



НАЦІОНАЛЬНИЙ СТАНДАРТ УКРАЇНИ

ВИМОГИ ДО ГЕОМЕТРИЧНИХ РОЗМІРІВ ВИРОБІВ. ПЕРЕВІРКА ВИМІРЮВАННЯМ РОБОЧИХ ЗРАЗКІВ ТА ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ

**Частина 2. Рекомендації з оцінювання невизначеності
вимірів геометричних розмірів виробів, калібрування
засобів вимірювальної техніки та контролю виробів
(ISO/TS 14253-2:1999, IDT)**

ДСТУ ISO/TS 14253-2:2006

Видання офіційне



**Київ
ДЕРЖСПОЖИВСТАНДАРТ УКРАЇНИ
2011**

ПЕРЕДМОВА

1 ВНЕСЕНО: Національний науковий центр «Інститут метрології» Держспоживстандарту України (ННЦ «Інститут метрології»)

ПЕРЕКЛАД І НАУКОВО-ТЕХНІЧНЕ РЕДАГУВАННЯ: Л. Бурда; Н. Ємець; Г. Зимоков, канд. техн. наук (науковий керівник); Т. Коптевцова; Н. Мотренко; В. Пашкова; Л. Ульянець

2 НАДАНО ЧИННОСТІ: наказ Держспоживстандарту України від 16 серпня 2006 р. № 246 з 2007–10–01

3 Національний стандарт відповідає ISO/TS 14253-2:1999 Geometrical Product Specifications (GPS) — Inspection by measurement of workpieces and measuring equipment — Part 2: Guide to the estimation of uncertainty in GPS measurement, in calibration of measuring equipment and in product verification (Вимоги до геометричних розмірів виробів. Перевірка вимірюванням робочих зразків та засобів вимірювальної техніки. Частина 2. Рекомендації з оцінювання невизначеності вимірів геометричних розмірів виробів, калібрування засобів вимірювальної техніки та контролю виробів)

Ступінь відповідності — ідентичний (IDT)

Переклад з англійської (en)

4 УВЕДЕНО ВПЕРШЕ

Право власності на цей документ належить державі.
Відтворювати, тиражувати та розповсюджувати його повністю чи частково
на будь-яких носіях інформації без офіційного дозволу Держспоживстандарту України заборонено.
Стосовно врегулювання прав власності треба звертатися до Держспоживстандарту України

Держспоживстандарт України, 2011

ЗМІСТ

	C
Національний вступ	IV
1 Сфера застосування	1
2 Нормативні посилання	2
3 Терміни та визначення понять	3
4 Позначки	5
5 Концепція ітераційного GUM-методу для оцінювання невизначеності вимірювання	6
6 Методика керування невизначеністю — PUMA	7
7 Джерела похибок і невизначеність вимірювання	11
8 Методи оцінювання складників невизначеності, стандартної невизначеності та розширеної невизначеності	14
9 Практичне оцінювання невизначеності. Складання бюджету невизначеності з PUMA	22
10 Застосування	25
Додаток А Приклад бюджетів невизначеності. Калібрування встановленого кільця	28
Додаток В Приклад бюджетів невизначеності. Створювання ієрархії калібрування	33
Додаток С Приклад бюджетів невизначеності. Вимірювання округлості	54
Додаток D Зв'язок з матричною моделлю геометричних розмірів виробів	58
Бібліографія	59
Додаток НА Перелік національних стандартів України, згармонізованих з міжнародними стандартами, посилання на які є в цьому стандарті	60

НАЦІОНАЛЬНИЙ ВСТУП

Цей стандарт є тотожний переклад ISO/TS 14253-2:1999 Geometrical Product Specifications (GPS) — Inspection by measurement of workpieces and measuring equipment — Part 2: Guide to the estimation of uncertainty in GPS measurement, in calibration of measuring equipment and in product verification (Вимоги до геометричних розмірів виробів. Перевірка вимірюванням робочих зразків та засобів вимірювальної техніки. Частина 2. Рекомендації з оцінювання невизначеності вимірів геометричних розмірів виробів, калібрування засобів вимірювальної техніки та контролю виробів).

Технічний комітет, відповідальний за цей стандарт, — ТК 63 «Загальні норми і правила державної системи забезпечення єдності вимірювань».

Стандарт містить вимоги, які відповідають чинному законодавству України.

Термін «калібрування» в цьому стандарті потрібно застосовувати відповідно до Закону України «Про метрологію та метрологічну діяльність» № 113/98-ВР в редакції № 1765-IV від 15.06.2004.

До стандарту внесено такі редакційні зміни:

- слова «ця технічна вимога» замінено на «цей стандарт»;
- структурні елементи стандарту: «Титульний аркуш», «Передмову», «Зміст», «Національний вступ», першу сторінку, «Терміни та визначення понять» і «Бібліографічні дані» — оформлено згідно з вимогами національної стандартизації України;

- з «Передмови» та «Вступу» до ISO/TS 14253-2 у цей «Національний вступ» узято те, що безпосередньо стосується цього стандарту;

- до розділу 2 «Нормативні посилання» та до «Бібліографії» долучено «Національні пояснення», а до додатка С — «Національну примітку», виділені в тексті рамкою;

- позначки одиниць вимірювання фізичних величин відповідають серії стандартів ДСТУ 3651–97 Метрологія. Одиниці фізичних величин;

- виправлено помилки оригіналу:

- до розділу 2 «Нормативні посилання» долучено ISO 3650, на який є посилання у В.3.6.1;

- у 7.1 додано номер формули «(4)»;

- у 8.2.2 посилання на таблицю 1 замінено посиланням на таблицю 2:

- у 8.2.2 у таблиці 2 « ≤ 10 » замінено на « ≥ 10 »;

- у 8.7 у формулі (19) « X_1 » замінено на « X_i »;

- у 9.2 «нуль (точка 7)» замінено на «нуль (точка 1)»;

- у В.2.5.1 в описі складника невизначеності u_{MP} позначку « MPE_{MF} » замінено на « MPE_{MP} »;

- у В.2.5.5 у таблиці В.3 для складника «Мікрометр — площинність 2» позначку « u_{ML} » замінено на « u_{MF} »;

- у В.3.6.4 у головці таблиці В.5 (у 4-й і 5-й колонках) одиниці вимірювання граничного відхилення поміняно місцями;

- у В.5.5.3 результат обчислення винесено з-під знака квадратного кореня;

- у В.6.1 « $\alpha = 1,1 \text{ мкм}/100 \text{ мм}^\circ\text{C}$ » замінено на « $\alpha = 1,1 \text{ мкм}/(100 \text{ мм} \cdot ^\circ\text{C})$ »;

- у С.5.1 в обчисленні складника невизначеності u_{IR} позначку « u_{IN} » замінено на « u_{IR} »;

- долучено національний додаток НА.

Додатки А, В, С, D, НА — довідкові.

ISO 14253 складається з таких частин, які мають загальну назву «Вимоги до геометричних розмірів виробів. Перевірка вимірюванням робочих зразків та засобів вимірювальної техніки»:

- Частина 1. Правила прийняття рішень щодо відповідності чи невідповідності технічним умовам;

- Частина 2. Рекомендації з оцінювання невизначеності вимірів геометричних розмірів виробів, калібрування засобів вимірювальної техніки та контролю виробів;

- Частина 3. Рекомендації щодо досягнення узгодженості стосовно заявленої невизначеності вимірювання.

Цей стандарт є особливо важливим для систем гарантування якості згідно з ISO 9000, де потрібно знати невизначеність вимірювань (наприклад, згідно з 4.11.1, 4.11.2 а) і 4.11.2 б) ISO 9001:1994).

У цьому стандарті є посилання на міжнародні стандарти ISO 4288:1996, ISO 9001:1994, ISO 9004-1:1994 (нове видання ISO 9004:2000) та ISO 14660-1:1999, які прийнято в Україні як національні стандарти. Їх перелік наведено в національному додатку НА. Решту стандартів, на які є посилання в цьому стандарті, в Україні не впроваджено, і чинних замість них документів немає. Копії нормативних документів, на які є посилання в цьому стандарті, можна отримати в Головному фонді нормативних документів.

НАЦІОНАЛЬНИЙ СТАНДАРТ УКРАЇНИ

**ВИМОГИ ДО ГЕОМЕТРИЧНИХ РОЗМІРІВ ВИРОБІВ
ПЕРЕВІРКА ВИМІРЮВАННЯМ РОБОЧИХ ЗРАЗКІВ
ТА ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ**

**Частина 2. Рекомендації з оцінювання невизначеності вимірів
геометричних розмірів виробів, калібрування засобів
вимірювальної техніки та контролю виробів**

**ТРЕБОВАНИЯ К ГЕОМЕТРИЧЕСКИМ РАЗМЕРАМ ИЗДЕЛИЙ
ПРОВЕРКА ИЗМЕРЕНИЕМ РАБОЧИХ ОБРАЗЦОВ
И СРЕДСТВ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ**

**Часть 2. Рекомендации по оцениванию неопределенности измерения
геометрических размеров изделий, калибровки средств
измерительной техники и контроля изделий**

**GEOMETRICAL PRODUCT SPECIFICATIONS
INSPECTION BY MEASUREMENT OF WORKPIECES
AND MEASURING EQUIPMENT**

**Part 2. Guide to the estimation of uncertainty
in geometrical product specifications measurement,
in calibration of measuring equipment and in product verification**

Чинний від 2007-10-01

1 СФЕРА ЗАСТОСУВАННЯ

Цей стандарт установлює рекомендації щодо застосування «Настанови щодо оцінювання невизначеності вимірювання» (далі по тексті — GUM) у промисловості при калібруванні (вимірюванні) еталонів або засобів вимірювальної техніки в галузі геометричних розмірів виробів та вимірюванні характеристик робочих зразків геометричних розмірів виробів. Метою цього стандарту є поширення повної інформації про те, яким способом досягти невизначеності та забезпечити базу для міжнародних звірень результатів вимірювання та їхніх невизначеностей (відносини між споживачем і постачальником).

Цей стандарт застосовують як продовження ISO 14253-1. Цей стандарт та ISO 14253-1 є корисними для всіх технічних функцій компанії для інтерпретації характеристик геометричних розмірів виробів (наприклад, характеристик допустимих відхилів робочих зразків і значень максимально допустимих похибок (MPE) для метрологічних характеристик засобів вимірювальної техніки).

Цей стандарт подає методику керування невизначеністю (PUMA), яка фактично повторює методику, основу на GUM, для оцінювання невизначеності вимірювання без зміни основних принципів GUM. Цю методику призначено, в основному, для оцінювання невизначеності вимірювання і визначання тверджень невизначеності для

— окремих результатів вимірювання;

— звірення двох або більше результатів вимірювання;

— звірення результатів вимірювання — одного чи більше робочих зразків чи зразків засобів вимірювальної техніки — із наведеними характеристиками (наприклад, максимальні допустимі похибки (MPE) для метрологічних характеристик вимірювального приладу чи еталона та допустимі границі характеристики робочого зразка тощо), щоб підтвердити відповідність чи невідповідність вимогам.

Цей ітераційний метод ґрунтується, в основному, на стратегії верхньої границі, тобто переоцінюванні невизначеності на всіх рівнях, але з повторним контролем, що досягається переоцінюванням. Цільове переоцінювання і не недооцінювання необхідні для запобігання неправильному рішення, основаному на результатах вимірювання. Повторне переоцінювання треба контролювати, зважаючи на економічні показники.

Цей ітераційний метод є інструментом максимізації доходу та мінімізації вартості робіт у метрологічній діяльності компанії. Ітераційний метод/методика є економічно саморегульованим(-ою) і є інструментом для зміни/зменшення наявної невизначеності вимірювання для зменшення вартості в метрології (виробництві). Ітераційний метод робить можливим компроміс між ризиком, зусиллям і вартістю в оцінюванні невизначеності та бюджеті.

2 НОРМАТИВНІ ПОСИЛАННЯ

Наведені нижче нормативні документи містять положення, які через посилання в цьому тексті є положеннями цього стандарту. У разі датованих посилань не застосовують публікації, які підлягають перегляду чи внесенню змін. Однак учасникам угод, базованих на цьому стандарті, рекомендовано застосовувати найпізніші видання наведених нижче нормативних документів. У разі недатованих посилань треба користуватися найновішим виданням документів. Члени IEC та ISO впорядковують каталоги чинних міжнародних стандартів.

ISO 1:1975 Standard reference temperature for industrial length measurements

ISO 3650:1998 Geometrical Product Specifications (GPS) — Length standards — Gauge blocks

ISO 4288:1996 Geometrical Product Specifications (GPS) — Surface texture: Profile method — Rules and procedures for the assessment of surface texture

ISO 9001:1994 Quality systems — Model for quality systems in design, development, production, installation and servicing

ISO 9004-1:1994 Quality management and quality system elements — Part 1: Guidelines

ISO 14253-1:1998 Geometrical Product Specification (GPS) — Inspection by measurement of workpieces and measuring instruments — Part 1: Decision rules for proving conformance or non-conformance with specifications

ISO 14253-3¹⁾ Geometrical Product Specification (GPS) — Inspection by measurement of workpieces and measuring instruments — Part 3: Procedures for evaluating the integrity of uncertainty of measurement values

ISO 14660-1:1999 Geometrical Product Specification (GPS) — Geometric features — Part 1: General terms and definitions

Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM). BIPM, IEC, IFCC, ISO, IUPAC, IUPAP, OIML, 1st edition, 1995

International Vocabulary of Basic and General Terms in Metrology (VIM). BIPM, IEC, IFCC, ISO, IUPAC, IUPAP, OIML, 2nd edition, 1993.

НАЦІОНАЛЬНЕ ПОЯСНЕННЯ

ISO 1:1975 Температура стандартна для промислового вимірювання довжини

ISO 3650:1998 Вимоги до геометричних розмірів виробів. Еталони довжини. Кінцеві міри

ISO 4288:1996 Вимоги до геометричних розмірів виробів. Структура поверхні: профільний метод.

Правила та методики оцінювання структури поверхні

ISO 9001:1994 Системи якості. Модель для систем якості під час проектування, удосконалення, виробництва, упровадження й обслуговування

ISO 9004-1:1994 Управління якістю та елементи системи якості. Частина 1. Настанови

¹⁾ Буде видано.

ISO 14253-1:1998 Вимоги до геометричних розмірів виробів. Перевірка вимірюванням робочих зразків та засобів вимірювальної техніки. Частина 1. Правила прийняття рішень щодо відповідності чи невідповідності технічним умовам

ISO 14253-3 Вимоги до геометричних розмірів виробів. Перевірка вимірюванням робочих зразків та засобів вимірювальної техніки. Частина 3. Рекомендації щодо узгодженості заявленої невизначеності вимірювання

ISO 14660-1:1999 Вимоги до геометричних розмірів виробів. Геометричні характеристики. Частина 1. Основні терміни та визначення понять

Настанова щодо оцінювання невизначеності вимірювання (GUM). BIPM, IEC, IFCC, ISO, IUPAC, IUPAP, OIML, 1-е видання, 1995

Міжнародний словник базових і основних термінів у метрології (VIM). BIPM, IEC, IFCC, ISO, IUPAC, IUPAP, OIML, 2-е видання, 1993.

3 ТЕРМІНИ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ПОНЯТЬ

Для цілей цього стандарту вжито терміни та визначення понять згідно з ISO 14253-1, ISO 14660-1, VIM, GUM, а також наведені нижче.

3.1 модель чорного ящика для оцінювання невизначеності (*black box model for uncertainty estimation*)

Метод/модель для оцінювання невизначеності, у якій вихідне значення вимірювання виражено у тій самій одиниці, як і вхідне (стимуляція), на відміну від вимірювання інших величин, котрі функціонально залежать від вимірюваної величини.

Примітка 1. У моделі чорного ящика, поданої у цьому стандарті, складники невизначеності приймають адитивними, впливні величини трансформують в одиницю вимірюваної величини та коефіцієнти чутливості дорівнюють 1.

Примітка 2. У більшості випадків комплексний метод вимірювання може виглядати, як один простий чорний ящик зі стимуляцією всередині і результатом на виході цього чорного ящика. Якщо відкрити чорний ящик, то може виявитися, що він складається з кількох менших чорних ящиків і/чи кількох прозорих ящиків.

Примітка 3. Метод оцінювання невизначеності використовує метод чорного ящика, навіть якщо це необхідно для додаткових вимірювань, щоб визначити значення впливних величин для внесення відповідних поправок

3.2 модель прозорого ящика для оцінювання невизначеності (*transparent box model for uncertainty estimation*)

Метод/модель для оцінювання невизначеності, у якій значення вимірюваної величини одержують вимірюванням інших величин, функційно залежних від вимірюваної величини

3.3 завдання вимірювання (*measuring task*)

Кількісне визначення вимірюваної величини відповідно до його визначення

3.4 основне завдання вимірювання (основне вимірювання) (*basic measurement task (basic measurement)*)

Завдання вимірювання, яке одне або з іншими формує основу для оцінювання складніших характеристик робочого зразка чи засобів вимірювальної техніки.

Примітка. Приклади основного вимірювання:

- a) одне з кількох індивідуальних вимірювань відхилу від прямолінійності характеристики робочого зразка;
- b) одне з індивідуальних вимірювань похибки показу мікрометра під час вимірювання діапазону похибки показу

3.5 загальне завдання вимірювання (*overall measurement task*)

Складне завдання вимірювання, оцінене на основі кількох, можливо різних, основних вимірювань.

Примітка. Прикладами загального завдання вимірювання є:

- a) вимірювання прямолінійності характеристики робочого зразка;
- b) діапазон похибки показу мікрометра

3.6 розширена невизначеність (вимірювання) (*expanded uncertainty (of a measurement)*); U (3.16 ISO 14253-1 і 2.3.5 GUM)

Примітка. U (велика літера) завжди є позначкою розширеної невизначеності вимірювання

3.7 істинна невизначеність (*true uncertainty*); U_A

Невизначеність вимірювання, що буде отримана за ідеального оцінювання невизначеності.

Примітка 1. Істинні невизначеності є невизначеними за своєю природою.

Примітка 2. Див. також 8.8

3.8 умовно істинна невизначеність — GUM невизначеність (*conventional true uncertainty — GUM uncertainty*); U_C

Невизначеність вимірювання, оцінювана цілком відповідно до докладнішої методики GUM.

Примітка 1. Умовно істинна невизначеність вимірювання може відрізнятися від невизначеності вимірювання, оціненої відповідно до цього стандарту.

Примітка 2. Див. також 8.8

3.9 апроксимована невизначеність (*approximated uncertainty*); U_{EN}

Невизначеність вимірювання, оцінювана за спрощеною ітераційною методикою.

Примітка 1. Індекс N показує, що U_{EN} оцінюють під ітераційним номером N . Позначку U_E можна використовувати без ітераційного номера, якщо знати його не важливо.

Примітка 2. Див. також 8.8

3.10 цільова невизначеність (для вимірювання чи калібрування) (*target uncertainty (for a measurement or calibration)*); U_T

Невизначеність, визначена як оптимальна для відповідного завдання вимірювання.

Примітка 1. Цільова невизначеність є результатом керування рішенням, що охоплює, наприклад, проектування, виробництво, гарантування якості, обслуговування, маркетинг, продаж і поширення.

Примітка 2. Цільову невизначеність визначають (оптимізують) з урахуванням характеристики (допустима чи максимально допустима похибка (MPE)), з урахуванням процесу сприйнятливості, вартості, критичності і вимог згідно з 4.11.1, 4.11.2 ISO 9001, 13.1 ISO 9004-1 і ISO 14253-1.

Примітка 3. Див. також 8.8

3.11 необхідна невизначеність вимірювання (*required uncertainty of measurement*); U_R

Невизначеність, необхідна для відповідного процесу вимірювання чи завдання.

Примітка. Див. також 6.2. Необхідну невизначеність може встановлювати, наприклад, замовник

3.12 керування невизначеністю (*uncertainty management*)

Керування прийнятною методикою вимірювання відповідно до вимог завдання вимірювання та цільової невизначеності з використанням техніки складання бюджету невизначеності

3.13 бюджет невизначеності (для вимірювання чи калібрування) (*uncertainty budget (for a measurement or calibration)*)

Формулювання, що підсумовує оцінювання складників невизначеності, які входять до невизначеності результату вимірювання.

Примітка 1. Невизначеність результату вимірювання є недвозначною, коли визначено методику вимірювання (охоплюючи об'єкт вимірювання, вимірювану величину, метод і умови вимірювання).

Примітка 2. Термін «бюджет» використовують для призначення числових значень складникам невизначеності, їх об'єднання та розширення на підставі методики вимірювання, умов вимірювання і припущень

3.14 носій невизначеності (*uncertainty contributor*); x_x

Джерело невизначеності вимірювання для процесу вимірювання

3.15 граничне значення (границя відхилів) для носія невизначеності (*limit value (variation limit) for an uncertainty contributor*); a_{xx}

Абсолютне значення екстремальної величини (величин) носія невизначеності x_x

3.16 складник невизначеності (*uncertainty component*); u_{xx}

Стандартна невизначеність носія невизначеності x_x .

Примітка. Ітераційний метод використовує планування u_{xx} для всіх складників невизначеності. Це не збігається з чинною версією GUM, що іноді застосовує планування s_{xx} для невизначеності складників, оцінених за типом A, і планування u_{xx} для невизначеності складників, оцінених за типом B

3.17 впливна величина вимірювального приладу (*influence quantity of a measurement instrument*)

Характеристика вимірювального приладу, що впливає на результат вимірювання, проведеного на цьому приладі

3.18 впливна величина робочого зразка (*influence quantity of a workpiece*)

Характеристика робочого зразка, що впливає на результат вимірювання, виконаного на цьому робочому зразку.

4 ПОЗНАКИ

У таблиці 1 наведено основні позначки, які використано в цьому стандарті.

Таблиця 1 — Основні позначки

Позначка	Опис значення
a	Граничне значення розподілу
a_{xx}	Граничне значення похибки чи невизначеності носія (в одиницях результату вимірювання, вимірюваної величини)
a_{xx}^*	Граничне значення похибки чи невизначеності носія (в одиницях впливної величини)
α	Лінійний коефіцієнт температурного розширення
b	Коефіцієнт перетворення з a_{xx} в u_{xx}
C	Поправка (значення)
d	Роздільна здатність засобу вимірювальної техніки
E	Модуль Юнга
ER	Похибка (значення вимірювання)
G	Функція кількох вимірюваних значень ($G(X_1, X_2, \dots, X_i, \dots)$)
h	Значення гістерезису
k	Коефіцієнт охоплення
m	Кількість середніх квадратичних відхилів у половині довірчого інтервалу
MR	Результат вимірювання (значення)
n	Кількість...
N	Кількість ітерацій
ν	Число Пуассона
ρ	Кількість нескорельованих носіїв повної невизначеності
r	Кількість скорельованих носіїв невизначеності
ρ	Коефіцієнт кореляції
TV	Істинне значення вимірювання
u, u_i	Стандартна невизначеність (середній квадратичний відхил)
s_x	Середній квадратичний відхил зразка
$s_{\bar{x}}$	Середній квадратичний відхил середнього значення зразка
u_c	Сумарна стандартна невизначеність
u_{xx}	Середній квадратичний відхил носія невизначеності xx — складник невизначеності
U	Розширена невизначеність вимірювання
U_A	Істинна невизначеність вимірювання
U_C	Умовно істинна невизначеність вимірювання
U_E	Апроксимована невизначеність вимірювання (кількість ітерацій не встановлено)
U_{EN}	Апроксимована невизначеність вимірювання з номером ітерації N
U_R	Необхідна невизначеність
U_T	Цільова невизначеність

Кінець таблиці 1

Позначка	Опис значення
U_v	Значення невизначеності (оцінене не відповідно до GUM або до цього стандарту)
X	Результат вимірювання (некоригований)
X_i	Результат вимірювання (у моделі прозорого ящика для оцінювання невизначеності)
Y	Результат вимірювання (коригований)

5 КОНЦЕПЦІЯ ІТЕРАЦІЙНОГО GUM-МЕТОДУ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ВИМІРЮВАННЯ

Застосовуючи GUM-метод повністю, можна визначити умовно істинну невизначеність вимірювання U_c .

Спрощений(-а) ітераційний(-а) метод/методика, наведений(-а) в цьому стандарті, призначений(-а) для оцінювання невизначеності вимірювань U_E переоцінюванням впливних складників/носіїв невизначеності ($U_E \geq U_c$). Процес переоцінювання виявляє найгірший випадок розподілу з верхньої границі з кожного відомого чи допустимого носія невизначеності, таким чином забезпечуючи, що результати оцінювання «на безпечній стороні», тобто немає недооцінювання невизначеності вимірювання. Спрощений(-а) ітераційний(-а) метод/методика цього стандарту ґрунтується на тому, що:

- визначено усі носії невизначеності;
- встановлено, які з допустимих поправок мають бути уведеними (див. 8.4.6);
- вплив на невизначеність результату вимірювання від кожного носія оцінюють як стандартну невизначеність u_{xx} , спричинену складником невизначеності;

Примітка. За умови ітераційного методу вплив кожного носія має бути перетворено в одиницю вимірюваної величини, використовуючи необхідне(-у) фізичне(-у) рівняння/формулу і коефіцієнти чутливості.

