

УДК 006.91:681.121.089

**РОЗРОБКА ТИПОВОГО МЕТОДУ КАЛІБРУВАННЯ НЕАВТОМАТИЧНИХ
ЗВАЖУВАЛЬНИХ ПРИЛАДІВ З ОЦІНКОЮ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ВИМІРЮВАННЯ***Пастушин Л. Б.**Івано-Франківський національний технічний університет нафти й газу,
вул. Карпатська 15, м. Івано-Франківськ, 76019*

Ціллю даної статті є розробка методу калібрування неавтоматичних зважувальних приладів на основі європейських методик обробки невизначеностей результатів вимірювання. Євроінтеграція нашої країни безперечно призведе і до гармонізації європейських стандартів з нашими подекуди застарілими ГОСТами. Основним завданням метрологічних підрозділів на підприємствах є забезпечення єдності вимірювання, що в свою чергу призводить до розробки ними типових методів калібрування засобів вимірювальної техніки. В умовах конкуренції на ринку послуг калібрування засобів вимірювальної техніки, в тому числі неавтоматичних зважувальних приладів, відіграє не останню роль розробка типового методу з наведенням практичного і оптимального способу обробки невизначеності результатів вимірювання. З допомогою даного методу можна проводити калібрування неавтоматичних зважувальних приладів які знаходяться в експлуатації в випробувальних і калібрувальних лабораторіях. Викладений матеріал дає можливість всім метрологам зрозуміти суть калібрування неавтоматичних зважувальних приладів і її відмінність від класичної повірки.

Ключові слова: неавтоматичний зважувальний прилад, калібрування, невизначеність, вимірювання, еталонні гири, вага, типовий метод, похибка, метрологічна діяльність.

Целью данной статьи является разработка метода калибрования неавтоматических взвешивающих приборов на основами европейских методик обработки неопределенностей результатов измерений. Евроинтеграция нашей страны, несомненно, приведёт к гармонизации европейских стандартов с нашими во многом устаревшими ГОСТами. Основной задачей метрологических подразделений на предприятиях является обеспечение единства измерений, что в свою очередь приводит к разработке ими типичных методов калибрования средств измерительной техники. В условиях конкуренции на рынке услуг калибрования средств измерительной техники, в том числе неавтоматических взвешивающих приборов, не последнюю роль играет разработка типичного метода с указанием практического и оптимального способа обработки неопределенностей результатов измерений. При помощи данного метода можно проводить калибрование неавтоматических взвешивающих приборов, которые эксплуатируются в испытательных калибровочных лабораториях. Изложенный материал даёт возможность всем метрологам понять смысл калибрования неавтоматических взвешивающих приборов и его отличие от классической поверки.

Ключевые слова: неавтоматические взвешивающие приборы, калибрование, неопределённость, измерение, эталонные гири, весы, типичный метод, погрешность, метрологическая деятельность.

The purpose of this article is the design of the calibration method of non-automatic weighing devices based on European uncertainty processing techniques of measurement results. The European integration of our country, no doubt, lead to the harmonization of European standards with our largely obsolete state standards. The main objective of the metrological department within an enterprise is to ensure the unity of measurements, which in turn leads to the development of common methods of calibration of measuring instruments. The competitive environment in the calibration of measuring instruments market, including non-automatic weighing devices, not the last role played by the development of a typical method of specifying the practical and optimal method for processing an indefinite measurements. With this method it is possible to carry out calibration of non-automatic weighing devices that are exploited in test and calibration laboratories. The submitted material allows metrologists to make sense of all non-automatic calibration weighing instruments and how it differs from classic verification.

Keywords: non-automatic weighing devices, calibration, uncertainty, measurement, standard weights, scales, a typical method, accuracy, metrological activities.

