



НАЦІОНАЛЬНИЙ СТАНДАРТ УКРАЇНИ

ДСТУ ISO/IEC Guide 98-1:2018
(ISO/IEC Guide 98-1:2009, IDT)

НЕВИЗНАЧЕНІСТЬ ВИМІРЮВАНЬ

Частина 1. Вступ до подання невизначеності у вимірюванні

Відповідає офіційному тексту

З питань придбання офіційного видання звертайтеся
до національного органу стандартизації
(ДП «УкрНДНЦ» <http://uas.org.ua>)

ПЕРЕДМОВА

- 1 РОЗРОБЛЕНО: Технічний комітет стандартизації «Метрологія та вимірювання» (ТК 63), Національний науковий центр «Інститут метрології»
- 2 ПРИЙНЯТО ТА НАДАНО ЧИННОСТІ: наказ Державного підприємства «Український науково-дослідний і навчальний центр проблем стандартизації, сертифікації та якості» (ДП «УкрНДНЦ») від 18 грудня 2018 р. № 507 з 2020–01–01
- 3 Національний стандарт відповідає ISO/IEC Guide 98-1:2009 Uncertainty of measurement — Part 1: Introduction to the expression of uncertainty in measurement (Невизначеність вимірювань. Частина 1. Вступ до подання невизначеності у вимірюванні)
Ступінь відповідності — ідентичний (IDT)
Переклад з англійської (en)
- 4 Цей стандарт розроблено згідно з правилами, установленими в національній стандартизації України
- 5 УВЕДЕНО ВПЕРШЕ

Право власності на цей національний стандарт належить державі.
Заборонено повністю чи частково видавати, відтворювати
задля розповсюдження і розповсюджувати як офіційне видання
цей національний стандарт або його частини на будь-яких носіях інформації
без дозволу ДП «УкрНДНЦ» чи уповноваженої ним особи

ДП «УкрНДНЦ», 2019

ЗМІСТ

Національний вступ	V
Передмова ISO/IEC	VI
Передмова до ISO/IEC Guide 98-1:2009	VIII
Вступ до ISO/IEC Guide 98-1:2009	XI
1 Сфера застосування	1
2 Нормативні посилання	2
3 Поняття невизначеності вимірювання	2
4 Основні поняття та принципи	4
5 Етапи оцінювання невизначеності	8
6 Етап формулювання: складання моделі вимірювань	8
7 Етап обчислення (поширення та узагальнення) невизначеності	9
7.1 Загальні положення	9
7.2 Основи невизначеності згідно з GUM	10
7.3 Аналітичні методи	11
7.4 Метод Монте-Карло	11
7.5 Моделі вимірювання з довільною кількістю вихідних величин	12
8 Невизначеність вимірювань за оцінювання відповідності	13
9 Застосування методу найменших квадратів	13
Додаток А (довідковий) Скорочення. Абетковий показник англійських термінів	14
Додаток ZZ (довідковий) Відповідні настанови ISO/IEC щодо настановчих документів JCGM, для яких у тексті не наведено еквівалентів	19
Бібліографія	19
Додаток НА (довідковий) Абетковий показник українських термінів	20
Додаток НБ (довідковий) Перелік національних стандартів України, ідентичних міжнародним нормативним документам, посилання на які є в цьому стандарті	25

НАЦІОНАЛЬНИЙ ВСТУП

Цей національний стандарт ДСТУ ISO/IEC Guide 98-1:2018 (ISO/IEC Guide 98-1:2009) «Невизначеність вимірювань. Частина 1. Вступ до подання невизначеності у вимірюванні», прийнятий методом перекладу, — ідентичний щодо ISO/IEC Guide 98-1:2009 (версія en) «Uncertainty of measurement — Part 1: Introduction to the expression of uncertainty in measurement».

Технічний комітет стандартизації, відповідальний за цей стандарт в Україні, — ТК 63 «Метрологія та вимірювання».

У цьому національному стандарті зазначено вимоги, які відповідають законодавству України.

До стандарту внесено такі редакційні зміни:

- слова «ця частина», «цей документ», «настанова 98 ISO/IEC» замінено на «цей стандарт»;
- структурні елементи стандарту: «Титульний аркуш», «Передмову», «Національний вступ», першу сторінку й «Бібліографію» — оформлено згідно з вимогами національної стандартизації України;
- у розділах «Нормативні посилання» та «Бібліографія» наведено «Національне пояснення», виділене рамкою;

— додучено довідковий додаток НА (Абетковий покажчик українських термінів);

— додучено довідковий додаток НБ (Перелік національних стандартів України, ідентичних міжнародним нормативним документам, посилання на які є в цьому стандарті);

— виправлено помилку в абетковому покажчику англійських термінів: слово «*validation*» замінено на «*validation*».

Копії нормативних документів, на які є посилання в цьому стандарті, можна отримати в Національному фонді нормативних документів.

ПЕРЕДМОВА ISO/IEC

ISO (Міжнародна організація зі стандартизації) та IEC (Міжнародна електротехнічна комісія) є спеціалізованими всесвітніми системами стандартизації. Національні органи, які є членами ISO або IEC, беруть участь у розробленні міжнародних стандартів через технічні комітети, створені відповідною організацією для вирішення конкретних питань технічної діяльності. Технічні комітети ISO та IEC співпрацюють у сферах, що становлять взаємний інтерес. У роботі в співпраці з ISO та IEC також беруть участь інші міжнародні організації, урядові та неурядові.

Проекти настанов, прийняті відповідальним комітетом або групою, розповсюджуються серед органів-членів для голосування. Публікація, як настанова, потребує схвалення щонайменше 75 % членів-організацій, які голосували.

Наголошуємо на тому, що деякі елементи цього стандарту можуть бути предметом патентних прав.

ISO не несе відповідальності за визначення будь-яких або всіх патентних прав. Цей стандарт підготовлено робочою групою 1 Об'єднаного комітету з настанов у метрології (документ JCGM 104:2009) і прийнято національними органами ISO та IEC.

Цей стандарт за загальною назвою Невизначеність вимірювання складається з таких частин:

- Частина 1. Вступ до подання невизначеності у вимірюванні;
- Частина 3. Настанова щодо подання невизначеності у вимірюванні (GUM:1995).

Подальші частини заплановано:

- Частина 2. Поняття та основні принципи;
- Частина 4. Роль невизначеності вимірювань під час оцінювання відповідності;
- Частина 5. Застосування методу найменших квадратів.

ISO/IEC Guide 98-3 має один додаток:

- Додаток 1. Поширення розподілів методом Монте-Карло.

Планують такі додатки до ISO/IEC Guide 98-3:

- Додаток 2. Моделі з довільною кількістю вихідних величин;
- Додаток 3. Моделювання.

Враховуючи, що цей стандарт ідентичний за своїм змістом JCGM 104:2009, як десятковий роздільник використано крапку на рядку в англійській версії.

Додаток ZZ додучено до списку відповідного Guide ISO/IEC та документів JCGM, для яких еквівалентів у тексті не зазначено.

ПЕРЕДМОВА до ISO/IEC GUIDE 98-1:2009

У 1997 р. сім міжнародних організацій, що підготували у 1993 р. «Настанову з подання невизначеності у вимірюванні» (GUM) і «Міжнародний словник з метрології. Основні й загальні поняття та пов'язані з ними терміни» (VIM), утворили Об'єднаний комітет з настанов у галузі метрології (JCGM), очолюваний директором Міжнародного бюро мір та ваг (BIPM), який перебрав на себе відповідальність за вказані два документи від Технічної консультативної групи з метрології ISO (ISO/TAG 4).

Засновниками JCGM, крім BIPM, є Міжнародна електротехнічна комісія (IEC), Міжнародна федерація клінічної хімії та лабораторної медицини (IFCC), Міжнародне співробітництво з акредитації лабораторій (ILAC), Міжнародна організація зі стандартизації (ISO), Міжнародний союз теоретичної та прикладної хімії (IUPAC), Міжнародний союз теоретичної та прикладної фізики (IUPAP) і Міжнародна організація законодавчої метрології (OIML).

У рамках JCGM створено дві робочі групи (РГ). Завдання РГ 1 «Подання невизначеності у вимірюванні» — сприяння використанню Настанови (GUM) та підготовляння додатків до Настанови й інших документів для їх широкого застосування. Завдання РГ 2 «Робочої групи щодо Міжнародного словника основних і загальних термінів у метрології (VIM)» — перегляд VIM і сприяння його застосуванню. Детальнішу інформацію щодо діяльності JCGM можна знайти на сайті www.bipm.org.

Цей стандарт підготовлено РГ 1 на основі детальних оглядів, проведених організаціями-членами JCGM.

Цей стандарт є частиною серії документів JCGM із загальною назвою «Оцінювання даних вимірювань», що охоплює:

- JCGM 100:2008 Оцінювання даних вимірювань. Настанова щодо подання невизначеності у вимірюванні (GUM) (див. розділ 2);
- JCGM 101:2008 Оцінювання даних вимірювань. Додаток 1 до «Настанови щодо подання невизначеності у вимірюванні». Поширення розподілів методом Монте-Карло (див. розділ 2);
- JCGM 102 Оцінювання даних вимірювань. Додаток 2 до «Настанови щодо подання невизначеності у вимірюванні». Моделі з довільною кількістю вихідних величин;
- JCGM 103 Оцінювання даних вимірювань. Додаток 3 до «Настанови щодо подання невизначеності у вимірюванні». Моделювання;
- JCGM 104 Оцінювання даних вимірювань. Вступ до «Настанови щодо подання невизначеності у вимірюванні» і супутніх документів [цей документ];
- JCGM 105 Оцінювання даних вимірювань. Поняття та основні принципи;
- JCGM 106 Оцінювання даних вимірювань. Роль невизначеності вимірювання в оцінці відповідності;
- JCGM 107 Оцінювання даних вимірювань. Застосування методу найменших квадратів.

ВСТУП до ISO/IEC GUIDE 98-1:2009

Дані щодо невизначеності вимірювання треба завжди брати до уваги за оцінки відповідності значення виміряної величини його цілям. Покупець в овочевій крамниці не заперечуватиме, якщо під час купівлі кілограма фруктів ваги покажуть відхилення від істинного значення в межах, припустимо, двох грамів. Водночас розміри деталей гіроскопів, використовуваних у системах навігації повітряних суден, за допомогою вимірювань перевіряють до мільйонних частин.

Невизначеність вимірювання — це загальне поняття, пов'язане з будь-яким вимірюванням, яке використовують за необхідності ухвалення обґрунтованих рішень у різних галузях практичної діяльності й теоретичних досліджень. Разом зі зростаючими вимогами до допусків у технологічних процесах роль невизначеності вимірювань за оцінки відповідності цим допускам стає все важливішою. Центральну роль невизначеність вимірювання відіграє також за оцінки якості в стандартах якості.

Вимірювання наявні практично в усіх видах діяльності людини, охоплюючи промисловість, торгівлю, науку, охорону здоров'я, забезпечення та охорону навколишнього середовища, допомагаючи приймати обґрунтовані рішення. Знання невизначеності вимірювання дає змогу порівнювати результати вимірювання зі встановленими вимогами в контексті оцінки відповідності, отримувати ймовірність ухвалення неправильного рішення і, враховуючи її, контролювати ризики, що виникають.

Цей стандарт слугує вступом до концепцій невизначеності вимірювання, GUM і супутніх документів, вказаних у передмові. Для оцінювання невизначеності використано ймовірнісний підхід. Абревіатури, використані в цьому стандарті, наведено в додатку А.

У подальших виданнях JCGM 200 (VIM) передбачають надати чітке розмежування застосування терміна «похибка» до величини й до значення величини. Те саме стосується й терміна «покази». Оскільки в чинному виданні JCGM 200:2008 такого розмежування немає, то це питання розглянуто в цьому стандарті.

НАЦІОНАЛЬНИЙ СТАНДАРТ УКРАЇНИ

НЕВИЗНАЧЕНІСТЬ ВИМІРЮВАНЬ

Частина 1. Вступ до подання невизначеності у вимірюванні

UNCERTAINTY OF MEASUREMENT

Part 1. Introduction to the expression of uncertainty in measurement

Чинний від 2020-01-01

1 СФЕРА ЗАСТОСУВАННЯ

Об'єднаний комітет з настанов у метрології (JCGM) підготував цей стандарт для сприяння обґрунтованому оцінюванню невизначеності вимірювань за допомогою GUM (див. розділ 2), а також для надання вступу до додатків GUM та інших документів JCGM: JCGM 101:2008 (див. розділ 2) й посилання [3], [4], [5], [6], [7].