- ітераційний процес, PUMA (див. розділ 6);
- кожний складник невизначеності (стандартних невизначеностей) u_{xx} можна оцінити як за типом А, так і за типом В;
- оцінювання за типом В є переважним за умови, якщо оцінка невизначеності першої ітерації визначена приблизно та оснований на перегляді і збереженні ціни;
- повний ефект від усіх носіїв (названий сумарною стандартною невизначеністю) розраховують за формулою:

$$u_c = \sqrt{u_{x1}^2 + u_{x2}^2 + u_{x3}^2 + \dots + u_{xn}^2}; \quad (1)$$

- формула (1) придатна лише для моделі чорного ящика під час оцінювання невизначеності, а також у випадку, коли усі складники u_{xx} нескорельовані (більш детально див. інші формули у 8.6 і 8.7);
- для спрощення тільки коефіцієнтів кореляції між носіями приймають

$$\rho = 1, -1, 0. \quad (2)$$

Якщо складники невизначеності невідомі та нескорельовані, то повну кореляцію приймають як $\rho = 1$ або $\rho = -1$. Скорельовані складники додають арифметично перед підставленням їх у формулу, вказану нижче (див. 8.5 і 8.6);

- розширену невизначеність U розраховують за формулою:

$$U = k \cdot u_c, \quad (3)$$

де $k = 2$; k — це коефіцієнт охоплення (див. також 8.8).

Спрощений ітераційний метод зазвичай буде складатися принаймні з двох ітерацій оцінювання складників невизначеності:

- першу ітерацію дуже приблизно, швидко та без значних втрат проводять, щоб визначити найбільші складники невизначеності (див. рисунок 1);
- подальшу ітерацію — якщо потрібна — здійснюють лише для точнішого визначення верхніх границь під час оцінювання найбільших складників, щоб зменшити оцінювану невизначеність (u_c або U) до якомога прийнятнішого значення.

Спрощений ітераційний метод можна застосовувати у двох випадках:

а) Керування невизначеністю вимірювання результату заданого процесу вимірювання (можна використовувати для результатів відомого процесу вимірювання чи для порівняння двох або більше таких результатів) — див. 6.2.

б) Керування невизначеністю процесу вимірювання; розроблення прийнятного процесу вимірювання, тобто $U_E \leq U_T$ — див. 6.3.

6 МЕТОДИКА КЕРУВАННЯ НЕВИЗНАЧЕНІСТЮ — PUMA

6.1 Загальні положення

Передумовою для складання бюджету і керування невизначеністю є чітка ідентифікація і визначення завдання вимірювання; тобто вимірювання піддають кількісному визначенню (характеристика геометричних розмірів робочого зразка чи метрологічна характеристика геометричних розмірів засобу вимірювальної техніки). Невизначеність вимірювання — міра якості вимірюваної величини, яка узгоджується з визначенням характеристики геометричних розмірів робочого зразка чи метрологічними характеристиками геометричних розмірів засобу вимірювальної техніки, наведеного у стандартах на геометричні розміри виробів.

Стандарти на геометричні розміри виробів визначають умовно істинне значення (див. 1.20 VIM) вимірюваних характеристик, пов'язаних з цими стандартами і загальними стандартами (див. ISO/TR 14638). Стандарти на геометричні розміри виробів у більшості випадків також визначають ідеальний — або умовно істинний — принцип вимірювання (див. 2.3 VIM), метод вимірювання (див. 2.4 VIM), методику вимірювання (див. 2.5 VIM) і стандартні «нормальні» умови (див. 5.7 VIM).

Відхили від стандартизованих умовно істинних значень характеристик тощо (досконалий оператор) входять у невизначеність вимірювання.

6.2 Керування невизначеністю для заданого процесу вимірювання

Керування невизначеністю вимірювання для встановленого завдання вимірювання (рамка 1 на рисунку 1) і для наявного процесу вимірювання зображено на рисунку 1. Принцип вимірювання (рамка 3), метод вимірювання (рамка 4), методика вимірювання (рамка 5) та умови вимірювання (рамка 6) зафіксовано, наведено чи визначено для цього випадку, і їх не може бути змінено. Лише завдання оцінює вплив на невизначеність вимірювання. Необхідна U_R може бути задана чи визначена.

Застосовуючи ітераційний метод GUM, першу ітерацію виконують тільки для орієнтації та пошуку основних носіїв невизначеності. Єдине, що потрібно зробити для керування процесом у цьому випадку, — це удосконалити оцінювання основних носіїв, щоб наблизитися до істинної оцінки складників невизначеності, таким чином уникаючи занадто великого переоцінювання — за необхідності.

Методика керування невизначеністю є такою:

а) Виконують першу ітерацію, основу переважно на моделі чорного ящика для процесу оцінювання невизначеності, та складають попередньо бюджет невизначеності (рамки 7—9), наближаючись до першого приблизного оцінювання розширеної невизначеності U_{E1} (рамка 10). Більш детально стосовно оцінювання невизначеності див. розділ 9. Усі оцінки невизначеності U_{E1} розраховують як оцінки верхніх границь.

б) Порівнюють першу оцінену невизначеність U_{E1} з необхідною невизначеністю U_R (рамка А) для встановленого завдання вимірювання:

1) якщо U_{E1} прийнятна (тобто якщо $U_{E1} \leq U_R$), то бюджет невизначеності першої ітерації засвідчує, що наведена методика вимірювання прийнятна для цього завдання вимірювання (рамка 11);

2) якщо U_{E1} неприйнятна (тобто якщо $U_{E1} > U_R$) або якщо немає необхідної невизначеності, але бажано отримати менш або більш істинне значення, то процес ітерації продовжують.

с) Перш ніж розпочати нову ітерацію, аналізують відносну значущість носіїв невизначеності. У багатьох випадках кілька складників невизначеності домінують над сумарною стандартною невизначеністю та розширеною невизначеністю.

д) Змінюють припущення чи коригують знання про складники невизначеності для точнішого (див. 3.5 VIM) оцінювання верхніх границь найбільших (основних) складників невизначеності (рамка 12).

Формують докладнішу модель процесу оцінювання невизначеності чи приймають рішення щодо вимірювального процесу (рамка 12).

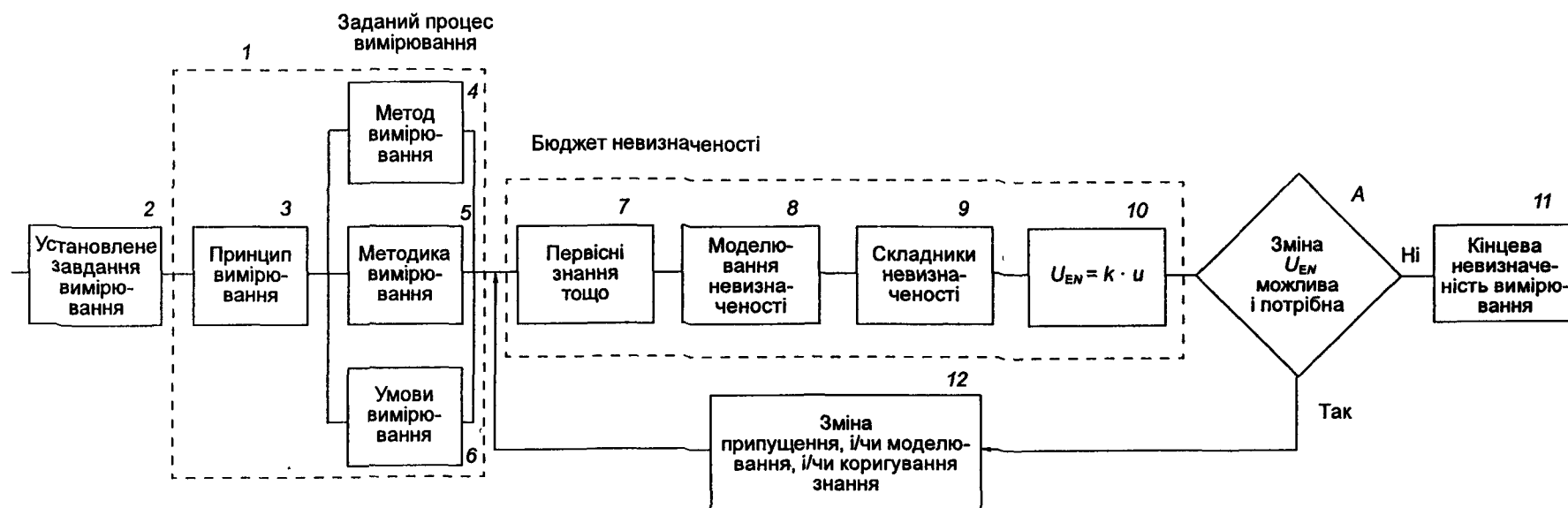


Рисунок 1 — Керування невизначеністю результату вимірювання для заданого процесу вимірювання

е) Виконують другу ітерацію бюджету невизначеності (рамки 7—9), яка призводить до другого, точнішого (див. 3.5 VIM) оцінювання верхньої границі невизначеності вимірювання U_{E2} (рамка 10).

ф) Порівнюють другу оцінену невизначеність U_{E2} (рамка А) з необхідною невизначеністю U_R для наявного завдання вимірювання:

1) якщо U_{E2} прийнятна (тобто якщо $U_{E2} \leq U_R$), то бюджет невизначеності другої ітерації засвідчує, що наведена методика вимірювання прийнятна для цього завдання вимірювання (рамка 11).

2) якщо U_{E2} неприйнятна (тобто якщо $U_{E2} > U_R$) або якщо немає необхідної невизначеності, але бажано отримати менш або більш істинне значення, то потрібна третя (а можливо, і більше) ітерація. Повторюють аналізування носіїв невизначеності (приймають додаткові зміни, коригують знання, змінюють моделювання тощо (рамка 12)) та зосереджуються на найбільших на даний момент носіях невизначеності у цій ситуації.

г) Якщо було використано усі можливості, щоб одержати точніші (менші) оцінки верхніх границь невизначеностей вимірювання без досягнення прийнятної невизначеності вимірювання $U_{EN} \leq U_R$, то констатують, що неможливо задовольнити умову заданої необхідної U_R .

6.3 Керування невизначеністю для створення та удосконалення процесу/методики вимірювання

Керування невизначеністю у цьому випадку виконують для удосконалення прийнятного процесу вимірювання (вимірювання геометричних характеристик робочого зразка чи метрологічних характеристик засобів вимірювальної техніки (калібрування)). Керування невизначеністю виконують на основі установленого завдання вимірювання (рамка 1 на рисунку 2) і заданої цільової невизначеності U_T (рамка 2 на рисунку 2). Прийняття рішення щодо визначення завдання вимірювання і одержання цільової невизначеності на досить високому рівні керування є сферою політики компанії. Прийнятна методика вимірювання — це методика, за якої результати оцінювання невизначеності вимірювання менші чи дорівнюють значенням(-ю) цільової невизначеності. Якщо оцінена невизначеність вимірювання значно менша за цільову невизначеність, то методика вимірювання може бути економічно недоцільною для виконання завдання вимірювання (тобто процес вимірювання занадто дорогий).

Методика PUMA, основана на установленому завданні вимірювання (рамка 1) і заданій цільовій невизначеності U_T (рамка 2), передбачає такий порядок (див. рисунок 2):

а) Вибирають принцип вимірювання (рамка 3) на основі досвіду і доступного засобу вимірювальної техніки, які є в компанії.

б) Установлюють і документують попередній метод вимірювання (рамка 4), методику вимірювання (рамка 5) та умови вимірювання (рамка 6) на основі досвіду і відомих можливостей компанії.

с) Виконують першу ітерацію, основану переважно на моделі чорного ящика для процесу оцінювання невизначеності, та складають попередньо бюджет невизначеності (рамки 7—9), що призводить до першого приблизного оцінювання розширеної невизначеності U_{E1} (рамка 10). Більш докладну інформацію про оцінювання невизначеності див. у розділі 9. Усі оцінки невизначеності U_{EN} розраховують як оцінки верхніх границь.

д) Порівнюють першу оцінену невизначеність U_{E1} із заданою цільовою невизначеністю U_T (рамка А):

1) якщо U_{E1} прийнятна (тобто якщо $U_{E1} \leq U_T$), то бюджет невизначеності першої ітерації засвідчує, що наведена методика прийнятна для цього завдання вимірювання (рамка 11);

2) якщо $U_{E1} \ll U_T$, то методика вимірювання технічно придатна, але можлива зміна методу і/чи методики (рамка 13) для формування більш ефективної вартості процесу вимірювання під час збільшення невизначеності. Далі потрібно виконати нову ітерацію для оцінювання вислідної невизначеності вимірювання U_{E2} (рамка 10);

3) якщо U_{E1} неприйнятна (тобто якщо $U_{E1} > U_T$), то процес ітерації продовжують, або це означає, що прийнятної методики вимірювання немає.

е) Перш ніж розпочати нову ітерацію, аналізують відносну значущість носіїв невизначеності. У багатьох випадках кілька складників невизначеності домінують над сумарною стандартною невизначеністю та розширеною невизначеністю.

ф) Якщо $U_{E1} > U_T$, то змінюють припущення, моделювання або коригують знання про складники невизначеності (рамка 12) для точнішого (див. 3.5 VIM) оцінювання верхніх границь найбільших (основних) складників невизначеності.

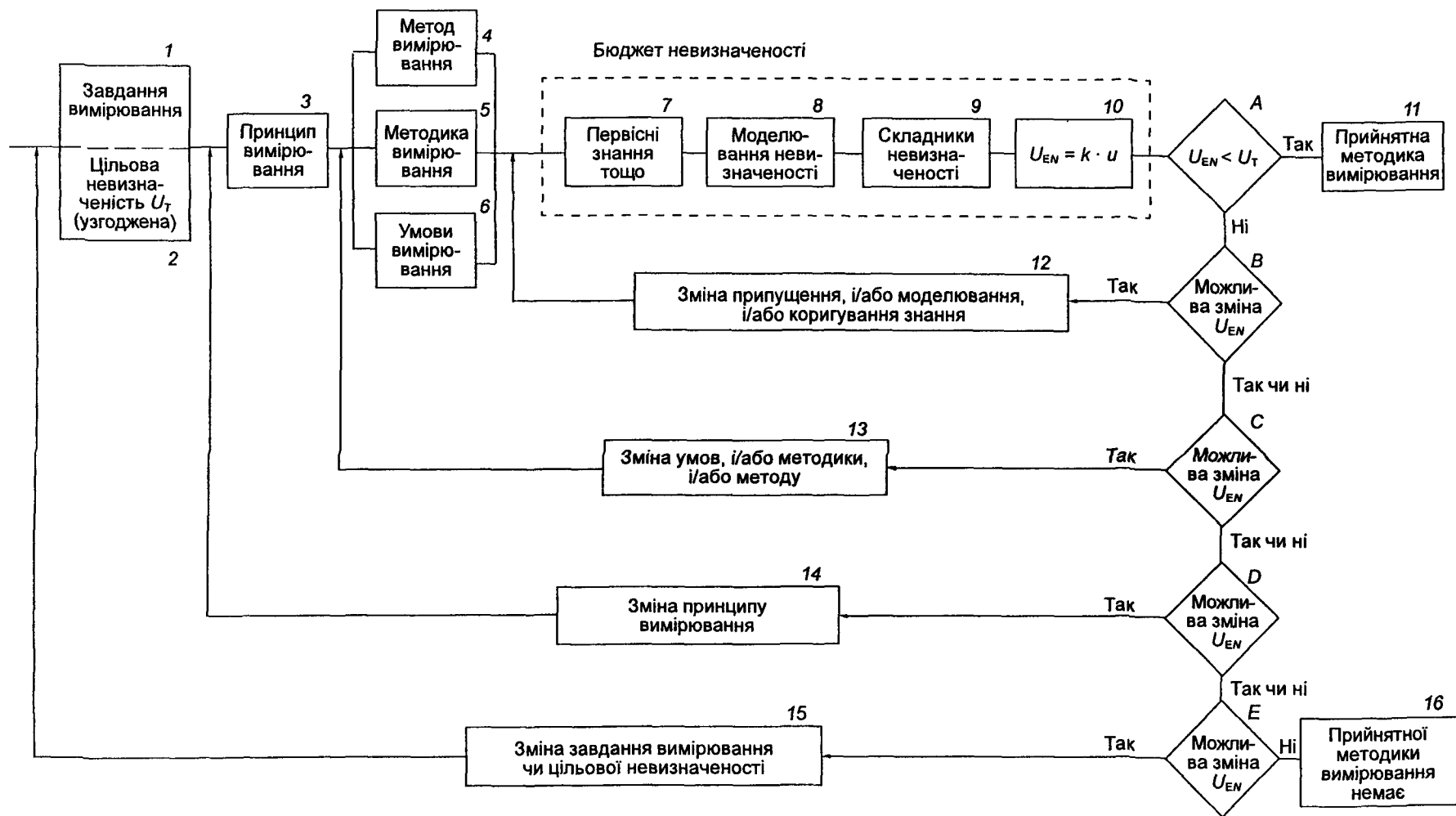


Рисунок 2 — Методика керування невизначеністю вимірювання (PUMA) для процесу/методики вимірювання

г) Виконують другу ітерацію бюджету невизначеності (рамки 7—9), яка призводить до другого, точнішого (див. 3.5 VIM), оцінювання верхньої границі невизначеності вимірювання U_{E2} (рамка 10).

h) Порівнюють другу оцінену невизначеність U_{E2} із заданою цільовою невизначеністю U_T (рамка А):

1) якщо U_{E2} прийнятна (тобто якщо $U_{E2} \leq U_T$), то бюджет невизначеності другої ітерації засвідчує, що наведена методика прийнятна для цього завдання вимірювання (рамка 11);

2) якщо U_{E2} неприйнятна (тобто якщо $U_{E2} > U_T$), то потрібно зробити третю (а можливо, і більше) ітерацію. Повторюють аналізування носіїв невизначеності (приймають додаткові зміни, моделюють та коригують знання (рамка 12)) і зосереджуються на найбільших носіях невизначеності у цій ситуації.

і) Якщо було використано усі можливості, щоб одержати точніші (менші) оцінки верхніх границь невизначеностей вимірювання без досягнення прийнятної невизначеності вимірювання $U_{EN} \leq U_T$, то зміни методу або методики вимірювання чи умов вимірювання (рамка 13) необхідні (можливо) для зниження значущості оціненої невизначеності U_{EN} . Методику ітерації починають знову з першої ітерації.

j) Якщо зміна в методиці або методі вимірювання чи в умовах (рамка 13) не призводить до прийнятної невизначеності вимірювання, то є остання можливість — змінити принцип вимірювання (рамка 14) і виконати описану вище методику вимірювання знову.

к) Якщо зміна принципу вимірювання і відносних ітерацій, описаних вище, не призводить до прийнятної невизначеності вимірювання, то вирішальна можливість — змінити завдання вимірювання та/чи цільову невизначеність (рамка 15) та виконати описану вище методику вимірювання знов.

l) Якщо зміна завдання вимірювання чи цільової невизначеності не можлива, то це означає, що прийнятної методики вимірювання немає (рамка 16).

7 ДЖЕРЕЛА ПОХИБОК І НЕВИЗНАЧЕНІСТЬ ВИМІРЮВАННЯ

7.1 Типи похибок

У результатах вимірювання регулярно виявляють різні типи похибок, а саме:

- систематичні похибки;
- випадкові похибки;
- дрейф;
- зовнішні похибки.

Усі похибки за природою систематичні. Коли трапляється несистематична похибка, то це лише тому, що похибка не була виявлена, чи тому, що рівень роздільної здатності недостатній. Систематичні похибки можуть бути охарактеризовані величиною і знаком («плюс» або «мінус»).

$$ER = MR - TV, \quad (4)$$

де ER — похибка;

MR — результат вимірювання;

TV — істинне значення.

Випадкові похибки є систематичними похибками, які спричинені неконтрольованими випадковими впливними величинами. Випадкові похибки характеризуються середнім квадратичним відхилом і типом розподілу. Середнє значення випадкових похибок найчастіше вважають основою для оцінювання систематичної похибки (див. рисунок 3).

Дрейф спричиняється систематичним впливом некерованої впливної величини. Дрейф часто буває ефектом часу чи ефектом спрацювання. Дрейф характеризується зміною за одиницю часу або залежно від кількості (частоти) використання.

Викиди спричиняються неповторюваними інцидентами в процесі вимірювання. Шум, електричний або механічний, може спричинити викиди. Часто причиною викидів є помилки людини, такі як похибки читання, записування, або неправильне керування засобами вимірювальної техніки. Зовнішні похибки неможливо охарактеризувати одразу.

Похибки або невизначеності в процесі вимірювання будуть складатися з відомих та невідомих похибок залежно від кількості джерел чи носіїв похибок.

Джерела або носії у кожному разі різні, отже, і сума складників також буде різною.

Можливо досягти систематичного наближення. Завжди є кілька джерел чи сумарних ефектів з десяти різних, показаних на рисунку 4.

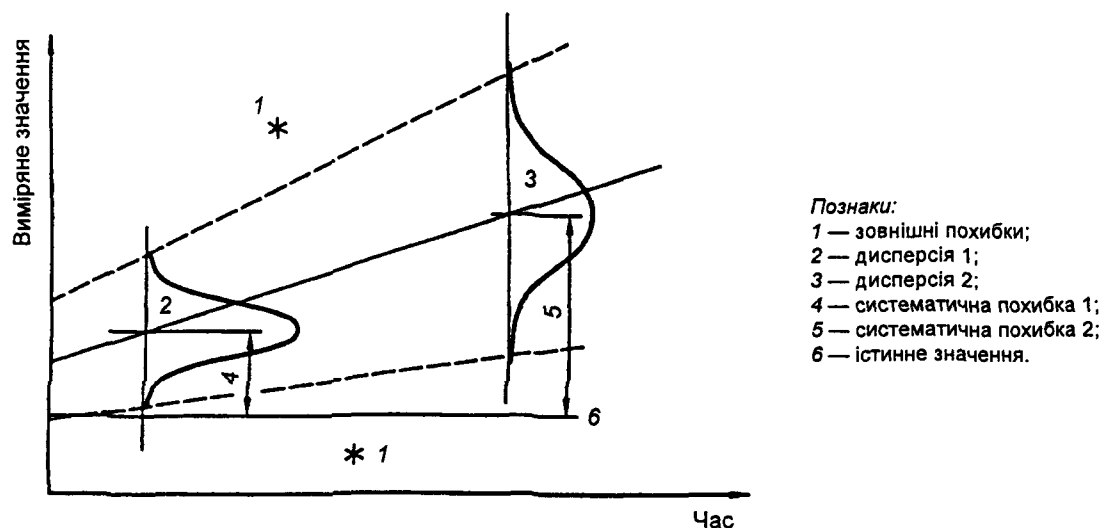


Рисунок 3 — Типи похибок у результатах вимірювання



Рисунок 4 — Носії невизначеності в процесі вимірювання

Далі наведено приклади і докладнішу інформацію про кожен з цих десяти носіїв.

Часто виникає складність через те, що кожен з носіїв може впливати індивідуально на результат вимірювання. Але у більшості випадків вони навіть суперечать один одному і зумовлюють додаткові похибки та невизначеності.

На рисунку 4 і нижче наведено неповні переліки (див. 7.2 — 7.11), які треба застосовувати для віднайдення способів систематизації під час складання бюджету невизначеності. У кожному випадку оцінювання наявного складника похибки/невизначеності потребує знань з фізики і/або досвіду з метрології.

У бюджетах невизначеності носії невизначеності та складники невизначеності для зручності можуть бути згрупованими.

7.2 Вплив навколишнього середовища на процес вимірювання

У більшості випадків — особливо пов'язаних з вимірюванням геометричних розмірів виробів — температура є головним носієм невизначеності порівняно з іншими чинниками навколишнього середовища. Іншими носіями невизначеності можуть бути:

- Температура: абсолютне значення температури, змінювання у часі, просторовий градієнт
- Вібрація/шум
- Вологість
- Забрудненість
- Освітленість
- Тиск навколишнього середовища
- Склад повітря
- Потік повітря
- Гравітація
- Електромагнітні завади
- Перехідні процеси в мережі електроживлення
- Тиск повітря (тобто повітряна опора)
- Теплове випромінювання
- Робочий зразок
- Шкала
- Прилад теплової рівноваги

7.3 Еталонний елемент засобів вимірювальної техніки

Засоби вимірювальної техніки складаються з еталонного елемента та інших засобів, і часто засоби вимірювальної техніки розглядають так.

