# НАЦІОНАЛЬНИЙ НАУКОВИЙ ЦЕНТР "ІНСТИТУТ МЕТРОЛОГІЇ"

# (ННЦ "Інститут метрології")

ЗАТВЕРДЖУЮ

Генеральний директор

ННЦ "Інститут метрології"

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Г.С. Сидоренко

"\_\_\_" \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 2008 р.

**МЕТРОЛОГІЯ**

**МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ВИМІРЮВАНЬ**

**ПРИ ПРОВЕДЕННІ КАЛІБРУВАНЬ**

**ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ**

РМУ 13-064-2008

Харків

2008

**ПЕРЕДМОВА**

1. **РОЗРОБЛЕНО**: Національним науковим центром "Інститут метрології" (ННЦ "Інститут метрології") Держспоживстандарту України

**РОЗРОБНИКИ**: І.П. Захаров, д.т.н.; О.Е. Малецька, к.т.н.; Б.Ф. Марков, к.т.н.; М.В. Москаленко; А.Є. Олійник; О.В. Прокопов, д.ф.-м.н. (науковий керівник)

1. **НАДАНО ЧИННОСТІ** з 01.01.2009
2. **ВВЕДЕНО ВПЕРШЕ**

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

© ННЦ "Інститут метрології" 2008

Ця методика не може бути повністю чи частково відтворена, тиражована і розповсюджена без дозволу ННЦ "Інститут метрології".

**ЗМІСТ**

1 Сфера застосування 4

2 Нормативні посилання 4

3 Терміни та їх визначення 4

4 Методи вимірювань, що використовуються при калібруванні ЗВТ 6

5 Модельне рівняння. Величини, невизначеність яких оцінюється

 при калібруванні, та впливні величини. 6

6 Розрахунок невизначеності при калібруванні засобів вимірювань 8

6.1 Прямі вимірювання ЗВ, що калібрується, величини,

яка відтворюється еталонною мірою 8

6.2 Безпосереднє звірення ЗВ, що калібрується, з еталонним ЗВ 9

6.3 Опосередковане відтворення декількома еталонними

мірами величини, яка вимірюється ЗВ, що калібрується 11

7 Розрахунок невизначеності при калібруванні мір 13

7.1 Прямі вимірювання еталонним ЗВ величини,

яка відтворюється мірою, що калібрується 13

7.2 Звірення значень, які відтворюються еталонною мірою

та мірою, що калібрується за допомогою компаратора 15

7.3 Опосередковане вимірювання величини, яка відтворюється

мірою, що калібрується 17

8 Подання результату калібрування 20

Додаток А Коефіцієнт охоплення в залежності від закону розподілу

величини 20

Додаток Б Бібліографія 21

**1 СФЕРА ЗАСТОСУВАННЯ**

Ця методика встановлює порядок оцінки невизначеності вимірювань, що проводиться під час калібрування чи метрологічної атестації (далі - калібрування) засобу вимірювальної техніки (ЗВТ).

Загальні правила для оцінки та вираження невизначеності вимірювань для прямих, опосередкованих та сукупних вимірювань наведені в Методиці розрахунку невизначеності вимірювань з використанням експериментальних даних. Методика оцінювання невизначеності при калібруванні описує особливості вибору рівнянь вимірювання, вхідних величин та оцінювання невизначеності результатів в залежності від застосованого методу калібрування.

Методика може бути застосована в роботі:

* калібрувальних лабораторій,
* випробувальних та вимірювальних лабораторій, що виконують калібрування свого обладнання,
* випробувальних та вимірювальних лабораторій, що проводять випробування, де результатом має бути виміряне значення.

**2 НОРМАТИВНІ ПОСИЛАННЯ**

В цьому документі наведені посилання на такі законодавчі акти та нормативні документи:

Закон України “Про метрологію та метрологічну діяльність” № 113/98-ВР від 11.02.1998 зі змінами, внесеними згідно із Законом України № 1765-IV від 15.06.2004 р. (далі - Закон України)

ДСТУ 2681-94 Метрологія. Терміни та визначення

РМГ 29-99 ГСИ. Метрология. Основные термины и определения.

ДСТУ ISO/IEC 17025:2006. Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій

ДСТУ-Н РМГ 43:2006 Метрологія. Застосування "Руководства по выражению неопределенности измерений" (РМГ 43:2001, IDT)

МІ 13.002-2003. Методика обґрунтування рівнянь вимірювань та оцінки методичної складової похибки (невизначеності) результатів вимірювань. Харків: ХДНДІМ, 2003 −11 с.

EA-4/02 Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration: EA, 1999. – 79 p. (EA-4/02 Подання невизначеності вимірювань при калібруванні)

ГОСТ 8.061-80 ГСИ. Поверочные схемы. Содержание и построение. (ДСВ. Повірочні схеми. Зміст та побудова.)

**3 ТЕРМІНИ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ПОНЯТЬ**

В методиці використовуються наступні терміни та їхні визначення:

3.1 **засіб вимірювальної техніки(далі - ЗВТ)**

Технічний засіб, який застосовується під час вимірювань і має нормовані метрологічні характеристики (Закон України).