Як і GUM, цей стандарт стосується насамперед подання невизначеності вимірювання чітко визначеної величини — *вимірюваної величини* [JCGM 200 (VIM) 2.3], яка може характеризуватися *суттєво унікальним істинним значенням* [JCGM 200 (VIM) 2.11, примітка 3]. GUM забезпечує обґрунтування того, що термін «істинне» не використано, але цей термін залишається в цьому стандарті в разі, якщо необхідно позбутися двозначності або плутанини.

Мета додатків GUM та інших документів, підготовлених JCGM, полягає в тому, щоб допомогти в інтерпретації GUM та покращити її застосування. Додатки до GUM та інші документи разом мають на меті ширше застосування, ніж GUM.

Цей стандарт подає невизначеність вимірювань, GUM, а також додатки до GUM та інші документи, що підтримують GUM. Він спрямований переважно на вимірювання величин, які можуть характеризуватися безперервними змінними, такими як довжина, температура, час та кількість речовини.

Цей вступний стандарт спрямовано на таке, охоплюючи зокрема:

- наукові заходи та дисципліни в цілому,
- промислову діяльність та дисципліни в цілому,
- калібрування, випробувальні й інспекційні лабораторії в промисловості та лабораторії, що займаються питаннями охорони здоров'я, безпеки та охорони навколишнього середовища;
- органи оцінки та акредитації.

Сподіваємося, що він також буде корисним для дизайнерів, оскільки специфікація продукту, яка краще враховує вимоги до інспекції (та відповідні вимірювання), може призвести до менш жорстких вимог до виробництва. Його також спрямовано на навчальні заклади з надією, що все більше університетських факультетів вноситимуть модулі з оцінки невизначеності вимірювань на курсах. У результаті нове покоління студентів буде краще обізнаним щодо розуміння та забезпечення заявленої невизначеності, пов'язаної з виміряними значеннями величин, і, отже, отримання ширшого визнання вимірювання.

Цей вступний стандарт, GUM, додатки до GUM та інші документи треба використовувати разом з «Міжнародним словником з метрології. Основні й загальні поняття та пов'язані з ними терміни» та всіма трьома розділами ISO 3534, наведеними в розділі 2, які визначають статистичні терміни (що використовують у галузі статистики й теорії ймовірності, охоплюючи прикладну статистику та планування експериментів), та подавати їх у понятійній структурі відповідно до нормативної термінологічної практики. Останнє міркування пов'язано з тим, що теоретичний фон оцінки даних вимірювань та оцінки невизначеності вимірювань підтримується математичною статистикою та ймовірністю.

2 НОРМАТИВНІ ПОСИЛАННЯ

Наведені нижче нормативні документи необхідні для застосування цього стандарту. У разі датованих посилань застосовують тільки наведені видання. У разі недатованих посилань треба користуватись останнім виданням нормативних документів (разом зі змінами).

JCGM 100:2008 Evaluation of measurement data — Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM). Joint Committee for Guides in Metrology

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. Joint Committee for Guides in Metrology

JCGM 200:2008 International Vocabulary of Metrology — Basic and general concepts and associated terms, 3rd Edition. Joint Committee for Guides in Metrology

ISO 3534-1:2006 Statistics — Vocabulary and symbols — Part 1: General statistical terms and terms used in probability

ISO 3534-2:2006 Statistics — Vocabulary and symbols — Part 2: Applied statistics

ISO 3534-3:1999 Statistics — Vocabulary and symbols — Part 3: Design of experiments.

НАЦІОНАЛЬНЕ ПОЯСНЕННЯ

JCGM 100:2008 Оцінювання даних вимірювань. Настанова щодо подання невизначеності у вимірюванні (GUM). Об'єднаний комітет з настанов у метрології

JCGM 101:2008 Оцінювання даних вимірювань. Додаток 1 до «Настанови щодо подання невизначеності у вимірюванні». Поширення розподілів методом Монте-Карло. Об'єднаний комітет з настанов у метрології

JCGM 200:2008 Міжнародний словник з метрології. Основні й загальні поняття та пов'язані з ними терміни, 3-тє видання. Об'єднаний комітет з настанов у метрології

ISO 3534-1:2006 Статистика. Словник термінів і позначки. Частина 1. Загальні статистичні терміни й терміни теорії ймовірностей

ISO 3534-2:2006 Статистика. Словник термінів і позначки. Частина 2. Прикладна статистика

ISO 3534-3:2005 Статистика. Словник термінів і позначки. Частина 3. Планування експерименту.

3 ПОНЯТТЯ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ВИМІРЮВАННЯ

3.1 Мета вимірювання полягає в отриманні інформації про величину, що цікавить, — *вимірювану величину* [2.3 JCGM 200 (VIM)]. Вимірюваною величиною може бути об'єм посудини, різниця потенціалів на клеммах батареї або масова концентрація свинцю в колбі з водою.

3.2 Абсолютно точних вимірювань немає. Під час вимірювання величини результат залежить від *вимірювальної системи* [3.2 JCGM 200 (VIM)], процедури вимірювання, кваліфікації оператора, зовнішніх умов та інших чинників [1]. Так, якщо вимірювати одну й ту саму величину кілька разів одним способом і за однакових умов, то зазвичай за достатньої роздільної здатності вимірювальної системи, що дає змогу розрізняти близькі *покази* [4.1 JCGM 200 (VIM)], ці покази (отримані *виміряні значення величини* [2.10 JCGM 200 (VIM)]) щоразу будуть різними. Такі покази розглядають як приклади показуваної величини.

3.3 Розкид показів дає змогу дійти висновку щодо якості проведеного вимірювання. Їх *середнє* повинне забезпечити *значення оцінки* [1.31 ISO 3534-1] *істинного значення величини* [2.11 JCGM 200 (VIM)], яке в загальному буде достовірнішим, ніж окремий показ. Розкид показів і їх кількість забезпечують певну інформацію щодо середнього значення як оцінки істинного значення величини. Проте цієї інформації здебільшого не буде достатньо.

3.4 Вимірювальна система може забезпечувати покази, що розкидані не навколо істинного значення величини, а навколо деякого іншого, зміщеного значення. Різницю між зміщеним значенням та істинним значенням величини іноді називають *значенням систематичної похибки* [2.17 JCGM 200 (VIM)]. Візьмемо для прикладу побутові підлогові ваги. Припустимо, що в разі, якщо немає навантаження, вони показують не нуль, а деяке інше значення. Тоді, незалежно від кількості повторних вимірювань маси людини, що стає на ваги, вплив цього зміщення незмінно буде в середньому значенні показів. Здебільшого систематична похибка, яку розглядають як величину, — це складник похибки, який залишається сталим або певним чином залежить від якоїсь іншої величини.

3.5 Є два види похибки вимірювання: *систематична* та *випадкова* [2.19 JCGM 200 (VIM)]. Систематична похибка (значення оцінки якої називають *зсувом вимірювання* [2.18 JCGM 200 (VIM)]) проявляється в тому, що отримане значення вимірюваної величини містить зсув. Випадкова похибка проявляється в тому, що за повторення вимірювання отримане значення вимірюваної величини здебільшого відрізнятиметься від попереднього. Випадковість полягає в тому, що подальші значення вимірюваної величини не можна точно передбачити за попередніми (якби така можливість була, то до результату вимірювань можна було б внести відповідну поправку). У загальному кожний з видів похибки може бути обумовлено дією кількох чинників.

3.6 Для кожного проведеного вимірювання необхідно вирішити, як найкраще подати інформацію, яку вдалося отримати щодо вимірюваної величини. Подання значень систематичних і випадкових похибок разом з найкращою оцінкою вимірюваної величини — це той підхід, який часто використовували до розроблення GUM. GUM запропонував інший підхід до розуміння вимірювання, зокрема до того, як подавати якість результату вимірювання. Замість подання результату вимірювання у вигляді найкращої оцінки вимірюваної величини разом з інформацією про систематичну й випадкову похибки (у вигляді «аналізування похибок»), GUM рекомендує подавати результат вимірювання як найкращу оцінку вимірюваної величини разом з відповідною *невизначеністю вимірювання*.

3.7 Одним з основоположних принципів підходу GUM є твердження щодо можливості охарактеризувати якість вимірювання, зважаючи на однакове поводження із систематичною й випадковою похибками, а також пропозиція щодо методу, як це зробити (див. 7.2). Цей метод повертає нас до початкової інформації, якою вона була до застосування «аналізування похибок», і підводить під неї ймовірнісну базу за допомогою концепції невизначеності вимірювання.

3.8 Ще один основоположний принцип GUM полягає в твердженні, що не можна встановити, наскільки добре відоме єдине істинне значення величини, а можна тільки сформулювати міру нашої впевненості в тому, що воно відоме. Отже, невизначеність вимірювання можна подати через міру впевненості. Така невизначеність відображатиме неповноту знання про вимірювану величину. Поняття «впевненості» дуже важливе, оскільки воно переміщає метрологію у сферу, де результат вимірювання треба розглядати й чисельно визначати в термінах імовірностей, які виражає ступінь довіри.

3.9 Усе сказане вище стосується прямого вимірювання величини, що трапляється досить рідко. Так, підлогові ваги можуть перетворювати виміряне розтягування пружини на оцінку вимірюваної величини — маси людини на вагах. Співвідношення між розтягуванням цієї пружини й масою визначають за допомогою *калібрування* [2.39 JCGM 200 (VIM)] ваг.

3.10 Співвідношення, подібне до описаного в 3.9, встановлює правило перетворення числового значення деякої величини на відповідне значення вимірюваної величини. Це правило зазвичай називають *моделлю вимірювань* [2.48 JCGM 200 (VIM)] або просто моделлю. На практиці трапляються вимірювання різних видів, і їм відповідають різні правила перетворення або моделі. Навіть одному конкретному виду вимірювань може відповідати кілька моделей. Так, для побутових вимірювань може бути достатньою проста модель (наприклад, у вигляді прямопропорційної залежності маси на вагах від розтягування пружини). Тоді як для потреб науки або на виробництві для отримання точніших результатів може бути використано складніші моделі зважування, що враховують додаткові чинники, як, наприклад, виштовхувальну силу повітря. Зазвичай визначення вимірюваної величини залежить від низки інших величин, таких як температура, вологість, зміщення об'єкта, які також необхідно вимірювати.

3.11 Якщо умови вимірювань дещо відрізняються від заданих, то до величин, які належать до моделі, має бути внесено поправки, що відповідають значенням систематичної похибки [2.17 JCGM 200 (VIM)]. Якщо поправку можна оцінити, то відповідну величину треба скоригувати на отримане значення оцінки [3.2.4 JCGM 100:2008 (GUM)]. Це внесе додаткову невизначеність до результату вимірювання, навіть якщо значення оцінки, як це часто трапляється на практиці, дорівнюватиме нулю. Прикладами джерел систематичних похибок, що виникають під час вимірювань висоти, можуть бути відхилення засобу вимірювань від вертикалі або відмінність від вказаного значення температури навколишнього середовища. Ані кут відхилення засобу вимірювань, ані температуру довкілля не можна чітко визначити, але можна отримати деяку інформацію щодо можливих значень цих величин: кут відхилення від вертикалі не може перевищувати $0,001^\circ$, а температура навколишнього середовища під час вимірювання — відрізнятися від передбаченої не більше ніж на 2°C .

3.12 Величина, що належить до моделі вимірювання, може залежати від часу, наприклад, якщо вона відображає розпад радіонукліда з певною швидкістю. У цьому разі відповідну тимчасову залеж-

ність має бути долучено до моделі для отримання вимірюваної величини, що відповідає вимірюванню у заданий момент часу.

3.13 Найчастіше модель вимірювання, крім результатів спостережень випадкових величин, що належать до неї, також потребує використання даних іншої форми, зокрема фізичних сталих, відомих з певною точністю. Прикладами таких сталих можуть слугувати фізичні характеристики матеріалів, наприклад, модуль пружності або питома теплоємність. Також до моделі як значення оцінок величин може бути долучено дані, запозичені з довідників, калібрувальних сертифікатів та інших аналогічних джерел.