- Стабільність
- Якість позначок шкали
- Коефіцієнт температурного розширення
- Фізичний принцип: лінійна шкала, оптична цифрова шкала, магнітна цифрова шкала, вісь, зубчаста рейка та зубчасте колесо, інтерферометр
- CCD-техніка
- Невизначеність калібрування
- Роздільна здатність головної шкали (аналогової чи цифрової)
- Проміжок часу після останнього калібрування
- Похибка довжини хвилі

7.4 Засоби вимірювальної техніки

- Система інтерпретації
- Підсилення, електричне чи механічне
- Похибка довжини хвилі
- Стабільність нуля
- Стабільність зусилля/абсолютне зусилля
- Гістерезис
- Напрямні механізми/напрямні куліси
- Система давачів
- Геометричні дефекти
- Жорсткість/твердість
- Система зчитування
- Лінійний коефіцієнт температурного розширення
- Температурна стабільність/чутливість
- Паралакси
- Проміжок часу після останнього калібрування
- Частотна характеристика
- Система інтерполяції, похибка довжини хвилі
- Роздільна здатність інтерполяції
- Дискретизація

7.5 Завдання вимірювання (зокрема розташування і фіксування робочого зразка)

У більшості випадків завдання немає; засоби вимірювальної техніки можуть вимірювати «самостійно».

- Похибки косинуса та похибки синуса
- Принцип Аббе
- Температурна чутливість
- Жорсткість/твердість
- Радіус наконечника
- Відхил форми наконечника
- Жорсткість системи давачів
- Апертура оптики
- Взаємодія між робочим зразком і установкою
- Розігрівання

7.6 Програмне забезпечення й обчислювання

Треба зауважити, що навіть кількість цілих або десятих може мати вплив на результат.

- Заокруглення/визначання кількості
- Алгоритми
- Виконання алгоритмів
- Кількість значущих цифр під час обчислювання
- Апробація
- Фільтрація
- Корекція алгоритму/сертифікація алгоритму
- Інтерполяція/екстраполяція
- Стороннє керування

7.7 Метролог

Стан людини у різні дні, а іноді й протягом дня не може бути сталим.

- | | |
|------------------------------|---|
| — Освіта | — Знання (точність, вміння розібратися) |
| — Досвід | — Чесність |
| — Практика | — Відданість |
| — Фізичні недоліки/здібності | |

7.8 Об'єкт вимірювання, характеристика робочого зразка чи вимірювального приладу

- | | |
|--|--|
| — Шорсткість поверхні | — Магнетизм |
| — Відхил від форми | — Гігроскопічна характеристика матеріалу |
| — Е-модуль (модуль Юнга) | — Старіння |
| — Жорсткість за межами модуля Юнга | — Чистота |
| — Коефіцієнт температурного розширення | — Температура |
| — Електропровідність | — Внутрішня напруга |
| — Вага | — Характеристика повзучості |
| — Розмір | — Перекошування робочого зразка під час фіксування |
| — Окреслення форми | — Орієнтація |

7.9 Визначення характеристик геометричних розмірів виробів, характеристик робочого зразка чи засобів вимірювальної техніки

- | | |
|---------------------------|--|
| — Дані | — ISO 4288 |
| — Еталонна система | — Ланцюг з 3 і 4 ланок девіацій (ISO/TR 14638) |
| — Ступені свободи | — Відстань |
| — Гранична характеристика | — Кут |

7.10 Методика вимірювання

- | | |
|--|--|
| — Кондиціювання | — Кількість операторів |
| — Кількість вимірювань | — Стратегія |
| — Порядок вимірювання | — Фіксація |
| — Тривалість вимірювань | — Закріплення |
| — Вибірання принципу вимірювання | — Кількість точок |
| — Настроювання | — Принцип і стратегія опробування |
| — Вибірання зразка — еталонний виріб (стандартний зразок) і значення — стосовно вимірюваної величини | — Настроювання системи давачів |
| — Вибірання апаратури | — Перевіряння дрейфу |
| — Вибірання метролога | — Реверсивні вимірювання |
| | — Значна надмірність, похибка розділення |

7.11 Фізичні константи та коефіцієнти перетворення

— Знання правильних фізичних значень, наприклад властивостей матеріалів (робочого зразка, вимірювального приладу, навколишнього повітря тощо).

8 МЕТОДИ ОЦІНЮВАННЯ СКЛАДНИКІВ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ, СТАНДАРТНОЇ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ТА РОЗШИРЕНОЇ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ

8.1 Оцінювання складників невизначеності

Оцінювання складників невизначеності може відбуватися двома різними способами. Оцінювання за типом А і оцінювання за типом В.

Оцінювання за типом А — це оцінювання складників невизначеності u_{xx} , використовуючи статистичні значення. Оцінювання за типом В — це оцінювання складників невизначеності u_{xx} будь-яким іншим нестатистичним методом.

Оцінювання за типом А у більшості випадків буде результатом точніших оцінок складників невизначеності, ніж оцінювання за типом В. У більшості випадків оцінювання за типом В буде результатом досить точного оцінювання складників невизначеності.

Тому оцінювання за типом В потрібно вибирати в ітераційному методі, коли нема необхідності оцінювати невизначеність за типом А. У низці випадків єдино можливим є оцінювання за типом А. Див. стандартні випадки для оцінювання складників невизначеності у 8.4.

Примітка. У цьому стандарті обидва типи А і В оцінених складників невизначеності позначають u_{xx} . У цьому полягає відмінність від наявної версії GUM, де тип А оцінених складників невизначеності позначають s_{xx} , а тип В — u_{xx} .

8.2 Оцінювання складників невизначеності за типом А

8.2.1 Загальні положення

Оцінювання складників невизначеності за типом А, u_{xx} , потребує даних повторних випробувань. Середній квадратичний відхил розподілу чи середній квадратичний відхил середнього значення можна обчислювати за формулами з 8.2.2.

8.2.2 Статистичні методи

Якщо не враховують тип статистичного розподілу, то статистичні параметри визначають за наведеними нижче формулами:

— середнє значення кількості n результатів вимірювань X_i , де \bar{x} — оцінка істинного значення середнього значення μ розподілу:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n X_i;$$

— середній квадратичний відхил розподілу вибірки за n вимірювальних значень, де s_x — оцінка середнього квадратичного відхилу σ розподілу:

$$s_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{x} - X_i)^2}{(n-1)}};$$

— середній квадратичний відхил середнього значення $s_{\bar{x}}$ вибірки дорівнює середньому квадратичному відхилу вибірки, поділеному на квадратний корінь з кількості вимірювань n :

$$s_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{x} - X_i)^2}{n \cdot (n-1)}} = \frac{s_x}{\sqrt{n}}.$$

Якщо середнє значення чи середній квадратичний відхил ґрунтуються на дуже великій кількості повторних вимірювань, то оцінені значення середнього квадратичного відхилу можуть бути неправильними і, можливо, занадто малими. З цієї причини використовують коефіцієнт безпеки h .

Цей коефіцієнт безпеки h (розраховують на основі t -коефіцієнта Стюдента)²⁾ можна визначати з таблиці 2.

Середній квадратичний відхил вибірки s_x (помножений на коефіцієнт безпеки h відповідно) використовують у бюджеті невизначеності як значення для u_{xx} , коли результат вимірювання одержують з окремих зчитувань вхідного складника:

$$u_{xx} = s_{x,n} \cdot h. \quad (5)$$

Стандартний квадратичний відхил середнього значення $s_{\bar{x}}$ є значенням, яке застосовують для стандартної невизначеності u_{xx} у бюджеті невизначеності, коли результат вимірювання одержують із середнього значення окремих зчитувань вхідного складника:

$$u_{xx} = s_{\bar{x},n} \cdot h \quad \left(s_{\bar{x},n} = \frac{s_{x,n} \cdot h}{\sqrt{n}} \right). \quad (6)$$

²⁾ Див також бібліографічне посилання [2].

Таблиця 2 — Коефіцієнт безпеки для середніх квадратичних відхилів s_x вибірки

Кількість вимірювань n	Коефіцієнт безпеки h	Кількість вимірювань n	Коефіцієнт безпеки h
2	7,0	7	1,3
3	2,3	8	1,2
4	1,7	9	1,2
5	1,4	≥ 10	1
6	1,3		

8.3 Оцінювання складників невизначеності за типом В

8.3.1 Загальні положення

Оцінювання середніх квадратичних відхилів будь-якими способами, крім статистичних, дуже часто обмежено попереднім досвідом або припущеннями про те, що може бути середнім квадратичним відхилом.

Практика показує, що людина не може чи не здатна одразу оцінити середні квадратичні відхили.

Практика показує, що людина пам'ятає граничні значення відхилів (похибку граничних значень) чи здатна визначити їх, використовуючи логічні аргументи і знання фізичних законів. У більшості випадків характеристики відомі як граничні значення. Це може бути впроваджено у систематичний метод керування середніми квадратичними відхилами граничних значень.

8.3.2 Способи перетворення границь похибок

Задана границя відхилю a . Для усіх (обмежених) розподілів ϵ визначене співвідношення між середнім квадратичним відхилом (визначеним за єдиною формулою для усіх розподілів, див. 8.2.2) і граничним значенням a . Якщо граничне значення a відоме і тип розподілу відомий, то є можливість розрахувати середній квадратичний відхил. Граничне значення позначається як «мінус a » і «+ a » (лише для симетричного розподілу):

$$u_{xx} = a \cdot b. \quad (7)$$

Практика показує, що у більшості випадків зручно застосовувати лише три типи розподілу для перетворення границь відхилю в середній квадратичний відхил.

На рисунку 5 ці три типи розподілу наведено за формулою для перетворення граничного значення у складник невизначеності u_{xx} (стандартну невизначеність). Розподіл Гаусса не обмежений. Подвоєний середній квадратичний відхил ($2s$) застосовують як граничне значення розподілу Гаусса. З досвіду відомо, що людина пам'ятає значення $2s$ як граничне значення для даних розподілу Гаусса. Значення b для трьох типів розподілу на рисунку 5 становить:

— Розподіл Гаусса

$$b = 0,5$$

— Прямокутний розподіл

$$b = 0,6$$

— U-подібний розподіл

$$b = 0,7$$

Розподіл Гаусса: $b = 0,5$

$$u_{xx} = \frac{a}{2} \approx 0,5 \cdot a$$

Прямокутний розподіл: $b = 0,6$

$$u_{xx} = \frac{a}{\sqrt{3}} \approx 0,58 \cdot a \approx 0,6 \cdot a$$

U-подібний розподіл: $b = 0,7$

$$u_{xx} = \frac{a}{\sqrt{2}} \approx 0,71 \cdot a \approx 0,7 \cdot a$$

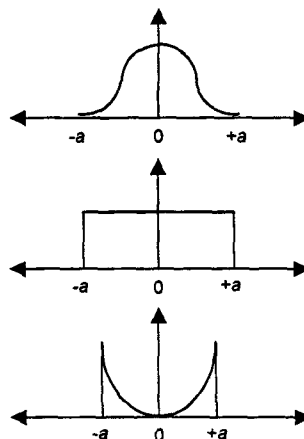


Рисунок 5 — Три типи розподілу, які застосовують для перетворення границь відхилів a у складники невизначеності u_{xx} (стандартні невизначеності)

Оцінювання за типом В складника невизначеності потребує аргументованого припущення чи знання граничного значення a . Для того щоб упевнитися, що це переоцінювання велике, але не надто, передбачено, що граничне значення визначають як значення a . Наступний крок — зробити припущення про розподіл. У більшості випадків тип розподілу відомий і очевидний. Якщо ні, то потрібно зробити загальне припущення. Якщо невідомо, чи є розподіл Гауссовим, то треба вибирати прямокутний або U-подібний розподіл. Якщо невідомо, чи є розподіл прямокутним, то потрібно вибирати U-подібний розподіл. U-подібний розподіл — це найбільш загальне припущення.

Один зі способів складання прийнятих оцінок стандартних невизначеностей для впливних величин без застосування статистичних методів — на основі досвіду чи використання фізичних законів зміна заданих границь дослідником та перетворення цих граничних значень у стандартні невизначеності за прийнятим типом розподілу складників суттєвої похибки/невизначеності.

8.4 Приклади сумарного оцінювання за типами А і В

8.4.1 Загальні положення

У цьому розділі описано деякі приклади сумарної невизначеності носіїв і складників. Ці приклади покажуть, як визначити невизначеності u_{xx} . Приклади не охоплюють усіх проблем, які виникають під час вимірювання геометричних розмірів виробів і калібрування.

8.4.2 Експериментальне чи граничне значення як основа для оцінювання одного складника невизначеності

Дані повторних вимірювань уможливають застосування оцінювання за типом А так само, як і оцінювання за типом В вислідного складника невизначеності.

Дані можна використовувати для обчислювання середнього квадратичного відхилу (складника невизначеності), використовуючи формули, наведені у 8.2.2 (оцінювання за типом А).

Ті самі дані можна використовувати для оцінювання за типом В того самого складника невизначеності, лише за умови застосування екстремальних значень у низці даних як граничних значень (a значень) стосовно середнього. Тоді складник невизначеності потрібно розраховувати за формулами, наведеними на рисунку 5.

8.4.3 Збіжність

У кожному бюджеті невизначеності збіжність наявна принаймні один раз. У більшості випадків збіжність можна оцінити лише експериментально (оцінювання за типом А). Складник невизначеності визначають за формулами для s_x і s , наведеними у 8.2.2.

Збіжність, основана на складниках невизначеності, може бути менша за складник невизначеності, отриманий з роздільної здатності зчитування засобу вимірювальної техніки. У цьому разі роздільну здатність треба застосовувати замість збіжності (див. 8.4.4).

8.4.4 Роздільна здатність і заокруглення

Роздільна здатність засобу вимірювальної техніки (аналогового чи цифрового) або ціна поділки в останній цифрі/десятковому знаку вимірюваного значення чи заокругленого вимірюваного значення, яке є найбільшим, буде складником невизначеності:

$$u_{xx} = \frac{d}{2 \cdot \sqrt{3}} \approx \frac{d}{2} \cdot 0,6 \approx 0,3 \cdot d, \quad (8)$$

де d — роздільна здатність або ціна поділки в останній цифрі чи в десятковому знаку. Складник невизначеності дорівнює складнику прямокутного розподілу з граничним значенням $a = 0,5 \cdot d$.

Коли збіжність складника невизначеності отримують за експериментальними даними, то ефект від роздільної здатності враховують, якщо збіжність охоплює більші складники невизначеності, то складник ґрунтується на роздільній здатності.

8.4.5 Максимально допустима похибка (МРЕ) засобу вимірювальної техніки

Коли засіб вимірювальної техніки чи еталон відомий і відповідає встановленим значенням МРЕ для кожної з метрологічних характеристик, то ці значення МРЕ можна використовувати, щоб обчислювати відносні складники невизначеності:

$$u_{xx} = \text{МРЕ} \cdot b, \quad (9)$$

де b вибирають відповідно до правил, наведених у 8.3.2, і прийнятого розподілу. Коли є дані про калібрування для одного засобу вимірювальної техніки чи для найбільшої кількості однакових частин засобів вимірювальної техніки, то часто можна застосувати ці дані для визначання типу розподілу або навіть інколи для оцінювання складника невизначеності як оцінювання за типом А за формулами 8.2.2.

8.4.6 Поправки

Похибки, ER , значення і знак (плюс або мінус) яких відомі, можуть бути скомпенсовані поправкою C , доданою до результату вимірювання:

$$C = -ER. \quad (10)$$

Навіть коли коригування проведено, то складник невизначеності (невизначеність поправки) зберігається. Цей складник невизначеності буде меншим за похибку/поправку для коригування, яку враховують, щоб вірогідно вплинути на невизначеність вимірювання.

Рішення про те, чи потрібно коригувати відому поправку, приймає людина, яка складає бюджет невизначеності. Критерій для коригування відомої поправки ґрунтується на економічних розрахунках.

Дрейф треба розглядати як відому похибку, яку можна скоригувати.

8.4.7 Гістерезис

Гістерезис h у показах засобів вимірювальної техніки можна розглядати як симетричну похибку/невизначеність щодо середнього значення двох показів, які формують гістерезис. Складник невизначеності можна розраховувати як оцінювання за типом А за наявності достатніх даних, або як оцінювання за типом В, якщо складник невизначеності становить:

$$u_{xx} = \frac{h}{2} \cdot b, \quad (11)$$

де b вибирають відповідно до правил, наведених у 8.3.2, і прийнятого розподілу.

8.4.8 Впливні величини (температура, вимірювальне зусилля, напрямок вимірювання тощо)

Виміри зазнають впливу низки впливних величин (див. 2.7 VIM), які впливають на засоби вимірювальної техніки та/чи об'єкт (наприклад складник, вимірювальний прилад тощо) під час вимірювання. Загальними впливними величинами під час вимірювання геометричних розмірів виробів є, наприклад, температура, вимірювальне зусилля та напрямок вимірювання. Вплив може виражатися будь-якою одиницею фізичної величини (наприклад, градусом Цельсія, ньютонем, кутом), крім одиниці довжини, і його має бути перетворено за фізичними законами (рівняннями) в одиницю довжини.

Впливні величини часто виражають через значення чи діапазон, а невизначеність для цього значення чи діапазону виражають як граничні значення.

8.4.8.1 Температура

Стандартна нормальна температура для геометричних розмірів виробів і вимірювання геометричних розмірів виробів становить 20 °C (див. ISO 1). Температурні впливи, які можуть бути спричинені зміною абсолютного значення температури, а також тривалістю і спеціальними температурними градієнтами, впливають на лінійне розширення, деформацію тощо засобів вимірювальної техніки, вимірювальної установки й об'єкта під час вимірювання. Перехід від одиниці температури до одиниці довжини виконують за рівнянням лінійного розширення:

$$\Delta L = \Delta T \cdot \alpha \cdot L, \quad (12)$$

де ΔT — відповідна зміна температури;

α — коефіцієнт температурного розширення матеріалу;

L — дійсна довжина за цих умов.

У кожному разі температуру кількох впливних величин з рівнянь перетворення температури у довжину можна використовувати разом з іншими геометричними чи фізичними рівняннями для формування повного опису впливу на результат вимірювання геометричних розмірів виробів (довжини, форми тощо).

8.4.8.2 Вимірювальне зусилля

Стандартною умовою для вимірювання геометричних розмірів виробів є нульове вимірювальне зусилля. Вплив на похибки і невизначеність вимірювання довжини ненульовим зусиллям спричиняє еластична, а в деяких випадках і пластична деформація засобу вимірювальної техніки, вимірюваль-

ної установки і вимірювального об'єкта. Особливого дослідження потребує вплив на контактну геометрію між засобом вимірювальної техніки та вимірюваним об'єктом.

Вплив вимірювального зусилля кількісно можна визначити експериментально або за фізичними рівняннями (формули Герца тощо). Цей вплив залежить від сили, напрямку цієї сили, геометрії і констант матеріалу таких, як E (модуль Юнга), ν (число Пуассона) тощо.

8.4.8.3 Напрямок вимірювання

Напрямок вимірювання треба узгоджувати з визначенням геометричних характеристик засобів вимірювальної техніки (див. ISO/TR 14638).

Вплив відхилів від визначених напрямків вимірювання можна обчислювати за основними тригонометричними рівняннями, і він може бути об'єктом для безпосереднього впливу інших впливних величин.

8.4.9 Визначання вимірюваної величини

Вимірювані величини під час вимірювання геометричних розмірів виробів — це характеристики геометричних розмірів робочих зразків (часто їх наводять як вимоги на технічних кресленнях) і метрологічні характеристики засобів вимірювальної техніки й еталонів.

Ці вимірювані значення визначені у стандартах на геометричні розміри виробів (див. ISO/TR 14638 для ознайомлення). У багатьох випадках вимірювальні методики навмисно або випадково не відповідають визначенню характеристики. У таких випадках різниця у методиках вимірювання буде впливати на похибки і невизначеності результату вимірювання. Якщо похибки відомі, то можна застосовувати поправку (див. 8.4.6). На практиці методика вимірювання завжди буде впливати на невизначеність вимірюваної величини (див. також 8.4.11).

8.4.10 Сертифікати калібрування

У сертифікатах калібрування наводять виміряні значення метрологічних характеристик і відносну невизначеність вимірювань. У разі використання наведеного значення під час калібрування складник невизначеності u_{xx} розраховують так:

— невизначеність виражають як розширену невизначеність U із установленим коефіцієнтом охоплення k згідно з GUM:

$$u_{xx} = \frac{U}{k}. \quad (13)$$

Деякі калібрувальні організації можуть регламентувати неправильні значення k . У таких випадках коефіцієнт охоплення не вказують у сертифікаті;

— невизначеність виражають як значення U_v і зазначають довірчий рівень, наприклад 95 % або 99 %:

$$u_{xx} = \frac{U_v}{m}, \quad (14)$$

де m — кількість середніх квадратичних відхилів у довірчому інтервалі, що відповідає встановленому довірчому рівню.

Сертифікат калібрування іноді самостійно або у доповнення засвідчує, що засіб вимірювальної техніки відповідає певній характеристиці (низці MPE), наведеній, наприклад, у стандарті, аркуші даних виробника тощо. У цьому разі треба використовувати номінальне значення MPE метрологічної характеристики і складник невизначеності, який розраховують з цього значення MPE, наведеного у технічних вимогах, відповідно до 8.4.5.

8.4.11 Структура поверхні, форма та інші геометричні відхили об'єкта вимірювання

Поверхні вимірюваного об'єкта під час вимірювання контактують із засобом вимірювальної техніки. Залежно від структури поверхні, відхилів форми та інших геометричних відхилів від номінальної геометрії, контактна геометрія (тип наконечника) засобу вимірювальної техніки буде взаємодіяти з поверхнею і створювати складники невизначеності.

Ці складники можна оцінювати експериментально (оцінювання за типом А), або як оцінювання за типом В, чи частково експериментально і частково як оцінювання за типом В.

8.4.12 Фізичні константи

Фізичні константи (наприклад, коефіцієнти температурного розширення, модуль Юнга, число Пуассона тощо), які входять у поправки або які перераховують з похибки впливної величини чи оцінених невизначеностей, часто точно невідомі, але їх можна розрахувати.

Тому вони є додатковими складниками невизначеності, для яких використовують ті самі формули перетворення, як і для впливних, описаних вище. Це оцінювання можна робити лише як оцінювання за типом В.

8.5 Моделі чорного і прозорого ящиків для оцінювання невизначеності

Невизначеність того самого процесу вимірювання у багатьох випадках можна оцінити на кількох етапах деталізації чи моделювання. Так, двома екстремальними випадками є методи чорного і прозорого ящиків.

У методі чорного ящика весь процес вимірювання моделюється як чорний ящик з невідомим умістом. Бюджет невизначеності та складники невизначеності лише описують повний вплив на вимірювальний процес. За цією моделлю може бути важко визначити функційний взаємозв'язок між складниками невизначеності й окремими носіями похибки.

Крім того, під час складання бюджету невизначеності, може бути необхідним відкриття чорного ящика і створення докладнішого бюджету невизначеності. Це могло б бути зроблено або з використанням кількох менших чорних ящиків або дослідженням усіх деталей під час вимірювального процесу (модель прозорого ящика оцінювання невизначеності). Метод чорного ящика може бути також охарактеризовано як метод з низькою роздільною здатністю, а метод прозорого ящика — як метод/модель з високою роздільною здатністю.

У моделі чорного ящика для оцінювання невизначеності вхідні та вихідні одиниці однакові, складники невизначеності вважаються додатковими і сума складників невизначеності має нульове значення математичного очікування. Щоб реалізувати цілі моделі чорного ящика у цьому стандарті і методі PUMA, усі одиниці впливних величин перетворюють на одиниці вимірюваної величини. Тому в моделі чорного ящика коефіцієнти чутливості окремого складника невизначеності дорівнюють 1 (одиниці).

У моделі прозорого ящика для оцінювання невизначеності ці обмеження складників невизначеності (додаткові складники невизначеності; вхідна одиниця, що є ідентичною вихідній; коефіцієнт чутливості дорівнює 1) не враховують.

8.6 Метод чорного ящика для оцінювання невизначеності. Підсумовування складників невизначеності в сумарній стандартній невизначеності u_c

У методі чорного ящика для оцінювання невизначеності результат вимірювання — це значення, що зчитується і скориговане в підсумку з використанням відомої поправки:

$$Y = X + C, \quad (15)$$

де X — значення, що зчитується з вимірювального приладу;

$C = \sum C_i$ — сума відповідних додаткових поправок, відомих за результатами, наприклад, калібрування, коригування температури, коригування деформації тощо.

Сумарну стандартну невизначеність вимірювання обчислюють за формулою:

$$u_c = \sqrt{u_r^2 + \sum_1^p u_i^2}, \quad (16)$$

де p — кількість нескорельованих складників невизначеності;

u_r — сума строго скорельованих ($\rho = 1$ чи $\rho = -1$) складників невизначеності, які обчислюють за формулою:

$$u_r = \sum_1^r u_{r,i}, \quad (17)$$

де r — кількість строго скорельованих носіїв невизначеності.

Отже, $p + r$ комбінуються під час вимірювання Y .

Нескорельовані ($\rho = 0$) носії невизначеності треба додавати геометрично (корінь квадратний із суми квадратів).

Строго скорельовані носії невизначеності потрібно додавати арифметично.

Приблизна оцінка полягає в розгляді всіх носіїв невизначеності, про які відомо, що вони не цілком нескорельовані, на відміну від строго скорельованих.