3.2 **калібрування засобів вимірювальної техніки**

Визначення в певних умовах або контроль метрологічних характеристик засобів вимірювальної техніки (Закон України).

3.3 **метрологічна атестація засобів вимірювальної техніки**

Дослідження засобів вимірювальної техніки з метою визначення їх метрологічних характеристик та встановлення придатності цих засобів до застосування (Закон України).

3.4 **вимірювана величина**

Фізична величина чи параметри її залежності, що підлягають вимірюванню (ДСТУ 2681).

3.5 **впливна величина**

Фізична величина, що впливає на результат вимірювання, але не є вимірюваною величиною (ДСТУ 2681).

*3.6* ***засіб вимірювань (далі - ЗВ)***

*ЗВТ, який реалізує процедуру вимірювання (ДСТУ 2681).*

*3.7* ***міра***

*Вимірювальний пристрій, що реалізує відтворення та (чи) зберігання фізичної величини заданого значення (ДСТУ 2681).*

3.8 **номінальне значення міри**

Приписане мірі значення величини, яка нею відтворюється (РМГ 29).

3.9 **дійсне значення міри**

Значення приписане мірі на підставі її калібрування (РМГ 29).

*3.10* ***прямі вимірювання***

*Вимірювання, при яких значення величини отримуються безпосередньо (РМГ 29).*

*3.11* ***опосередковані вимірювання***

*Вимірювання при яких значення величини визначається на підставі прямих вимірювань інших величин, які функціонально зв'язані з величиною, що вимірюється (РМГ 29).*

3.12 **невизначеність вимірювання**

Параметр, пов'язаний з результатом вимірювання, який характеризується дисперсією значень, що можуть бути достатньо обґрунтовано приписані величині, що вимірюється (ДСТУ-Н РМГ 43).

3.13 **оцінка невизначеності за типом А**

Метод оцінки невизначеності за допомогою статистичного аналізу серії спостережень (ДСТУ-Н РМГ 43).

3.14 **оцінка невизначеності за типом В**

Метод оцінки невизначеності методом, відмінним від статистичного аналізу серії спостережень (ДСТУ-Н РМГ 43).

3.15 **стандартна невизначеність**

Невизначеність результату вимірювання, виражена як стандартне відхилення (ДСТУ-Н РМГ 43).

**4 МЕТОДИ ВИМІРЮВАНЬ, ЩО ВИКОРИСТОВУЄТЬСЯ ПРИ КАЛІБРУВАННІ ЗВТ**

4.1 В залежності від супідрядності ЗВТ, при проведенні калібрувань їх розділяють на еталони та ЗВТ, що калібруються. В якості еталона може виступати державний еталон, первинний еталон, вторинний еталон чи робочий еталон.

4.2 ЗВТ, що пройшов калібрування, може в свою чергу виступати в якості еталона для ЗВТ нижчої ланки повірочної схеми, яка застосовується для калібрування ЗВТ.

4.3 За способом отримання значень вимірюваних величин виділяють два основних метода вимірювання: метод безпосередньої оцінки та метод порівняння з мірою.

*Метод безпосередньої оцінки* - метод вимірювання, при якому значення величини визначають безпосередньо по відліковому пристрою засобу вимірювань.

*Метод порівняння з мірою* - метод вимірювання, при якому вимірювану величину порівнюють з величиною, відтвореною мірою.

Відповідно всі ЗВТ, що приймають участь у калібруванні можна поділити на дві групи: міри та засоби вимірювань (ЗВ).

4.4 Конкретна процедура оцінювання невизначеності залежить від методу вимірювань, що використовується при калібруванні. При передачі розмірів одиниці в повірочних схемах використовуються наступні методи [1]:

1. пряме вимірювання засобом вимірювань, що калібрується, величини, яка відтворюється еталонною мірою;
2. безпосереднє звірення ЗВ, що калібрується та еталонного ЗВ;
3. опосередковане відтворення декількома еталонними мірами величини, яка вимірюється ЗВ, що калібрується;
4. пряме вимірювання еталонним ЗВ величини, яка відтворюється мірою, що калібрується;
5. звірення значень, що відтворюються еталонною мірою та мірою, що калібрується, за допомогою компаратора;
6. опосередковане вимірювання величини, яка відтворюється мірою, що калібрується.

Методи 1-3 відносяться до калібрування засобів вимірювань, а методи 4-6 - до калібрування мір. Методи 1-3 також можуть використовуватися для калібрування компараторів, вимірювальних перетворювачів та обчислювальних компонентів.

**5 МОДЕЛЬНЕ РІВНЯННЯ. ВЕЛИЧИНИ, НЕВИЗНАЧЕНІСТЬ ЯКИХ ОЦІНЮЄТЬСЯ ПРИ КАЛІБРУВАННІ, ТА ВПЛИВНІ ВЕЛИЧИНИ**.

5.1 В процесі калібрування ЗВ оцінюється величина та невизначеність різниці між значенням , що відтворюється еталонною мірою або вимірюється еталонним ЗВ, і значенням , яке виміряне ЗВ, що калібрується.