3.14 Складники моделі, необхідні для визначення вимірюваної величини, називають *вхідними величинами в моделі вимірювань* [2.50 JCGM 200 (VIM)]. Саму модель, що визначає правило перетворення вхідних величин, часто називають *функційною залежністю* [4.1 JCGM 100:2008 (GUM)]. *Вихідною величиною в моделі вимірювань* [2.51 JCGM 200 (VIM)] є вимірювана величина.

3.15 Формально зв'язок вихідної величини, позначеної Y , відносно якої необхідно отримати інформацію, з вхідними величинами, позначеними $X_1, \dots, X_N$, інформація щодо яких доступна, часто подають моделлю [4.1.1 JCGM 100:2008 (GUM)] у вигляді *функції вимірювання* [2.49 JCGM 200 (VIM)]

$$Y = f(X_1, \dots, X_N). \quad (1)$$

3.16 У загальному вигляді модель вимірювання [примітка 1 до 2.48 JCGM 200 (VIM)] може бути подано формулою:

$$h(Y, X_1, \dots, X_N) = 0. \quad (2)$$

Передбачено, що для моделі, заданої формулою (2), є спосіб обчислення Y за даними $X_1, \dots, X_N$, і що отримане значення Y – єдине.

3.17 Істинні значення вхідних величин $X_1, \dots, X_N$ невідомі. У підході, прийнятому GUM, $X_1, \dots, X_N$ асоціюють з випадковими величинами [2.10 ISO 3534-1] з відповідними розподілами ймовірності [3.3.5 JCGM 100:2008 (GUM), а також 2.11 ISO 3534-1]. Ці розподіли приймають на основі наявних знань про $X_1, \dots, X_N$ і описують імовірність знаходження істинних значень вхідних величин у різних інтервалах. Іноді вхідні величини (всі або деякі) можуть бути пов'язані між собою, і для їх опису використовують *спільні* розподіли. У цьому стандарті розглянуто переважно не пов'язані між собою (незалежні) випадкові величини, проте отримані висновки можуть бути легко узагальнені й у разі взаємопов'язаних величин.

3.18 Якщо з сертифікатів, звітів, документації виробників, аналізу цих вимірювань та інших джерел відомі значення оцінок $x_1, \dots, x_N$ відповідних вхідних величин $X_1, \dots, X_N$, тоді пов'язані з $X_1, \dots, X_N$ розподіли ймовірності повинні мати значення $x_1, \dots, x_N$ як свої *математичні очікування* [3.6 JCGM 101:2008, а також 2.12 ISO 3534-1]. Для кожного значення оцінки x_i вхідної величини є *пов'язана з нею стандартна невизначеність* [2.30 JCGM 200 (VIM)], яку позначають $u(x_i)$ і визначають як стандартний відхил [3.8 JCGM 101:2008, а також 2.37 ISO 3534-1] вхідної величини X_i . Цю стандартну невизначеність асоціюють з (відповідним) значенням оцінки x_i . Значення оцінки x_i розуміють як найкраще для цієї вхідної величини в тому сенсі, що $u^2(x_i)$ буде менше, ніж математичне очікування квадрата відхилення X_i від будь-якого іншого значення.

3.19 Принцип використання всієї доступної інформації для встановлення розподілу ймовірності, який характеризує величину, що належить до моделі, справедливий як для кожної вхідної величини X_i , так і для вихідної величини Y . В останньому випадку розподіл ймовірності визначають на основі функційної залежності (1) або (2) і відомих розподілів ймовірності для X_i . Цей спосіб отримання розподілу ймовірності для Y відомий як *поширення розподілів* [5.2 JCGM 101:2008].

3.20 Априорне знання про істинне значення вихідної величини Y також може бути відповідно використано. Так, для вимірювань на домашніх вагах у ванній кімнаті априорними будуть знання стосовно того, що маса людини на вагах позитивна, і що вимірюють масу саме людини, а не, наприклад, автомобіля. Урахування такої додаткової інформації може допомогти обґрунтовано вибрати розподіл ймовірності для Y з меншим стандартним відхиленням, що, відповідно, дасть меншу стандартну невизначеність, яку асоціюють зі значенням оцінки Y ([2], [13], [24]).

4. ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ ТА ПРИНЦИПИ

4.1 Основні поняття та принципи теорії ймовірності, яку покладено в основу концепції невизначеності вимірювання, описаної в розділі 3, наведено в JCGM 105:2008 [4].

4.2 Невизначеність вимірювання визначають як [2.26 JCGM 200 (VIM)] «невід'ємний параметр, що характеризує дисперсію значень, які приписують вимірюваній величині на основі використовуваної інформації».

Це визначення узгоджується з положеннями, викладеними в 3.8, а також у 3.17—3.20.

4.3 Під час обчислення невідомості використовують два подання розподілу ймовірності [3.1 JCGM 101:2008, а також 2.11 ISO 3534-1] випадкової величини X :

— через функцію розподілу [3.2 JCGM 101:2008, а також 2.7 ISO 3534-1], що дає для будь-якого значення її аргументу ймовірність того, що X менше або дорівнює цьому значенню;

— через функцію щільності ймовірності [3.3 JCGM 101:2008, а також 2.26 ISO 3534-1], що є похідною від функції розподілу.

4.4 Інформацію щодо кожної вхідної величини X_i в моделі вимірювань зазвичай подають як найкраще значення оцінки x_i й пов'язану з нею стандартну невідомість $u(x_i)$ (див. 3.18). Якщо для будь-якого i та j X_i та X_j пов'язані між собою (залежні), то відповідна інформація має охоплювати міру тісноти цього зв'язку, що подають через коваріацію [2.43 ISO 3534-1] або кореляцію випадкових величин. Якщо X_i та X_j не пов'язані між собою (незалежні), то відповідна коваріація дорівнюватиме нулю.

4.5 Оцінювання даних вимірювання в контексті моделі вимірювань (1) або (2) — це використання наявної інформації щодо вхідних величин $X_1, \dots, X_N$ для отримання пов'язаних з ними розподілів ймовірності та подальшого виведення розподілу ймовірності, що асоціюється з вихідною величиною Y . Останній розподіл, отже, можна розглядати як результат оцінювання даних вимірювання.

4.6 Інформацію щодо вхідної величини X_i в моделі вимірювань може бути отримано з повторних показів (оцінювання невідомості за типом A) [4.2 JCGM 100:2008 (GUM), а також 2.28 JCGM 200 (VIM)] чи з обґрунтованих тверджень або інформації на основі наявних даних щодо можливих значень цієї величини (оцінювання невідомості за типом B) [4.3 JCGM 100:2008 (GUM), а також 2.29 JCGM 200 (VIM)].

4.7 Під час оцінювання невідомості за типом A [2.28 JCGM 200 (VIM)] часто роблять припущення, що розподіл, який якнайкраще відповідає вхідній величині X в умовах заданих повторних незалежних показів, — це розподіл Гауса [2.50 ISO 3534-1]. У такому разі X характеризується математичним очікуванням, найкращою оцінкою якого є середнє арифметичне показів, і стандартним відхилом, що дорівнює стандартному відхилу середнього арифметичного. Якщо невідомість оцінюють за невеликою кількістю показів (що є прикладами величини, розподіленої за нормальним законом), то відповідним розподілом буде t -розподіл [2.53 ISO 3534-1]. На рисунку 1 показано щільність ймовірності для розподілу Гауса (суцільна чорна лінія) і t -розподіл з чотирма ступенями вільності (пунктирна червона лінія). Сказане вище не буде справедливим, якщо покази не можна розглядати як незалежні.

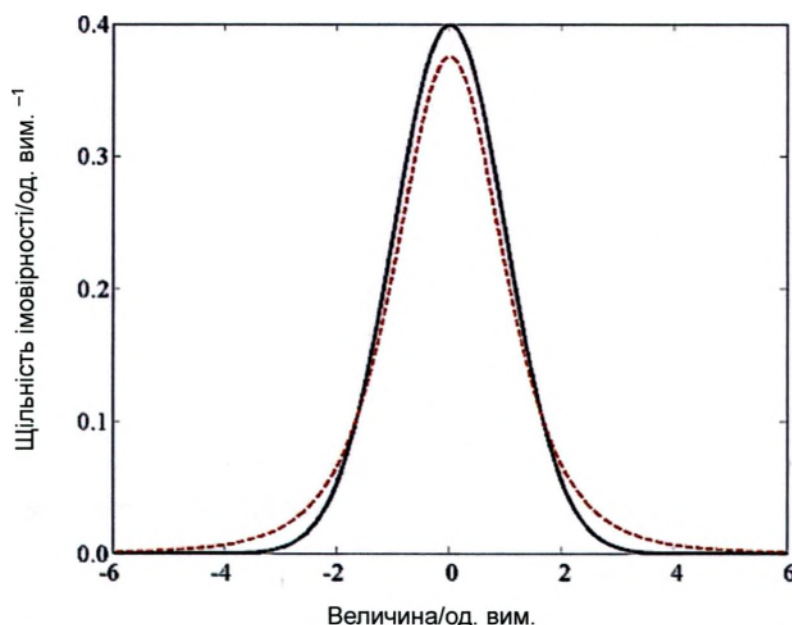


Рисунок 1 — Розподіл Гауса (суцільна чорна лінія) і t -розподіл з чотирма ступенями вільності (пунктирна червона лінія) («одиниця вимірювання» — будь-яка одиниця вимірювання)

4.8 Під час оцінювання невизначеності за типом В [2.29 JCGM 200 (VIM)] часто єдиною доступною інформацією є те, що X лежить у певному інтервалі $[a, b]$. У цьому разі інформацію щодо величини може бути формалізовано у вигляді прямокутного розподілу ймовірності [4.3.7 JCGM 100:2008 (GUM), а також 2.60 ISO 3534-1] з границями a та b (рисунок 2). Якби щодо цієї величини була доступна інша інформація, то розподіл ймовірності мав бути погоджено з цією наявною інформацією [26].

4.9 Після того, як складено модель вимірювання і вхідні величини $X_1, \dots, X_N$ описано через відповідні розподіли ймовірності, розподіл ймовірності для вимірюваної величини Y повністю визначено (див. також 3.19). Причому математичне очікування Y використовують як оцінку вимірюваної величини, а стандартний відхил — як стандартну невизначеність, що асоціюється з цією оцінкою.

4.10 На рисунку 3 наведено адитивну функцію вимірювання $Y = X_1 + X_2$ у разі, якщо X_1 та X_2 характеризуються (різними) прямокутними розподілами ймовірності. У цьому разі Y має симетричний трапецеїдний розподіл ймовірності.

4.11 Часто необхідно знати інтервал, що містить Y із заданою ймовірністю. Цей інтервал, що називається *інтервалом охоплення* [2.36 JCGM 200 (VIM)], може бути отримано з розподілу ймовірності для Y . Задану ймовірність називають *ймовірністю охоплення* [2.37 JCGM 200 (VIM)].