8.7 Метод прозорого ящика для оцінювання невизначеності. Підсумовування складників невизначеності в сумарній стандартній невизначеності u_c

У методі прозорого ящика для оцінювання невизначеності значення вимірюваної величини моделюється як функція кількох значень вимірювання X_i , що самостійно могли б бути функціями (моделями прозорого ящика) і/чи моделями чорного ящика:

$$Y = G(X_1, X_2, \dots, X_i, \dots, X_{p+r}). \quad (18)$$

Сумарну стандартну невизначеність вимірювання визначають за формулою:

$$u_c = \sqrt{u_r^2 + \sum_{i=1}^p \left(\frac{\partial Y}{\partial X_i} \cdot u_{X_i} \right)^2}, \quad (19)$$

де u_r — сума строго скорельованих складників невизначеності вимірювання:

$$u_r = \sum_{i=1}^r \frac{\partial Y}{\partial X_i} \cdot u_{X_i}, \quad (20)$$

де $\frac{\partial Y}{\partial X_i}$ — частинна похідна функції Y відносно X_i ;

u_{X_i} — сумарна стандартна невизначеність вимірювання кількості і значень вимірювання (функцій), що є частиною методу прозорого ящика для оцінювання невизначеності вимірювання Y .

u_{X_i} може бути результатом (u_c — сумарна стандартна невизначеність) або методу чорного ящика (див. 8.6), або методу прозорого ящика для оцінювання невизначеності.

Нескорельовані ($\rho = 0$) складники невизначеності вимірювання треба складати геометрично (квадратний корінь із суми квадратів).

Строго скорельовані складники невизначеності треба додавати арифметично (кількість строго скорельованих складників невизначеності становить r).

Приблизна оцінка полягає у прийнятті всіх складників, про які невідомо, що вони цілком нескорельовані, як строго скорельованих.

Кількість нескорельованих складників невизначеності становить p .

Отже, для оцінювання невизначеності Y використовували $p + r$ складників невизначеності для цього методу прозорого ящика, кожен з яких може мати ряд складників невизначеності вимірювання.

8.8 Оцінювання розширеної невизначеності U за сумарною стандартною невизначеністю u_c

Розширену невизначеність вимірювання U у вимірюваннях геометричних розмірів виробів обчислюють так:

$$U = u_c \cdot k = u_c \cdot 2. \quad (21)$$

Якщо немає жодних інших вказівок, то коефіцієнт охоплення у вимірюваннях геометричних розмірів виробів k дорівнює 2 (див. ISO 14253-1).

8.9 Природа невизначеності параметрів вимірювання u_c і U

Складники невизначеності та сумарну невизначеність вимірювання, як показано, оцінюють як стандартну невизначеність u_{xx} і u_c відповідно. У практиці промислових вимірювань геометричних розмірів виробів складниками невизначеності є об'єднання констант і різних носіїв з тимчасовими константами, які охоплюють кілька порядків значущості. Невизначеність вимірювання охоплює всі нескориговані систематичні похибки, незважаючи на причини. Неможливо скоригувати всі систематичні похибки.

Тому в більшості випадків u_c і U — не випадкові змінні. Це квазіконстанти, а не відомі похибки. Тому не варто розглядати U і u_c як середні квадратичні відхили, а краще їх вважати постійними (невідомими) похибками.

9 ПРАКТИЧНЕ ОЦІНЮВАННЯ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ СКЛАДАННЯ БЮДЖЕТУ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ З РУМА

9.1 Загальні положення

Застосування методу РУМА і складання бюджетів невизначеності та відповідних документів наведено як приклад у додатку А.

У цьому розділі зазначено тільки послідовність документування та методику оцінювання кожного складника невизначеності, що входить у бюджет невизначеності.

9.2 Підготовка до складання бюджету невизначеності

Складання бюджету невизначеності можливо тільки, коли:

— завдання вимірювання чітко визначено. Характеристики робочого зразка чи характеристики засобу вимірювальної техніки треба установити й визначити як завдання (рамка 1 на рисунку 2).

Бюджет невизначеності створюють тільки для одного окремого зазначеного результату вимірювання. Окремий результат вимірювання можна розглядати як один із групи результатів вимірювання;

— принцип вимірювання чітко визначено та відомо чи принаймні спочатку визначено як приблизну схему (рамка 3 на рисунку 2);

— метод вимірювання ретельно визначено та відомо чи принаймні спочатку визначено як приблизну схему (рамка 4 на рисунку 2);

— методику вимірювання ретельно задокументовано та відомо чи принаймні спочатку визначено як приблизну схему (рамка 5 на рисунку 2).

Методика вимірювання охоплює вибирання засобу вимірювальної техніки.

Методика вимірювання містить докладну інформацію про те, як засобом вимірювальної техніки і робочим зразком керують під час вимірювання. Бюджет невизначеності дзеркально відбиває дії і кроки методики вимірювання;

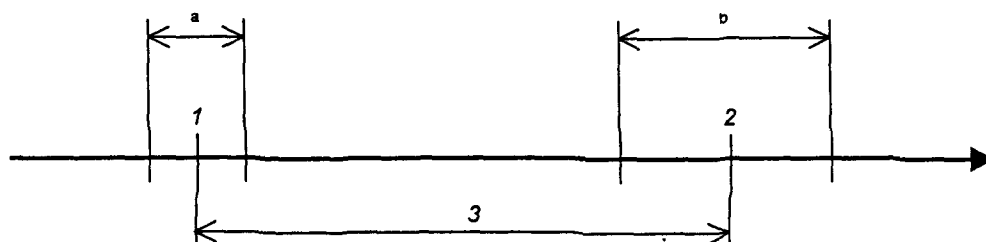
— умови вимірювання визначено та відомо чи принаймні спочатку визначено як приблизну схему (рамка 6 на рисунку 2).

Важливо, що кожне вимірювання буде складатися з трьох елементів (1, 2 і 3), показаних на рисунку 6. Бюджет невизначеності має відображати три елементи:

— визначену вихідну точку (1 на рисунку 6), найчастіше це нуль. У більшості випадків нуль (точку 1) засобу вимірювальної техніки встановлюють як робочу точку під час калібрування. Невизначеність належить до установлювання вихідної точки чи нуля;

— визначену вимірювальну точку (2 на рисунку 6), покази засобу вимірювальної техніки під час вимірювання характеристики робочого зразка чи засобу вимірювальної техніки. Невизначеність належить до самого показу, залежно від характеристик засобу вимірювальної техніки та вимірювального об'єкта;

— перехід засобу вимірювальної техніки (3 на рисунку 6) з вихідної точки у вимірювальну точку. Похибку та/чи невизначеність цього переходу визначають за результатами калібрування засобів вимірювальної техніки.



Позначки:

1 — вихідна точка;

2 — вимірювальна точка;

3 — перехід засобу вимірювальної техніки.

^a Діапазон невизначеності вихідної точки.

^b Діапазон невизначеності вимірювальної точки.

Рисунк 6 — Загальна модель трьох елементів процесу вимірювання

Кожний із трьох елементів додатково впливає на джерела похибки, наведені в розділі 7. Вплив від джерел похибки/невизначеності треба систематично перевіряти в бюджеті невизначеності.

Загальне завдання вимірювання, тобто визначення числового значення характеристики (вимірюваної) обчисленням двох або більше вимірюваних величин показу засобу вимірювальної техніки, характеризується похибкою діапазону. У таких випадках бюджет невизначеності може бути складено для основного вимірювання, тобто для одного з кількох значень калібрування. Невизначеність, яка стосується характеристики, що її треба кількісно визначити, оцінюють за значеннями невизначеності основного вимірювання.

9.3 Стандартна методика для складання бюджету невизначеності

Наведена нижче методика може бути корисна для складання і документування бюджету невизначеності, це перша ітерація за методом PUMA.

9.3.1 Визначають і документують загальне завдання вимірювання (характеристика, яку треба виміряти) і основне значення вимірювання (основний результат вимірювання (див. 9.2)), для якого треба скласти бюджет невизначеності.

9.3.2 Документи:

- принцип вимірювання;
- метод вимірювання;
- методика вимірювання;
- умови вимірювання.

Якщо немає повної інформації, то вибирають і документують основний чи прийнятий попередній принцип, попередній метод, попередню методику і попередні умови відповідно до принципу переоцінювання складників невизначеності, наведені у розділі 5.

9.3.3 Роблять графічну презентацію вимірювальної(-их) установки(-ок). Рисунок (рисунки) може(-уть) бути корисним(и) для розуміння носіїв невизначеності, що наявні у процесі вимірювання.

9.3.4 Документують математичні відношення між вимірюваними значеннями і характеристиками загального завдання вимірювання.

Математичне відношення зазвичай не потрібно, якщо завдання вимірювання може бути вирішено методом чорного ящика (див. 8.6).

Математичне відношення потрібно, якщо завдання вимірювання може бути вирішено методом прозорого ящика (див. 8.7).

9.3.5 Виконують попереднє досліджування і документування всіх можливих носіїв невизначеності і складників. Результат і документацію можна зазначити в таблиці, як показано на рисунку 7.

Познака (низька роздільна здатність)	Познака (висока роздільна здатність)	Назва	Коментарі (попередні)
U_{xx}	U_{xa}	Назва x_a	Попередні спостереження, інформація, коментарі та рішення щодо складника невизначеності x_a
	U_{xb}	Назва x_b	Попередні спостереження, інформація, коментарі та рішення щодо складника невизначеності x_b
	U_{xc}	Назва x_c	Попередні спостереження, інформація, коментарі та рішення щодо складника невизначеності x_c
		Назва повної x_x	Попередні спостереження, інформація, коментарі та рішення щодо складника повної невизначеності x_x
U_{yy}	U_{ya}	Назва y_a	Попередні спостереження, інформація, коментарі та рішення щодо складника невизначеності y_a
	U_{yb}	Назва y_b	Попередні спостереження, інформація, коментарі та рішення щодо складника невизначеності y_b
		Назва повної y_y	Попередні спостереження, інформація, коментарі та рішення щодо складника повної невизначеності y_y
U_{zz}		Назва z_z	Попередні спостереження, інформація, коментарі та рішення щодо складника невизначеності z_z

Рисунок 7 — Попередній перегляд, позначки, назви та коментування складників невизначеності в бюджеті невизначеності

Досліджування роблять у систематичній послідовності, використовуючи три елементи, наведені на рисунку 6, потенційні джерела похибки, подані в розділі 7, і вже задокументовану інформацію з 9.3.1 і 9.3.2.

Розподіл невизначеності вимірювання на складники невизначеності треба виконати так, щоб той самий складник не було враховано більше одного разу, але в більшості випадків на практиці це неможливо. Цей принцип найважливіший для основних складників у бюджеті невизначеності.

Таблиця на рисунку 7 має два рівні роздільної здатності. Ці рівні застосовують на початковій фазі та перед першою PUMA-ітерацією, у якій моделювання невизначеності ще не зроблено. Низька роздільна здатність часто означає наявність одного окремого чорного ящика як моделі. Висока роздільна здатність дає можливість розділення окремого чорного ящика на кілька менших чорних ящиків.

Для кожного складника невизначеності визначають і документують математичні позначки і назви (позначки) на двох рівнях роздільної здатності.

Колонку коментарів на рисунку 7 використовують для об'єднання інформації, умов і навіть попередніх рішень щодо цього складника невизначеності. У колонці коментарів пишуть пояснення.

9.3.6 ґрунтуючись на інформації, поданій і задокументованій на рисунку 7, потрібно дослідити і зробити усе необхідне для моделювання невизначеності на цьому етапі ітерації.

Для кожного складника невизначеності:

- вибирають метод оцінювання за типом А чи за типом В (див. 8.2 і 8.3);
- документують і затверджують вихідні дані тощо для оцінювання значення складника невизначеності;
- у разі оцінювання за типом А устанавлюють значення складника і необхідну для нього кількість вимірювань,
- у разі оцінювання за типом В устанавлюють граничне значення a^* (межа відхилю в одиницях впливної величини), a , прийнятий розподіл і кінцеве значення складника невизначеності.

9.3.7 Досліджують, знаходять і документують будь-яку можливу кореляцію між зазначеними складниками невизначеності відповідно до вимог розділу 5.

9.3.8 Вибирають правильні формули залежно від моделювання і коригування й обчислюють сумарну стандартну невизначеність u_c (див. 8.6 і 8.7).

9.3.9 Обчислюють розширену невизначеність U , де $U = 2 \cdot u_c$ (див. 8.8).

9.3.10 Складають зведену таблицю, що містить усю найважливішу інформацію про бюджет невизначеності (див. приклад на рисунку 8). Досліджують можливі зміни, які можуть змінити оцінку

Назва складника	Тип оцінювання	Тип розподілу	Кількість вимірювань	Граничний відхил a^* , впливні одиниці	Граничний відхил a , мкм	Коефіцієнт кореляції	Коефіцієнт розподілу b	Складник невизначеності u_{xi} , мкм
u_{xa} Назва x_a	A		10			0		1,60
u_{xb} Назва x_b	B	Гаусса		1,90	1,90	0	0,5	0,95
u_{xc} Назва x_c	B	Прямокутний		3,42	3,42	0	0,6	2,05
u_{ya} Назва y_a	A		15			0		1,20
u_{yb} Назва y_b	A		15			0		0,60
u_{za} Назва z_a	B	U-подібний		10 °C	157	0	0,7	1,10
u_{zb} Назва z_b	B	U-подібний		15 °C $\alpha_1/\alpha_2 = 1,1$	60	0	0,7	0,42
Сумарна стандартна невизначеність u_c								3,29
Розширена невизначеність ($k = 2$), U								6,58

Рисунок 8 — Приклад зведеної таблиці з усією найважливішою інформацією про бюджет невизначеності

невизначеності — для підготовки до наступної ітерації, яка у разі необхідності може відбуватися зразу чи пізніше. Важливо виконувати економічне дослідження.

10 ЗАСТОСУВАННЯ

10.1 Загальні положення

Звичайний бюджет невизначеності для вимірювань геометричних розмірів виробів може бути розрахований за наведеною нижче формулою. Складники невизначеності групують залежно від їхнього виду:

$$u_c = \sqrt{u_{MPE}^2 + \dots + u_{Mx}^2 + \dots + u_{Bx}^2 + \dots + u_{Ox}^2 + \dots + u_{Ex}^2 + \dots}, \quad (22)$$

$$U = u_c \cdot k \quad (k = 2). \quad (23)$$

Групи складників невизначеності походять від, наприклад:

— Засобу вимірювальної техніки (чи еталона)	$u_{MPE1}, u_{MPE2}, u_{MPE3}, \dots$
— Навколишнього середовища	$u_{M1}, u_{M2}, u_{M3}, \dots$
— Людини/персоналу	$u_{B1}, u_{B2}, u_{B3}, \dots$
— Організації вимірювання	$u_{O1}, u_{O2}, u_{O3}, \dots$
— Вимірювального об'єкта (робочого зразка чи засобу вимірювальної техніки)	$u_{E1}, u_{E2}, u_{E3}, \dots$
— Визначення характеристики об'єкта	$u_{D1}, u_{D2}, u_{D3}, \dots$
— Методики вимірювання	$u_{P1}, u_{P2}, u_{P3}, \dots$
— Інших чинників	u_{ix}, \dots

Практика показує, що різні групи складників невизначеності в багатьох випадках не впливають один на одного, якщо зміни в одній з інших груп невеликі. Це означає, що формулу можна використовувати для оцінювання впливу на невизначеність вимірювання від однієї чи більше груп, в абсолютній формі також, як і у відносній.

Можна також подавати бюджет невизначеності і зміни в одній чи більше групах в економічних термінах і результатах і, таким чином, використовувати бюджет невизначеності для оцінювання економічного впливу складників невизначеності.

У наведених нижче підрозділах подано приклади застосування бюджетів невизначеності та методу PUMA. Цей список неповний.

10.2 Документування й оцінювання значення невизначеності

Як було показано на багатьох прикладах, бюджет невизначеності зможе дати оцінку значення невизначеності для наявного процесу вимірювання чи калібрування.

10.3 Розроблення і документування методики вимірювання чи калібрування

10.3.1 Документування й оптимізація процесу вимірювання і калібрування

Метод PUMA уможливорює документування й оптимізацію процесу вимірювання чи калібрування, враховуючи технічний та/чи економічний критерій, коли оптимізація проходить через низку ітерацій.

10.3.2 Розроблення методики і вказівок щодо вимірювання

Під час одночасного розроблення методик вимірювання і бюджетів невизначеності метод PUMA уможливорює аналізування впливу кожної підметодики, основаної на наявності невизначеності. Тому треба розробити (й оптимізувати) загальну методику вимірювання і відповідні вказівки.

10.3.3 Розроблення методик і вказівок щодо калібрування

Під час одночасного розроблення методик калібрування і бюджетів невизначеності метод PUMA уможливорює аналізування впливу кожної підметодики, основаної на наявності невизначеності. Тому потрібно розробити (й оптимізувати) загальну методику калібрування та відповідні вказівки.

10.3.4 Придатність чи непридатність вторинних методів вимірювання та засобів вимірювальної техніки

У більшості випадків застосування найбільш придатних методу вимірювання і засобів вимірювальної техніки для визначення вимірюваної характеристики (характеристики геометричних розмірів робочого зразка чи метрологічної характеристики засобу вимірювальної техніки) є занадто дорогим та

тривалим. Результати аналізування вимірювального об'єкта для відхилів форми та кута й дослідження впливу на бюджет невизначеності дають можливість вибирати вторинні методи вимірювання та засоби вимірювальної техніки чи відмовлятися від них і зменшувати витрати, наприклад, дослідити, чи можуть бути три точки вимірювання (вторинний метод) у V-блоці дійсним заміщенням для вимірювання округлості зміною в округлості (найбільш придатний метод визначання округлості).

10.3.5 Придатність засобів вимірювальної техніки та готування

Вплив на невизначеність вимірювання через підготовку спеціального засобу вимірювальної техніки ($u_{\text{МПЕХ}}$) і через проведення вимірювання ($u_{\text{ОХ}}$) можна оцінити з бюджету невизначеності. Усі інші складники невизначеності вважають незмінними. Коли кінцева сумарна стандартна невизначеність задовольняє вимогу цільової невизначеності, то засіб вимірювальної техніки та проведення вимірювання визнають придатними щодо цього завдання вимірювання.

10.3.6 Демонстрування найкращої вимірювальної здатності (ВМС)

Найкраща вимірювальна здатність (ВМС) — це найменша з можливих невизначеність вимірювання, яку досягають у компанії чи лабораторії для конкретного завдання вимірювання. Одержання мінімальних значень усіх складників невизначеності $u_{\text{с, min}}$ у бюджеті невизначеності є завданням ВМС.

10.4 Розроблення, оптимізація і документування порядку калібрування

10.4.1 Розроблення ієрархії калібрування

Бюджет невизначеності впливає на рівняння функційного взаємозв'язку між двома рівнями в ієрархії калібрування в компанії чи в калібрувальній лабораторії (див. приклад у додатку А і на рисунку 9). Використовують метод PUMA із установленою цільовою невизначеністю у репрезентативних заводських вимірюваннях зі складниками невизначеності, що виникають від засобів вимірювальної техніки ($u_{\text{МПЕХ}}$), як змінними, а зі всіма іншими складниками невизначеності як фіксованими значеннями використовують результати методу PUMA з мінімальними вимогами (МРЕs) до метрологічних характеристик засобів вимірювальної техніки (див. рисунок 9).

Та сама методика, використовувана для вимірювання під час калібрування засобів вимірювальної техніки, буде впливати на мінімальні вимоги до метрологічних характеристик еталонів. Методику можна використовувати на всіх рівнях ієрархії калібрування, і, таким чином, можна розробити повну ієрархію калібрування в компанії чи лабораторії.

10.4.2 Вимоги до придатності еталонів

Вплив на невизначеність вимірювання під час калібрування еталона ($u_{\text{МПЕХ}}$) можна встановити з бюджету невизначеності. Всі інші складники невизначеності вважають незмінними. Коли кінцева сумарна стандартна невизначеність задовольняє вимогу цільової невизначеності, то вважають, що еталон придатний для цього завдання калібрування.

10.4.3 Вимоги до придатності зовнішніх сертифікатів калібрування

Метрологічні характеристики вторинних еталонів у компанії чи лабораторії впливають на складники невизначеності в бюджетах невизначеності для калібрування наступного меншого рівня ієрархії калібрування. Вторинні еталони діють як засоби вимірювальної техніки, а засоби вимірювальної техніки наступного меншого рівня діють як вимірювальний об'єкт. Вважаючи всі інші складники невизначеності незмінними та складники невизначеності від вторинного еталона ($u_{\text{МПЕХ}}$) змінними, вимоги до сертифікатів калібрування можна визначити за формулою:

$$u_T \geq u_C = \sqrt{u_{\text{ЕМТХ}}^2 + \dots + u_{\text{МХ}}^2 + \dots + u_{\text{ВХ}}^2 + \dots + u_{\text{ОХ}}^2 + \dots + u_{\text{ЕХ}}^2 + \dots + u_{\text{ОХ}}^2 + \dots + u_{\text{РХ}}^2 + \dots} \quad (24)$$

Сертифікат калібрування вважають придатним, якщо вислідна стандартна невизначеність задовольняє вимогу цільової невизначеності.

10.4.4 Оцінювання застосування еталонів порівняння

Еталони порівняння, використовувані в заводських умовах як додаткові засоби для калібрування, можуть зменшити невизначеність вимірювання. Заміною відповідних складників невизначеності у вихідному бюджеті невизначеності, складеному для відкаліброваного засобу вимірювальної техніки, з урахуванням можливих нових складників невизначеності, можна оцінити вплив від застосування еталона порівняння на невизначеність вимірювання (див. приклад у додатку А).

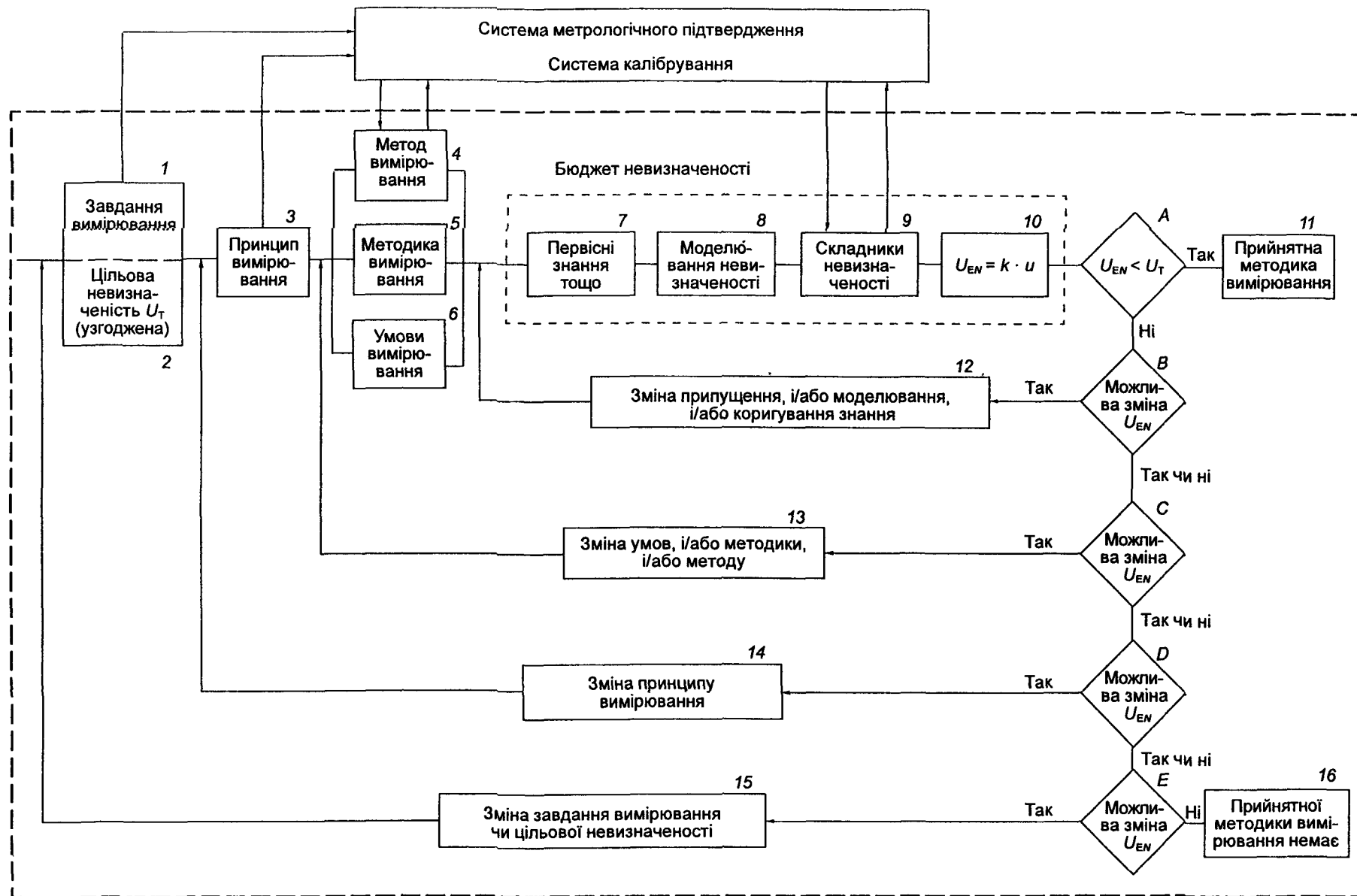


Рисунок 9 — Взаємозв'язок між бюджетом невизначеності та рівнем калібрування засобу вимірювальної техніки чи еталона, який використовують під час вимірювання

10.5 Розроблення та документування нового засобу вимірювальної техніки

10.5.1 Технічні вимоги до нового засобу вимірювальної техніки

Бюджет невизначеності до конкретного завдання вимірювання може бути розроблено зі складниками невизначеності засобу вимірювальної техніки ($u_{\text{мрех}}$) як невідомими змінними і всіма іншими складниками невизначеності як незмінними. Вимоги до нового засобу вимірювальної техніки, якого у компанії ще немає, можна розрахувати за формулою (24).

