характеристики погрешностей или неопределенности измерений известны с определенной вероятностью и не выходят за установленные границы”. Кроме того, в ст. 7 установлено, что “результаты измерений могут быть использованы в сфере законодательно регулируемой метрологии при условии, что для таких результатов известны соответствующие характеристики погрешностей или неопределенность измерений”. Таким образом, на законодательном уровне введена характеристика точности измерения – неопределенность измерения [5].

– ДСТУ ISO/IEC 17025:2006 “Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій”, ГОСТ ИСО/МЭК 17025 “Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий” (ISO/IEC 17025: 2005, IDT General requirements for testing and calibration laboratories) [6] требует применение процедур оценивания неопределенности измерения в аккредитованных лабораториях:

- а) при выборе, разработке и оценивании пригодности методов (п. 5.4.1);
 - б) при использовании стандартизированных, не стандартизированных и разработанных лабораторией методов испытаний (п.п.5.4.3, 5.4.4);
 - в) при оформлении протоколов испытаний (п.5.10.4.1);
 - г) при составлении программы калибровки оборудования (п.5.6).
- Нормативная документация на требования и методы испытания продукции, гармонизированная с европейскими Директивами, требует

предоставление результатов испытаний с неопределенностью измерений для возможности определения пользователем надежности полученных данных (в частности, ДСТУ EN на средства индивидуальной защиты органов дыхания).

Общие правила оценки и выражения неопределенности результатов измерения установлены в следующих документах:

– Соглашение о взаимном признании национальных эталонов и сертификатов о калибровке и измерениях национальными метрологическими институтами (MRA), подготовлено МКМВ (1999г.);

– ISO/IEC Guide 99-12: 2007 International Vocabulary of Metrology – Basic and General Concepts and Associated Terms, VIM (Международный словарь по метрологии – Основные и общие понятия и соответствующие термины);

– Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement (GUM:1993) (“Руководство по выражению неопределенности измерения”);

– ДСТУ-Н РМГ 43-2006 Применение “Руководства по выражению неопределенности измерений” [7];

– EA-4/02 “Выражение неопределенности измерения при калибровках” (1999), разработанное Европейской ассоциацией по аккредитации (EA) [8];

– Guide to the Evaluation of Measurement Uncertainty for Quantitative Test Results (Технічний звіт EUROLAB № 1/2006 “Настанова з оцінювання невизначеності вимірювання результатів кількісних випробувань”) [9].

16 октября 2014 г. в г. Ванкувер (Канада) на заседании генеральной Ассамблеи ILAC/IAF (международный форум по аккредитации) подписано Соглашение о предоставлении НААУ статуса полноправного члена ILAC – подписанта ILAC MRA в сферах испытания и калибровки в соответствии с международным стандартом ISO/IEC 17025. Данное Соглашение дает право применения знака ILAC MRA на протоколах испытаний, а результаты испытаний признаются всеми членами ILAC.



Международная кооперация
по аккредитации



Международный форум
по аккредитации

Применение концепции в течение более 20 лет способствует обеспечению точности и достоверности количественного представления результатов измерений, проведенных в разных странах и организациях.

Особое практическое значение имеет применение расчета неопределенности измерений при проведении расследований аварий на шахтах, экспертном обследовании объектов повышенной опасности, при выполнении научно-исследовательских работ и испытаний. Во всех случаях выводы, решения, рекомендации принимаются на основании результатов измерений. Поэтому они должны быть точными и достоверными.

Рассмотрим пример. При проведении внеочередного технического осмотра и технического Регламента на продлеваемый срок безопасности подвесного устройства типа УПБ-500 клетки А двухклетевого подъема типа МК-3,25x4 (протокол визуально-инструментального контроля) были установлены следующие показатели (табл. 2).

Таблица 2

Показатели измерений подвесного устройства типа УПБ-500

№ п/п	Наименование измеряемой величины	Кол-во деталей шт.	Нормативный документ	Номинальный размер, мм	Допуск, мм	Факт. результат, мм
1.	Лист коуша (диаметр отверстий)	8	СОУ 10.1.00174094.0 06:2005	60	+4,0	63,2
2.	Валик (диаметр)	4	то же	60	-4,0	56,5
3.	Тяга (диаметр отверстий)	4	то же	60-85	+4,0	62,8-85,7
4.	Валик (диаметр)	4	то же	85	-4,0	84,9
5.	Проушины клетки	4	то же	85	+4,0	85,5

Анализ результатам измерений показывает, что фактический размер диаметра отверстия листа коуша приближается к максимально-допустимому значению и представлен без неопределенности результата измерений. В протоколе визуально-измерительного контроля в перечне используемых инструментов указан штангенциркуль 0-160 мм без указания конкретного типа средства измерения, и, следовательно, неизвестна цена деления шкалы, указывающая на погрешность штангенциркуля. Фактически представленный результат 63,2 мм не точен и не достоверен.