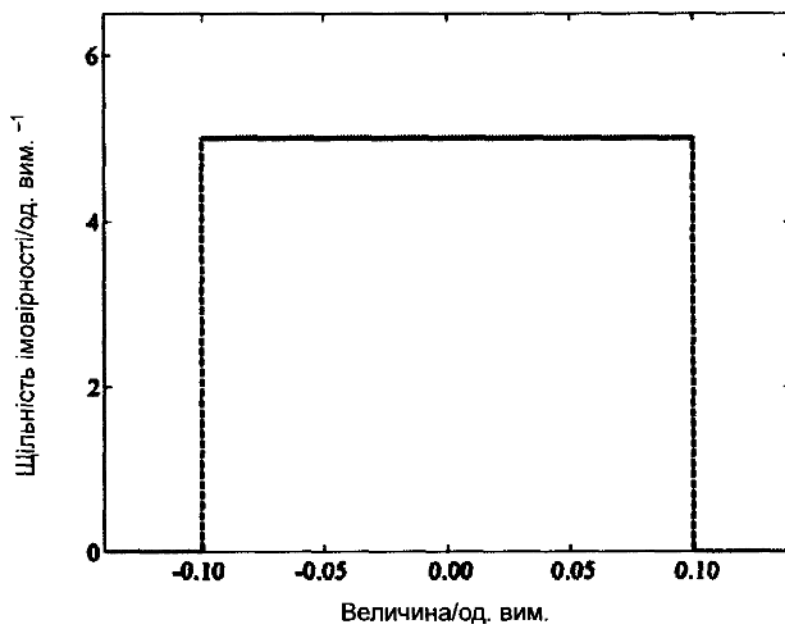


Рисунок 2 — Прямокутний розподіл на інтервалі $[-0.1; 0.1]$
(«одиниця вимірювання» — будь-яка одиниця вимірювання)

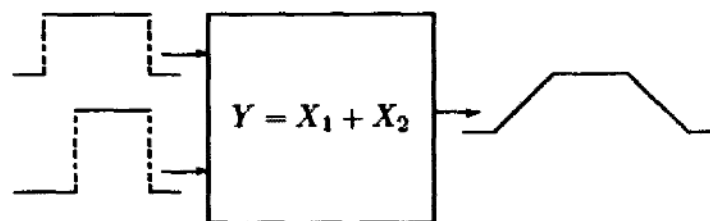


Рисунок 3 — Адитивна функція вимірювання з двома вхідними величинами X_1 та X_2 , що характеризуються прямокутними розподілами ймовірності

4.12 Для встановленої ймовірності охоплення є безліч інтервалів охоплення, серед яких розрізняють:

а) *ймовірнісний симетричний інтервал охоплення* [3.15 JCGM 101:2008], для якого ймовірності (що у сумі дорівнюють одиниці за вирахуванням ймовірності охоплення) розташування значення величини праворуч або ліворуч від інтервалу рівні;

б) *найменший інтервал охоплення* [3.16 JCGM 101:2008], довжина якого є найменшою з усіх інтервалів охоплення, що мають таку саму ймовірність охоплення.

4.13 На рисунку 4 показано усічений і масштабований розподіл Гауса (у вигляді спадної кривої) з граничними точками найменшого (суцільні вертикальні лінії) і ймовірного симетричного (пунктирні вертикальні лінії) 95-відсоткових інтервалів охоплення для величини, з якою пов'язано цей розподіл. Розподіл асиметричний, тому наведені два інтервали охоплення відрізняються один від одного (особливо помітна відмінність у граничних точках праворуч). Ліва гранична точка найменшого інтервалу охоплення точно збігається з нулем — найменшим можливим значенням для цієї величини. Для цього прикладу ймовірнісний симетричний інтервал охоплення на 15 % довший від найменшого інтервалу охоплення.

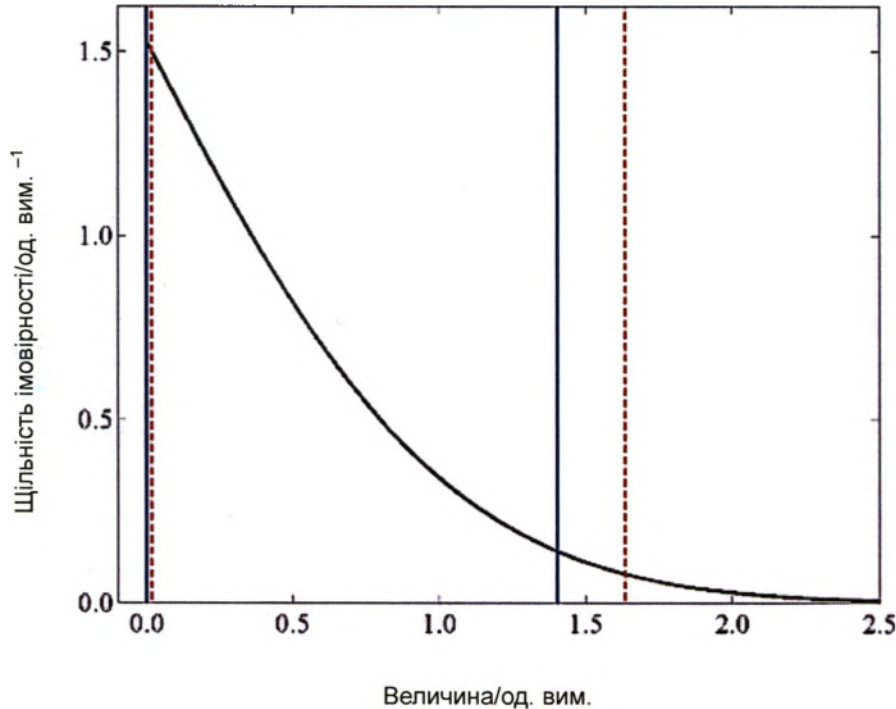


Рисунок 4 — Найменший 95-відсотковий інтервал охоплення (суцільні вертикальні лінії синього кольору — кінцеві точки) і ймовірнісний симетричний 95-відсотковий інтервал охоплення (пунктирні вертикальні лінії червоного кольору) величини, що характеризується усіченим масштабованим розподілом Гауса («одиниця вимірювання» — будь-яка одиниця вимірювання)

4.14 Коефіцієнти чутливості $c_1, \dots, c_N$ [5.1.3 JCGM 100:2008 (GUM)] показують, як на значення оцінки у величини Y впливатимуть невеликі зміни в значеннях оцінок $x_1, \dots, x_N$ вхідних величин $X_1, \dots, X_N$. Для функції вимірювання (1) c_i дорівнює частковій похідній першого порядку f відносно X_i у разі оцінки за $X_1 = x_1, X_2 = x_2$ тощо. Якщо функція вимірювання лінійна:

$$Y = c_1 X_1 + \dots + c_N X_N, \quad (3)$$

то за незалежних $X_1, \dots, X_N$ зміна значення x_i на $u(x_i)$ призведе до зміни значення y на $c_i u(x_i)$. Те саме буде справедливо в деякому наближенні для більшості моделей, описаних формулами (1) і (2) (див. 7.2.4). Відповідні значення членів $|c_i|u(x_i)$ дають змогу оцінити внесок кожної вхідної величини до стандартної невизначеності $u(y)$, пов'язаної з y .

4.15 Стандартну невизначеність, пов'язану зі значенням оцінки у вихідної величини Y , отримують підсумовуванням не самих значень $|c_i|u(x_i)$, а їхніх квадратів [5.1.3 JCGM 100:2008 (GUM)], тобто

$$u^2(y) = c_1^2 u^2(x_1) + \dots + c_N^2 u^2(x_N). \quad (4)$$

Вираз (4) буде справедливим у деякому наближенні для більшості моделей вимірювання, які визначають за формулами (1) та (2).

4.16 Якщо вхідні величини X_i взаємозалежні, то формулу (4) треба доповнити доданками, що містять коваріації [5.2.2 JCGM 100:2008 (GUM)], які можуть збільшити або зменшити значення $u(y)$.

4.17 Згідно з Резолюцією 10, прийнятою на 22-й CGPM (2003), «...символом десяткового роздільника має бути крапка на рядку або кома на рядку...». Для своїх англomовних документів JCGM ухвалив варіант «крапка на рядку».

5 ЕТАПИ ОЦІНЮВАННЯ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ

5.1 Основні етапи оцінювання невизначеності охоплюють формулювання та обчислення. Останнє охоплює поширення розподілів імовірності й отримання остаточного результату.

5.2 Етап формулювання (див. розділ 6) охоплює:

- a) визначення вихідної величини Y (вимірюваної величини);
- b) визначення вхідних величин, від яких залежить Y ;
- c) складання моделі вимірювання, що визначає співвідношення Y з вхідними величинами;
- d) присвоєння розподілів імовірності (нормального, прямокутного тощо) вхідним величинам (чи спільного розподілу ймовірності вхідним величинам, які не незалежні) на основі наявної інформації.

5.3 Етап обчислень (див. розділ 7) складається з поширення за цією моделлю розподілів імовірності для вхідних величин для отримання розподілу ймовірності для вихідної величини Y і використання цього розподілу для отримання:

- a) математичного очікування Y , яке приймають як значення оцінки у величини Y ;
- b) стандартного відхилення величини Y , який приймають як стандартну невизначеність $u(y)$, пов'язану з y [E.3.2 JCGM 100:2008 (GUM)];
- c) інтервалу охоплення, що містить Y із заданою ймовірністю охоплення.

6 ЕТАП ФОРМУЛЮВАННЯ: СКЛАДАННЯ МОДЕЛІ ВИМІРЮВАНЬ

6.1 Етап формулювання під час оцінювання невизначеності охоплює розроблення моделі вимірювань, врахування відповідних поправок та інших чинників, за необхідності. У деяких галузях вимірювань виконання дій за цим етапом може бути складним. Він також охоплює використання доступної інформації для опису вхідних величин моделі через розподіли ймовірності. У JCGM 103 [6] наведено настанову щодо розроблення й опрацювання моделі вимірювань. Присвоєння розподілів імовірності вхідним величинам моделі вимірювань розглянуто в розділі 6 JCGM 101:2008 та в JCGM 102 [5].

6.2 Спочатку складають модель, що пов'язує вихідну величину з вхідними величинами. У деяких випадках вихідних величин може бути більше ніж одна (див. 6.5). Модель формують на основі теоретичних та/або емпіричних знань, що загалом залежить від метрологічної дисципліни, електричних параметрів, лінійних розмірів, температури, маси). Потім модель доповнюють іншими вхідними величинами, за допомогою яких описують ефекти впливу на результат вимірювання. У JCGM 103 [6] наведено настанову щодо врахування цих додаткових вхідних величин, які можна класифікувати як випадкові та систематичні ефекти.

6.3 Клас моделей, розглянутих у JCGM 103, ширший, ніж в GUM, і охоплює класифікацію за такими ознаками:

- a) величини, що належать до моделі: дійсні або комплексні;
- b) вид моделі: у вигляді функції вимірювань (формула (1)) чи в загальному вигляді (формула (2));
- c) кількість вихідних величин: одна чи більше (див. 6.5).

Комплексні величини, зазначені в категорії a), використовують в основному в вимірюваннях електричних величин, в акустиці та оптиці. Для функції вимірювань, зазначеної в категорії b), вихідну величину подають безпосередньо у вигляді формули, до якої належать величини, тоді як модель вимірювання у загальному вигляді — це рівняння, яке необхідно розв'язати відносно вихідної величини (див. 6.5).

6.4 Різноманітні варіанти застосування JCGM 103 проілюстровано на прикладах з різних галузей метрології. Крім того, в цьому стандарті наведено настанову щодо різних аспектів числового аналізування, пов'язаного з цими прикладами. Стандарт також охоплює розгляд питань заміни змінних для усунення або зменшення кореляції величин, що належать до моделі.

6.5 У GUM і JCGM 101:2008 розглянуто в основному моделі вимірювань у вигляді функцій вимірювання лише з однією вихідною величиною Y . Проте є безліч вимірювальних задач, у яких необхідно розглядати кілька вихідних величин, залежних від одних і тих самих вхідних величин. Ці вихідні величини позначено $Y_1, \dots, Y_m$. Приклади охоплюють випадки, коли: a) вихідна величина комплексна й подана у вигляді дійсної та уявної частин (чи амплітуди й фази); b) вихідні величини є параметрами калібрувальної характеристики; c) вихідні величини описують геометрію поверхні об'єкта. Хоча подібні питання розглядають у GUM під час розгляду прикладів одночасного вимірювання активного й реактивного опору [розділ H.2 JCGM 100:2008 (GUM)], а також калібрування термометра [розділ H.3 JCGM 100:2008 (GUM)], у GUM немає їх спеціального аналізування.

6.6 Етап формулювання вимірювальної задачі під час оцінювання невизначеності для випадку з більше ніж однією вимірюваною величиною мало відрізняється від аналогічного етапу для моделі вимірювання з єдиною вимірюваною величиною. Він охоплює розроблення моделі та присвоєння розподілів імовірності вхідним величинам на основі доступної інформації. Як і для моделі вимірювань з однією вихідною величиною, є оцінка кожної вхідної величини та стандартна невизначеність, пов'язана з цією оцінкою (а також можливі коваріації, пов'язані з парами оцінок). Проте оскільки в загальному випадку кожна вихідна величина залежить від усіх вхідних величин, то додатково до визначення оцінок цих вихідних величин і пов'язаних з ними стандартних невизначеностей необхідно оцінювати коваріації, що асоціюються з усіма парами вихідних оцінок.