10.5.2 Розроблення спеціального засобу вимірювальної техніки

Бюджет невизначеності до спеціального завдання вимірювання може бути розроблено зі складниками невизначеності ще не розробленого засобу вимірювальної техніки як невідомими змінними і всіма іншими складниками невизначеності як незмінними. Спроектвані вимоги до нового засобу вимірювальної техніки можна розрахувати за формулою (24).

10.6 Вимоги до визначення придатності умов навколишнього середовища

Вплив на невизначеність вимірювання умов навколишнього середовища ($u_{\text{мх}}$) можна встановити з бюджету невизначеності. Усі інші складники невизначеності є незмінними. Складники невизначеності для навколишнього середовища вважають змінними. Вимоги до навколишнього середовища можна визначити за формулою (24).

Умови навколишнього середовища задовольняють завдання вимірювання, якщо вислідна сумарна стандартна невизначеність відповідає вимогам цільової невизначеності.

10.7 Вимоги до кваліфікації персоналу, який вимірює

Вплив персоналу на невизначеність вимірювання ($u_{\text{вх}}$) можна спостерігати з бюджету невизначеності. Усі інші складники невизначеності є незмінними. Складники невизначеності для персоналу вважають змінними. Вимоги до персоналу можна визначити за формулою (24).

Персонал вважають кваліфікованим, якщо вислідна сумарна стандартна невизначеність відповідає вимогам цільової невизначеності.

ДОДАТОК А (довідковий)

ПРИКЛАД БЮДЖЕТІВ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ КАЛІБРУВАННЯ ВСТАНОВЛЕНОГО КІЛЬЦЯ

УВАГА! Варто зазначити, що наведений нижче приклад ілюструє тільки метод PUMA. Він охоплює лише носії невизначеності, значущі у наведених випадках. Для різних значень цільових невизначеностей і застосувань значущими можуть бути інші носії невизначеності.

A.1 Сфера застосування

Цей приклад охоплює оцінювання невизначеності вимірювання й уточнення методики вимірювання й умов вимірювання для завдання вимірювання у разі застосування методу PUMA.

A.2 Завдання та цільова невизначеність

A.2.1 Завдання вимірювання

Завдання вимірювання полягає в калібруванні встановленого кільця діаметром 100 мм і товщиною 15 мм та двох точок діаметра в одному визначеному напрямку в площині симетрії. Округлість у площині симетрії становить 0,2 мкм.

A.2.2 Цільова невизначеність

Цільова невизначеність дорівнює 1,5 мкм.

A.3 Принцип, метод, методика й умови вимірювання

A.3.1 Принцип вимірювання

Механічний контакт, порівняння з відомою довжиною (еталонне кільце).

А.3.2 Метод вимірювання

Диференційний, порівняння еталона діаметром 100 мм і установленого кільця діаметром 100 мм з невідомими метрологічними характеристиками.

А.3.3 Попередня методика вимірювання

- Установлене кільце вимірюють на горизонтальній вимірювальній машині.
- Використовують еталонне кільце (діаметром 100 мм).
- Горизонтальну вимірювальну машину застосовують як компаратор.

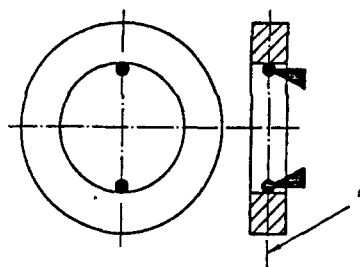
А.3.4 Попередні умови вимірювання

— Характеристики горизонтальної вимірювальної машини відповідають вимогам, зазначеним виробником (див. таблицю А.1).

- Цифровий крок під час зчитування даних на вихідному дисплеї становить 0,1 мкм.
- Температура повітря в лабораторії становить $(20 \pm 1) ^\circ\text{C}$.
- Зміну температури вимірювальної машини упродовж усього часу зареєстровано до $0,25 ^\circ\text{C}$.
- Різниця температур установленого кільця й еталонного кільця не перевищує $1 ^\circ\text{C}$.
- Вимірювальну машину та кільця зроблено зі сталі.
- Оператор має практичний досвід і знання про роботу з вимірювальною машиною.

А.4 Графічне зображення вимірювання

Див. рисунок А.1.



* Площина симетрії.

Рисунок А.1 — Завдання вимірювання

А.5 Список і опис носіїв невизначеності

Див. таблицю А.1.

Таблиця А.1 — Огляд складників невизначеності для вимірювання діаметра і коментарі щодо них

Позначка (низька роздільна здатність)	Позначка (висока роздільна здатність)	Назва складника невизначеності	Коментарі	
U_{RS}		Вторинний еталон (кільце)	Невизначеність зазначають для діаметра 100 мм у сертифікаті калібрування (установленої форми) як $U = 0,8$ мкм	
U_{EC}		Похибка показу вимірювальної машини	Вимірювальну машину калібрують і в документах записують характеристики (МРЕ значення). Похибка шкали перебуває в межах $0,6 \text{ м} + 4,5 \text{ мкм/м}$ для мінливого нуля	
U_{PA}		Юстування вимірю- вальних наконеч- ників	Доти, поки еталонне кільце і кільце, яке калібрують, контактують тим самим способом (по довжині їхніх діаметрів, що перебуває в межах прийнятного діапазону), похибка паралельності може бути незначною	
U_{RR}	U_{RA}	Роздільна здатність	$u_{RA} = \frac{d}{2 \cdot \sqrt{3}} = \frac{0,1 \text{ мкм}}{2 \cdot \sqrt{3}} = 0,029 \text{ мкм}$	Найбільша з двох дорівнює U_{RR}
	U_{RE}	Збіжність	Вивчення збіжності показало, що середній квадратичний відхил дорівнює 0,7 мкм (це відповідає 0,5 мкм для вимірювання еталонного кільця і 0,5 мкм для вимірювання діаметра калібр-кільця за їхнього спільного зведення в квадрат)	

Кінець таблиці А.1

Позначка (низька роздільна здатність)	Позначка (висока роздільна здатність)	Назва складника невизначеності	Коментарі
u_{TD}		Різниця температур двох кілець	Різниця температур еталонного кільця і кільця, яке калібрують за припущенням відповідає U-подібному розподілу. Передбачають, що обидва вимірювання такі близькі один до одного у часі, що температура вимірювальної машини не змінюється
u_{TA}		Різниця коефіцієнтів температурного розширення	За припущенням температура має U-подібний розподіл. Передбачають, що обидва вимірювання такі близькі один до одного у часі, що температура вимірювальної машини не змінюється
u_{RO}		Округлість установленого кільця	Округлість дорівнює 0,2 мкм. Кільце має похибку, обумовлену формою еліпса

A.6 Перша ітерація**A.6.1 Перша ітерація. Записування й обчислювання складників невизначеності** **u_{RS} — вторинний еталон (кільце)****Зазначено в сертифікаті калібрування**

Відповідно до сертифіката калібрування (Сертифікат № XPQ-23315-97) розширена невизначеність сертифікованого діаметра еталонного кільця дорівнює 0,8 мкм (коефіцієнт охоплення $k = 2$):

$$u_{RS} = \frac{U}{k} = \frac{0,8 \text{ мкм}}{2} = 0,8 \text{ мкм} \cdot 0,5 = 0,4 \text{ мкм}.$$

 u_{EC} — похибка показу горизонтальної вимірювальної машини **Оцінювання за типом В**

Значення MPE похибки кривої характеристики показу (основаного на мінливому нулі) дорівнює 0,6 мкм + 4,5 мкм/м. Вимірювана відстань (різниця в діаметрі) між еталонним кільцем і кільцями, які калібрують, дуже мала (менше ніж 1 мм). Отже, $a_{EC} = 0,6$ мкм.

Припускають прямокутний розподіл ($b = 0,6$). Ці результати в складнику невизначеності обчислюють так:

$$u_{EC} = 0,6 \text{ мкм} \cdot 0,6 = 0,36 \text{ мкм}.$$

 u_{PA} — юстування вимірювальних наконечників**Оцінювання за типом В**

Доти, доки еталонне кільце і кільце, що калібрують, контактують тим самим способом (по довжині їхніх діаметрів, що перебувають у межах прийнятного діапазону), похибка паралельності може бути незначною.

$$u_{PA} \approx 0 \text{ мкм}.$$

 u_{RR} — збіжність/роздільна здатність**Оцінювання за типом А**

Вивчено збіжність на кільцях різного діаметра. Середній квадратичний відхил становить 0,7 мкм. (Це відповідає 0,5 мкм для вимірювання еталонного кільця і 0,5 мкм для вимірювання калібр-кільця за їхнього спільного зведення в квадрат).

Це дає складник невизначеності:

$$s_{RR} = \frac{0,7 \text{ мкм}}{6} = 0,12 \text{ мкм}.$$

 u_{TD} — різниця температур двох кілець**Оцінювання за типом В**

Різниця температур двох кілець не повинна перевищувати 1 °С. Припускають, що коефіцієнт температурного розширення для двох кілець дорівнює $\alpha = 1,1 \text{ мкм} / (100 \text{ мм} \cdot ^\circ\text{C})$. Отже:

$$\alpha_{TD} = \frac{1,1 \text{ мкм}}{100 \text{ мм} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 1 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot 100 \text{ мм} = 1,1 \text{ мкм}.$$

Припускають U-подібний розподіл ($b = 0,7$):

$$u_{TD} = 1,1 \text{ мкм} \cdot 0,7 = 0,77 \text{ мкм}.$$

u_{TA} — різниця коефіцієнтів температурного розширення

Оцінювання за типом В

Максимальний відхил від 20 °C становить 1 °C. Різниця коефіцієнтів температурного розширення приблизно менше ніж 10 %. Отже:

$$\alpha_{TD} = \frac{1,1 \text{ мкм}}{100 \text{ мм} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 1 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot 100 \text{ мм} \cdot 10 \% = 0,11 \text{ мкм}.$$

Припускають U-подібний розподіл ($b = 0,7$):

$$u_{TA} = 0,11 \text{ мкм} \cdot 0,7 = 0,08 \text{ мкм}.$$

u_{RO} — округлість установленого кільця

Оцінювання за типом В

Наявна похибка через форму еліпса і відхил від округлості становить 0,2 мкм. Діаметр визначають і вимірюють в одному зазначеному напрямку на кільці. Тому округлість не має значущого впливу.

$$u_{RO} \approx 0 \text{ мкм}.$$

А.6.2 Перша ітерація. Кореляція між складниками невизначеності

Вирішено, що кореляції між складниками невизначеності немає.

А.6.3 Перша ітерація. Сумарна та розширена невизначеність

Якщо немає кореляції між складниками невизначеності, то сумарну стандартну невизначеність визначають за формулою:

$$u_c = \sqrt{u_{RS}^2 + u_{EC}^2 + u_{PA}^2 + u_{RR}^2 + u_{TD}^2 + u_{TA}^2 + u_{RO}^2}$$

Значення згідно з А.1.6.1:

$$u_c = \sqrt{(0,40^2 + 0,36^2 + 0^2 + 0,12^2 + 0,77^2 + 0,08^2 + 0^2)} \text{ мкм}^2, u_c = 0,95 \text{ мкм}.$$

Розширена невизначеність:

$$U = u_c \cdot k = 0,95 \text{ мкм} \cdot k = 1,90 \text{ мкм}.$$

А.6.4 Загальний бюджет невизначеності. Перша ітерація

Див. таблицю А.2.

Таблиця А.2 — Загальний бюджет невизначеності (перша ітерація)

Назва складника	Тип оцінювання	Тип розподілу	Кількість вимірювань	Граничний відхил a^* , впливні одиниці	Граничний відхил a , мкм	Коефіцієнт кореляції	Коефіцієнт розподілу b	Складник невизначеності u_{xi} , мкм
u_{RS} Вторинний еталон (кільце)	За сертифікатом					0	0,5	0,40
u_{EC} Похибка показу вимірювальної машини	В	Прямокутний		0,6 мкм	0,6	0	0,6	0,36
u_{PA} Юстування вимірювальних наконечників	В	Прямокутний		0 мкм	0	0	0,6	0
u_{RR} Збіжність/роздільна здатність	А		6			0		0,12

Кінець таблиці А.2

Назва складника	Тип оцінювання	Тип розподілу	Кількість вимірювань	Граничний відхил a^* , впливні одиниці	Граничний відхил a , мкм	Коефіцієнт кореляції	Коефіцієнт розподілу b	Складник невизначеності u_{xx} , мкм
u_{TD} Різниця температур двох кілець	B	U-подібний		1 °C	1,1	0	0,7	0,77
u_{TA} Різниця коефіцієнтів температурного розширення	B	U-подібний		1 °C	0,11	0	0,7	0,08
u_{RO} Округлість встановленого кільця	B			0 мкм	0	0		0
Сумарна стандартна невизначеність u_c								0,95
Розширена невизначеність ($k = 2$), U								1,90

А.6.5 Перша ітерація. Обговорення бюджету невизначеності

Критерій $U_{E1} < U_T$ не трапляється. Тільки один складник невизначеності u_{TD} переважає через різницю температур 1 °C. Неможливо зробити меншу оцінку u_{TD} за наявною інформацією. Єдине рішення — це зміна умов вимірювання. Температурна акліматизація має бути найкраща, що означає необхідність більшого часу для акліматизації і, можливо, більшого коефіцієнта теплового захисту від впливу оператора під час настроювання та вимірювання.

Зміна (зменшення) інших складників невизначеності — крім складника невизначеності, що стосується температури, — у бюджеті невизначеності майже не впливає на сумарний стандартний відхил і розширену невизначеність.

А.6.6 Висновки щодо першої ітерації

Методику вимірювання першої ітерації затверджено, але умови вимірювання треба вдосконалити.

Максимальна різниця температур двох кілець не повинна перевищувати 0,5 °C.

А.7 Друга ітерація

У формулах для u_{TD} і u_{TA} (див. А.6.1) температурні умови змінюються від 1 °C до 0,5 °C. Документування й обчислювання складників невизначеності треба змінити відповідно.

Таблиця А.3 — Підсумок бюджету невизначеності (друга ітерація)

Назва складника	Тип оцінювання	Тип розподілу	Кількість вимірювань	Граничний відхил a^* , впливні одиниці	Граничний відхил a , мкм	Коефіцієнт кореляції	Коефіцієнт розподілу b	Складник невизначеності u_{xx} , мкм
u_{RS} Вторинний еталон (кільце)	За сертифікатом					0	0,5	0,40
u_{EC} Похибка показу вимірювальної машини	B	Прямокутний		0,6 мкм	0,6	0	0,6	0,36
u_{PA} Юстування вимірювальних наконечників	B	Прямокутний		0 мкм	0	0	0,6	0
u_{RR} Збіжність/роздільна здатність	A		6			0		0,12

Кінець таблиці А.2

Назва складника	Тип оцінювання	Тип розподілу	Кількість вимірювань	Граничний відхил а*, впливні одиниці	Граничний відхил а, мкм	Коефіцієнт кореляції	Коефіцієнт розподілу b	Складник невизначеності u_{ci} , мкм
u_{tr} Різниця температури двох кілець	В	U-подібний		0,5 °C	0,55	0	0,7	0,39
u_{td} Різниця коефіцієнтів температурного розширення	В	U-подібний		0,5 °C	0,06	0	0,7	0,04
u_{ro} Округлість установленого кільця	В			0 мкм	0	0		0
Сумарна стандартна невизначеність u_c								0,67
Розширена невизначеність ($k = 2$), U								1,35
Примітка. Зміну складників невизначеності виділено грубими лініями.								

А.8 Висновки щодо другої ітерації

У другій ітерації відмінність температур обмежується 0,5 °C. Дані, наведені в таблиці А.3, підтверджують те, що критерію цільової невизначеності досягнуто:

$$u_{E2} = 1,35 \text{ мкм} \leq U_T = 1,5 \text{ мкм}.$$

У другій ітерації умови вимірювання вдосконалено.

А.9 Коментарі. Загальний приклад

Цим прикладом показано можливість зміни методики вимірювання й установлених умов вимірювання застосуванням методу PUMA для реалізування критерію цільової невизначеності:

$$U_{EN} \leq U_T.$$

Після першої ітерації, у якій критерію цільової невизначеності не було досягнуто, стає очевидним, що потрібно робити. Це лише один переважний складник невизначеності. Температурні умови мають бути кращими для досягнення критерію цільової невизначеності. Продемонстровано, як окремий носій невизначеності впливає на сумарну стандартну невизначеність і розширену невизначеність після першої ітерації. Залежно від відносної величини складників невизначеності можна запропонувати стратегію зменшення невизначеності.

ДОДАТОК В
(довідковий)

ПРИКЛАД БЮДЖЕТІВ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ СТВОРЮВАННЯ ІЄРАРХІЇ КАЛІБРУВАННЯ

УВАГА! Варто зазначити, що наведений нижче приклад ілюструє лише метод PUMA. Він охоплює тільки носії невизначеності, значущі у наведених випадках. Для різних значень цільових невизначеностей і застосувань значущими можуть бути інші носії невизначеності.

В.1 Сфера застосування

Цей приклад демонструє можливість застосування методу PUMA у промисловості для оптимізації і докладного планування метрологічної ієрархії (калібрування). Приклад охоплює:

— вимірювання локального діаметра з використанням зовнішнього мікрометра;

- калібрування зовнішнього мікрометра;
- калібрувальні вимоги до еталонів для калібрування зовнішнього мікрометра;
- застосування еталона порівняння як додаткового для калібрування.

Крім того, він охоплює оцінювання невизначеності вимірювання й оцінювання вимог до метрологічних характеристик на трьох рівнях схеми передавання розміру, наведеної на рисунку В.1. Ці три рівні такі:

III Вимірювання локального (дві точки) діаметра циліндра з використанням зовнішнього мікрометра. Методику вимірювання оцінюють за методами PUMA і зазначеної цільової невизначеності U_T (див. В.2).

II Калібрування метрологічних характеристик (які впливають на невизначеність вимірювання в частині прикладу I) зовнішнього мікрометра (див. В.3, В.4 і В.5).

I Вимоги до калібрування (MPE значення) для метрологічних характеристик еталонів, потрібних для калібрування зовнішнього мікрометра (див. В.6).

Застосування еталона порівняння як додаткового для калібрування зовнішнього мікрометра оцінюють у бюджеті невизначеності як варіант вимірювання двох точок діаметра (див. В.7).

На рівні III оцінюють невизначеність під час вимірювання двох точок діаметра. Максимально допустимі похибки (MPE) метрологічних характеристик зовнішнього мікрометра (MPE_{ML} (похибка показу), MPE_{MF} (площинність вимірювальних наконечників) і MPE_{MP} (паралельність вимірювальних наконечників)) вважають невідомими змінними. Із функції:

$$U_T \geq U_{WP} = f(MPE_{ML}, MPE_{MF}, MPE_{MP}, \text{інших носіїв невизначеності})$$

можуть бути обчислені MPE значення для трьох метрологічних характеристик (MPE_{ML} , MPE_{MF} і MPE_{MP}) зовнішнього мікрометра. На рівні II оцінюють невизначеність вимірювання під час калібрування трьох метрологічних характеристик (похибка показу, площинність вимірювальних наконечників і паралельність вимірювальних наконечників). На рівні I значення MPE метрологічних характеристик трьох еталонів визначають тими самими засобами вимірювальної техніки для MPE значень мікрометра, але тепер оцінюючи MPE значення трьох еталонів як невідомих змінних.

Результатом упорядкування бюджету невизначеності на трьох рівнях є:

- значення MPE зовнішнього мікрометра оптимізовано і безпосередньо розраховано за необхідної невизначеності вимірювання на цеховому рівні;
- значення MPE для еталонів (кінцеві міри, оптична пласка пластина й оптичні паралельні пластини) оптимізовано для калібрування вище вказаного зовнішнього мікрометра. Ці значення MPE є мінімальними вимогами для сертифікатів калібрування;
- під час оцінювання невизначеності вимірювання використовують еталон порівняння як додатковий для поліпшення калібрування.

В.2 Вимірювання локального діаметра

В.2.1 Завдання та цільова невизначеність

В.2.1.1 Завдання вимірювання

Завдання вимірювання полягає у вимірюванні локального діаметра (двох точок діаметра) за серією добре підігнаних сталевих валів з номінальними діаметрами 25 мм і товщиною 150 мм.

В.2.1.2 Цільова невизначеність

Цільова невизначеність дорівнює 8 мкм.

В.2.2 Принцип, метод і умови вимірювання

В.2.2.1 Принцип вимірювання

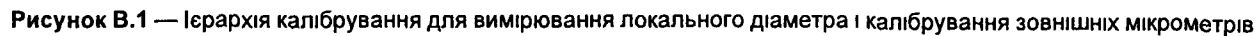
Вимірювання довжини — порівнювання з відомою довжиною.

В.2.2.2 Метод вимірювання

Вимірювання виконують зовнішнім мікрометром із плоскими (діаметром 6 мм) вимірювальними наконечниками, діапазоном вимірювання від 0 мм до 25 мм, з інтервалом ноніусної шкали 1 мкм.

В.2.2.3 Основна методика вимірювання

- Діаметр вимірюють доти, доки вал залишається закріпленим у затискачі машинного інструмента.
- Проводять лише одне вимірювання діаметра.
- Перед вимірюванням вал очищають.



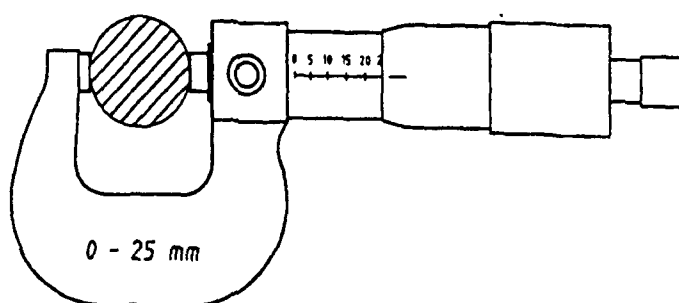
- Під час вимірювання треба використовувати фрикційний/храповий привод.
- Затискач шпинделя не треба використовувати.

В.2.2.4 Основні умови вимірювання

- Показано, що температура на валах і мікрометрі змінюється з часом. Максимальний відхил від нормальної температури 20 °С становить 15 °С.
- Максимальна різниця температур між валами і мікрометром становить 10 °С.
- Три різних оператори використовують інструмент машини і мікрометр під час виготовлення валів.
- Відхил від циліндричності валів вважають кращим, якщо він не перевищує 1,5 мкм.
- Похибка через тип форми невідома, за винятком того, що конусність незначна.

В.2.3 Графічне зображення вимірювання

Див. рисунок В.2.

**Рисунок В.2** — Завдання вимірювання локального діаметра 25 мм**В.2.4 Перелік і пояснення щодо носіїв невизначеності**

Вимірювання діаметра за двома точками моделюють як процес оцінювання невизначеності чорного ящика. Поправки не вводять. Усі носії похибки входять у невизначеність вимірювання.

У таблиці В.1 усі носії невизначеності, які вважають такими, що впливають на невизначеність вимірювання цього діаметра, наведено та названо.

Таблиця В.1 — Огляд складників невизначеності для вимірювання локального діаметра (двох точок діаметра) і коментарі щодо них

Позначка (низька роздільна здатність)	Позначка (висока роздільна здатність)	Назва складника невизначеності	Коментарі (попередні)	
U_{ML}		Мікрометр — похибка показу	За вимогами похибка показу мікрометра MPE_{ML} є невідомою змінною. Попередньо вважають, що вона становить приблизно 6 мкм і що є симетричністю розташування похибки кривої характеристики показу за налаштуванням нуля після калібрування	
U_{MF}		Мікрометр — площинність вимірювальних наконечників	За вимогами відхил від площинності двох вимірювальних наконечників M_{MF} є невідомою змінною. Зазвичай він становить приблизно 1 мкм	
U_{MP}		Мікрометр — паралельність вимірювальних наконечників	За вимогами відхил від паралельності двох вимірювальних наконечників M_{MP} є невідомою змінною. Зазвичай він становить приблизно 2 мкм	
U_{MX}		Вплив від фіксації шпинделя, орієнтування мікрометра і тривалість роботи з ним	Цих впливів немає. Затискач шпинделя не застосовують. Орієнтація і тривалість роботи не чинять значного впливу на мікрометр у діапазоні від 0 мм до 25 мм	
U_{RR}	U_{RA}	Роздільна здатність	$U_{RA} = \frac{d}{2 \cdot \sqrt{3}} = \frac{1 \text{ мкм}}{2 \cdot \sqrt{3}} = 0,29 \text{ мкм}$	Найбільша з двох дорівнює U_{RR}
	U_{RE}	Збіжність	Експерименти показали, що три оператори отримують ту саму збіжність.	