Модельне рівняння описує алгоритм оцінювання похибки



Надалі ця різниця використовується для внесення поправки до результату вимірювання. Таким чином, оцінювання невизначеності при калібруванні ЗВ полягає в оцінюванні невизначеності величини .

5.2 При калібруванні мір зазвичай оцінюється величина та невизначеність дійсного значення міри, що калібрується,  шляхом вимірювання еталонним ЗВ або порівнянням з еталонною мірою . Поправка в цьому випадку становить різницю між номінальним  і дійсним  значеннями міри:

.

Оцінювання невизначеності під час калібрування міри полягає в оцінюванні невизначеності вимірювань величини .

5.3 Також у рівнянні вимірювання необхідно враховувати впливні величини, дії яких не враховані експериментальними даними та є суттєвими при проведенні калібрування. Наприклад, впливні величини, пов'язані з дрейфом відтвореного значення з часу останнього калібрування, відхиленнями в умовах експлуатації (параметри навколишнього середовища, живлячої напруги, тощо), похибками квантування ЗВ, неточністю встановлення значення, взаємним впливом міри та засобу вимірювань, тощо (для прийняття рішення щодо включення того чи іншого впливаючого чинника в загальному випадку використовується [2]). Впливні величини задаються інтервалом (знаком модуля позначається півширина) та законом розподілу, відповідно до якого розраховується стандартна невизначеність [3]. Як правило, інтервал, в якому змінюється впливна величина, симетричний, тоді оцінка цієї величини дорівнює нулю. Якщо інтервал не симетричний, в якості оцінки береться середина інтервалу.

5.4 Деякі з впливних величин, що входять до рівняння вимірювання, можуть залежати від одних і тих же зовнішніх чинників. Тоді під час розрахунку сумарної стандартної невизначеності необхідно враховувати кореляційні коефіцієнти [3].

5.5 В цій методиці надано порядок оцінювання сумарної стандартної і розширеної невизначеностей калібрувань для всіх перерахованих у пункті 4.4 методів вимірювань. При цьому розширена невизначеність калібрування буде визначатися за формулою

, (1)

де  - стандартна невизначеність,  – коефіцієнт охоплення, який обчислюється в загальному випадку як коефіцієнт Ст'юдента з ефективним числом ступенів свободи , визначеним за формулою Велча-Саттерсвейта [3].

5.6 Згідно з EA-4/02 оцінювання невизначеності вимірювань під час калібрування ЗВТ визначається з рівнем довіри .

**6 РОЗРАХУНОК НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ПРИ КАЛІБРУВАННІ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАНЬ**

**6.1 Прямі вимірювання ЗВ, що калібрується, величини, яка відтворюється еталонною мірою**

6.1.1 Схема калібрування для цього випадку наведена на рисунку 1.

Хіст

|  |
| --- |
| Еталонна міраЗВ, що калібрується*Xs**Xс*Хвим |
| Рисунок 1 - Схема прямого вимірювання засобом вимірювань, що калібрується, величини, відтвореної еталонною мірою |

6.1.2 Модельне рівняння (ФУНКЦІЯ, яка описує процес утворення похибки) в цьому випадку має вигляд:

, (2)

Для даної моделі Δ= Хвим - Хіст

де  − значення, яке виміряне ЗВ, що калібрується;

 − дійсне значення еталонної міри, зазначене у свідоцтві (сертифікаті) про калібрування;

 - впливні величини.

6.1.3 При багаторазових вимірюваннях оцінка  величини  визначається як середнє арифметичне результатів  спостережень 

. (3)

Наступним кроком після оцінювання хс, є обрахування невизначеності результатів вимірювань.

ПОХИБКА – характеристика ЗВТ

НЕВИЗНАЧЕНІСТЬ характеристика Процесу, в якому ЗВТ бере участь.

6.1.4 Зазначеним вхідним величинам відповідають наступні стандартні невизначеності:

1. НЕВИЗНАЧЕНІСТЬ РЕЗУЬТАТУ (РОЗСІЯННЯ ЗНАЧЕНЬ ОКРЕМИХ ЗАМІРІВ)  − невизначеність, пов'язана з розсіюванням показів ЗВ, що калібрується, оцінена за типом *A* при виконанні багаторазових вимірювань [3]:

; (4)

2 НЕВИЗНАЧЕНІСТ ТИПУ В

(оцінювання впливних чинників)

 − стандартна невизначеність калібрування еталонної міри, вказана у свідоцтві (сертифікаті) про калібрування;

.. - стандартні невизначеності впливних величин, оцінені за типом В

, де  отримується з таблиці 1 Додатку А. Дані впливні чинники оцінюються вибірково, в залежності від виду вимірюваної величини

Невизначеність, зобумовлена ціною поділки ЗВТ

Варто памʼятати, що для аналогових засобів вимірювання, використовується значення

Ub=q/4√3, оскільки при знятті показів з аналогової шкали є можливість провести візуальний відлік першої чи другої половини половини поділки

для цифрових засобів вимірювання, використовується значення

Ub=q/2√3, оскільки при знятті показів з цифрового індикатора, перемикання проходить стрибкоподібно

$$\sqrt[n]{X}=X^{1/n}$$

6.1.5 Сумарна стандартна невизначеність калібрування дорівнює

. (5)

 UΣ = √ Ua2  + Ub2

Розширена невизначеність калібрування дорівнює

 Uрозш=k\*u(Δ) k=2

Розподіл ймовірностей вхідної величини підпорядковується Нормальний

6.1.6 Ефективне число ступенів свободи  для цього випадку буде визначатися за формулою:

. (6)

6.1.7 Бюджет невизначеності наведено у таблиці 1.