6.7 Еквівалентом функції вимірювання (1) для довільного числа m вихідних величин є такі формули:

$$Y_1 = f_1(X_1, \dots, X_N), Y_2 = f_2(X_1, \dots, X_N), \dots, Y_m = f_m(X_1, \dots, X_N) \quad (5)$$

для m функцій $f_1, \dots, f_m$. На рисунку 5 зображено таку функцію вимірювання.

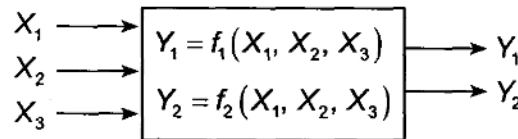


Рисунок 5 — Функція вимірювання з трьома вхідними величинами X_1 , X_2 та X_3 , а також двома вихідними величинами Y_1 та Y_2

6.8 У JCGM 103 розглянуто також моделі багатоетапного вимірювання, у яких вихідні величини попередніх етапів стають вхідними величинами на подальших етапах. Типовим прикладом моделі багатоетапного вимірювання може слугувати побудова й застосування калібрувальної характеристики [2.39 JCGM 200 (VIM)] (див. рисунок 6):

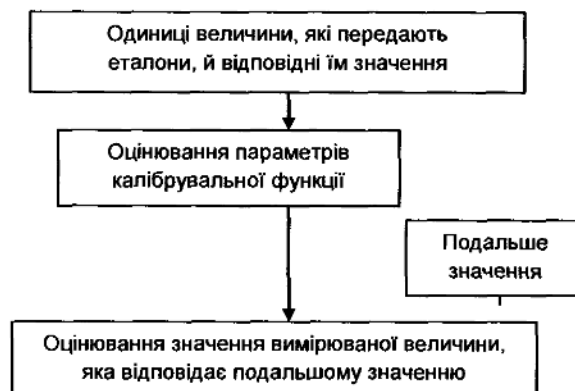


Рисунок 6 — Модель двоступінчастого вимірювання, що охоплює побудову калібрувальної характеристики та застосування її до показів вимірювальної системи

а) параметри калібрувальної характеристики оцінюють, порівнюючи передані від еталонів розміри одиниці вимірювання з відповідними значеннями показів вимірювальної системи. Стандартні невизначеності, пов'язані з отриманими значеннями вимірюваної величини та значеннями показів, є джерелами стандартних невизначеностей значень оцінок параметрів калібрувальної характеристики й, у загальному випадку, коваріацій оцінок цих параметрів;

б) отриманий за допомогою вимірювальної системи показ за калібрувальною характеристикою перетворюють на значення вимірюваної величини. Для цього використовують функцію, зворотну калібрувальній характеристиці. Стандартні невизначеності та коваріації, що асоціюються зі значеннями оцінок параметрів калібрувальної характеристики, разом зі стандартною невизначеністю, що асоціюється з відповідним значенням показів, є джерелами для обчислення стандартної невизначеності, що асоціюється з отриманим значенням вимірюваної величини.

7 ЕТАП ОБЧИСЛЕННЯ (ПОШИРЕННЯ ТА УЗАГАЛЬНЕННЯ) НЕВИЗНАЧЕНОСТІ

7.1 Загальні положення

7.1.1 Етап поширення оцінки невизначеності відображає поширення розподілу [5.2 JCGM 101:2008], для якого є різні підходи, а саме:

а) у вигляді використовуваного в GUM закону трансформації невизначеностей з описом випадкової змінної, що асоціюється з вихідною величиною Y , розподілом Гауса або t -розподілом (див. 7.2);
 б) у вигляді аналітичного виведення форми розподілу ймовірності для Y методами математичного аналізування (див. 7.3);

с) за допомогою методу Монте-Карло, в якому наближену функцію розподілу для Y отримують числовим моделюванням, генеруючи випадкові значення з розподілів ймовірності для вхідних величин і перетворюючи їх на значення вимірюваної величини за допомогою моделі вимірювань (див. 7.4).

7.1.2 Для будь-якої проблеми щодо оцінювання невизначеності вимірювань може бути використано підходи а), б) чи с) (чи будь-який інший підхід), причому підхід а) є здебільшого наближенням, б) — точним, а с) дає рішення з числовою точністю, яку можна контролювати.

7.1.3 Застосування підходів а) та с) до функцій вимірювання для загальновживаних моделей вимірювання з будь-яким числом вхідних величин розглянуто в 7.5.

7.2 Основи невизначеності згідно з GUM

7.2.1 Основи невизначеності згідно з GUM [3.4.8, 5.1 JCGM 100:2008 (GUM)] (схематично показано на рисунку 7) використовують:

- а) найкращі значення оцінювань x_i вхідних величин X_i ;
- б) стандартні невизначеності $u(x_i)$, пов'язані з x_i ;
- с) коефіцієнти чутливості c_i (див. 4.14).

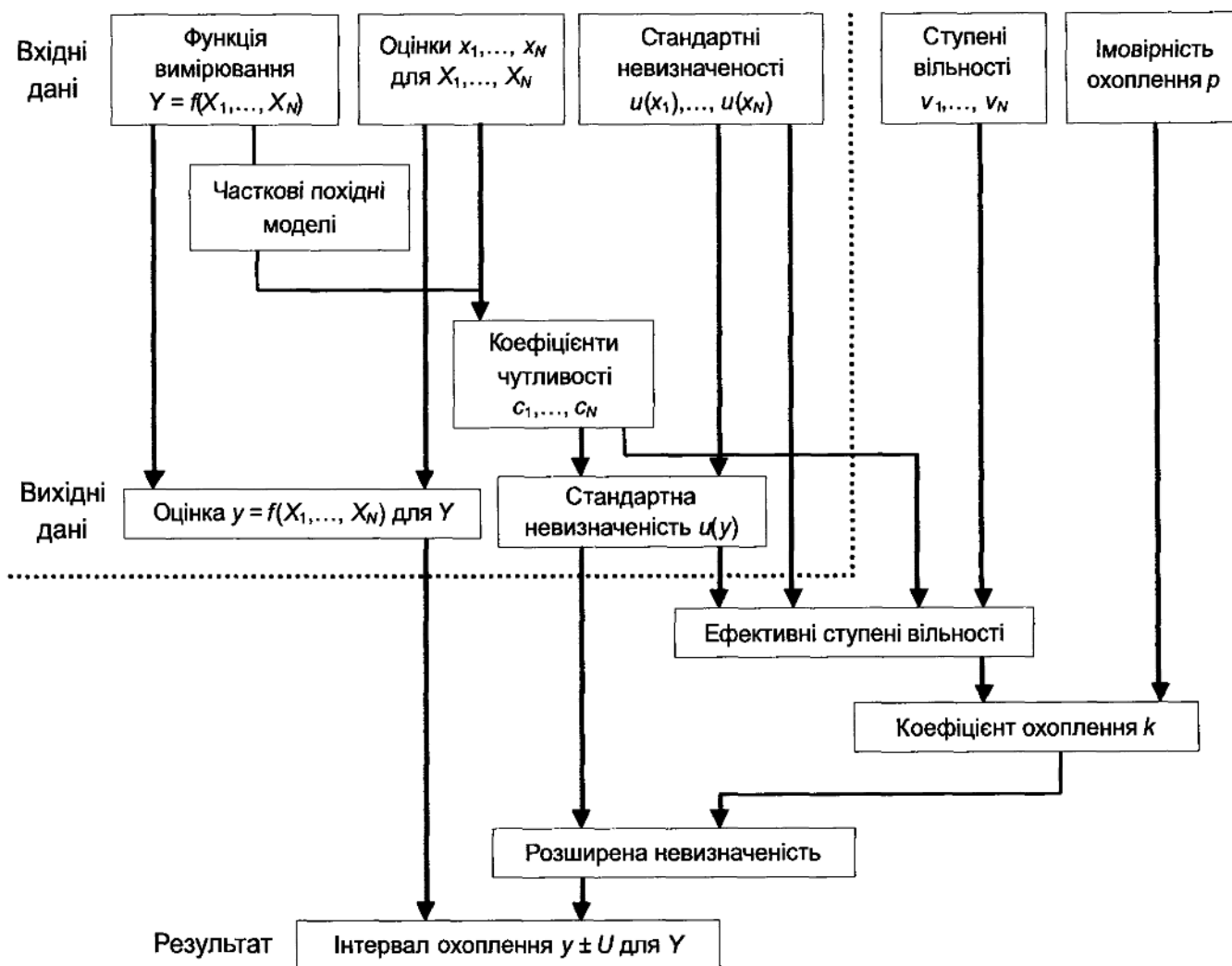


Рисунок 7 — Спосіб обчислення невизначеності згідно з GUM (ліва частина рисунка, виділена пунктирною лінією, стосується отримання значення оцінки y та пов'язаної з нею стандартної невизначеності $u(y)$, інша — отримання інтервалу охоплення для Y)

7.2.2 Спосіб [5.2 JCGM 100:2008 (GUM)], наведений у 7.2.1, застосовують у разі, якщо вхідні величини взаємозалежні (на рисунку 7 не показано). Якщо випадкова величина, що асоціюється з вихідною величиною Y , має розподіл Гауса, то це дає можливість побудувати інтервал охоплення для Y із заданою ймовірністю охоплення [G.2 JCGM 100:2008 (GUM)]. Якщо кожному $u(x_i)$ відповідає кінцева кількість ступенів вільності [2.54 ISO 3534-1:2006], то за ними можна обчислити кількість ефективних ступенів вільності для $u(y)$, а вихідну величину Y асоціювати з t -розподілом.

7.2.3 Для багатьох вимірювальних ситуацій спосіб обчислення невизначеності згідно з GUM [розділ 5 JCGM 100:2008 (GUM)] дає змогу отримати достовірні результати. Якщо функція вимірювання лінійна відносно вхідних величин і ці величини розподілено за нормальним законом, то спосіб оцінювання невизначеності згідно з GUM дає точні результати [5.7 JCGM 101:2008]. Але навіть якщо вказаних умов не дотримуються, цей спосіб може досить добре працювати на практиці [5.8 JCGM 101:2008].

7.2.4 Проте є вимірювальні ситуації, за яких спосіб оцінювання невизначеності згідно з GUM не можна вважати задовільним. Так буде зокрема й якщо:

- a) функція вимірювання нелінійна;
- b) розподіли ймовірності для вхідних величин асиметричні;
- c) $|c_1|u(x_1), \dots, |c_N|u(x_N)$, що здійснюють вклад у невизначеність (див. 4.14), не є величинами приблизно одного порядку [JCGM 100:2008 (GUM), G.2.2];
- d) розподіл ймовірності для вихідної величини є або асиметричним, або не за Гаусом, або належить до t -розподілу.

Іноді заздалегідь важко вирішити, чи дає можливість ця вимірювальна задача застосовувати спосіб оцінювання невизначеності згідно з GUM.

7.2.5 Використання способу оцінювання невизначеності згідно з GUM ускладнюється в разі знаходження часткових похідних (або їх числових наближень) для складної моделі вимірювань, що необхідно для застосування закону трансформації невизначеностей, особливо, якщо необхідно обчислювати похідні вищих порядків [розділ 5 JCGM 100:2008 (GUM)]. У таких випадках доречніший та зручніший для застосування метод Монте-Карло як спосіб поширення розподілів (див. 7.4).

7.3 Аналітичні методи

7.3.1 Аналітичні методи, за допомогою яких може бути отримано алгебраїчну формулу для розподілу ймовірності вихідної величини, не містять жодних наближень, але їх може бути застосовано лише в порівняно простих випадках. У [8], [12] показано можливості застосування таких методів. Деякі випадки, які може бути оброблено так для загальної кількості N вхідних величин, є лінійними вимірювальними функціями (формула (3)), де розподіли ймовірностей для всіх вхідних величин здійснюють за Гаусом або всі є прямокутними з однаковою шириною. Приклад для двох вхідних величин ($N = 2$) з прямокутними розподілами ймовірності, які дають трапецеїдний розподіл вихідної величини [10], показано на рисунку 3.