Кінець таблиці В.1

Позначка (низька роздільна здатність)	Позначка (висока роздільна здатність)	Назва складника невизначеності	Коментарі (попередні)	
			Експеримент охоплює більше ніж 15 вимірювань на пробках з дійсним діаметром 25 мм для кожного оператора. Вплив на пружність мікрометра входить у збіжність	
U_{NP}		Відмінність нуля у трьох операторів	Три оператори працюють з мікрометром різними способами. Точка нуля не така сама через те, що калібрування індивідуальне. Експеримент (для кожного оператора більше ніж 15 вимірювань на пробках з дійсним діаметром 25 мм)	
U_{TD}		Різниця температур	Максимальна різниця між дійсним значенням вала та показами мікрометра спостерігається за різниці температур 10 °C	
U_{TA}		Температура	Максимальний відхил від нормальної температури (20 °C) становить 15 °C	
U_{WE}		Похибка форми робочого зразка	Вимірювана циліндричність становить 1,5 мкм. Більшу частину циліндричності становить відхил від округлості. На діаметрі це становить подвоєну циліндричність — 3 мкм	

В.2.5 Перша ітерація**В.2.5.1 Перша ітерація. Записування й обчислювання складників невизначеності** **u_{ML} — мікрометр — похибка показу****Оцінювання за типом В**

Похибку показу зовнішнього мікрометра MPE_{ML} для метрологічних характеристик зазвичай визначають як максимальний діапазон похибки кривої характеристики показу, і вона не стосується нульової похибки показу. Відношення похибки кривої характеристики показу до нульової похибки — це інша (незалежна) метрологічна характеристика.

У цьому разі прийнято, що похибку кривої характеристики показу визначають під час калібрування так, що найбільша додатня і від'ємна похибки показу мають те саме абсолютне значення.

Точне значення MPE_{ML} ще не встановлено. Його встановлення — це одне із завдань бюджету невизначеності. За попередніми даними MPE_{ML} вибирають таким, що дорівнює 6 мкм. Через застосування методики встановлювання нуля похибку граничного значення визначають так:

$$a_{ML} = \frac{6 \text{ мкм}}{2} = 3 \text{ мкм.}$$

Припускають прямокутний розподіл (принцип переоцінювання, тому що розподіл Гаусса не може бути застосовано на цій основі) ($b = 0,6$):

$$U_{ML} = 3 \text{ мкм} \cdot 0,6 = 1,8 \text{ мкм.}$$

 u_{MF} — мікрометр — площинність вимірювальних наконечників**Оцінювання за типом В**

Відхил від площинності впливає на вали під час вимірювання діаметра, поки калібрування щодо похибки кривої характеристики показу виконують за кінцевими мірами із плоскими і паралельними поверхнями.

Точне значення MPE_{MF} ще не встановлено. Його встановлення — це одне із завдань бюджету невизначеності. За попередніми даними MPE_{MF} вибирають таким, що дорівнює 1 мкм.

MPE_{MF} впливає на бюджет невизначеності двічі, для кожного з двох вимірювальних наконечників. Припускають розподіл Гаусса ($b \approx 0,5$):

$$U_{MF} = 1 \text{ мкм} \cdot 0,5 = 0,5 \text{ мкм.}$$

u_{MP} — мікрометр — паралельність вимірювальних наконечників Оцінювання за типом В

Відхил від паралельності впливає на вали під час вимірювання діаметра, поки калібрування щодо похибки кривої характеристики показу виконують за кінцевими мірами з плоскими і паралельними поверхнями.

Точне значення MPE_{MP} ще не встановлено. Його встановлення — це одне із завдань бюджету невизначеності. За попередніми даними MPE_{MP} вибирають таким, що дорівнює 2 мкм. Приймають розподіл Гаусса ($b = 0,5$):

$$a_{MP} = 2 \text{ мкм},$$

$$u_{MP} = 2 \text{ мкм} \cdot 0,5 = 1 \text{ мкм}.$$

 u_{RR} — збіжність/роздільна здатність Оцінювання за типом А

Усі три оператори отримують ту саму збіжність. Це перевіряють експериментом, у якому використовують пробки діаметром 25 мм як робочі зразки. Тому похибку відмінності форми від дійсних робочих зразків не включають до визначення збіжності. Усі оператори виконують 15 вимірювань. Сумарний стандартний відхил дорівнює

$$u_{RR} = 1,2 \text{ мкм}.$$

Роздільна здатність складника невизначеності u_{RA} входить у u_{RR} , у цьому разі ($u_{RA} < u_{RE}$).

 u_{NP} — відмінність нуля у трьох операторів Оцінювання за типом А

Під час тих самих експериментів, які використовують для збіжності, досліджують відмінність нуля у трьох операторів та індивідуальне калібрування:

$$u_{NP} = 1 \text{ мкм}.$$

 u_{TD} — різниця температур Оцінювання за типом В

Різниця температур між мікрометром і робочими зразками становить максимум 10 °С. Немає інформації, котрий із них має найвищу температуру. Тому припускають ± 10 °С. Температурний коефіцієнт лінійного розширення α становить 1,1 мкм / (100 мм · °С) для мікрометра і робочих зразків. Граничні значення:

$$a_{TD} = \Delta T \cdot \alpha \cdot D = 10 \text{ °С} \cdot \frac{1,1 \text{ мкм}}{100 \text{ мм} \cdot \text{°С}} \cdot 25 \text{ мм} = 2,8 \text{ мкм}.$$

Припускають U-подібний розподіл ($b = 0,7$):

$$u_{TD} = 2,8 \text{ мкм} \cdot 0,7 = 1,96 \text{ мкм}.$$

 u_{TA} — температура Оцінювання за типом В

Максимальний відхил від стандартної нормальної температури еталона (20 °С), який спостерігається, становить 15 °С. Немає інформації про знак цього відхилю, тому припускають ± 15 °С. Припускають максимальну різницю 10 % між двома температурними коефіцієнтами лінійного розширення ($\alpha_{\text{мікрометра}}$ і $\alpha_{\text{робочого зразка}}$). Граничне значення становить:

$$a_{TA} = 0,1 \cdot \Delta T_{20} \cdot \alpha \cdot D = 0,1 \cdot 15 \text{ °С} \cdot \frac{1,1 \text{ мкм}}{100 \text{ мм} \cdot \text{°С}} \cdot 25 \text{ мм} = 0,4 \text{ мкм}.$$

Припускають U-подібний розподіл ($b = 0,7$):

$$u_{TA} = 0,4 \text{ мкм} \cdot 0,7 = 0,28 \text{ мкм}.$$

 u_{WE} — похибка форми робочого зразка Оцінювання за типом В

Циліндричність вимірюють за вибіркою з валів, і вона дорівнює 1,5 мкм. Циліндричність є мірою варіації радіуса. Припускають, що вплив на діаметр удвічі більший, ніж відхил від циліндричності, якщо немає інформації про те, як його зменшити. Граничне значення становить:

$$\alpha_{WE} = 3 \text{ мкм}.$$

Припускають прямокутний розподіл ($b = 0,6$):

$$u_{WE} = 1,8 \text{ мкм.}$$

В.2.5.2 Перша ітерація. Кореляція між складниками невизначеності

Установлено, що між складниками невизначеності немає кореляції.

В.2.5.3 Перша ітерація. Сумарна і розширена невизначеність

Коли немає кореляції між складниками невизначеності, то сумарна стандартна невизначеність становить:

$$u_c = \sqrt{u_{ML}^2 + u_{MF}^2 + u_{MF}^2 + u_{MP}^2 + u_{RR}^2 + u_{NP}^2 + u_{TD}^2 + u_{TA}^2 + u_{WE}^2}.$$

Значення з В.2.5.1:

$$u_c = \sqrt{(1,8^2 + 0,5^2 + 0,5^2 + 1,0^2 + 1,2^2 + 1,0^2 + 1,96^2 + 0,28^2 + 1,8^2)} \text{ мкм}^2,$$

$$u_c = 3,79 \text{ мкм,}$$

$$U = u_c \cdot k = 3,79 \text{ мкм} \cdot 2 = 7,58 \text{ мкм.}$$

В.2.5.4 Зведення бюджету невизначеності. Перша ітерація

Див. таблицю В.2.

Таблиця В.2 — Зведення бюджету невизначеності (перша ітерація). Вимірювання двох точок діаметра

Назва складника	Тип оцінювання	Тип розподілу	Кількість вимірювань	Граничний відхил a^* , впливні одиниці	Граничний відхил a , мкм	Коефіцієнт кореляції	Коефіцієнт розподілу b	Складник невизначеності u_{xi} , мкм
u_{ML} Мікрометр — похибка показу	В	Прямокутний		3,0 мкм	3,0	0	0,6	1,80 ⁽¹⁾
u_{MF} Мікрометр — площинність 1	В	Гаусса		1,0 мкм	1,0	0	0,5	0,50 ⁽³⁾
u_{MF} Мікрометр — площинність 2	В	Гаусса		1,0 мкм	1,0	0	0,5	0,50 ⁽³⁾
u_{MP} Мікрометр — паралельність	В	Гаусса		2,0 мкм	2,0	0	0,5	1,00 ⁽²⁾
u_{RR} Збіжність	А		15			0		1,20 ⁽²⁾
u_{NP} Відмінність нуля	А		15			0		1,00 ⁽²⁾
u_{TD} Різниця температур	В	U-подібний		10 °C	2,8	0	0,7	1,96 ⁽¹⁾
u_{TA} Температура	В	U-подібний		15 °C $\alpha_1/\alpha_2 = 1,1$	0,4	0	0,7	0,28 ⁽³⁾
u_{WE} Похибка форми робочого зразка	В	Прямокутний		3,0 мкм	3,0	0	0,6	1,80 ⁽¹⁾
Сумарна стандартна невизначеність u_c								3,79
Розширена невизначеність ($k = 2$), U								7,58
Примітка. Пояснення показів (1), (2) і (3) стосовно складників невизначеності див. у В.2.5.5.								

В.2.5.5 Перша ітерація. Пояснення бюджету невизначеності

Зареєстровано: $U_{\text{перша ітерація}} = 7,6 \text{ мкм}$ менша за цільову невизначеність $U_T = 8 \text{ мкм}$.

У таблиці В.2 є три великі (позначені (1)), три середні (позначені (2)) і три малі (позначені (3)) складники невизначеності в невизначеності вимірювання.

Складники невизначеності наведено в квадраті у формулі сумарної стандартної невизначеності. Тому важко визначити і зрозуміти їхній вплив на u_c . Застосування замість них варіацій u^2 дає іншу й іноді зрозумілішу картину впливу окремих складників невизначеності (див. таблицю В.3).

Таблиця В.3 — Вплив окремих складників невизначеності на u_c і u_c^2 (вимірювання двох точок діаметра 25 мм)

Назва складника	Джерело невизначеності	Складник невизначеності u_x , мкм	u_x^2 , мкм ²	Відсотковий склад u_c , %	Відсотковий склад u_c^2 , %	Джерело невизначеності
U_M Мікрометр — похибка показу	Засоби вимірювальної техніки	1,80	3,24	23	33	Засоби вимірювальної техніки
U_{MF} Мікрометр — площинність 1		0,50	0,25	2		
U_{MF} Мікрометр — площинність 2		0,50	0,25	2		
U_{MP} Мікрометр — паралельність		1,00	1,00	7		
U_{RR} Збіжність	Оператор	1,20	1,44	10	17	Оператор
U_{NP} Відмінність нуля		1,00	1,00	7		
U_{TD} Різниця температур	Довкілля	1,96	3,84	27	27	Довкілля
U_{TA} Температура		0,28	0,08	0		
U_{WE} Похибка форми робочого зразка	Робочий зразок	1,80	3,24	23	23	Робочий зразок
Сумарна стандартна невизначеність u_c		3,79	14,34	100	100	Усього

З таблиці В.3 видно, що

— якби зовнішній мікрометр зовсім не мав похибок, то U було б зменшене від 7,6 мкм до 6,2 мкм;

— якби оператор, довкілля і робочий зразок були досконалими, то тоді U було б зменшене від 7,6 мкм до 2,2 мкм.

У цьому разі очевидно, що саме складники невизначеності, пов'язані з вимірювальним процесом, є основними складниками, а не засоби вимірювальної техніки.

Результат $U = 7,6$ мкм, і якщо вимог до ISO 14253-1 буде дотримано, то допуск діаметра робочого зразка буде зменшено на $2 \cdot 7,6$ мкм = 15,2 мкм під час виготовлення валів. Це зменшення для діаметра 25 мм дорівнює повному розміру допуску IT6 (13 мкм).

Якби U становило лише 10 % від допуску робочого зразка, то допуск робочого зразка становив би IT10 (84 мкм). У разі менших допусків U буде більше ніж 10 % від допуску. У разі IT8 (33 мкм) U буде становити 45 % від допуску, і тоді залишиться лише 10 % від допуску для виготовлення валів.

Якби цільова невизначеність становила 6 мкм замість 8 мкм, то невизначеність вимірювання від першої ітерації була б надмірно великою ($U_{E1} = 7,6$ мкм). Необхідне зменшення становить принаймні 1,6 мкм. Це дорівнює зменшенню на 38 % для u^2 .

Необхідно розглянути найважливіший складник невизначеності — різницю температур між робочим зразком і засобом вимірювальної техніки. Можна змінювати методику та/чи вимірювання температур під час виготовлення для зменшення 29-відсоткового складника (29 % u_c^2) майже до 0.

Внаслідок ефективного навчання трьох операторів зменшується збіжність u_{RR} і відмінність між отриманими ними нулями (u_{NP}). Це дасть 15 % від необхідного 38-відсоткового зменшення.

Складник невизначеності, який спричиняє похибки форми робочого зразка, неможливо зменшити, якщо виконують лише одне вимірювання робочого зразка. Якби збільшити кількість вимірювань, то цей складник можна зменшити. Якщо провести чотири вимірювання і застосовувати середнє значення, то це спричинить 20-відсоткове зменшення від необхідних 38 %. Але внаслідок цього збільшиться тривалість вимірювання, а значить, і розмір фінансових витрат.

При цьому є багато шляхів зменшення невизначеності вимірювання. Який з них вибрати, можна визначити лише на основі зведення до мінімуму витрат на зменшення. Витрати мають завжди скеровувати до зменшення невизначеності вимірювання.

У цьому разі зменшення складників невизначеності, зумовлених вибором мікрометра, не буде значущим. Єдиним рішенням є вибір іншого засобу вимірювальної техніки з якомога меншими (можливими) значеннями MPE. Це могло б бути економічно доцільним рішенням, якби тривалість вимірювання також було зменшено, і було б можливим вимірювання кількох діаметрів без втручання оператора.

Це могло б дати розширену невизначеність U від 7,6 мкм до 2,6 мкм.

В.2.5.6 Висновок щодо першої ітерації

Як показано на наведеному вище прикладі, початкове встановлення значень MPE трьох мікрометрів достатнє для цієї цільової невизначеності й основного завдання вимірювання. Тоді треба затверджувати такі вимоги для мікрометра:

- Крива похибки (макс. — мін.) $MPE_{ML} = 6$ мкм (двостороння характеристика)
- Площинність вимірювальних наконечників $MPE_{MF} = 1$ мкм (одностороння характеристика)
- Паралельність між наконечниками $MPE_{MP} = 2$ мкм (одностороння характеристика)

Мікрометр має відповідати цим вимогам, але вони змінені невизначеностями, наявними під час калібрування, наприклад, U_{SL} , U_{SF} і U_{SP} відповідно, згідно з ISO 14253-1 (див. В.3, В.4, В.5 і рисунок В.1). Під час калібрування мікрометра потрібно знати три невизначеності.

В.2.6 Друга ітерація

У цьому разі нема потреби в другій ітерації. Невелике зменшення значення U з першої ітерації було б можливе, але велике зменшення неможливе (як показано) без значних змін методу і методики вимірювання.

В.3 Похибки показу під час калібрування зовнішнього мікрометра

В.3.1 Вимоги

Вимоги (MPE) до еталонів (кінцевих мір) ще не встановлено. Затвердження цих вимог є одним із завдань бюджету невизначеності.

В.3.2 Завдання та цільова невизначеність

В.3.2.1 Загальне завдання

Загальне завдання полягає у вимірюванні діапазону похибки кривої характеристики показу. Для визначення похибки кривої характеристики показу є 11 основних вимірювань — 11 вимірювань з різною невизначеністю вимірювання в діапазоні від 0 мм до 25 мм. Щоб уникнути непотрібної роботи щодо складання бюджету невизначеності, шукають найбільшу з 11 невизначеностей (25 мм) і з'ясовують, чи можливе це значення невизначеності в десяти інших випадках. Для перевіряння треба знайти кож найменшу невизначеність (0 мм).

В.3.2.2 Основне завдання вимірювання

Виміряти похибки показу в 11 позиціях у діапазоні вимірювання (від 0 мм до 25 мм): 0; 2,5; 5; ...; 22,5 і 25 мм.

В.3.2.3 Цільова невизначеність для основних вимірювань

Цільова невизначеність для основних вимірювань становить 1 мкм.

В.3.3 Принцип, метод, методика й умови

В.3.3.1 Принцип вимірювання

Вимірювання довжини — звірення з відомою довжиною.

В.3.3.2 Метод вимірювання

Калібрування виконують, використовуючи десять спеціальних кінцевих мір з кроком 2,5 мм (L дорівнює 2,5; 5; ...; 22,5; 25 мм)

В.3.3.3 Основна процедура вимірювання

— Покази зовнішнього мікрометра порівнюють із довжиною кінцевої міри, розміщеної між вимірювальними наконечниками.

— Виконують одне вимірювання (калібрування) на кінцеву міру. Похибка показу:

$$\text{похибка} = \text{покази мікрометра} - \text{довжина кінцевої міри.}$$

В.3.3.4 Основні умови вимірювання

— Персонал, що займається калібруванням, досвідчений.

— Температуру приміщення не контролюють.

— Протягом року температура в приміщенні становить $(20 \pm 8)^\circ\text{C}$.

— Зміна температури протягом однієї години становить менше ніж $0,5^\circ\text{C}$.

В.3.4 Графічне зображення вимірювання

Див. рисунок В.3.

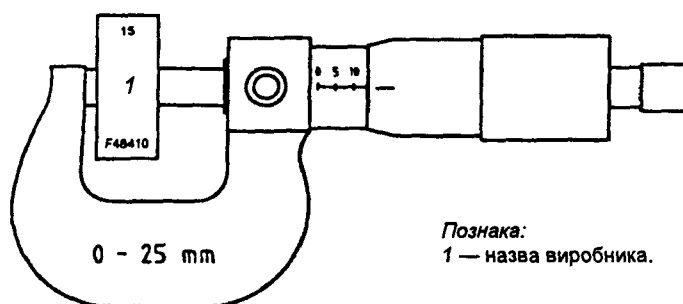


Рисунок В.3 — Завдання вимірювання

В.3.5 Перелік і пояснення щодо носіїв невизначеності

Див. таблицю В.4.

Таблиця В.4 — Огляд складників невизначеності і коментарі щодо них. Похибки показів під час калібрування мікрометра в точці вимірювання 25 мм

Познака (низька роздільна здатність)	Докладна познака	Назва складника невизначеності	Коментарі	
u_{SL}		Довжина кінцевої міри — MPE_{SL}	Вимоги до кінцевої міри MPE_{SL} є невідомими. Спочатку вибирають кінцеву міру 2-го розряду (ISO 3650)	
u_{RR}	u_{RA}	Роздільна здатність	$u_{RA} = \frac{d}{2 \cdot \sqrt{3}} = \frac{1 \text{ мкм}}{2 \cdot \sqrt{3}} = 0,29 \text{ мкм}$	Найбільша з двох дорівнює u_{RR}
	u_{RE}	Збіжність	Виконаний експеримент з принаймні 15 вимірювань на тій самій кінцевій мірі 25 мм	
u_{TD}		Різниця температур	Максимальна різниця між дійсними значеннями кінцевих мір та показами мікрометра спостерігається за різниці темпера- тур 1 °C	
u_{TA}		Температура	Максимальний відхил від стандартної нормальної температу- ри 20 °C становить 8 °C	

В.3.6 Перша ітерація**В.3.6.1 Перша ітерація. Записування й обчислювання складників невизначеності**

u_{SL} — довжина кінцевої міри

Оцінювання за типом В

Точне значення MPE_{SL} ще не встановлено. Його устанавлення — одне із завдань бюджету невизначеності. Спочатку вибирають кінцеві міри 2-го розряду, і MPE_{SL} як значення межі допуску вибирають з ISO 3650. Граничне значення для кінцевої міри 25 мм дорівнює:

$$\alpha_{SL} = 0,6 \text{ мкм.}$$

На підставі наявних сертифікатів калібрування кінцевих мір припускають прямокутний розподіл ($b = 0,6$):

$$u_{SL} = 0,6 \cdot 0,6 \text{ мкм} = 0,36 \text{ мкм}.$$

u_{RR} — збіжність/роздільна здатність

Оцінювання за типом В

Проводять експеримент на визначення збіжності. Він полягає у п'ятнадцяти вимірюваннях на кінцевій мірі завдовжки 25 мм з цим мікрометром. Середній квадратичний відхил експерименту u_{RE} дорівнює 0,19 мкм. Таким чином, складник невизначеності роздільної здатності u_{RA} треба вибирати як u_{RR} ($u_{RA} > u_{RE}$):

$$u_{RR} = 0,29 \text{ мкм}.$$

u_{TD} — різниця температур

Оцінювання за типом В

Найбільша різниця температур між мікрометром і кінцевими мірами становить 1°C . Немає інформації про значення найвищої температури. Тому припускають $\pm 1^\circ\text{C}$. Припускають, що температурний коефіцієнт лінійного розширення α становить $1,1 \text{ мкм}/(100 \text{ мм} \cdot ^\circ\text{C})$ для мікрометра і кінцевої міри. Граничне значення становить:

$$a_{TD} = \Delta T \cdot \alpha \cdot D = 1^\circ\text{C} \cdot \frac{1,1 \text{ мкм}}{100 \text{ мм} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 25 \text{ мм} = 0,28 \text{ мкм}.$$

Припускають U-подібний розподіл ($b = 0,7$):

$$u_{TD} = 0,28 \text{ мкм} \cdot 0,7 = 0,20 \text{ мкм}.$$

u_{TA} — температура

Оцінювання за типом В

Максимальний відхил від стандартної температури (20°C), який спостерігають, становить 8°C . Немає інформації про знак цього відхилення, тому припускають $\pm 8^\circ\text{C}$. Припускають, що максимальний відхил між двома температурними коефіцієнтами лінійного розширення ($\alpha_{\text{мікрометра}}$ і $\alpha_{\text{кінцевої міри}}$) становить 10 %. Граничне значення дорівнює:

$$a_{TA} = 0,1 \cdot \Delta T_{20} \cdot \alpha \cdot D = 0,1 \cdot 8^\circ\text{C} \cdot \frac{1,1 \text{ мкм}}{100 \text{ мм} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 25 \text{ мм} = 0,2 \text{ мкм}.$$

Припускають U-подібний розподіл ($b = 0,7$):

$$u_{TA} = 0,2 \text{ мкм} \cdot 0,7 = 0,14 \text{ мкм}.$$

В.3.6.2 Перша ітерація. Кореляція між складниками невизначеності.

Визначено, що між складниками невизначеності кореляції немає.

В.3.6.3 Перша ітерація. Сумарна та розширена невизначеності

Складники невизначеності нескорельовані. Сумарний стандартний відхил дорівнює:

$$u_c = \sqrt{u_{SL}^2 + u_{RR}^2 + u_{TD}^2 + u_{TA}^2} = 0,5 \text{ мкм}.$$

Значення з В.3.6.1:

$$u_c = \sqrt{u_{SL}^2 + u_{RR}^2 + u_{TD}^2 + u_{TA}^2} = 0,5 \text{ мкм}.$$

Розширена невизначеність для точки вимірювання 25 мм (коефіцієнт охоплення $k = 2$) становить:

$$u_{25 \text{ мм}} = 0,5 \text{ мкм} \cdot 2 = 1,0 \text{ мкм}.$$

Розширена невизначеність вимірювання для нуля становить:

$$u_{0 \text{ мм}} = 0,4 \text{ мкм} \cdot 2 = 0,8 \text{ мкм}.$$

В.3.6.4 Зведення бюджету невизначеності. Перша ітерація

Див. таблицю В.5.