Таблиця 1 - Бюджет невизначеності прямих вимірювань ЗВ, що калібрується, величини, відтвореною еталонною мірою

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Вхіднавели чина | Оцінка вхідноївеличини | Стандартна невизначеність | Тип оцінки (А, В) | Число ступенів свободи | Розподілймовірностей вхідної величиниНормальний | Коефіцієнтчутливості | Внесок у невизначеність  |
|  | (3) | (4) | А |  | 1 |  |
|  |  |  | В | ∞ | Нормальний | -1 | - |
|  | 0 |  | В | ∞ | (відповідний закон розподілу) | 1 |  |
| … | ...  | … | … | … | … | … | … |
|  | 0 |  | В |  ∞ | (відповідний закон розподілу) | 1 |  |
| Вихіднавеличина | Оцінка вихідноївеличини | Сумарнастандартнаневизначеність |  | Ефективне число ступенів свободи  | Рівеньдовіри | Коефіцієнтохоплення | Розширенаневизначеність |
|  | (2) | (5) |  | (6) | =0,95 |  | (1) |

**6.2 Безпосереднє звірення ЗВ, що калібрується, з еталонним ЗВ**

6.2.1 Схема калібрування для цього випадку наведена на рисунку 2.

Хіст

|  |
| --- |
| Еталонний ЗВЗВ, що калібруєтьсяСтабілізована міра  фізичної величини, що вимірюється *Xс**Xs*Хвим |
| Рисунок 2 - Схема безпосереднього звірення ЗВ, що калібрується, з еталонним ЗВ Для даної моделі Δ= Хвим - Хіст |

Як джерело сигналу вимірювальної інформації виступає стабілізована міра фізичної величини, що вимірюється.

Для манометрів, термометрів, фотометрії та інше

6.2.2 Модельне рівняння в цьому випадку має вигляд:

, (7)

 Δ= Хвим- Хіст

де − значення, яке виміряне ЗВ, що калібрується;

 − значення, яке виміряне еталонним ЗВ;

 − поправка до показів еталонного ЗВ за результатами його калібрування [4];

 - впливні величини.

6.2.3 Вхідний сигнал для еталонного ЗВ і ЗВ, що калібрується, той самий, тому при одночасному вимірюванні ними величини, яка відтворюється стабілізованою мірою, може виникнути кореляція між їхніми показами, яку необхідно враховувати. Оскільки в даному випадку вимірювання є погодженими, для спрощення формули сумарної стандартної невизначеності використовується метод приведення [5].

6.2.4 При багаторазових вимірюваннях оцінки  і  результат калібрування буде визначатися за формулою [3]

. (8)

Хвим- Хіст

6.2.5 Величина  та її невизначеність отримуються з свідоцтва(сертифікату) про калібрування еталонного ЗВ.

6.2.6 Сумарна стандартна невизначеність калібрування дорівнює

, (9)

 Ua Ub

де  − стандартна невизначеність, пов'язана з розсіюванням різниці показів ЗВ, що калібрується та еталонного ЗВ, оцінена за типом *A*:

 (10)

Розширена невизначеність калібрування дорівнює

Uрозш=k\*u(xc-xs) k=2

Розподіл ймовірностей вхідної величини підпорядковується Нормальному закону

6.2.7 Ефективне число ступенів свободи  для цього випадку дорівнює:

. (11)

6.2.8 Бюджет невизначеності наведено в таблиці 2.

Таблиця 2 - Бюджет невизначеності безпосереднього звірення ЗВ, що калібрується та еталонного ЗВ

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Вхіднавеличина | Оцінка вхідноївеличини | Стандартна невизначе ність | Тип оцінки (А, В) | Число ступенів свободи | Розподіл ймовірностейвхідноївеличини | Коефі цієнт чутли вості | Внесок у невизначеність |
|  | (8) | (10) | А |   | Нормальний | 1 |  |
|  |  |  | В | ∞ | Нормальний | -1 | - |
|  | 0 |  | В | ∞ | (відповідний закон розподілу) | 1 |  |
| … | … | … | … | … | … | … | … |
|  | 0 |  | В |  ∞ | (відповідний закон розподілу) | 1 |  |
| Вихіднавеличина | Оцінка вихідноївеличини | Сумарна стандартна невизначе ність |  | Ефективне число ступенів свободи | Рівень довіри | Коефі цієнтохоплення | Розширена невизначе ність |
|  | (7) | (9) |  | (11) | =0,95 |  | (1) |