Вступ. З набранням чинності нової редакції Закону України «Про метрологію і метрологічну діяльність» [1] термін калібрування визначається як: сукупність операцій, за допомогою яких за заданих умов на першому етапі встановлюється співвідношення між значеннями величини, що забезпечуються еталонами з притаманними їм невизначеностями вимірювань, та відповідними показами з пов'язаними з ними невизначеностями вимірювань, а на другому етапі ця інформація використовується для встановлення співвідношення для отримання результату вимірювання з показу. Даний термін гармонізований з терміном «калібрування» згідно VIM [2]. Впровадження нового гармонізованого з європейським поняттям терміну, «калібрування» потребує розроблення нової нормативно-технічної бази відповідно до якої метрологічні служби проводили свою діяльність у сфері калібрування засобів вимірювальної техніки. Згідно статті 27 Закону України «Про метрологію і метрологічну діяльність» [1] калібрування засобів вимірювальної техніки та оформлення його результатів проводяться відповідно до національних стандартів, гармонізованих з відповідними міжнародними та європейськими стандартами, та документів, прийнятих міжнародними та регіональними організаціями з метрології. В якості національного стандарту який регламентує методи калібрування та оформлення результатів калібрування є ДСТУ ISO/IEC 17025:2006 [3]. Відповідно до пункту 5.4.2. ДСТУ ISO/IEC 17025:2006 [3] лабораторія яка здійснює калібрування засобів вимірювальної техніки повинна використовувати методи наведені в міжнародних, регіональних або національних стандартах.

Висвітлення невирішених раніше частин загальної проблеми. В даний час стандарти які є актуалізованими та території України надають лише загальні методи калібрування та оцінки невизначеності вимірювання. Відсутність типових методик змушує лабораторії які акредитовані ДСТУ ISO/IEC 17025:2006 [3] розробляти власні методи калібрування засобів вимірювальної техніки, які знаходяться в експлуатації, що в принципі передбачено пунктом 5.4.3. даного стандарту. Але така ситуація коли лабораторія на власний розсуд вибирає метод калібрування, модельне рівняння вимірювання та оцінює складові бюджету невизначеності призводить до того, що порушується єдність вимірювання та зрештою якість наданих послуг.

Мета. Метою даної статті є розроблення типового методу калібрування, тобто методики калібрування неавтоматичних зважувальних

приладів, що в свою чергу полегшить трудомістку роботу тих метрологічних підрозділів, які здійснюють калібрування.

Методика калібрування неавтоматичних зважувальних приладів розроблена відповідно до вимог РМГ 43-2001[4], ЕА-10/18[5] та має наступну структуру: сфера застосування, компетенція, вимоги безпеки, підготовка до калібрування, опис процесу калібрування, обробка результатів вимірювання, оцінювання невизначеності вимірювання та складання бюджету вимірювання, оформлення результатів калібрування, нормативні посилання, додатки. Дана методика поширюється на неавтоматичні зважувальні прилади (далі-ваги), які відповідають вимогам ДСТУ EN 45501:2007[6], середнього (III), високого (II) та спеціального(I) класів точності, ваги для статичного зважування які виготовлені згідно з ГОСТ 29329-92[7].

При проведенні калібрування повинні бути дотримані загальні правила з безпеки праці згідно ГОСТ 12.2.003-91[8], а також вимогам безпеки, які наведені в експлуатаційних документах на еталонне, допоміжне обладнання. Компетенція уповноваженого на калібрування персоналу повинна відповідати вимогам ДСТУ ISO/IEC 17025:2006 [3] пункт 5.2.

Під час проведення калібрування рекомендовано дотримуватись нижче наведених умов. Температура навколишнього середовища має бути $(20\pm 2)^{\circ}\text{C}$ – для приладів неавтоматичних зважувальних класу точності I та $(20\pm 5)^{\circ}\text{C}$ – для всіх інших. Відносна вологість повітря – (30-80) %.

Калібрування рекомендується виконувати за сталої температури навколишнього середовища. Температура вважається сталою, якщо різниця між крайніми значеннями температури, відміченими під час калібрування, не перевищує однієї п'ятої температурного діапазону для даної ваги, але не більше ніж 5°C і швидкість зміни температури не перевищує 5°C за годину.