Таблиця В.5 — Зведення бюджету невизначеності (перша ітерація). Вимірювання похибки показу (точка вимірювання 25 мм)

Назва складника	Тип оцінювання	Тип розподілу	Кількість вимірювань	Граничний відхил a^* , впливні одиниці	Граничний відхил a , мкм	Коефіцієнт кореляції	Коефіцієнт розподілу b	Складник невизначеності u_{xi} , мкм
U_{SL} Кінцева міра — MPE_{SL}	B	Прямокутний		0,6 мкм	0,6	0	0,6	0,36
U_{RR} Роздільна здатність	B	Прямокутний		0,5 мкм	0,5	0	0,6	0,29
U_{T0} Різниця температур	B	U-подібний		1 °C	0,20	0	0,7	0,20
U_{TA} Температура	B	U-подібний		8 °C	0,14	0	0,7	0,14
Сумарна стандартна невизначеність u_c								0,50
Розширена невизначеність ($k = 2$), U								1,00

В.3.6.5 Перша ітерація. Обговорення бюджету невизначеності

Основними складниками невизначеності є кінцеві міри та роздільна здатність. Нема потреби зменшувати невизначеність вимірювання u_c і U у другій ітерації. $U < 1$ мкм неможливо використовувати, тому що роздільна здатність дорівнює 1 мкм. Треба стежити, щоб під час калібрування температура становила $(20 \pm 8) ^\circ\text{C}$. Діапазон температур не має значного впливу на невизначеність у цьому разі внаслідок маленького діапазону. Для більших мікрометрів цей діапазон температур дасть основні складники невизначеності.

Приблизною оцінкою є використання $U = 1,0$ мкм для всіх точок вимірювання між 0 мм і 25 мм. Так, максимальна допустима різниця похибки показу під час калібрування становитиме 4 мкм (див. ISO 14253-1):

$$MPE_{ML} - 2 \cdot U = 6 \text{ мкм} - 2 \cdot 1,0 \text{ мкм} = 4 \text{ мкм}.$$

В.3.6.6 Висновок щодо першої ітерації

Критерій цільової невизначеності відповідає початковим припущенням і умовам. Це кваліфікує кінцеві міри 2-го розряду як еталони і визначає потрібну температуру приміщення: $(20 \pm 8) ^\circ\text{C}$.

В.3.7 Друга ітерація

Немає потреби в другій ітерації.

В.4 Калібрування вимірювальних наконечників щодо площинності**В.4.1 Завдання та цільова невизначеність****В.4.1.1 Завдання вимірювання**

Завдання вимірювання полягає у вимірюванні площинності двох вимірювальних наконечників з діаметром зовнішнього мікрометра 6 мм.

В.4.1.2 Цільова невизначеність

Цільова невизначеність становить 0,15 мкм.

В.4.2 Принцип, метод, методика й умови**В.4.2.1 Принцип вимірювання**

Оптична інтерференція — звірення з пласкою поверхнею.

В.4.2.2 Метод вимірювання

Оптичну пласку пластину розташовують на вершині поверхні вимірювального наконечника паралельно до загального напрямку поверхні. Визначають кількість інтерференційних смуг.

В.4.2.3 Методика вимірювання

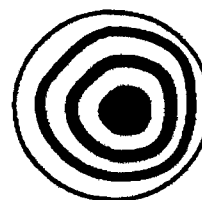
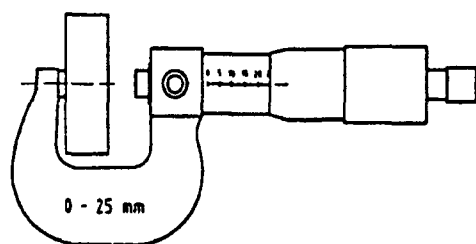
- Оптична пласка пластина притирається до поверхні вимірювального наконечника.
- Кількість інтерференційних смуг спостерігають на майже симетричному зображенні (див. рисунок В.4b)).
- Відхил від площинності обчислюють як добуток кількості смуг і половини довжини хвилі застосованого монохроматичного світла.

В.4.2.4 Умови вимірювання

- Температурних умов не використовують.
- Оптична пласка пластина має акліматизуватися протягом принаймні 1 год.

В.4.3 Графічне зображення вимірювання

Див. рисунок В.4.



а) Вимірювання площинності на вимірювальних наконечниках

б) Оцінюване зображення

Рисунок В.4 — Завдання вимірювання**В.4.4 Перелік і пояснення щодо носіїв невизначеності**

Див. таблицю В.6.

Калібрування вимірювальних наконечників щодо площинності має лише два значущі складники невизначеності: площинність оптичної пласкої пластини і роздільна здатність зчитування картинки інтерференційного зображення. Оптичну пласку пластину використовують так, щоб картинка була симетричною (див. рисунок В.4 б)).

Таблиця В.6 — Огляд складників невизначеності під час калібрування вимірювальних наконечників щодо площинності і коментарі щодо них

Познака (низька роздільна здатність)	Познака (висока роздільна здатність)	Назва складника невизначеності	Коментарі (попередні)
u_{SF}		Площинність — MPE_{SF}	Оптична пласка пластина має діаметр 31 мм — площинність подано для всієї цієї площі. Застосована площа має діаметр лише від 6 мм до 8 мм
u_{RR}		Роздільна здатність	Роздільна здатність оцінена як 0,5, помножене на відстань між лініями: $d = 0,15$ мкм

В.4.5 Перша ітерація**В.4.5.1 Перша ітерація. Записування й обчислювання складника невизначеності**

u_{SF} — площинність оптичної пласкої пластини

Оцінювання за типом В

Точне значення MPE_{SF} ще не встановлено. Його встановлення — це одне із завдань бюджету невизначеності. Спочатку MPE_{SF} встановлюють до 0,05 мкм для площі з діаметром 8 мм у середині поверхні. Граничне значення становитиме:

$$\alpha_{SF} = 0,05 \text{ мкм.}$$

Припускають прямокутний розподіл ($b = 0,6$):

$$u_{SF} = 0,05 \text{ мкм} \cdot 0,6 = 0,03 \text{ мкм.}$$

u_{RR} — роздільна здатність**Оцінювання за типом В**

Припускають, що довжина хвилі світла дорівнює 0,6 мкм. Різниця висоти ліній, показаних на рисунку В.4 b), становить половину довжини хвилі (0,3 мкм). Припускають, що роздільна здатність дорівнює:

$$d = 0,5 \cdot \text{відстань між лініями} = 0,15 \text{ мкм.}$$

Складник невизначеності u_{RR} (див. 8.4.4) обчислюють так:

$$u_{RR} = \frac{d}{2} \cdot 0,6 = \frac{0,15 \text{ мкм}}{2} \cdot 0,6 = 0,05 \text{ мкм.}$$

В.4.5.2 Перша ітерація. Кореляція складників невизначеності

Установлено, що між складниками невизначеності кореляції немає.

В.4.5.3 Перша ітерація. Сумарна та розширена невизначеності

$$u_C = \sqrt{u_{SF}^2 + u_{RR}^2}.$$

Значення з В.4.5.1:

$$u_C = \sqrt{(0,03^2 + 0,05^2)} \text{ мкм}^2 = 0,06 \text{ мкм.}$$

Розширена невизначеність (коефіцієнт охоплення $k = 2$) становить:

$$U = 0,06 \text{ мкм} \cdot 2 = 0,12 \text{ мкм.}$$

В.4.5.4 Зведення бюджету невизначеності. Перша ітерація

Див. таблицю В.7.

Таблиця В.7 — Зведення бюджету невизначеності (перша ітерація). Калібрування вимірювальних наконечників щодо площинності

Назва складника	Тип оцінювання	Тип розподілу	Кількість вимірювань	Граничний відхил a^* , впливні одиниці	Граничний відхил a , мкм	Коефіцієнт кореляції	Коефіцієнт розподілу b	Складник невизначеності u_{xx} , мкм
u_{SF} Площинність оптичної плоскої пластини	В	Прямокутний		0,05 мкм	0,05	0	0,6	0,03
u_{RR} Роздільна здатність інтерференційного зображення	В	Прямокутний		0,075 мкм	0,075	0	0,6	0,05
Сумарна стандартна невизначеність u_C								0,06
Розширена невизначеність ($k = 2$), U								0,12

В.4.5.5 Перша ітерація. Пояснення бюджету невизначеності

Очевидно, що основним складником невизначеності є роздільна здатність або дані з картинки. Відхили площинності оптичної плоскої пластини не дуже важливі порівняно з впливом роздільної здатності. U становить 12 % від площинності вимірювальних наконечників мікрометра MPE_{MF} , яка становить 1 мкм.

В.4.5.6 Висновок щодо першої ітерації

Вимогу щодо цільової невизначеності виконано. Максимальний допустимий вимірюваний відхил від досконалої площинності під час калібрування становить:

$$MPE_{MF} - U = 1,00 \text{ мкм} - 0,15 \text{ мкм} = 0,85 \text{ мкм}$$

(за вимогами ISO 14253-1 — одностороння характеристика).

Для перетворення MPE_{SF} вимоги для діаметра 8 мм такі, як вимоги до діаметра 30 мм, див. у В.6.

В.4.6 Друга ітерація

Немає потреби в другій ітерації.

В.5 Калібрування вимірювальних наконечників щодо паралельності

В.5.1 Завдання та цільова невизначеність

В.5.1.1 Завдання вимірювання

Завдання вимірювання полягає у вимірюванні паралельності між двома вимірювальними наконечниками з діаметром 6 мм зовнішнім мікрометром.

В.5.1.2 Цільова невизначеність

Цільова невизначеність становить 0,30 мкм.

В.5.2 Принцип, метод, методика й умова

В.5.2.1 Принцип вимірювання

Оптична інтерференція — з'єднання з двома паралельними пластинами.

В.5.2.2 Метод вимірювання

— Оптичну паралельну пластину розташовують між двома вимірювальними наконечниками та регулюють паралельно до одного з наконечників.

— Визначають кількість інтерференційних смуг на другому наконечнику.

В.5.2.3 Методика вимірювання

— Оптична паралельна пластину притерта до поверхні одного з вимірювальних наконечників і регулюється, щоб бути паралельною загальному напрямку поверхні наконечника (симетричне інтерференційне зображення — див. рисунок В.5 b)).

— Мікрометр вимірює оптичну паралельну пластину (див. рисунок В.5 а)), щоб привести вимірювальну силу до прийнятого рівня.

— Кількість інтерференційних смуг спостерігають на зображенні на другому наконечнику (див. рисунок В.5 с)).

— Відхил від паралельності обчислюють як добуток кількості смуг і половини довжини хвилі застосовуваного монохроматичного світла.

В.5.2.4 Умови вимірювання

— Температурні умови не використовують.

— Оптичну паралельну пластину треба акліматизувати протягом принаймні 1 год.

В.5.3 Графічне зображення вимірювання

Див. рисунок В.5.

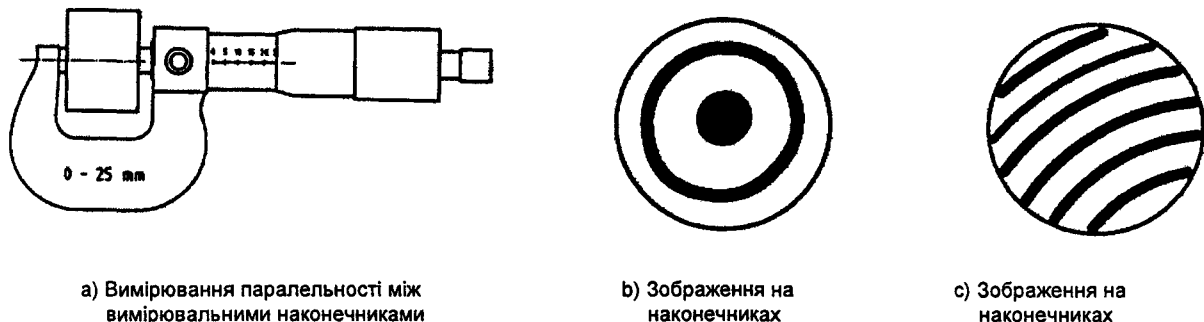


Рисунок В.5 — Завдання вимірювання

В.5.4 Перелік і пояснення складників невизначеності

Є три основні складники невизначеності під час калібрування вимірювальних наконечників щодо паралелізму (див. таблицю В.8):

а) паралельність оптичної паралельної пластини;

б) регулювання оптичної паралельної пластини до першого вимірювального наконечника;

с) роздільна здатність зчитування картинки інтерференційного зображення на другому вимірювальному наконечнику.

Два складники невизначеності, спричинені площинністю двох поверхонь на оптичній паралельній пластині, не мають впливу, тому що значення відхилу площинності порівняно з іншими носіями u_{OP} дорівнює 0,03 мкм.

Таблиця В.8 — Огляд і коментарі складників невизначеності калібрування вимірювальних наконечників щодо паралельності

Познака (низька роздільна здатність)	Докладна познака	Назва складника невизначеності	Коментарі
u_{SP}		Паралельність оптичної паралельної пластини MPE_{SP}	Діаметр оптичної паралельної пластини становить 31 мм. Застосована площа має діаметр лише від 6 мм до 8 мм
u_{OP}		Регулювання до першого наконечника	Припускають, що максимальна похибка регулювання становить 0,5 лінії
u_{RR}		Роздільна здатність	Роздільну здатність визначено до однієї лінії

В.5.5 Перша ітерація**В.5.5.1 Перша ітерація. Записування й обчислювання складників невизначеності** **u_{SP} — паралельність оптичної паралельної пластини****Оцінювання за типом В**

Точне значення MPE_{SP} ще не встановлено. Його установлення — це одне із завдань бюджету невизначеності. Спочатку MPE_{SF} установлюють до 0,05 мкм для площі з діаметром 8 мм у середині поверхні. Граничне значення становить:

$$a_{SP} = 0,1 \text{ мкм.}$$

Припускають прямокутний розподіл ($b = 0,6$):

$$u_{SP} = 0,1 \text{ мкм} \cdot 0,6 = 0,06 \text{ мкм.}$$

 u_{OP} — регулювання першого наконечника**Оцінювання за типом В**

Припускають, що довжина хвилі світла дорівнює 0,6 мкм.

Максимальна похибка регулювання 0,5 лінії становить 0,15 мкм:

$$a_{OP} = 0,15 \text{ мкм.}$$

Припускають прямокутний розподіл ($b = 0,6$):

$$u_{OP} = 0,15 \text{ мкм} \cdot 0,6 = 0,09 \text{ мкм.}$$

 u_{RR} — роздільна здатність на другому наконечнику**Оцінювання за типом В**

Припускають, що довжина хвилі світла дорівнює 0,6 мкм.

Припускають, що роздільна здатність однією лінією і дорівнює 0,3 мкм.

Складник невизначеності u_{RR} становить:

$$u_{RR} = \frac{d}{2} \cdot 0,6 = \frac{0,3 \text{ мкм}}{2} \cdot 0,6 = 0,09 \text{ мкм.}$$

В.5.5.2 Перша ітерація. Кореляція між складниками невизначеності

Визначено, що між складниками невизначеності кореляції немає.

В.5.5.3 Перша ітерація. Сумарна та розширена невизначеності

$$u_c = \sqrt{u_{SP}^2 + u_{OP}^2 + u_{RR}^2}.$$

Значення з В.5.5.1:

$$u_c = \sqrt{(0,06^2 + 0,09^2 + 0,09^2)} \text{ мкм}^2 = 0,14 \text{ мкм.}$$

Розширена невизначеність (коефіцієнт охоплення $k = 2$) становить:

$$U = 0,14 \text{ мкм} \cdot 2 = 0,28 \text{ мкм.}$$

В.5.5.4 Зведення бюджету невизначеності. Перша ітерація

Див. таблицю В.9.

Таблиця В.9 — Зведення бюджету невизначеності (перша ітерація). Калібрування вимірювальних наконечників щодо паралельності

Назва складника	Тип оцінювання	Тип розподілу	Кількість вимірювань	Граничний відхил a^* , впливні одиниці	Граничний відхил a , мкм	Коефіцієнт кореляції	Коефіцієнт розподілу b	Складник невизначеності u_{xi} , мкм
u_{SP} Паралельність оптичної паралельної пластини	В	Прямокутний		0,1 мкм	0,1	0	0,6	0,06
u_{OP} Регулювання першого наконечника	В	Прямокутний		0,15 мкм	0,15	0	0,6	0,09
u_{RR} Роздільна здатність на другому наконечнику	В	Прямокутний		0,15 мкм	0,15	0	0,6	0,09
Сумарна стандартна невизначеність u_c								0,14
Розширена невизначеність ($k = 2$), U								0,28

В.5.5.5 Перша ітерація. Обговорення бюджету невизначеності

З бюджету невизначеності видно, що основними складниками є роздільна здатність/зчитування даних на двох наконечниках. Оптична пласка пластина майже не має впливу.

В.5.5.6 Висновок щодо першої ітерації

Вимогу щодо цільової невизначеності виконано. Максимальний допустимий вимірюваний відхил від досконалої паралельності під час калібрування становить:

$$MPE_{MP} - U = 2,00 \text{ мкм} - 0,30 \text{ мкм} = 1,7 \text{ мкм}$$

(за вимогами ISO 14253-1 — одностороння характеристика).

Для перетворення MPE_{SP} вимоги до діаметра 8 мм такі, як вимоги до діаметра 30 мм, див. В.6.

В.5.6 Друга ітерація

Немає потреби в другій ітерації.

В.6 Вимоги до еталонів

Далі викладено вимоги до еталонів, які застосовують для калібрування мікрометра. Вимоги до калібрування виводять з бюджетів невизначеності, показаних у В.3, В.4 і В.5.

В.6.1 Кінцеві міри (див. приклад у В.3)

Використання кінцевих мір 2-го розряду (див. ISO 3650), виготовлених зі сталі (або кераміки) з температурним коефіцієнтом лінійного розширення α в зоні $\alpha = 1,1 \text{ мкм}/(100 \text{ мм} \cdot ^\circ\text{C})$, застосовують у поданих вище бюджетах невизначеності. Далі це застосовують для одинарних кінцевих мір у кожній точці вимірювання для уникнення впливу зазора між двома чи більшою кількістю кінцевих мір.

Зміна розряду кінцевої міри з другого на перший зменшить U_{25} від 1,0 мкм до 0,8 мкм і зменшить MPE_{ML} від 2,0 мкм до 1,6 мкм. Це зменшення MPE_{ML} на 0,4 мкм не можна використовувати, бо воно менше, ніж роздільна здатність мікрометра (1 мкм). Це зменшення настільки мале, що воно не впливає на практичні вимірювання та на їхню невизначеність.

У таблиці В.10 порівнюють два розряди кінцевих мір за однакових умов калібрування. В усіх чотирьох випадках використовують невизначеність у максимальній точці діапазону вимірювання. Вплив застосування кінцевих мір першого розряду в усіх випадках незначний.

Висновки щодо кінцевих мір: за умов калібрування використовують кінцеві міри другого розряду, виготовлені зі сталі чи кераміки, і ці кінцеві міри калібрують згідно з вимогами до другого розряду.

Примітка. Застосування кінцевих мір другого розряду і калібрування згідно з вимогами до другого розряду зменшить вартість робіт.

Таблиця В.10 — Звірення невизначеності вимірювання похибки показу для калібрування зовнішнього мікрометра, використовуючи кінцеві міри першого і другого розрядів

Діапазон вимірювання, мм		Розряд кінцевої міри ISO 3650	Складник невизначеності, мкм				Невизначеності, мкм			
від	до		u_{SL}	u_{RR}	u_{TD}	u_{TA}	u_c	U	Зменшення MPE_{ML} $2 \cdot U$	Різниця між 1-м і 2-м розрядами
0	25	2	0,34	0,29	0,20	0,14	0,50	1,00	2,00	0,4
		1	0,17				0,40	0,80	1,60	
25	50	2	0,46	0,40	0,40	0,28	0,78	1,56	3,12	0,4
		1	0,23				0,67	1,34	2,68	
50	75	2	0,57	0,50	0,60	0,42	1,05	2,10	4,20	0,5
		1	0,28				0,93	1,86	3,72	
75	100	2	0,69	0,60	0,80	0,56	1,34	2,64	3,28	0,5
		1	0,35				1,20	1,40	2,80	

В.6.2 Оптичні плоскі пластини (див. приклад у В.4)

Для калібрування мікрометра щодо площинності вимірювальних наконечників використовують лише площу з діаметром від 6 мм до 8 мм на загальній поверхні з діаметром 31 мм. Для діаметра 8 мм потрібен максимальний відхил площинності 0,05 мкм.

У разі виконання цієї передумови оптична плоска пластина має лише незначний вплив на сумарну невизначеність. Якби оптична плоска пластина була ідеальною, то невизначеність зменшилася б від $U = 0,12$ мкм до $U = 0,10$ мкм. Якби значення MPE площинності оптичної плоскої пластини було збільшене на 50 %, то тоді невизначеність змінилася б від $U = 0,12$ мкм до $U = 0,13$ мкм.

Можна припустити, що похибка форми поверхні оптичної плоскої пластини є сферичність. Це загальний вид типу відхилу, який спричинено виробничим процесом (механічним притиранням). Якщо форма сферична, то відхил форми для поверхні з діаметром від 6 мм до 8 мм становить 0,05 мкм, що дорівнює відхилу площинності 1,25 мкм для поверхні з діаметром 30 мм. Відхил форми 1,25 мкм може вимірювати більшість промислових фірм, і для цього не потрібно звертатися до зовнішньої калібрувальної лабораторії.

Висновки щодо оптичних площин:

— Якщо один бік оптичної паралельної пластини з діаметром 31 мм використовують як оптичну плоску пластину, то можна перевірити площинність площі 8 мм внутрішнім калібруванням у промисловій компанії.

Примітка. Сферична форма поверхонь може бути видимою на інтерференційному зображенні, коли встановлюють дві оптичні поверхні одна на одну.

— Оптичні паралельні пластини, які часто є у продажу, зазвичай мають максимальний відхил площинності 0,1 мкм для діаметра 30 мм. Якщо припустити сферичну форму, то це означає, що ці поверхні в 5—10 разів кращі, ніж необхідно, враховуючи зазначені вище вимоги.

В.6.3 Оптично паралельні поверхні (див. приклад у В.5)

Для калібрування мікрометра щодо паралельності вимірювальних наконечників використовують лише площу з діаметром від 6 мм до 8 мм на загальній поверхні діаметром 31 мм. Вимогою для діаметра 8 мм є максимальний відхил від паралельності 0,10 мкм.

Якщо виконують цю передумову, то оптично паралельна пластина має незначний вплив на сумарну невизначеність. Якби оптично паралельна пластина була ідеальної форми, то невизначеність була б зменшена від $U = 0,28$ мкм до $U = 0,25$ мкм. Якби значення MPE паралельності оптичної паралельної пластини збільшилося на 50 %, то невизначеність змінилася б від $U = 0,30$ мкм до $U = 0,34$ мкм.

Якщо припустити, що оптичні паралельні пластини плоскі чи сферичні з максимальним відхилом площинності 0,1 мкм на поверхні з діаметром 30 мм, то відхил паралельності 0,1 мкм на поверхні з діаметром 8 мм буде дорівнювати 0,4 мкм на поверхні з діаметром 30 мм. Зазвичай пропонують відхил 0,4 мкм на поверхні з діаметром 30 мм.

Висновок щодо оптичних паралельних пластин:

— Вплив оптичних паралельних пластин, які є у продажу, на калібрування мікрометра щодо паралельності вимірювальних наконечників настільки малий, що збільшення значення MPE від 50 % до 100 % не буде впливати на визначення точності мікрометра.

— Значення MPE для паралельності оптичних паралельних пластин настільки велике, що немає потреби калібрувати мікрометри за межами підприємства в акредитованій лабораторії.

В.7 Використання еталона порівняння як додаткового засобу калібрування

На виробництві зазвичай застосовують еталони порівняння (див. змінену PUMA-діаграму на рисунку В.6). Тоді оператор машинним інструментом може перевіряти й іноді коригувати установлення засобів вимірювальної техніки. Еталони порівняння потрібні для засобів вимірювальної техніки, промислові допуски яких змінюються через довгий період часу.

Щоб відобразити вплив еталона порівняння на бюджет невизначеності, використовують і відповідно змінюють приклад з мікрометром (див. В.2). Потрібно показати, як еталон порівняння видаляє, змінює і додає складники невизначеності (позначені ** в таблиці В.11) у початковому бюджеті невизначеності (приклад подано у В.2), оснований лише на калібруванні мікрометра. Новий бюджет невизначеності буде відображати, як еталон порівняння покращив ситуацію, тобто зменшив невизначеність вимірювання в заводських умовах.

У цьому разі еталон порівняння міг би бути кінцевою мірою завдовжки 25 мм. Таким чином, було б раціонально застосувати цифровий мікрометр, тому що його легше встановити, використовуючи кінцеву міру. З цієї опорної точки (25 мм) вимірюють діаметри вала. Припускають, що зміна діаметрів валів становить менше ніж $\pm 0,2$ мм на 25 мм.