****

D(U!)1

D3 U(3)

D(U2)2

**5.12.2 Визначення основних похибок вузла обліку газу**

Нормування похибок комплексу здійснюють:

а) комплектно - границі допустимої відносної похибки вимірювання об’єму газу за

стандартних умов *SVc* (%);

б) окремо (додатково до *дус):*

- границі основної допустимої похибки вимірювання об’єму газу за робочих умов

*SvP* (%);

61

- границі допустимої відносної похибки обчислення коефіцієнта перетворення

об’єму газу до стандартних умов *де (%);*

- границі допустимого відносного відхилення значень коефіцієнта перетворення,

отриманих комплексом, від розрахункових *S 'с* (%);

- границі допустимої абсолютної похибки вимірювання температури газу в діапазоні

вимірювання перетворювача температури *Атгр,* °С;

- границі допустимої зведеної похибки вимірювання абсолютного тиску газу та

варіації в діапазоні вимірювання перетворювача тиску *урв,* %;

- границі допустимої абсолютної похибки вимірювання поточного часу.

Значення відносної похибки ВОГ *двог* (%) чисельно дорівнюють границям

допустимої відносної похибки вимірювання об’єму газу за стандартних умов *дус*

*(двог - Syc).*

Значення *3ус, дур, де, д'с, Атгр* та *урв* беруть із технічної документації підприємства

виробника КВ або з документів про його повірку (калібрування, атестацію).

****

**6.3 Опосередковане відтворення декількома еталонними мірами величини, яка вимірюється ЗВ, що калібрується**

6.3.1 У цьому випадку фізична величина, яка вимірюється ЗВ, що калібрується, відтворюється за допомогою декількох еталонних мір. Схема калібрування наведена на рисунку 3.

Еталонна міра 1

ЗВ, що калібрується

Еталонна міра 2

Еталонна міра *m*

…………..

фізична величина,

яка вимірюється

*X*1s

*X*2*s*

*Xm*s

*Xс*

Рисунок 3 - Схема опосередкованого відтворення декількома еталонними мірами величини, яка вимірюється ЗВ, що калібрується.

6.3.2 Модельне рівняння в цьому випадку має вид:

, (12)

де − значення, виміряне ЗВ, що калібрується;

 − дійсні значення еталонних мір, зазначені у свідоцтвах (сертифікатах) про калібрування;

 - впливні величини, пов'язані з засобом вимірювання, що калібрується;

 - впливні величини, пов'язані з використанням еталонних мір.

6.3.3 При багаторазових вимірюваннях оцінка  величини  визначається як середнє арифметичне результатів  спостережень 

. (13)

6.3.4 Зазначеним вхідним величинам відповідають наступні стандартні невизначеності:

 − невизначеність, пов'язана з розсіюванням показів ЗВ, що калібрується та оцінена за типом *A*:

 ; (14)

 − стандартні невизначеності калібрування еталонних мір, вказані в їх свідоцтвах (сертифікатах) про калібрування;

.., .. - стандартні невизначеності впливних величин, оцінені за типом В: , де  отримується з таблиці 1 Додатку А.

6.3.5 Сумарна стандартна невизначеність калібрування дорівнює

, (15)

де  - коефіцієнти чутливості, що визначаються як часткові похідні модельного рівняння по кожній вхідній величині:

 (16)

6.3.6 Ефективне число ступенів свободи  для цього випадку буде визначатися за формулою

 . (17)

6.3.7 Бюджет невизначеності наведено у таблиці 3.

Таблиця 3 - Бюджет невизначеності опосередкованого відтворення декількома еталонними мірами величини яка вимірюється ЗВ, що калібрується

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Вхіднавеличина | Оцінкавхідноївеличини | Стандартнаневизначеність  | Тип оцінки (А, В) | Числоступенівсвободи | Розподілймовірностей вхідноївеличини | Коефіцієнтчутливості  | Внесоку невизначеність  |
|  | (13) | (14) | А |  | Нормальний | 1 |  |
|  |  |  | В | ∞ | Нормальний | (16) |  |
| … | … | … |  | … | … | … | … |
|  |  |  | В | ∞ | Нормальний | (16) |  |
|  | 0 |  | В | ∞ | (відповідний закон розподілу) | 1 |  |
| … | … | … | … | … | … | … | … |
|  | 0 |  | В |  ∞ | (відповідний закон розподілу) | 1 |  |
|  | 0 |  | В | ∞ | (відповідний закон розподілу) | (16) |  |
| … | … | … | … | … | … | … | … |
|  | 0 |  | В |  ∞ | (відповідний закон розподілу) | (16) |  |
| Вихіднавеличи на | Оцінкавихідноївеличини | Сумарнастандартнаневизначеність |  | Ефективнечислоступенівсвободи | Рівеньдовіри | Коефіцієнтохоплення | Розширенаневизначеність |
|  | (12) | (15) |  | (17) | =0,95 |  | (1) |

**7 РОЗРАХУНОК НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ПРИ КАЛІБРУВАННІ МІР**

**7.1 Пряме вимірювання еталонним ЗВ величини, яка відтворюється мірою, що калібрується**

7.1.1 Схема калібрування для цього випадку наведена на рисунку 4.

