

Гальченко Ю.М., асистент кафедри кіберфізичних та інформаційно-вимірювальних систем
(Національний технічний університет "Дніпровська політехніка", м. Дніпро, Україна)

ОЦІНЮВАННЯ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ВИМІРЮВАНЬ МЕТОДОМ МОНТЕ-КАРЛО

У зв'язку з гармонізацією державних стандартів України з європейськими, концепція невизначеності вимірювань набуває все більш широкого застосування і повільно «витісняє» теорію похибок. Сьогодні всі випробувальні та калібрувальні лабораторії, які акредитовані або знаходяться на шляху до акредитації на відповідність вимог стандарту ДСТУ EN ISO/IEC 17025, повинні подавати результати вимірювань (випробувань) з зазначенням розширеної невизначеності [1]. Тому тема методів оцінювання невизначеності вимірювань є актуальною.

Загальноприйнятим та широковідомим є оцінювання невизначеності вимірювань за методом докладно описаним у GUM «Керівництві з виразу невизначеності вимірювань» [2] і який наводиться у кожному посібнику з оцінювання невизначеності вимірювання, оскільки є класичним. Даний метод має свої переваги та недоліки. До останніх, серед іншого, можна віднести необхідність знаходження часткових похідних для розрахунку коефіцієнтів чутливості під час оцінювання сумарної стандартної невизначеності опосередкованих вимірювань, що мають складну функційну залежність, а також прийняття деяких спрощень та допущень стосовно законів розподілу випадкових величин.

У даній роботі пропонується оцінювання невизначеності вимірювання методом Монте-Карло (ММК), який є робастним по відношенню до зміни розподілу випадкової величини. Алгоритм оцінювання невизначеності вимірювання ММК детально описано у документі [3], який є доповненням до [2]. Розглянемо використання ММК для оцінювання невизначеності на прикладі S2 з ЕА 4/02 Калібрування гирі з номінальним значенням маси 10 кг [4]. Математична модель визначення дійсного значення маси m_x :

$$m_x = m_s + \delta m_D + \delta m + \delta m_c + \delta B, \quad (1)$$

де m_s – дійсне значення маси еталонної міри; δm_D – зміщення маси значення маси еталонної міри з часу останнього калібрування; δm – спостережувана різниця між масою гирі, що калібрується, і масою еталона; δm_c – поправка на ексцентриситет навантаження і магнітні ефекти; δB – поправка на виштовхування повітря.

Функції розподілу величин, що входять у модельне рівняння (1) наведено у табл. 1.

Таблиця 1

Функції вхідних величин

Вхідна величина	Закон розподілу	Параметри функції розподілу
m_s	Нормальний	$\mu = 10000,005$ г; $\sigma = 0,0225$ г
δm_D	Рівномірний	$a^- = -0.015$ г; $a^+ = 0.015$ г
δm	Нормальний	$\mu = 0,020$ г; $\sigma = 0,0144$ г
δm_c	Рівномірний	$a^- = -0.010$ г; $a^+ = 0.010$ г
δB	Рівномірний	$a^- = -0.010$ г; $a^+ = 0.010$ г

У таблиці 1 прийняті наступні позначення: μ – математичне сподівання, σ – стандартне відхилення, a^- і a^+ - відповідно нижня і верхня межа інтервалу рівномірного розподілу.

Для знаходження розширеної невизначеності вимірювання маси гирі, що калібрується, m_x відповідно до ММК необхідно:

1. Згенерувати M випадкових чисел для кожної вхідної величини, відповідно до їх законів розподілів, зазначених у табл.1.
2. Обчислити M значень шуканої величини m_x відповідно до модельного рівняння (1).
3. Обчислити середнє значення \bar{m}_x та стандартну невизначеність $u(\bar{m}_x)$ (стандартне відхилення).
4. Масив m_x відсортувати за зростанням.
5. Обчислити нижню $m_{x,low}$ і верхню $m_{x,high}$ межі довірчого інтервалу за формулами:

$$m_{x,low} = 0.5M(1 - P), m_{x,high} = 0.5M(1 + P),$$

де P – довірна ймовірність, для даного прикладу становить 0,95.

6. Оцінити розширену невизначеність вимірювання маси m_x за формулою:

$$U(\bar{m}_x) = \frac{m_{x,high} - m_{x,low}}{2}.$$

7. Розрахувати коефіцієнт покриття k як відношення розширеної невизначеності до стандартної невизначеності.

У таблиці 2 представлено результати оцінювання розширеної невизначеності ММК за описаним алгоритмом і методом GUM [2].

Таблиця 2

Результати оцінювання розширеної невизначеності

	M	$\bar{m}_x, \text{г}$	$u(\bar{m}_x), \text{г}$	$m_{x,low}, \text{г}$	$m_{x,high}, \text{г}$	$U(\bar{m}_x), \text{г}$	k
ММК	$1.04 \cdot 10^6$	10000,025	0,0293	9999,968	10000,082	0,057	1,95
GUM	—	10000,025	0,0293	9999,966	10000,084	0,059	2,0

Висновки: Аналізуючи дані отримані в табл.2 можна зробити висновок, що оцінка розширеної невизначеності вимірювань знайдена за методом GUM завищена на 3,5%, що може бути обумовлено завищеним значенням коефіцієнта покриття k , оскільки за обома методами отримані однакові значення стандартних невизначеностей $u(\bar{m}_x)$. Серед переваг ММК, порівняно з методом GUM, можна виділити наступні: оцінювання розширеної невизначеності не потребує припущень стосовно розподілу шуканої величини і обчислень коефіцієнта покриття k ; не має потреби в визначенні коефіцієнтів чутливості, що значно спрощує оцінку невизначеності опосередкованих вимірювань де вихідна величина має складну функціональну залежність з вхідними величинами. До недоліків ММК слід віднести неможливість складання бюджету невизначеності, що ускладнює процес виявлення домінуючих внесків невизначеностей вхідних величин у невизначеність вихідної величини.

Перелік посилань

1. ДСТУ EN ISO/IEC 17025. Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій (EN ISO/IEC 17025:2017, IDT; ISO/IEC 17025:2017, IDT). Київ, 2019. 32 с.
2. Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement. Geneva: ISO, 2008. – 134 p.
3. JCGM 101:2008. Evaluation of measurement data – Supplement 1 to the “Guide to the expression of uncertainty in measurement” – Propagation of distributions using a Monte Carlo method. – BIPM, First edition 2008. – 88 p
4. EA. Expression of the uncertainty of measurement in calibration. Technical Report EA-4/02, European Cooperation for Accreditation, 2013.