Калібрування мікрометра все ще потрібне. Методику калібрування треба вдосконалювати і, крім того, вона має охоплювати вплив невеликих відхилів від вимірювальної точки, тобто 25 мм. Новий MPE_{ML-CH} не може бути менше ніж 3 мкм, що дає різницю показів 1 мкм на коротких відстанях (під час калібрування і за значення α_{ML-CH} 1,5 мкм).

Унаслідок установлення опорної точки (25 мм) на заводі в несприятливих умовах зовнішнього середовища з'являється новий складник невизначеності. Допустимо, що різниця температур між еталоном порівняння і мікрометром менше ніж 3 °C. Таким чином, новий складник u_{TI-CH} становить 0,6 мкм.

Таблиця В.11 — Зведення бюджету невизначеності (перша ітерація). Вимірювання двох точок діаметра 25 мм, застосовуючи еталон порівняння (кінцева міра завдовжки 25 мм) як опорну точку

Назва складника	Тип оцінювання	Тип розподілу	Кількість вимірювань	Граничний відхил a^* , впливні одиниці	Граничний відхил a , мкм	Коефіцієнт кореляції	Коефіцієнт розподілу b	Складник невизначеності u_{xx} , мкм
u_{ML-CH} Похибка показу мікрометра**	В	Прямокутний		1,5 мкм	1,5	0	0,6	0,87
u_{MF} Мікрометр — площинність 1	В	Гаусса		1,0 мкм	1,0	0	0,5	0,50
u_{MF} Мікрометр — площинність 2	В	Гаусса		1,0 мкм	1,0	0	0,5	0,50
u_{MP} Мікрометр — паралельність	В	Гаусса		2,0 мкм	2,0	0	0,5	1,00
u_{RR} Збіжність	А		15			0		1,20
u_{NP-CH} Опорна точка**	А		15			0		0,40
u_{TI-CH} Різниця температур**	В	U-подібний		3,0 °C	0,85	0	0,7	0,60

Кінець таблиці В.11

Назва складника	Тип оцінювання	Тип розподілу	Кількість вимірювань	Граничний відхил a^* , впливні одиниці	Граничний відхил a , мкм	Коефіцієнт кореляції	Коефіцієнт розподілу b	Складник невизначеності u_{xx} , мкм
u_{TD} Різниця температур	В	U-подібний		10 °C	2,8	0	0,7	1,96
u_{TA} Температура	В	U-подібний		15 °C $\alpha_1/\alpha_2 = 1,1$	0,4	0	0,7	0,28
u_{WE} Похибка форми робочого зразка	В	Прямокутний		3,0 мкм	3,0	0	0,6	1,80
Сумарна стандартна невизначеність u_c								3,37
Розширена невизначеність ($k = 2$), U								6,74

Складник, спричинений відмінністю нуля між трьома операторами, зникне, але змінить інший складник, зумовлений установленням зчитування. Теоретично цей складник u_{NP-CH} не може бути менше ніж 0,29 мкм. Експериментально він становитиме приблизно 0,4 мкм у заводських умовах.

Усі інші складники невизначеності не змінюються, і на них не впливає застосування еталона порівняння.

Новий бюджет невизначеності для застосування еталона порівняння записано в таблиці В.11.

Як видно з таблиці В.11, коригування невизначеності вимірювання не дуже велике в цьому разі. Зменшення від $U = 7,58$ мкм (наприклад, В.2) до $U_{CH} = 6,74$ мкм призведе до загального зменшення на 0,84 мкм або 11 % від початкового U . Інші зміни під час вимірювання мають набагато більший вплив на невизначеність вимірювання, ніж застосування еталона порівняння.

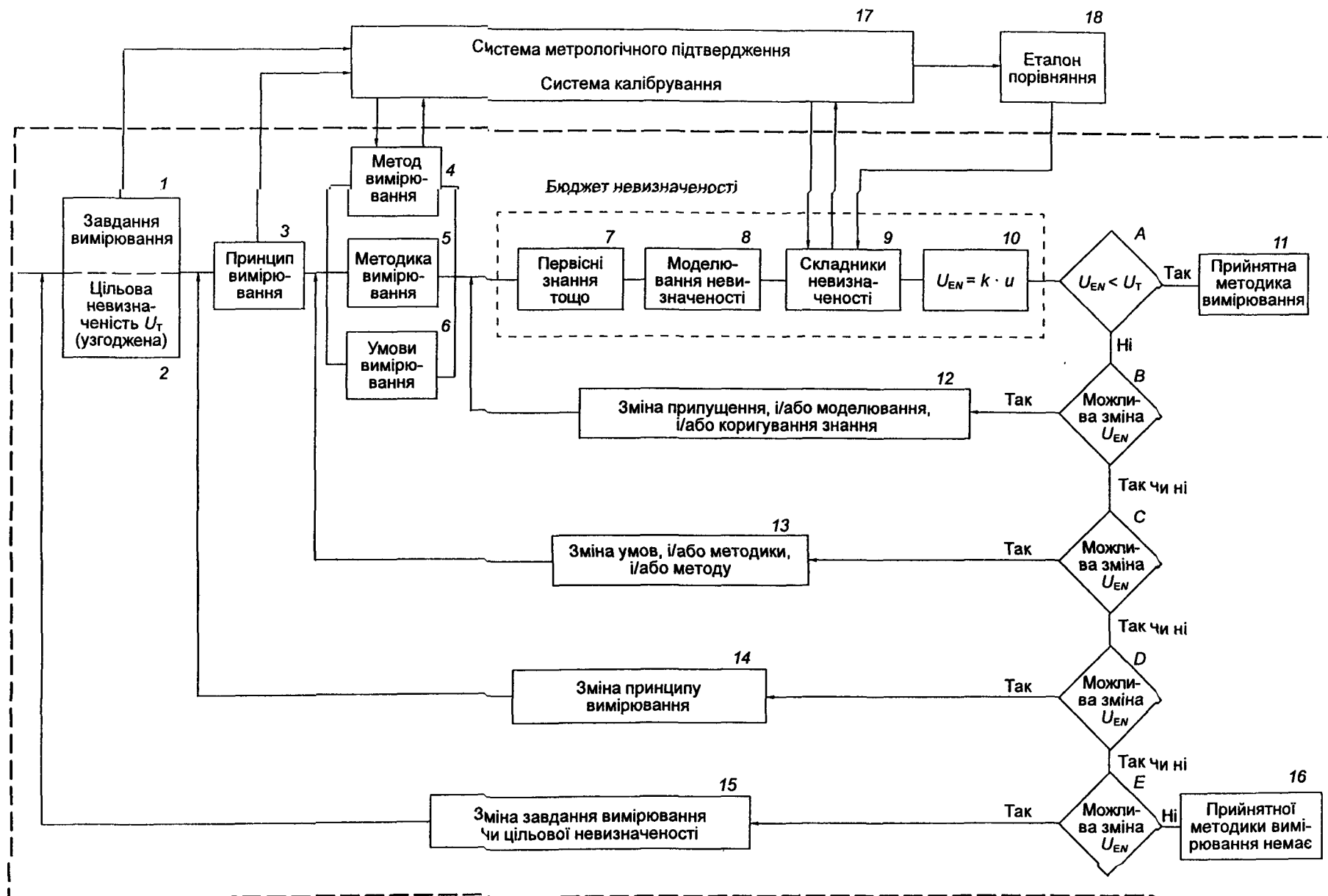


Рисунок В.6 — Застосування еталона порівняння разом з методикою PUMA

ДОДАТОК С
(довідковий)

ПРИКЛАД БЮДЖЕТІВ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ВИМІРЮВАННЯ ОКРУГЛОСТІ

УВАГА! Варто зазначити, що наведений нижче приклад ілюструє тільки метод PUMA. Він охоплює лише носії невизначеності, значущі у наведених випадках. Для різних значень цільових невизначеностей і застосувань значущими можуть бути інші носії невизначеності.

С.1 Завдання та цільова невизначеність

С.1.1 Завдання вимірювання

Завдання вимірювання полягає у вимірюванні округлості заземленого вала з діаметром 50 мм і довжиною 100 мм з очікуваним значенням відхилу від округлості 4 мкм.

С.1.2 Цільова невизначеність

Цільова невизначеність дорівнює 0,20 мкм.

С.2 Принцип, метод, методика й умова

С.2.1 Принцип вимірювання

Механічний контакт — звіряння з характеристикою округлості.

С.2.2 Метод вимірювання

Машина для вимірювання округлості з обертовим столом. Вимірювання зміни радіуса відносно центра круга з найменшою площею (LSC).

Національна примітка

LSC — метод найменших квадратів.

С.2.3 Процедура вимірювання

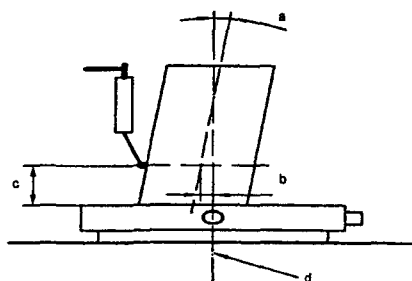
- Робочий зразок розміщують на обертовому столі.
- Робочий зразок центрують і вирівнюють відносно осі обертання.
- Результат вимірювання обчислюють за одним вимірюванням (обертом стола) за допомогою програмного забезпечення засобу вимірювальної техніки.

С.2.4 Умови вимірювання

- Машина для вимірювання округлості відкалібрована і функціонує відповідно до її технічних вимог (див. таблицю С.1).
- Температуру контролюють до такого ступеня, як зазначено в методиці.
- Оператор кваліфікований і ознайомлений із застосуванням машини для вимірювання округлості.
- Усі установлення машини для вимірювання округлості правильні і відповідають призначеності.
- Робочий зразок відцентровано відносно осі обертання з відхилом (на висоті вимірювання над столом) менше за 20 мкм.
- Робочий засіб відцентровано відносно осі обертання краще, ніж 10 мкм/100 мм.

С.3 Графічне зображення вимірювання

Див. рисунок С.1.



- ^a Розбіжність осей обертання та робочого зразка
- ^b Неправильне центрування.
- ^c Висота вимірювання
- ^d Вісь обертання.

Рисунок С.1 — Завдання вимірювання

С.4 Перелік і пояснення щодо носіїв невизначеності

Див. таблицю С.1.

Таблиця С.1 — Огляд складників невизначеності у вимірюваннях округлості і коментарі щодо них

Познака (низька роздільна здатність)	Познака (висока роздільна здатність)	Назва складника невизначеності	Коментарі (попередні)
u_{IN}		Шум	Шум (електричний і механічний) зазвичай вимірюють за методикою калібрування
u_{IC}		Сумарна похибка позиціювання модулів	Сумарну похибку позиціювання модулів зазвичай вимірюють за методикою калібрування
u_{IR}		Збіжність	Збіжності вимірюють під час калібрування еталонів
u_{IS}		Похибка шпинделя	Радіальну похибку шпинделя калібрують, застосовуючи еталон зі сферичною поверхнею. Засіб вимірювальної техніки приймають, якщо похибка шпинделя (виміряна як округлість) менше ніж $MPE_{IS} = 0,1 \text{ мкм} + 0,001 \text{ мкм/мм}$
u_{IM}		Похибка збільшення	Збільшення калібрують, застосовуючи віброеталон. Засіб вимірювальної техніки приймають, якщо похибка збільшення менше ніж 4 %
u_{CE}		Центрування робочого зразка	Центрування робочого зразка відносно осі обертання на висоті вимірювання h краще за 20 мкм
u_{AL}		Вирівнювання робочого зразка	Вирівнювання осі робочого зразка відносно осі обертання краще ніж 10 мкм/100 мм

С.5 Перша ітерація**С.5.1 Перша ітерація. Записування й обчислювання складників невизначеності** **u_{IN} — шум****Оцінювання за типом А**

Експериментом керують постійно, щоб визначити рівень шуму (електричний і механічний) у лабораторії, як показує вимірювальний прилад. Відокремлений від похибки шпинделя шум зазвичай створює амплітуду від піка до піка приблизно 0,05 мкм. Припускають, що ця похибка взаємодіє з похибкою елемента відповідно до нормального розподілу. Щоб запобігти недооцінюванню цього складника невизначеності, амплітуду від піка до піка обчислюють з точністю до ± 2 с.

Це дає носій невизначеності:

$$u_{IN} = \frac{0,05 \text{ мкм}}{4} = 0,013 \text{ мкм.}$$

 u_{IC} — сумарна похибка позиціювання модулів**Оцінювання за типом В**

Експерименти показали, що сумарна похибка позиціювання модулів менше ніж $a_{IC} = 0,05$ мкм. Сумарна похибка позиціювання модулів взаємодіє з похибкою елемента так, що вона часто буває дуже строгою. Тому для моделювання взаємодії було вибрано U-подібний розподіл.

Це дає носій невизначеності ($b = 0,7$):

$$u_{IC} = 0,05 \text{ мкм} \cdot 0,7 = 0,035 \text{ мкм.}$$

 u_{IR} — збіжність**Оцінювання за типом А**

Було проведено дослідження збіжності, і воно показало значення збіжності 6σ , яке становить 0,1 мкм. Припускаючи нормальний розподіл, це дає носій невизначеності:

$$u_{IR} = \frac{0,1 \text{ мкм}}{6} = 0,017 \text{ мкм.}$$

 u_{IS} — похибка шпинделя**Оцінювання за типом В**

Відповідно до технічних вимог похибка шпинделя (виміряна як округлість) менше ніж

$$MPE_{IS} = 0,1 \text{ мкм} + 0,001 \text{ мкм/мм}$$

над вимірювальним столом. Вимірювання виконують на висоті 25 мм над столом, що дає в результаті максимальну граничну похибку $a_{IS} = 0,125$ мкм.

Зазвичай припускають, що ця похибка становить 95 % (2σ) від розподілу похибки через те, що її вимірюють, використовуючи фільтр низьких частот (1—15 вібрацій на одне обертання). Крім того, припускають, що ця похибка взаємодіє з похибкою елемента відповідно до нормального розподілу.

Це дає носій невизначеності ($b = 0,5$):

$$u_{IS} = 0,125 \text{ мкм} \cdot 0,5 = 0,063 \text{ мкм}.$$

u_{IM} — похибка збільшення

Оцінювання за типом В

Похибка збільшення має бути в межах $MPE_{\text{збільшення}} = \pm 4$ % відповідно до калібрування з віброеталоном. Вимірювана округлість елемента становить приблизно 4 мкм. Гранична похибка:

$$a_{IM} = 4 \text{ мкм} \cdot 0,04 = 0,16 \text{ мкм}.$$

Для похибки збільшення ($b = 0,6$) припускають прямокутний розподіл. Це дає носій невизначеності:

$$u_{IM} = 0,16 \text{ мкм} \cdot 0,6 = 0,096 \text{ мкм}.$$

u_{CE} — центрування робочого зразка

Оцінювання за типом В

Центрування осі робочого зразка відносно осі обертання на висоті вимірювання h краще ніж 20 мкм. Це дає максимальну похибку:

$$a_{CE} < 0,001 \text{ мкм}.$$

У результаті цього одержують складник невизначеності:

$$u_{CE} \approx 0 \text{ мкм}.$$

u_{AL} — вирівнювання робочого зразка

Оцінювання за типом В

Вирівнювання осі робочого зразка відносно осі обертання краще ніж 10 мкм/100 мм. Це дає в результаті максимальну похибку:

$$a_{AL} < 0,001 \text{ мкм}.$$

У результаті цього одержують складник невизначеності:

$$u_{AL} \approx 0 \text{ мкм}.$$

С.5.2 Перша ітерація. Кореляція між складниками невизначеності

Установлено, що між складниками невизначеності кореляції немає.

С.5.3 Перша інтеграція. Сумарна та розширена невизначеності

Коли немає кореляції між складниками, то сумарна стандартна невизначеність становить:

$$u_c = \sqrt{u_{IN}^2 + u_{IC}^2 + u_{IR}^2 + u_{IS}^2 + u_{IM}^2 + u_{CE}^2 + u_{AL}^2}.$$

Значення з С.5.1:

$$u_c = \sqrt{(0,013^2 + 0,035^2 + 0,017^2 + 0,063^2 + 0,096^2 + 0^2 + 0^2)} \text{ мкм} = 0,122 \text{ мкм}.$$

Розширена невизначеність:

$$U = u_c \cdot k = 0,122 \text{ мкм} \cdot 2 = 0,244 \text{ мкм}.$$

С.5.4 Зведення бюджету невизначеності. Перша ітерація

Див. таблицю С.2.

Таблиця С.2 — Зведення бюджету невизначеності (перша ітерація). Вимірювання невизначеності

Назва складника	Тип оцінювання	Тип розподілу	Кількість вимірювань	Граничний відхил a^* , впливні одиниці	Граничний відхил a , мкм	Коефіцієнт кореляції	Коефіцієнт розподілу b	Складник невизначеності u_x , мкм
u_{IN} Шум	A		> 10			0		0,013
u_{IS} Сумарна похибка позиціювання модулів	B	U-подібний		0,05 мкм	0,05	0	0,7	0,035
u_{IR} Збіжність	A		> 10			0		0,017
u_{IS} Похибка шпинделя	B	Гаусса		0,125 мкм	0,125	0	0,5	0,063
u_{IM} Похибка збільшення	B	Прямокутний		4 %	0,160	0	0,6	0,096
u_{CE} Центрування робочого зразка	B	—		—	< 0,001	0	—	0
u_{AL} Вирівнювання робочого зразка	B	—		—	< 0,001	0	—	0
Сумарна стандартна невизначеність u_c								0,122
Розширена невизначеність ($k = 2$), U								0,244

С.5.5 Перша ітерація. Обговорення бюджету невизначеності. Висновок

Критерію цільової невизначеності не досягнуто. Бюджет невизначеності, який є результатом першої ітерації, має один переважний u_{IM} і другий найбільший u_{IS} складники невизначеності. Переважним складником невизначеності є похибка збільшення. Другим найбільшим складником є похибка радіального шпинделя.

С.5.6 Висновок щодо першої ітерації

Критерію цільової невизначеності не досягнуто. Похибка шпинделя не повинна змінюватися, це характеристика вимірювального приладу. Можливо лише зменшити похибку збільшення. Щоб зменшити похибку збільшення, потрібні кращий еталон і досконаліша процедура калібрування. Похибку збільшення потрібно змінити приблизно на 2 % для відповідності критерію цільової невизначеності $U_T = 0,20$ мкм.

С.6 Друга ітерація

Максимальну похибку збільшення встановлено до 2 %. Запис складника невизначеності треба змінювати відповідно. У таблиці С.3 наведено нове зведення другої ітерації. Тепер критерію цільової невизначеності досягнуто.

Таблиця С.3 — Зведення бюджету невизначеності (друга ітерація). Вимірювання округлості

Назва складника	Тип оцінювання	Тип розподілу	Кількість вимірювань	Граничний відхил a^* , впливні одиниці	Граничний відхил a , мкм	Коефіцієнт кореляції	Коефіцієнт розподілу b	Складник невизначеності u_{xi} , мкм
u_{IN} Шум	A		> 10			0		0,013
u_{IS} Сумарна похибка позиціювання модулів	B	U-подібний		0,05 мкм	0,05	0	0,7	0,035
u_{IR} Збіжність	A		> 10			0		0,017
u_{IS} Похибка шпинделя	B	Гаусса		0,125 мкм	0,125	0	0,5	0,063
u_{IM} Похибка збільшення	B	Прямокутний		2 %	0,080	0	0,6	0,048
u_{CE} Центрування робочого зразка	B	—		—	< 0,001	0	—	0
u_{AL} Вирівнювання робочого зразка	B	—		—	< 0,001	0	—	0
Сумарна стандартна невизначеність u_c								0,089
Розширена невизначеність ($k = 2$), U								0,178

ДОДАТОК D
(довідковий)**ЗВ'ЯЗОК З МАТРИЧНОЮ МОДЕЛЛЮ
ГЕОМЕТРИЧНИХ РОЗМІРІВ ВИРОБІВ**

Подробиці щодо матричної моделі геометричних розмірів виробів див. в ISO/TR 14638.

D.1 Інформація щодо цього стандарту та його використання

Цей стандарт на геометричні розміри виробів є настановою щодо оцінювання і вираження невизначеності вимірювання щодо геометричних розмірів виробів, яка основана на GUM (Настанова щодо оцінювання невизначеності вимірювання). У цьому стандарті застосовують основну концепцію GUM. У ньому описано практичний ітераційний метод оцінювання невизначеності вимірювання, використовуючи який можна звести до мінімуму витрати і довести до максимуму прибутки в процесі складання бюджету невизначеності на підприємстві. Ітераційний метод є економічно саморегульованим.

Ітераційний метод (PUMA — Методика керування невизначеністю вимірювання) пояснено на прикладах як метод розвитку та/чи оцінювання процесів вимірювання з одержаною невизначеністю вимірювання U_E , яка відповідає вимозі цільової невизначеності U_T , тобто $U_E < U_T$.

D.2 Позиція в матричній моделі геометричних розмірів виробів

Цей стандарт установлює такі технічні вимоги до геометричних розмірів виробів, які впливають на зв'язок елементів частин 4, 5 і 6 усіх пов'язаних стандартів у матричній моделі геометричних розмірів виробів, як показано на рисунку D.1.

Основні стандарти щодо геометричних розмірів виробів	Міжнародні стандарти щодо геометричних розмірів виробів						
	Загальні стандарти щодо геометричних розмірів виробів						
	Пов'язані елементи	1	2	3	4	5	6
	Розмір						
	Довжина						
	Радіус						
	Кут						
	Форма лінії, незалежна від початкової величини профілю						
	Форма лінії, залежна від початкової величини профілю						
	Форма поверхні, незалежна від початкової величини профілю						
	Форма поверхні, залежна від початкової величини профілю						
	Орієнтація						
	Розміщення						
	Радіальне биття						
	Повне биття						
	Початковий профіль						
	Профіль шорсткості						
	Профіль хвилястості						
	Первинний профіль						
	Недосконалості поверхні						
	Краї						

Рисунок D.1

D.3 Взаємопов'язані міжнародні стандарти

Цей стандарт було розроблено як продовження ISO 14253-1, він містить практичний метод оцінювання невизначеності вимірювання, необхідного для встановлення правил доведення відповідності та невідповідності поданим в ISO 14253-1 вимогам. Взаємопов'язані міжнародні стандарти наведено на рисунку D.1.

БІБЛІОГРАФІЯ

- 1 ISO/TR 14638:1995 Geometrical Product Specifications (GPS) — Masterplan
- 2 WECC 19:1990 Guidelines for the Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibrations, published by the Western European Calibration Corporation — WECC.

НАЦІОНАЛЬНЕ ПОЯСНЕННЯ

- 1 ISO/TR 14638:1995 Вимоги до геометричних розмірів виробів (GPS). Головний план
- 2 WECC 19:1990 Настанови щодо вираження невизначеності вимірювання калібрування, опублікована Корпорацією калібрування у Західній Європі (WECC).

ДОДАТОК НА
(довідковий)

**ПЕРЕЛІК НАЦІОНАЛЬНИХ СТАНДАРТІВ УКРАЇНИ,
ЗГАРМОНІЗОВАНИХ З МІЖНАРОДНИМИ СТАНДАРТАМИ,
ПОСИЛАННЯ НА ЯКІ Є В ЦЬОМУ СТАНДАРТІ**

- 1 ДСТУ ISO 4288–2001 Технічні вимоги до геометрії виробів (GPS). Структура поверхні. Профільний метод. Правила і процедури оцінювання структури (ISO 4288:1996, IDT)
2 ДСТУ ISO 9001–2001 Системи управління якістю. Вимоги (ISO 9001:2000, IDT)
3 ДСТУ ISO 9004–2001 Системи управління якістю. Настанови щодо поліпшення діяльності (ISO 9004:2000, IDT)
4 ДСТУ ISO 14660-1–2002 Технічні вимоги до геометрії виробів (GPS). Геометричні елементи. Частина 1. Загальні вимоги та визначення (ISO 14660-1:1999, IDT).

Код УКНД 17.040.01

Ключові слова: вимоги, геометричні розміри виробів, калібрування, лінійне та кутове вимірювання, невизначеність вимірювання геометричних розмірів виробів, похибки, рекомендації.

Редактор Г. Халімон
Технічний редактор О. Марченко
Коректор О. Кузнецова
Верстальник В. Перекрест

Підписано до друку 31.03.2011. Формат 60×84 1/8.
Ум. друк. арк. 7,44. Обл.-вид. арк. 5,10. Зам. Ціна договірна.

Виконавець
Державне підприємство «Український науково-дослідний і навчальний центр
проблем стандартизації, сертифікації та якості» (ДП «УкрНДНЦ»)
вул. Святошинська, 2, м. Київ, 03115

Свідectво про внесення видавця видавничої продукції до Державного реєстру
видавців, виготівників і розповсюджувачів видавничої продукції від 14.01.2006 серія ДК № 1647