7.3.2 Часто аналітичний висновок можливий для випадків, коли модель вимірювання охоплює тільки одну вхідну величину ($N = 1$) [25, с. 57—61]. Такі випадки виникають у разі перетворення одиниць вимірювання, наприклад з лінійних на логарифмічні [10, с. 95—98].

7.3.3 Перевага алгебраїчного розв'язання полягає у забезпеченні розуміння через відображення залежностей ймовірності для вихідної величини від параметрів розподілів ймовірності для вхідних величин.

7.4 Метод Монте-Карло

7.4.1 JCGM 101:2008 надає детальну інформацію щодо методу Монте-Карло як способу поширення розподілів [5.9 JCGM 101:2008]. Для методу Монте-Карло є менше обмежень щодо застосування, ніж для способу оцінювання невизначеності згідно з GUM [5.10 JCGM 101:2008]. Схематично метод відображено на рисунку 8. У JCGM 101:2008 наведено приклади порівняння методу Монте-Карло зі способом оцінювання невизначеності згідно з GUM [розділ 9 JCGM 101:2008].

7.4.2 JCGM 101:2008 установлює адаптивну процедуру для методу Монте-Карло, в якій кількість випробувань визначається автоматично з використанням міри збіжності всього процесу в цілому [7.9 JCGM 101:2008].

7.4.3 У JCGM 101:2008 показано, як метод Монте-Карло може бути застосовано для того, щоб вирішити, чи прийнятне застосування способу оцінювання невизначеності згідно з GUM для кожного конкретного випадку [розділ 8 JCGM 101:2008].

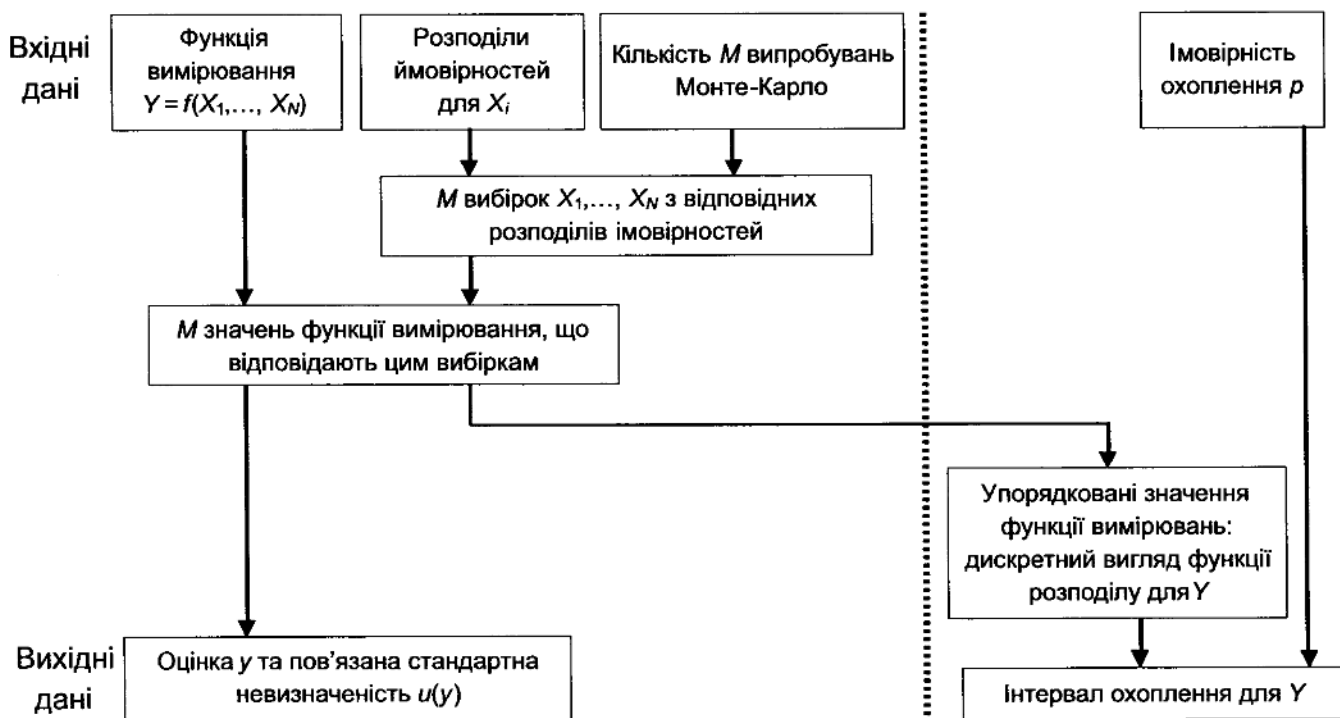


Рисунок 8 — Оцінювання невизначеності методом Монте-Карло (ліва частина рисунка, виділена пунктирною лінією, стосується отримання значення оцінки y і пов'язаної з нею стандартної невизначеності $u(y)$, інша — отримання інтервалу охоплення для Y)

7.5 Моделі вимірювання з довільною кількістю вихідних величин

7.5.1 Оцінювання невизначеностей та коваріацій, пов'язаних з оцінками вихідних величин для моделей вимірювань з довільною кількістю вихідних величин, встановлених як згідно з GUM, так і методом Монте-Карло, як відображено в JCGM 101:2008, потребує відповідного узагальнення. Суть такої модифікації відображено в GUM низкою прикладів [F.1.2.3 JCGM 100:2008 (GUM)].

7.5.2 У JCGM 102 [5] встановлено, що закон розподілу невизначеностей, який становить основний зміст способу оцінювання невизначеності згідно з GUM для моделі вимірювання з однією вихідною величиною, може бути коротко подано в матричній формі. Перевага матричного подання полягає в тому, що його можна використовувати для програмної реалізації методу, а також за допомогою його легко узагальнити загальніші моделі вимірювання.

7.5.3 Зазначене узагальнення наведено в JCGM 102 для функції вимірювання з будь-якою кількістю вихідних величин. Узагальнення довільної кількості вихідних величин у загальній моделі вимірювання (див. 3.16) також наведено в JCGM 102.

7.5.4 У JCGM 102 також розглянуто застосування для моделі вимірювання з довільною кількістю вихідних величин методу Монте-Карло. Наведено дискретний розподіл ймовірності для вихідних величин. Вирази надано для оцінок вихідних величин, стандартних невизначеностей, пов'язаних з цими оцінками, а також коваріацій, що пов'язані з парами цих оцінок.

7.5.5 Крім отримання значень оцінок вихідних величин разом із відповідними стандартними невизначеностями та коваріаціями, може знадобитися позначення області з вихідними величинами із заданою ймовірністю (охоплення). Природньо розглядати розширення до областей пробалістично-симетричного інтервалу охоплення та найкоротший інтервал охоплення. Проте немає природного аналога пробалістично-симетричного інтервалу охоплення у формі області охоплення, тоді як є найкоротший інтервал охоплення. Визначення найменшої ділянки покриття — зазвичай складне завдання.

7.5.6 У деяких випадках доцільно вказувати *наближену* область охоплення, що має просту геометричну форму. З цієї точки зору розглянуто дві форми області охоплення. Одна з форм — результат опису вихідних величин за допомогою спільного розподілу за Гаусом, наприклад на основі використання центральної граничної теореми [G.2 JCGM 100:2008 (GUM)], у цьому разі найменша область охоплення матиме вигляд багатовимірної еліпсоїда. Інша форма — багатовимірний паралелепіпед області охоплення. У JCGM 102 наведено способи щодо отримання цих форм.

8 НЕВИЗНАЧЕНІСТЬ ВИМІРЮВАНЬ ЗА ОЦІНЮВАННЯ ВІДПОВІДНОСТІ

8.1 Оцінювання відповідності — важливий аспект контролю якості виробництва, законодавчої метрології, забезпечення охорони здоров'я та безпеки. Так, під час контролювання якості деталей на виробництві приймають рішення щодо відповідності деталей технічним умовам. Аналогічні питання виникають під час перевіряння відповідності законодавчо встановленим границям (стосовно викидів, рівня радіації, вмісту хімічних речовин, контролю допінгу). Настанову наведено у JCGM 106 [7]. Див. також [18].

8.2 Вимірювання є невід'ємною частиною оцінювання відповідності, коли необхідно вирішити, чи відповідає вихідна (вимірювана) величина встановленій вимозі. Для окремої величини така вимога зазвичай набуває вигляду меж, які визначають інтервал допустимих значень величини. Якщо немає невизначеності, отримане значення вимірюваної величини, що міститься в цих межах, вважають таким, яке відповідає вимогам, в іншому разі — не відповідає. Наявність невизначеності вимірювання впливає на процедуру контролювання та робить необхідним встановлення балансу ризиків виробника і споживача.

8.3 Можливі значення величини Y показано поширенням імовірності. Імовірність того, що Y відповідає специфікації, може бути обчислено з урахуванням цього поширення ймовірності та обмежень специфікації.

8.4 Через неповне знання величини Y (як додано в поширенні ймовірності) є ризик помилкового рішення щодо відповідності специфікації. Такі помилкові рішення мають два типи: коли значення величини визнано таким, яке відповідає вимогам, але насправді ним не є, і коли значення величини визнано таким, яке не відповідає, але насправді задовольняє встановлені вимоги. Пов'язані з цим ризики належать, відповідно, до *ризиків споживача* й *ризиків виробника* (див. JCGM 106).

8.5 Ризики помилкового рішення щодо приймання або відхилення через відповідність або невідповідність встановленим вимогам можна зрівноважити, визначаючи *інтервал приймання* для отриманих значень вимірюваної величини так, щоб мінімізувати втрати, пов'язані з помилковими рішеннями [19]. У JCGM 106 розглянуто проблему обчислення імовірності відповідності помилкових рішень та можливостей зазначених двох типів для заданих розподілів ймовірності й заданих границь інтервалу приймання. Вибір границь інтервалу приймання залежить від наслідків прийняття помилкових рішень.

8.6 Хоча розподіл імовірності у 8.3 та 8.5 загальний, розгляд, наведений у JCGM 106, застосовують для важливіших випадків на практиці, а саме, коли розподіл імовірності здійснюють за Гаусом.

9 ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ НАЙМЕНШИХ КВАДРАТІВ

9.1 Настанова з застосування методу найменших квадратів (відомого також як добирання методом найменших квадратів) для вирішення проблем щодо оцінювання даних у метрології, наведених у JCGM 107 [3]. У таких проблемах часто використовують деяке теоретичне співвідношення між незалежною й залежною змінними. Це співвідношення становить основу для добирання параметрів або кривої. Вхідні величини у відповідній моделі вимірювань — це залежні й незалежні змінні, для яких отримано дані вимірювань. Вихідні величини — це величини, які надають необхідні параметри. Спосіб, за допомогою якого вихідні величини отримують з вхідних величин за допомогою методу найменших квадратів, визначає модель вимірювання.

9.2 Стосовно термінології щодо калібрувань (див. 6.8) значення вимірюваної величини незалежної змінної здебільшого набувають від еталона вимірювання. Значення залежної змінної буде величиною, отриманою вимірювальною системою для відповідного значення незалежної змінної. У контексті кривої, яка охоплює калібрування як особливий випадок, процедура добирання, яку використано в JCGM 107, є узагальненою версією звичайної процедури найменших квадратів.

9.3 Завдання полягає в тому, щоб оцінити параметри (а іноді й кількість цих параметрів) за даними, що є набором пар з отриманого значення вимірюваної величини й відповідного відображення. Ці пари разом з пов'язаними стандартними невизначеностями й, коли доречно, коваріаціями, становлять початкові дані для процедури добирання.

9.4 Типові проблеми вимірювання, до яких можна застосовувати JCGM 107, охоплюють: а) добирання лінійних та нелінійних проблем кривої, охоплюючи випадок неточно відомих значень незалежної змінної; та б) вибирання моделей для оцінювання параметрів фізичного процесу. Застосування JCGM не обмежено в суворому порядку завданнями добирання кривої. Цю настанову також можна вико-

ристати для оброблення даних, наприклад у проблемах згортки [21], узгодження фундаментальних констант [22] та оцінювання цих ключових звірень [9].