Міра, що

калібрується

Еталонний ЗВ

*Xs*

*Xс*

Рисунок 4 - Схема прямого вимірювання еталонним ЗВ величини,

відтвореної мірою, що калібрується.

7.1.2 Модельне рівняння в цьому випадку має вигляд:

 , (18)

де − дійсне значення міри, що калібрується;

 − значення, виміряне еталонним ЗВ;

 - поправка до показів еталонного ЗВ за результатами його калібрування;

 - впливні величини.

7.1.3 При багаторазових вимірюваннях оцінка  визначається як середнє арифметичне результатів  спостережень 

 . (19)

7.1.4 Величина  та її невизначеність отримуються з свідоцтва (сертифіката) про калібрування еталонного ЗВ.

7.1.5 Зазначеним вхідним величинам відповідають наступні невизначеності:

 - стандартна невизначеність, пов'язана з розсіюванням показів еталонного ЗВ, оцінена за типом *A* при виконанні багаторазових вимірювань

 ; (20)

 − стандартна невизначеність калібрування еталонного ЗВ;

.. - стандартні невизначеності впливних величин, оцінені за типом В: , де  отримується з таблиці 1 Додатку А .

7.1.6 Сумарна невизначеність калібрування міри в цьому випадку дорівнює

. (21)

7.1.7 Ефективне число ступенів свободи  для цього випадку буде визначатися за формулою

 . (22)

7.1.8 Бюджет невизначеності наведено у таблиці 4.

Таблиця 4 - Бюджет невизначеності прямих вимірювань еталонним ЗВ величини, яка відтворюється мірою, що калібрується

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Вхіднавеличина | Оцінкавхідноївеличини | Стандартнаневизначеність  | Тип оцінки (А, В) | Числоступенісвободи | Розподілймовірностей вхідної величини | Коефіцієнтчутливості  | Внесок уневизначеність  |
|  | (19) | (20) | А |   | Нормальний | 1 |  |
|  |  |  | В |  ∞ | Нормальний | 1 |  |
|  | 0 |  | В | ∞ | (відповідний закон розподілу) | 1 |  |
| … | … | … | … | … | … | … | … |
|  | 0 |  | В |  ∞ | (відповідний закон розподілу) | 1 |  |
| Вихіднавеличина | Оцінкавихідноївеличини | Сумарнастандартнаневизначеність |  | Ефективне числоступенівсвободи | Рівень довіри | Коефіцієнт охоплення | Розширена невизначе ність |
|  | (18) | (21) |  | (22) | =0,95 |  | (1) |

**7.2 Звірення значень, які відтворюються еталонною мірою та мірою, що калібрується, за допомогою компаратора**

7.2.1 При звіренні мір використовується допоміжне ЗВТ – компаратор.

7.2.2 Схема передачі розміру одиниці за допомогою компаратора наведена на рисунку 5.

Еталонна міра

Міра, що калібрується

Компаратор

*Xs*

*Xс*

*X*0

Рисунок 5 - Схема звірення міри, що калібрується, та еталонної міри

 за допомогою компаратора

7.2.3 Модельне рівняння в цьому випадку має вигляд:

, (23)

де − дійсне значення міри, що калібрується;

 − значення, що показує компаратор;

 − поправка до показів компаратора;

 − дійсне значення еталонної міри, зазначене в свідоцтві (сертифікаті) про калібрування;

 - впливні величини.

7.2.4 При багаторазових вимірюваннях оцінка  визначається як середнє арифметичне результатів  спостережень 

 . (24)

7.2.5 Зазначеним вхідним величинам відповідають наступні стандартні невизначеності:

 − невизначеність, пов'язана з розсіюванням показів компаратора, оцінена за типом *A* при виконанні багаторазових вимірювань

 ; (25)

  − невизначеність калібрування компаратора, вказана в його свідоцтві (сертифікаті) про калібрування;

  − невизначеність калібрування еталонної міри, зазначена в її свідоцтві (сертифікаті) про калібрування;

.. - стандартні невизначеності впливних величин, оцінені за типом В: , де  отримується з таблиці 1 Додатку А.

7.2.6 Сумарна невизначеність калібрування дорівнює

. (26)

7.2.7 Ефективне число ступенів свободи  для цього випадку буде визначатися за формулою

 (27)

7.2.8 Бюджет невизначеності наведено у таблиці 5.