В Испытательном центре МакНИИ в научно-исследовательской лаборатории взрывобезопасности и пожаробезопасности систем подземного энергоснабжения кабелей была проведена оценка неопределенности измерений геометрических размеров конструктивных элементов кабелей, с применением штангенциркуля типа ШЦ-II-150-0,1 с погрешностью $\pm 0,1$ мм. При этом полученная расширенная неопределенность измерений

составила 0,13 мм.

Результат измерения диаметра отверстия листа коуша должен иметь вид $63,2 + U_p = 63,2 + 0,13$ мм.

В данном случае учет неопределенности измерения не оказал влияние на решение о пригодности изделия к дальнейшей эксплуатации, но уже при значении 63,9 мм должна применяться норма браковки.

Таким образом, анализ отчетов об экспертном обследовании подвесных устройств показал, что в протоколах визуально-инструментального контроля не указаны погрешности средств измерительной техники или неопределенность измерений, что приводит к невыполнению требований п. 9 Оформления результатов контроля СОУ 10.1.00174094.006-2005 “Шахтные подвесные устройства и парашюты. Требования к контролю” [10], где регламентированы требования к предоставлению результатов измерений в соответствии с требованиями п. 5.10 Отчетность о результатах ДСТУ ISO/IEC 17025 “Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий”. Поэтому считаем, что необходимо совместно с Государственным комитетом горного и технического надзора выработать единый подход к оформлению протоколов и предоставлению результатов инструментального контроля с неопределенностью измерений в соответствии с требованиями Закона “О метрологии и метрологической деятельности”, ДСТУ ISO/IEC 17025 “Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий” и СОУ 10.1.00174094.006-2005 “Шахтные подвесные устройства и парашюты. Требования к контролю”.

ВЫВОДЫ

Применение на практике концепции точности результата измерения повышает качество: экспертного обследования оборудования повышенной опасности; научно-исследовательских работ; расследования аварий на шахтах; испытания продукции, что позволяет повысить безопасность работ в горной промышленности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Руководство по выражению неопределенности измерения (Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement) Geneva: ISO: 1993. – 101 p.
2. Фридман А. Э. Основы метрологии / Фридман А. Э. – С.-Пб.: Проффессионал, 2008 – 284 с.
3. International Vocabulary of Metrology – Basic and General Concepts and Associated Terms ISO/IES Guide 99-12: 2007, VIM (Международный словарь по метрологии – Основные и общие понятия и соответствующие термины) – (www.iso.org).
4. Пронкин Н. С. Основы метрологии. Практикум по метрологии и

измерениям / Пронкин Н. С. - М.: Логос, 2007. – 392 с.

5. Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність» від 11.02.1998 р. № 113/98-ВР із змінами, внесеними згідно із Законом України від 15.06.2004 р. № 1765-IV (сторінка «Законодавство України» сайту Верховної Ради) (www.dssu.gov.ua).

6. Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій: ДСТУ ISO/IEC 17025:2006 (ISO/IEC 17025: 2005, IDT). – [Чинний від 2007-07-01]. – Київ: Держстандарт України, 2006. – 32 с.

7. Применение «Руководства по выражению неопределенности измерений»: ДСТУ-Н РМГ 43-2006. – [Действующий с 01.07.2007]. – Киев: Держстандарт України, 2006. – 27 с.

8. EA-4/02 «Выражение неопределенности измерения при калибровках» (1999), разработанное Европейской ассоциацией по аккредитации (EA) на замену издания WECC doc. 19-1990. – 79 с.

9. Guide to the Evaluation of Measurement Uncertainty for Quantitative Test Results Настанова з оцінювання невизначеності вимірювання результатів кількісних випробувань: Технічний звіт EUROLAB № 1/2006; пер. з англ. – Київ: Євролаб-Україна, 2008. – 51 с.

10. Шахтные подвесные устройства и парашюты. Требования к контролю: СОУ 10.1.00174094.006-2005. – Офіц. вид. – Київ: Мінвуглепром України, 2005. – 64 с.

Получено: 21.07.17

Significance of measurement result uncertainty for safety improvement of mining equipment operation

The analysis of the documents specifying the general requirements to the assessment of the measurement uncertainty has been carried out. An example for diameter measurement of a caple sheet opening has been given.

Keywords: measurement uncertainty, tolerance, mean square deviation of measurement result uncertainty, uncertainty, standard uncertainty, expanded uncertainty, sweep efficiency.