9.5 Для проблем типу а), наведених у 9.4, коли метод найменших квадратів використовували для оцінювання параметрів функції калібрування та оцінювання стандартних невизначеностей і коваріацій, вимірювальну систему буде послідовно використано для вимірювання. Оцінювання параметрів функції калібрування разом з конкретним значенням показників буде використано потім для оцінювання відповідної величини. Стандартну невизначеність, пов'язану з цим оцінюванням, визначають за допомогою стандартних невизначеностей та коваріацій, пов'язаних з параметрами оцінки та стандартною невизначеністю, пов'язаною зі значенням показника.

9.6 У JCGM 107 особливо наголошено, що структуру невизначеності треба повністю брати до уваги під час формулювання та вирішення проблеми найменших квадратів. Структура невизначеності належить до стандартних невизначеностей, пов'язаних з вимірними числовими значеннями та значеннями показників, а також коваріаціями пар цих значень.

9.7 Для проблем типу b), відображених у 9.4, або з точки зору визначення параметрів у проблемах типу а), проблема добирання нечасто є проблемою лише в одній вихідній величині. Скоріше проблема стосується кількох вихідних величин, у яких математичне формулювання може бути зручно подано в рамках матриць. У JCGM 107 широко використано матричний формалізм, який добре адаптується до числового розв'язку з використанням комп'ютера, як це вимагають на практиці (див. також 7.5).

ДОДАТОК А (довідковий)

СКОРОЧЕННЯ

У таблиці А.1 наведено використані в цьому стандарті скорочення.

Таблиця А.1 — Скорочення

Скорочення	Розшифрування
BIPM	Міжнародне бюро мір та ваг
GUM	Настанова щодо подання невизначеності у вимірюванні
IEC	Міжнародна електротехнічна комісія
IFCC	Міжнародна федерація клінічної хімії і лабораторної медицини
ILAC	Міжнародне співробітництво з акредитації лабораторій
ISO	Міжнародна організація зі стандартизації
IUPAC	Міжнародний союз теоретичної та прикладної хімії
IUPAP	Міжнародний союз теоретичної та прикладної фізики
JCGM	Об'єднаний комітет з настанов у галузі метрології
MCM	Метод Монте-Карло
OIML	Міжнародна організація законодавчої метрології
TAG4	Технічна консультативна група з метрології ISO (ISO/TAG4)
VIM	Міжнародний словник з метрології. Основні й загальні поняття та пов'язані з ними терміни

АБЕТКОВИЙ ПОКАЖЧИК АНГЛІЙСЬКИХ ТЕРМІНІВ

A

acceptance	8.5
acceptance interval	8.5
analytic method	7.1.1, 7.3
available knowledge	3.19, 5.2, 6.6
average	3.3

C

calculation see stages of uncertainty evaluation	
calibration	3.9, 9.2
calibration function	6.5, 6.8
inverse	6.8
parameter	6.8, 9.7
central limit theorem	7.5.6
conformity	
assessment	8, 8.1, 8.2
specification	8.3, 8.4
convolution	9.4
correction associated uncertainty	3.11
correlation	4.4
covariance	4.4, 4.16, 6.6, 6.8, 7.5.1, 7.5.4, 7.5.5, 9.3, 9.5, 9.6
coverage interval	4.11, 7.2.2
probabilistically symmetric	4.12, 7.5.5
shortest	4.12, 7.5.5
coverage probability	4.11, 4.12, 7.2.2, 7.5.5
coverage region	7.5.5
approximate	7.5.6
hyper-rectangular	7.5.6
smallest	7.5.5, 7.5.6
curve fitting	9.1, 9.2, 9.4

D

data evaluation	9.1
degrees of belief	3.8
degrees of freedom	7.2.2
effective	7.2.2
design specification	8.1
dispersion	3.3

E

error quantity	
random	3.5
systematic	3.4, 3.5
error value	
random	3.6
systematic	3.4, 3.6, 3.11
estimate	3.3, 4.9, 6.6, 6.8, 7.2.1, 7.5.1, 7.5.4, 7.5.5
best	3.18, 4.4, 7.2.1

evaluation of uncertainty	
Type A	4.6, 4.7
Type B	4.6, 4.8
expectation	3.18, 4.9
F	
formulation see stages of uncertainty evaluation	
fundamental constant	9.4
G	
GUM uncertainty framework	7.1.1, 7.2, 7.2.3—7.2.5, 7.4.1, 7.5.1, 7.5.2
compared with Monte Carlo method	7.4.1
conditions on use	7.2.3, 7.2.4
validation using MCM	7.4.3
H	
health and safety	8.1
hyper-ellipsoid	7.5.6
I	
incomplete knowledge	8.4
indication quantity	3.2, 4.7
indication values	3.2, 6.8, 9.2, 9.3, 9.5, 9.6
not obtained independently	4.7
repeated	4.6
small number	4.7
industrial inspection	8.1
K	
key comparison	9.4
L	
law of propagation of uncertainty	7.1.1, 7.5.2
higher-order terms	7.2.5
least squares	9, 9.5, 9.6
adjustment	9.1, 9.2
legal metrology	8.1
M	
matrix form	7.5.2, 9.7
measurand	3.1, 3.6, 5.2, 8.2
measurement bias	3.5
measurement function	3.15, 4.14
additive	4.10
linear	4.14, 7.2.3, 7.3.1
non-linear	7.2.4
measurement model	3.10, 3.14, 3.15, 4.14, 5.2, 6.6, 7.5.1, 7.5.2
complicated	7.2.5
evaluation	7.1.1
general form	3.16, 7.1.3
multistage	6.8
parameter adjustment	9.1, 9.3

with any number of output quantities	6.6, 7.5, 7.5.3, 7.5.4
measurement standard	6.8, 9.2
measurement uncertainty	3.6, 3.8, 4.2, 8.2, 9.6
measurement units, transformation	7.3.2
measuring system	3.2, 3.4, 9.2, 9.5
mistaken decision	8.4, 8.5
Monte Carlo method	7.1.1, 7.2.5, 7.4, 7.5.1, 7.5.4
adaptive	7.4.2
comparison with the GUM uncertainty frame-work	7.4.1
conditions on use	7.4.1
examples	7.4.1
number of trials	7.4.2
N	
numerical solution	9.7
P	
parameter	
calibration function	9.5
estimation	9.4
partial derivative	4.14, 7.2.5
physical constant	3.13
prior knowledge	3.20
probability	3.8, 8.3
conformity	8.5
probability distribution	3.17, 3.18, 4.3, 5.2, 6.6, 7.1.1, 7.2.2—7.2.4, 7.3, 8.3—8.6
<i>t</i>	4.7, 7.1.1, 7.2.2
assigned to input quantities	6.1
asymmetric	4.13, 7.2.4
discrete representation	7.5.4
distribution function	4.3, 7.1.1
Gaussian	4.7, 5.2, 7.1.1, 7.2.2, 7.2.3, 7.3.1, 8.6
joint	3.17
joint Gaussian	7.5.6
probability density function	4.3
rectangular	4.8, 4.10, 7.3.1
trapezoidal	4.10, 7.3.1
propagation	5.1
of distributions	3.19, 7.1.1, 7.2.5, 7.4.1
Q	
quality control	8.1
quantity	8.2, 8.4
dependent	4.4, 4.16, 7.2.2
independent	4.14
input	3.14, 3.15, 5.2, 6.6, 6.8, 7.1.1, 7.2.3, 7.3, 9.1
output	3.14, 3.15, 5.2, 6.6, 6.8, 7.2.1, 7.2.4, 7.3, 7.5.1, 7.5.2, 7.5.4, 7.5.5, 8.2, 9.1, 9.7
possible values	8.3
time-dependent	3.12
quantity value	6.8
interval of permissible	8.2

measured	3.2, 6.8, 8.2, 8.5, 9.2, 9.3, 9.6
conforming	8.2
non-conforming	8.2
true	3.3, 8.1
R	
random variable	3.17
regulation	8.1
rejection	8.5
risk	8.4
balance of	8.2
consumer	8.4
producer	8.4
S	
scientific judgement	4.6
sensitivity coefficient	4.14, 7.2.1
software implementation	7.5.2
specification limits	8.2, 8.3, 8.5
specified interval	4.8
specified requirement	8.2
stages of uncertainty evaluation	
calculation	5.1, 7
formulation	5.1, 6
standard deviation	3.18, 4.7, 4.9
standard uncertainty	3.18, 4.4, 4.9, 4.14, 6.6, 6.8, 7.2.1, 7.5.4, 7.5.5, 9.3, 9.5, 9.6
stipulated limits	8.1
summarizing	5.1
T	
terms combined in quadrature	4.15
true value	3.17
U	
uncertainty evaluation	6.6
problem	7.1.2
stages	5
underlying relationship	9.1
V	
variable	
dependent	9.1, 9.2
measured values	9.1
independent	9.1, 9.2, 9.4
measured values	9.1

ДОДАТОК ZZ
(довідковий)**ВІДПОВІДНІ НАСТАНОВИ ISO/IEC ЩОДО НАСТАНОВЧИХ ДОКУМЕНТІВ JCGM,
ДЛЯ ЯКИХ У ТЕКСТІ НЕ НАВЕДЕНО ЕКВІВАЛЕНТІВ**

На момент публікації ISO/IEC Guide 98-1:2009 видання наведених нижче документів були чинними.

Таблиця ZZ

Документ JCGM	Настанова ISO/IEC
1	2
JCGM 100	ISO/IEC Guide 98-3:2008 Невизначеність вимірювання. Частина 3. Настанова щодо подання невизначеності у вимірюванні (GUM:1995)
JCGM 101	ISO/IEC Guide 98-3:2008/Дод. 1:2008 Невизначеність вимірювання. Частина 3. Настанова щодо подання невизначеності у вимірюванні (GUM:1995). Додаток 1. Поширення розподілів методом Монте-Карло
JCGM 102	ISO/IEC Guide 98-3:2008/Дод. 2 ^a Невизначеність вимірювання. Частина 3. Настанова щодо подання невизначеності у вимірюванні (GUM:1995). Додаток 2. Моделі з довільною кількістю вихідних величин
JCGM 103	ISO/IEC Guide 98-3:2008/Дод. 3 ^a Невизначеність вимірювання. Частина 3. Настанова щодо подання невизначеності у вимірюванні (GUM:1995). Додаток 3. Моделювання
JCGM 104	ISO/IEC Guide 98-1:2009 Невизначеність вимірювання. Частина 1. Вступ до подання невизначеності у вимірюванні
JCGM 105	ISO/IEC Guide 98-2 ^a Невизначеність вимірювання. Частина 2. Поняття та основні принципи
JCGM 106	ISO/IEC Guide 98-4 ^a Невизначеність вимірювання. Частина 4. Роль невизначеності вимірювання в оцінці відповідності
JCGM 107	ISO/IEC Guide 98-5 ^a Невизначеність вимірювання. Частина 5. Застосування методу найменших квадратів
JCGM 200	ISO/IEC Guide 99:2007 Міжнародний словник з метрології. Основні й загальні поняття та пов'язані з ними терміни (VIM)
^a Заплановано.	