Таблиця 5 - Бюджет невизначеності звірення значень, відтворених мірою, що калібрується, та еталонною мірою за допомогою компаратора

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Вхіднавеличина | Оцінкавхідноївеличини | Стандартнаневизначеність  | Тип оцінки (А, В) | Числоступенівсвободи | Розподіл ймовірностей вхідноївеличини | Коефі цієнтчутли вості  | Внесок уневиз начен ість  |
|  | (24) | (25) | А |  | Нормальний | -1 | - |
|  |  |  | В | ∞ | Нормальний | -1 | - |
|  |  |  | В |  ∞ | Нормальний | 1 |  |
|  | 0 |  | В | ∞ | (відповідний закон розподілу) | 1 |  |
| … | … | … | … | … | … | … | … |
|  | 0 |  | В |  ∞ | (відповідний закон розподілу) | 1 |  |
| Вихіднавеличина | Оцінкавихідноївеличини | Сумарнастандартнаневизначеність |  | Ефективне числоступенівсвободи | Рівень довіри | Коефі цієнт охоплен ня | Розши рена невизна ченість |
|  | (23) | (26) |  | (27) | =0,95 |  | (1) |

**7.3 Опосередковане вимірювання величини, яка відтворюється мірою, що калібрується**

7.3.1 Схема калібрування наведена на рисунку 6.

Міра, що калібрується

Еталонний ЗВ 2

Еталонний ЗВ 1

Еталонний ЗВ *m*

…………..

*X*1*с*

*X*2*с*

*Xmс*

*X*1s

*X*2*s*

*Xm*s

Рисунок 6 - Схема опосередкованого вимірювання величини,

яка відтворюється мірою, що калібрується.

7.3.2 Модельне рівняння в цьому випадку має вигляд:

, (28)

де − дійсне значення міри, що калібрується;

,  − значення, виміряні еталонними ЗВ;

 − поправки до показів еталонних ЗВ за результатами їх калібрування;

 - впливні величини, пов'язані з мірою, що калібрується;

 - впливні величини, пов'язані з використанням еталонних ЗВ.

7.3.3 При багаторазових вимірюваннях оцінки  визначаються як середнє арифметичне результатів  спостережень:

, (29)

7.3.4 Зазначеним вхідним величинам відповідають наступні невизначеності:

,  − стандартні невизначеності, пов'язані з розсіюванням показів еталонних ЗВ, оцінені за типом *A*:

 ; (30)

 −стандартні невизначеності розрахунку поправок до показів еталонних ЗВ;

.., .. - стандартні невизначеності впливних величин, оцінені за типом В: , де  отримується з таблиці 1 Додатку А.

7.3.5 Сумарна невизначеність калібрування дорівнює

, (31)

де  - коефіцієнти чутливості, які визначаються як часткові похідні модельного рівняння по кожній вхідній величині:

 (32)

7.3.6 Ефективне число ступенів свободи  для цього випадку дорівнює:

 . (33)

7.3.7 Бюджет невизначеності наведено у таблиці 6.

Таблиця 6 - Бюджет невизначеності опосередкованих вимірювань величини, яка відтворюється мірою, що калібрується

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Вхіднавеличина | Оцінкавхідноївеличини | Стандартнаневизначеність  | Тип оцінки (А, В) | Числоступенівсвободи | Розподіл ймовірностей вхідноївеличини | Коефіцієнтчутли вості  | Внесок уневизначеність  |
|  | (29) | (30) | А |  | Нормальний | (32) |  |
| … | … | … |  | … | … | … | … |
|  | (16) | (17) | А |  | Нормальний | (32) |  |
|  |  |  | В | ∞ | Нормальний | (32) |  |
| … | … | … |  | … | … | … | … |
|  |  |  | В |  ∞ | Нормальний | (32) |  |
|  | 0 |  | В | ∞ | (відповідний закон розподілу) | 1 |  |
| … | … | … | … | … | … | … | … |
|  | 0 |  | В |  ∞ | (відповідний закон розподілу) | 1 |  |
|  | 0 |  | В | ∞ | (відповідний закон розподілу) | (16) |  |
| … | … | … | … | … | … | … | … |
|  | 0 |  | В |  ∞ | (відповідний закон розподілу) | (16) |  |
| Вихіднавеличина | Оцінкавихідноївеличини | Сумарнастандартнаневизначеність |  | Ефективне числоступенівсвободи | Рівень довіри | Коефіцієнт охоплення | Розширена невизначеність |
|  | (28) | (31) |  | (33) | =0,95 |  | (1) |

**8 Подання результату калібрування**

8.1 За результатами калібрування оформлюється протокол калібрування та Свідоцтво про калібрування (згідно ДСТУ 3989). Для національних метрологічних інститутів в рамках CIMP MRA (що підписали "Згоду про взаємне визнання національних еталонів та сертифікатів калібрування та вимірювань, що видаються національними метрологічними інститутами") існують спеціальні рекомендації та затверджена форма Сертифікату калібрування [6], розроблені згідно з міжнародним стандартом ISO/IEC 17025. Використання цієї спеціальної форми сертифікату дозволено лише національним метрологічним інститутам, калібрувальні та вимірювальні можливості яких входять до Додатку С CIMP MRA, тим інститутам, чиї системи менеджмента якості мають визнання Форуму якості КООМЕТ на відповідність стандарту ISO/IEC 17025, а також мають дозвіл на використання логотипу CIMP MRA.

8.2 Числове значення невизначеності вимірювання подається з двома чи більше значущими цифрами. Числове значення результату вимірювання в кінцевому вигляді округляється зазвичай до найменшого значущого числа в значенні відповідної розширеної невизначеності. Кількість значущих цифр залежить від конкретної задачі [7]. Якщо округлення призводить до зменшення числового значення невизначеності вимірювання більше ніж на 5%, необхідно використовувати округлення в більшу сторону (EA-4/02).