У приміщенні, де виконують калібрування ваг класів точності I, II, не повинно бути повітряних та теплових потоків, а також вібрацій. Ваги класів точності I, II рекомендується встановлювати на ізольованих фундаментах, кронштейнах, закріплених на несучих стінах або міцних лабораторних столах.

Вага повинна бути підключена до електромережі та витриманий у ввімкненому стані не менше ніж 30 хвилин перед початком калібрування.

Градування ваг класів точності II повинно бути виконано безпосередньо перед проведенням калібрування. Пристрій для напівавтоматичного градування повинен використовуватись один раз перед початком калібрування. Ваги класу точності II, якщо це

можливо, градують перед кожною операцією калібрування. Вага повинна бути надійно встановлена на робочому місці і встановлена по рівню горизонтально. Положення контролюється по показчику рівня, на корпусі ваги.

Калібрування ваги складається з трьох етапів: навантаження ваги еталонними гирями, визначення похибки або варіації показів, оцінка невизначеності приладів. В процесі калібрування треба використовувати еталонні гирі які відповідають вимогам ДСТУ OIML R 111-1:2008 [9]. В процесі вимірювання рекомендовано визначають:

- повторюваність показів ваги;
- похибки показів ваги;
- похибки, викликані ексцентричністю розташування вантажу на платформі.

Випробування ваги на повторюваність показів складається із повторних навантажень ваги в одних і тих же умовах і зчитуванні отриманих показів. Вантаж по можливості повинен складатися із однієї гирі (а не набору гирь), маса якого складає 1/3 найбільшої границі зважування. Перед випробуванням покази ваги встановлюють на «нуль» і вичікують декілька секунд, щоб переконатись що нульові покази відлікового пристрою є стабільними. Вантаж встановлюють на вагу не менше п'яти разів. Після кожного зважування потрібно перевіряти встановлення показів на «нуль» і якщо потрібно коректувати їх. Результати кожного зважування заносять до журналу первинних даних.

Визначення похибки показів ваги при навантаженні виконують еталонними гирями або набором гирь. Кількість точок калібрування необхідно вибирати виходячи з умови охоплення ними всього діапазону зважування зокрема найменшої границі зважування (НмГЗ), середини діапазону зважування (0,5НГЗ) та найбільшої границі зважування (НГЗ), але кількість точок калібрування не повинна бути меншою п'яти у всьому діапазоні зважування. Крім того, замовник може встановити конкретний інтервал калібрування в межах діапазону вимірювання, або встановити конкретні точки калібрування.

Еталонні гирі встановлюють на вагу починаючи із найменшого значення маси і закінчуючи найбільшим. В окремих випадках, обумовлених замовником можливий зворотний порядок навантаження. Гирю обережно встановлюють на середину вантажоприймальної платформи і вичікують деякий час до стабілізації показів відлікового пристрою. Після чого зчитують покази і заносять дані до протоколу. Для ваг з цифровою індикацією, які не мають пристрою для відображення показів із меншою ціною поділки шкали, для визначення показів ваги до їх округлення використовують

точки переходу, що здійснюється так: за певного навантаження L фіксують покази I . Додаткові гирі масою $1/10e$, де e – ціна повірочної поділки додають послідовно доти, поки покази приладу однозначно не збільшаться на одну поділку шкали $(I+e)$. Покази ваги до округлення, визначаються за формулою:

$$P = I + 1/2e - \Delta L \quad (1)$$

де ΔL – маса додаткових гирь, встановлених на вантажоприймальну платформу ваги.

Визначення ефектів, викликаних ексцентричністю встановлення вантажу на платформі виконується операцією послідовного встановлення вантажу в різних позиціях на платформі, як показано на рисунку 1.