БІБЛІОГРАФІЯ

- 1 Bell S. Measurement Good Practice Guide No. 11. A Beginner's Guide to Uncertainty of Measurement. Tech. rep., National Physical Laboratory, 1999 (3.2)
- 2 Bernardo J., and Smith A. Bayesian Theory. John Wiley & Sons, New York, USA, 2000 (3.20)
- 3 BIPM, IEC, IFCC, ILAC, ISO, IUPAC, IUPAP and OIML. Evaluation of measurement data — Applications of the least-squares method. Joint Committee for Guides in Metrology, JCGM 107, in preparation (1; 9.1)
- 4 BIPM, IEC, IFCC, ILAC, ISO, IUPAC, IUPAP and OIML. Evaluation of measurement data — Concepts and basic principles. Joint Committee for Guides in Metrology, JCGM 105, in preparation (1; 4.1)
- 5 BIPM, IEC, IFCC, ILAC, ISO, IUPAC, IUPAP and OIML. Evaluation of measurement data — Supplement 2 to the «Guide to the expression of uncertainty in measurement» — Models with any number of output quantities. Joint Committee for Guides in Metrology, JCGM 102, in preparation (1; 6.1; 5.2)
- 6 BIPM, IEC, IFCC, ILAC, ISO, IUPAC, IUPAP and OIML. Evaluation of measurement data — Supplement 3 to the «Guide to the expression of uncertainty in measurement» — Modelling. Joint Committee for Guides in Metrology, JCGM 103, in preparation (1; 6.1; 6.2)

- 7 BIPM, IEC, IFCC, ILAC, ISO, IUPAC, IUPAP and OIML. Evaluation of measurement data — The role of measurement uncertainty in conformity assessment. Joint Committee for Guides in Metrology, JCGM 106, in preparation (1; 8.1)
- 8 Casella G. C., and Berger R. L. Statistical Inference. Duxbury Press, Pacific Grove, 2001. Second Edition (7.3.1)
- 9 Cox M. G. The evaluation of key comparison data. Metrologia 39 (2002), 589—595 (9.4)
- 10 Cox M. G., and Harris P. M. SSfM Best Practice Guide No. 6, Uncertainty evaluation. Tech. Rep. DEM-ES-011, National Physical Laboratory, Teddington, UK, 2006 (7.3.1; 7.3.2)
- 11 Cox M. G., and Harris P. M. Software specifications for uncertainty evaluation. Tech. Rep. DEM-ES-010, National Physical Laboratory, Teddington, UK, 2006
- 12 Dietrich C. F. Uncertainty, Calibration and Probability. Adam Hilger, Bristol, UK, 1991 (7.3.1)
- 13 ELSTER C. Calculation of uncertainty in the presence of prior knowledge. Metrologia 44 (2007), 111—116 (3.20)
- 14 EURACHEM/CITAC. Quantifying uncertainty in analytical measurement. Tech. Rep. Guide CG4, EURACHEM/CITAC [EURACHEM/CITAC Guide], 2000. Second Edition
- 15 Feller W. An Introduction to Probability Theory and its Applications, Volume I. Wiley, 1968
- 16 Feller W. An Introduction to Probability Theory and its Applications, Volume II. Wiley, 1971
- 17 Hibbert D. B. Quality Assurance for the Analytical Chemistry Laboratory. Oxford University Press, Oxford, UK, 2007
- 18 IEC Guide 115 Application of uncertainty of measurement to conformity assessment activities in the electrotechnical sector. International Electrotechnical Commission, Geneva, Switzerland, 2007 (8.1)
- 19 ISO 10576-1 Statistical methods — Guidelines for the evaluation of conformity with specified requirements — Part 1: General principles, 2003. International Standards Organization, Geneva (8.5)
- 20 ISO/IEC 17025 General requirements for the competence of testing and calibration laboratories, 2005. International Standards Organization, Geneva
- 21 Korczynski M. J., Cox M. G., and Harris P. M. Convolution and uncertainty evaluation. In Advanced Mathematical Tools in Metrology VII (Singapore, 2006), P. Ciarlina, E. Felipe, A. B. Forbes, and F. Pavese, Eds., World Scientific, pp. 188—195 (9.4)
- 22 Mohr P. J., and Taylor B. N. CODATA recommended values of the fundamental physical constants: 2002. Rev. Mod. Phys. 76 (2004), 4 (9.4)
- 23 NIST. Uncertainty of measurement results
- 24 Possolo A., and Toman B. Assessment of measurement uncertainty via observation equations. Metrologia 44 (2007), 464—475 (3.20)
- 25 Rice J. R. Mathematical Statistics and Data Analysis, second ed. Duxbury Press, Belmont, Ca., USA, 1995 (7.3.2)
- 26 Weise K. and Wöger W. A Bayesian theory of measurement uncertainty. Meas. Sci. Technol. 3 (1992), 1—11 (4.8).

ДОДАТОК НА
(обов'язковий)

АБЕТКОВИЙ ПОКАЖЧИК УКРАЇНСЬКИХ ТЕРМІНІВ

А	
аналітичний метод.....	7.1.1, 7.3
априорне знання.....	3.20
Б	
багатовимірний еліпсоїд.....	7.5.6

В

величина.....	8.2, 8.4
вихідна.....	3.14, 3.15, 5.2, 6.6, 6.8, 7.2.1, 7.2.4, 7.3, 7.5.1, 7.5.2, 7.5.4, 7.5.5, 8.2, 9.1, 9.7
вхідна.....	3.14, 3.15, 5.2, 6.6, 6.8, 7.1.1, 7.2.3, 7.3, 9.1
залежна.....	4.4, 4.16, 7.2.2
залежна від часу.....	3.12
можливі значення.....	8.3
незалежна.....	4.14
величина показів.....	3.2, 4.7
величина похибки	
випадкової.....	3.5
систематичної.....	3.4, 3.5
вимірювальна система.....	3.2, 3.4, 9.2, 9.5
вимірювана величина.....	3.1, 3.6, 5.2, 8.2
випадкова величина.....	3.17
відповідність.....	8.5
оцінка.....	8, 8.1, 8.2
специфікація.....	8.3, 8.4
відхилення.....	8.5
встановлена вимога.....	8.2

Д

доступна інформація.....	3.19, 5.2, 6.6
--------------------------	----------------

З

закон поширення невизначеності.....	7.1.1, 7.5.2
похідні вищих порядків.....	7.2.5
законодавча метрологія.....	8.1
законодавчо встановлені границі.....	8.1
згортка.....	9.4
змінна	
залежна.....	9.1, 9.2
виміряні значення.....	9.1
незалежна.....	9.1, 9.2, 9.4
виміряні значення.....	9.1
значення величини.....	6.8
виміряне.....	3.2, 6.8, 8.2, 8.5, 9.2, 9.3, 9.6
відповідає вимогам.....	8.2
не відповідає вимогам.....	8.2
інтервал допустимих.....	8.2
істинне.....	3.3, 8.1
значення оцінки.....	3.3, 4.9, 6.6, 6.8, 7.2.1, 7.5.1, 7.5.4, 7.5.5
найкраще.....	3.18, 4.4, 7.2.1
значення показів.....	3.2, 6.8, 9.2, 9.3, 9.5, 9.6
не отримані незалежно.....	4.7
невелика кількість.....	4.7
повторні.....	4.6
значення похибки	
випадкової.....	3.6
систематичної.....	3.4, 3.6, 3.11
зсув вимірювання.....	3.5

Е

еталон.....	6.8, 9.2
етапи оцінювання невизначеності	
обчислення.....	5.1, 7
формулювання.....	5.1, 6

І

інтервал охоплення	4.11, 7.2.2
ймовірнісний симетричний	4.12, 7.5.5
найменший	4.12, 7.5.5
інтервал приймання.....	8.5
істинне значення.....	3.17

Й

ймовірність	3.8, 8.3
ймовірність охоплення	4.11, 4.12, 7.2.2, 7.5.5

К

калібрування	3.9, 9.2
ключове зв'язання.....	9.4
коваріація	4.4, 4.16, 6.6, 6.8, 7.5.1, 7.5.4, 7.5.5, 9.3, 9.5, 9.6
коефіцієнт чутливості	4.14, 7.2.1
контроль якості	8.1
кореляція	4.4

М

матрична форма	7.5.2, 9.7
метод Монте-Карло	7.1.1, 7.2.5, 7.4, 7.5.1, 7.5.4
адаптивний	7.4.2
кількість випробувань	7.4.2
порівняння з невизначеністю згідно з GUM	7.4.1
приклади.....	7.4.1
умови використання	7.4.1
міра впевненості	3.8
модель вимірювання	3.10, 3.14, 3.15, 4.14, 5.2, 6.6, 7.5.1, 7.5.2
багатоетапна	6.8
з довільною кількістю вхідних величин	6.6, 7.5, 7.5.3, 7.5.4
загальний вигляд	3.16, 7.1.3
оцінювання	7.1.1
добирання параметрів.....	9.1, 9.3
складна.....	7.2.5

Н

найменші квадрати	9, 9.5, 9.6
підбирання.....	9.1, 9.2
невизначеність вимірювання	3.6, 3.8, 4.2, 8.2, 9.6
невизначеність згідно з GUM	7.1.1, 7.2, 7.2.3—7.2.5, 7.4.1, 7.5.1, 7.5.2
валідація з використанням MCM	7.4.3
порівняно з методом Монте-Карло	7.4.1
умови використання	7.2.3, 7.2.4
неповне знання.....	8.4
норматив	8.1

О

обґрунтоване твердження.....	4.6
область охоплення	7.5.5
наближена	7.5.6
найменша	7.5.5, 7.5.6
у формі багатовимірного паралелепіпеда.....	7.5.6
обмеження специфікації	8.2, 8.3, 8.5
обчислення <i>див.</i> етапи обчислення невизначеності	
одиниці вимірювання, розподіл	7.3.2
отримання остаточного результату	5.1
охорона здоров'я та безпеки.....	8.1
оцінювання даних	9.1
оцінювання невизначеності	6.6
за типом А	4.6, 4.7
за типом В	4.6, 4.8
задача	7.1.2
етапи	5
очікування	3.18, 4.9

П

параметр	
оцінювання	9.4
функції калібрування	9.5
певний інтервал	4.8
підбирання кривої	9.1, 9.2, 9.4
підсумовування квадратів значень	4.15
помилкове рішення	8.4, 8.5
поправка	
на пов'язану невизначеність	3.11
поширення	5.1
розподілів	3.19, 7.1.1, 7.2.5, 7.4.1
приймання	8.5
програмна реалізація	7.5.2
промислова перевірка	8.1

Р

ризик	8.4
баланс	8.2
виробник	8.4
споживач	8.4
розкид	3.3
розподіл ймовірності	3.17, 3.18, 4.3, 5.2, 6.6, 7.1.1, 7.2.2—7.2.4, 7.3, 8.3—8.6
<i>t</i> розподіл	4.7, 7.1.1, 7.2.2
асиметричний	4.13, 7.2.4
Гаусівський	4.7, 5.2, 7.1.1, 7.2.2, 7.2.3, 7.3.1, 8.6
дискретне подання	7.5.4
присвоєний вхідним величинам	6.1
прямокутний	4.8, 4.10, 7.3.1
спільний	3.17
спільний Гаусівський	7.5.6
трапецеїдний	4.10, 7.3.1
функція розподілу	4.3, 7.1.1
функція щільності ймовірності	4.3

С

середнє.....	3.3
стандартна невизначеність.....	3.18, 4.4, 4.9, 4.14, 6.6, 6.8, 7.2.1, 7.5.4, 7.5.5, 9.3, 9.5, 9.6
стандартний відхил.....	3.18, 4.7, 4.9
ступені вільності.....	7.2.2
ефективні.....	7.2.2

Т

теоретичне співвідношення.....	9.1
технічні умови.....	8.1

Ф

фізична стала.....	3.13
формулювання <i>див.</i> етапи оцінювання невизначеності	
фундаментальна стала.....	9.4
функція вимірювання.....	3.15, 4.14
адитивна.....	4.10
лінійна.....	4.14, 7.2.3, 7.3.1
нелінійна.....	7.2.4
функція калібрування.....	6.5, 6.8
зворотна.....	6.8
параметр.....	6.8, 9.7

Ц

центральна гранична теорема.....	7.5.6
----------------------------------	-------

Ч

часткова похідна.....	4.14, 7.2.5
числовий розв'язок.....	9.7

ДОДАТОК НБ
(довідковий)

**ПЕРЕЛІК НАЦІОНАЛЬНИХ СТАНДАРТІВ УКРАЇНИ,
ІДЕНТИЧНИХ МІЖНАРОДНИМ НОРМАТИВНИМ ДОКУМЕНТАМ,
ПОСИЛАННЯ НА ЯКІ Є В ЦЬОМУ СТАНДАРТІ**

ДСТУ ISO 3534-1:2008 Статистика. Словник термінів і позначки. Частина 1. Загальні статистичні терміни та терміни теорії ймовірностей (ISO 3534-1:2006, IDT)

ДСТУ ISO 3534-2:2008 Статистика. Словник термінів і позначки. Частина 2. Прикладна статистика (ISO 3534-2:2006, IDT)

ДСТУ ISO 3534-3:2005 Статистика. Словник термінів і позначення. Частина 3. Планування експерименту (ISO 3534-3:1999, IDT).

Код згідно з ДК 004: 17.020

Ключові слова: вимірювана величина, вимірювання, калібрування, невизначеність, оцінка відповідності.