8.3 Бюджет невизначеності повинен відображати всі складові невизначеності, які враховувались під час розрахунку невизначеності.

Додаток А

(довідковий)

**КОЕФІЦІЄНТ ОХОПЛЕННЯ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ЗАКОНУ РОЗПОДІЛУ ВЕЛИЧИНИ**

Таблиця А.1

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Закон розподілу | Нормальний | Рівномірний | Трикутний | Арксинуса |
| Коефіцієнт охоплення  | 2 ()3 () | 1,732 | 2,45 | 1,4 |

Додаток Б

(довідковий)

**БІБЛІОГРАФІЯ**

1. Проненко В.И., Якирин Р.В. Метрология в промышленности. − К.: Техніка, 1979, − 223 c.
2. МІ 13.002-2003. Методика обґрунтування рівнянь вимірювань та оцінки методичної складової похибки (невизначеності) результатів вимірювань. Харків: ХДНДІМ, 2003 −11 с.
3. РМУ 13-063-2008. Методика розрахунку невизначеності вимірювань з використанням експериментальних даних.
4. Л.Н. Брянский, А.С. Дойников, Б.Н. Крупин. Метрология. Шкалы, эталоны, практика. /Юбилейная серия научных изданий под общей редакцией М.В. Балаханова.– М.:ВНИИФТРИ.– 2004.– 222 с.
5. Рабинович С.Г. Кудряшова Ж.Ф. Методы обработки результатов наблюдений при измерениях. − Л.: Энергия, 1975, − 71 с.
6. COOMET R/GM/15:2007, [www.coomet.org](http://www.coomet.org).
7. Семенов Л.А., Фридман А.Э. О целесообразности пересмотра правила округления результатов измерений.// Измерительная техника. - 2004. - №11. - С. 56-58.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Tв | Rk(0,04) | Rk(з врахв опору) | Trt |  | Тр, С | С, Ом | S(t) | (Om) | (t) |  |
| 20,5 | 54,6 | 54,56 | 21,31 | 0,81 | 21 | 54,495 | 0,21 | 0,07 | 0,31 |  |
| 20,4 | 54,7 | 54,66 | 21,79 | 1,39 | 22 | 54,71 | 0,21 | 0,17 | 0,79 |  |
| 20,4 | 54,7 | 54,66 | 21,79 | 1,39 | 23 | 54,925 | 0,21 | 0,17 | 0,79 |  |
| 20,5 | 54,7 | 54,66 | 21,79 | 1,29 |  |  | 0,21 | 0,17 | 0,79 |  |
| 20,5 | 54,8 | 54,76 | 22,23 | 1,73 |  |  | 0,21 | 0,05 | 0,23 |  |
| 20,5 | 54,8 | 54,76 | 22,23 | 1,73 |  |  | 0,21 | 0,05 | 0,23 |  |
| 20,5 | 54,8 | 54,76 | 22,23 | 1,73 |  |  | 0,21 | 0,05 | 0,23 |  |
| 20,6 | 54,9 | 54,86 | 22,70 | 2,10 |  |  | 0,21 | 0,15 | 0,70 |  |
| 20,6 | 54,9 | 54,86 | 22,70 | 2,10 |  |  | 0,21 | 0,15 | 0,70 |  |
| 20,7 | 54,9 | 54,86 | 22,70 | 2,00 |  |  | 0,21 | 0,15 | 0,70 |  |
| 20,7 | 54,8 | 54,76 | 22,23 | 1,53 |  |  | 0,21 | 0,05 | 0,23 |  |
| 20,8 | 54,8 | 54,76 | 22,23 | 1,43 |  |  | 0,21 | 0,05 | 0,23 |  |
| 20,9 | 54,8 | 54,76 | 22,23 | 1,33 |  |  | 0,21 | 0,05 | 0,23 |  |
| 21 | 54,8 | 54,76 | 22,23 | 1,23 |  |  | 0,21 | 0,05 | 0,23 |  |
| 21 | 54,8 | 54,76 | 22,23 | 1,23 |  |  | 0,21 | 0,05 | 0,23 |  |
| 21 | 54,8 | 54,76 | 22,23 | 1,23 |  |  | 0,21 | 0,05 | 0,23 |  |
| 21 | 54,9 | 54,86 | 22,70 | 1,70 |  |  | 0,21 | 0,15 | 0,70 |  |
| 21,2 | 54,9 | 54,86 | 22,70 | 1,50 |  |  | 0,21 | 0,15 | 0,70 |  |
| 21,3 | 54,9 | 54,86 | 22,70 | 1,40 |  |  | 0,21 | 0,15 | 0,70 |  |
| 21,2 | 54,9 | 54,86 | 22,70 | 1,50 |  |  | 0,21 | 0,15 | 0,70 |  |

КВАНТУВАННЯМ розбиттям на рівні перемикання розрядів



0,01

265,19

 265,195

265,20