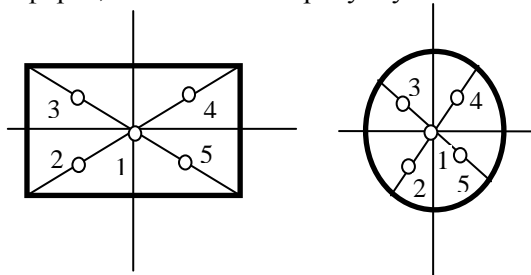


Рисунок 1 – Схема розташування еталонної гирі під час визначення похибки ексцентричності розташування

Маса вантажу повинна бути 1/3НГЗ.

Обробка результатів вимірювання.

Повторюваність із n показів I для даної маси вантажу L , стандартне відхилення вираховується за формулою:

$$S(I_i) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (I_i - \bar{I})^2} \quad (2)$$

де

$$\bar{I} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I_i \quad (3)$$

Похибка показів ваги для кожного значення маси випробувального вантажу E становить:

$$E = I - m_0 \quad (4)$$

де I – покази ваги;

m_0 – значення маси еталонної гирі.

Для показів ваги, отриманих при різних положеннях вантажу вираховують різницю між конкретним показом і показом ваги при положенні вантажу в точці «1»:

$$\Delta I_{\text{екс}} = I_i - I_1 \quad (5)$$

Слідуючим етапом калібрування є побудова модельного рівняння. Згідно керівництва ЕА-10/18 базова формула калібрування для ваги:

$$E = I - m_0 \quad (6)$$

де E – похибка вимірювання;

I – покази ваги, зчитані оператором;
 m_0 – маса еталонної гирі.
 Тоді

$$u^2(E) = u^2(I) + u^2(m_0) \quad (7)$$

Оцінювання стандартних невизначеностей вхідних величин.

Покази ваги визначаються як:

$$I = I_L + \delta_{\ddot{a}\ddot{e}\ddot{n}\ddot{e}\ddot{\delta}L} + \delta_{\ddot{n}\ddot{a}\ddot{\delta}} + \delta_{\ddot{a}\ddot{e}\ddot{n}\ddot{\delta}0} - I_0 - \delta_{\ddot{a}\ddot{e}\ddot{n}\ddot{e}\ddot{\delta}0} \quad (8)$$

де $\delta_{\ddot{a}\ddot{e}\ddot{n}\ddot{e}\ddot{\delta}L}$ – поправка на заокруглення показів навантаженої ваги;

$\delta_{\ddot{n}\ddot{a}\ddot{\delta}}$ – поправка на повторюваність показів ваги;

$\delta_{\ddot{a}\ddot{e}\ddot{n}\ddot{\delta}0}$ – поправка на вплив ексцентричності навантаження;

$\delta_{\ddot{a}\ddot{e}\ddot{n}\ddot{e}\ddot{\delta}0}$ – поправка на заокруглення показів ненавантаженої ваги;

I_0 – покази ненавантаженої ваги.

Невизначеності складових величин визначаються:

1. Невизначеність викликана заокругленням показів ненавантаженої ваги:

$$u(\delta_{\ddot{a}\ddot{e}\ddot{n}\ddot{e}\ddot{\delta}0}) = \frac{d}{2\sqrt{3}} = \frac{d}{\sqrt{12}} \quad (9)$$

2. Невизначеність викликана заокругленням показів ваги при навантаженні:

$$u(\delta_{\ddot{a}\ddot{e}\ddot{n}\ddot{e}\ddot{\delta}L}) = \frac{d}{2\sqrt{3}} = \frac{d}{\sqrt{12}} \quad (10)$$

де d – дискретність відліку ваги.

3. Невизначеність, пов'язана із повторюваністю показів ваги:

$$u(\delta_{\ddot{n}\ddot{a}\ddot{\delta}}) = S(I_i) \quad (11)$$

$$S(I_i) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (I_i - \bar{I})^2} \quad (12)$$

4. Невизначеність, викликана ексцентричністю навантаження ваги:

$$u(\delta_{\ddot{a}\ddot{e}\ddot{n}\ddot{\delta}0}) = \frac{I \cdot |\Delta I_{\ddot{a}\ddot{e}\ddot{n}\ddot{\delta}0}|_{MAX}}{2\sqrt{3} \cdot L_{\ddot{a}\ddot{e}\ddot{n}\ddot{\delta}0}} \quad (13)$$

де $|\Delta I_{\ddot{a}\ddot{e}\ddot{n}\ddot{\delta}0}|_{MAX}$ – найбільше за модулем значення різниці між показами ваги, при розташуванні вантажу у центрі та показами, при розташуванні вантажу у точках «2», «3», «4» або «5».

Невизначеність значення маси еталонної гирі (набору гир) визначається:

$$u^2(m_0) = u^2(\delta m_c) + u^2(\delta m_B) + u^2(\delta m_D) \quad (14)$$

де $u(\delta m_c)$ – невизначеність маси еталонних гирь;

$u(\delta m_B)$ – невизначеність, зумовлена впливом виштовхувальної сили повітря;

$u(\delta m_D)$ – невизначеність, викликана можливим дрейфом маси еталонної гирі з моменту останнього калібрування.

Невизначеності складових величин визначаються:

1. Невизначеність маси еталонної гирі:

$$u(\delta m_c) = \frac{U}{k} \quad (15)$$

де U – розширена невизначеність еталонних гирь з свідчення про калібрування;

k – коефіцієнт охоплення ($k=2$).

2. Невизначеність, зумовлена впливом виштовхувальної сили повітря:

$$u(\delta m_B) = \frac{mpe}{4\sqrt{3}} \quad (16)$$

де mpe – найбільше допустиме відхилення маси для еталонної гирі (згідно ДСТУ ОІМЛ R 111-1:2008 [9]).

3. Невизначеність, викликана можливим дрейфом маси еталонної гирі з моменту останнього калібрування:

$$u(\delta m_D) = \frac{mpe}{3\sqrt{3}} \quad (17)$$

де mpe – найбільше допустиме відхилення маси для еталонної гирі (згідно ДСТУ ОІМЛ R 111-1:2008 [9]).

Всі розглянуті вхідні величини між собою не є корельованими. Тому значення всіх коефіцієнтів впливу рівні 1.

Сумарну стандартну невизначеність вимірювання маси оцінимо виходячи з формули для некорельованих вхідних величин:

$$u(E) = \sqrt{u^2(m_0) + u^2(I)} \quad (18)$$

$$u(E) = \sqrt{u^2(\delta m_c) + u^2(\delta m_B) + u^2(\delta m_D) + u^2(\delta_{\ddot{a}\ddot{e}\ddot{n}\ddot{e}\ddot{\delta}0}) + u^2(\delta_{\ddot{a}\ddot{e}\ddot{n}\ddot{e}\ddot{\delta}L}) + u^2(\delta_{\ddot{n}\ddot{a}\ddot{\delta}}) + u^2(\delta_{\ddot{a}\ddot{e}\ddot{n}\ddot{\delta}0})}$$

Розширену невизначеність для $p=0,95$ оцінимо за формулою:

$$U(E) = k \cdot u(E) \quad (20)$$

де k – коефіцієнт охоплення (для рівня довіри 0,95 приймаємо $k=2,0$).

Таблиця 1 – Бюджет невизначеності

№ п/п	Назва складової величини	Оцінка складової величини	Тип оцінки	Тип імовірного розподілу	Стандартна невизначеність	Коефіцієнт чутливості
1.	Поправка на повторюваність показів ваги	$\delta_{i\ddot{a}\ddot{o}}$	A	Нормальний	$u(\delta_{i\ddot{a}\ddot{o}})$	1
2.	Поправка на заокруглення показів ненавантаженої ваги	$\delta_{\ddot{a}\ddot{e}\ddot{n}\ddot{e}\ddot{d}\ddot{o}}$	B	Прямокутний	$u(\delta_{\ddot{a}\ddot{e}\ddot{n}\ddot{e}\ddot{d}\ddot{o}})$	1
3.	Поправка на заокруглення показів ваги при навантаженні	$\delta_{\ddot{a}\ddot{e}\ddot{n}\ddot{e}\ddot{d}\ddot{L}}$	B	Прямокутний	$u(\delta_{\ddot{a}\ddot{e}\ddot{n}\ddot{e}\ddot{d}\ddot{L}})$	1
4.	Поправка на вплив ексцентричності навантаження	$\delta_{\ddot{a}\ddot{e}\ddot{n}\ddot{o}}$	B	Прямокутний	$u(\delta_{\ddot{a}\ddot{e}\ddot{n}\ddot{o}})$	1
5.	Невизначеність маси еталонного вантажу	δm_c	B	Прямокутний	$u(\delta m_c)$	1
6.	Невизначеність, зумовлена виштовхувальною силою повітря	δm_B	B	Прямокутний	$u(\delta m_B)$	1
7.	Невизначеність, зумовлена дрейфом маси еталона	δm_D	B	Прямокутний	$u(\delta m_D)$	1
8.	Невизначеність вимірювання маси	Сумарна стандартна невизначеність $u(E)$				
		Розширена невизначеність $U(\overset{\circ}{A}) = k \cdot u(\overset{\circ}{A})$				

ВИСНОВКИ

Виходячи з вище викладеного матеріалу можна зробити наступні висновки:

– з набранням чинності нової редакції закону України «Про метрологію і метрологічну діяльність» [1] та в якості національного стандарту ДСТУ ISO/IEC 17025:2006 [3] гармонізує поняття калібрування. Відповідно до вимог даних нормативних документів чітко визначається можливість використання розблених лабораторією методів калібрування засобів вимірювальної техніки у разі відсутності міжнародних, регіональних або національних стандартів;

– розробка типової методики калібрування неавтоматичних зважувальних приладів на даному етапі гармонізації європейських стандартів вимагає науково-технічного обґрунтування, оскільки використання розроблених лабораторією методів калібрування призведе до порушення єдності вимірювання.

– основою для розробки методики калібрування є визначення модельного рівняння вимірювання та бюджету невизначеності;

Відсутність національних стандартів з калібрування конкретних типів засобів вимірювальної визначає актуальність проблеми розробки типових методів калібрування засобів вимірювальної техніки в тому числі неавтоматичних зважувальних приладів.

Література

1. Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність» № 1314-VII від 05.06.2014р.
2. ISO/IEC Guide 99:2007 International vocabulary of metrology - Basic and general concepts and associated terms (VIM) (Міжнародний словник по метрології – Основні і загальні поняття і відповідні терміни (VIM)).
3. ДСТУ ISO/IEC 17025:2006 Національний стандарт України. Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій.
4. РМГ 43-2001 ГСИ. Применение "Руководства по выражению неопределенности измерений". EA-10/18 Guidelines on the Calibration of Non-Automatic Weighing Instruments (Настанова з калібрування неавтоматичних ваговимірювальних приладів).
5. ДСТУ EN 45501:2007 Прилади неавтоматичні зважувальні. Загальні технічні вимоги та методи випробування (EN 45501:1992, IDT).
6. ГОСТ 29329-92 Весы для статического взвешивания. Общие технические требования.
7. ГОСТ 12.2.003-91 «ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности».
8. ДСТУ OIML R 111-1:2008 Гирі класів точності E1, E2, F1, F2, M1, M1-2, M2, M2-3 і M3. Частина 1. Загальні технічні вимоги та методи випробування (OIML R 111-1:2004, IDT).

Поступила в редакцію 30.05.2016 р.

Рекомендували до друку:
докт. техн. наук, проф. Середюк О. Є.,
докт. техн. наук, проф. Лютак І. З.