

**Т. М. Ільницька**

Товариство з обмеженою відповідальністю Науково-виробниче підприємство "Техноваги", Львів, Україна

## ПОШУК ШЛЯХІВ МІНІМІЗАЦІЇ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ВИМІРЮВАННЯ ДЛЯ УЧАСТІ У МІЖЛАБОРАТОРНИХ ПОРІВНЯННЯХ ВИМІРЮВАННЯ МАСИ

*As the title implies the article analyzes the factors that affect the result of evaluation of measurement uncertainty. It is specially noted need for participation of calibration laboratories in interlaboratory comparisons to obtain objective evidence of competence. The basic formulas for the estimation of measurement uncertainty in the calibration of measurement standards of mass are examined. The main activities undertaken of calibration laboratory for minimizing measurement uncertainty are described. These events have provided to the positive results in interlaboratory comparisons and provide traceability of calibration results to the national measurement standard of mass unit.*

**Ключові слова:** вага, калібрування, міжлабораторні порівняння, невизначеність.

### Вступ

Для забезпечення конкурентоспроможності продукції, яку виробляє підприємство, необхідно забезпечити її високу якість. Одним з важливих шляхів, щодо забезпечення якості продукції, є гарантування достовірних та надійних результатів вимірювання [1, 2]. Це досягається калібруванням або перевіркою всього вимірювального обладнання, яке задіяно на кожному етапі виробничого процесу. Крім того, необхідно визначати та контролювати метрологічні характеристики продукції, яку випускає підприємство.

Тому в НВП "Техноваги" вирішено створити калібрувальну лабораторію та провести її акредитацію в Національному агентстві з акредитації України (НААУ).

Відповідно до розробленої і затвердженої політики НААУ щодо участі лабораторій у міжнародних порівняннях [3], перед отриманням акредитації калібрувальні (випробувальні) лабораторії повинні взяти участь у відповідних міжлабораторних порівняннях. Хоча участь у міжлабораторних порівняннях (МПР) є добровільною.

МПР — це випробування на професійність калібрувальних (випробувальних) лабораторій для визначення рівня виконання вимог стандарту ДСТУ ISO/IEC17025 щодо якості результатів калібрування (випробування).

НВП "Техноваги" є розробником та виробником ваговимірювального обладнання в діапазоні ваг від промислових і лабораторних до автомобільних і вагонних, дозуючої техніки та гир. Для контролю метрологічних характеристик продукції, яку виробляє підприємство, використовують еталони маси — еталонні гирі. Тому калібрувальна лабораторія ТзОВ НВП "Техноваги" (КЛ) прий-

няла участь у МПР у галузі вимірювання маси, що дозволило:

- оцінити точність отриманих результатів при виконанні процедури калібрування гир;
- забезпечити простежуваність результатів калібрування до міжнародного еталона одиниці маси;
- виявити методичні проблеми, виявити сильні і слабкі сторони діяльності лабораторії;
- продемонструвати кваліфікаційні знання у галузі вимірювання маси для подальшого використання отриманих результатів під час проходження процедури акредитації;
- підтвердити заявлену невизначеність;
- забезпечити додаткову довіру замовників до якості результатів калібрування, які отримує лабораторія.

МПР у галузі вимірювання маси передбачають визначення умовної маси еталонів порівняння, як правило гир класу  $E_2$  згідно з ДСТУ OIML R111-1 [4], та оцінку їх розширеної невизначеності.

Для встановлення найкращих калібрувальних та вимірювальних можливостей, КЛ проаналізовано свою технічну та кваліфікаційну компетентність, а також фактори, які впливають на результат обчислення невизначеності вимірювання, з метою зменшення їх впливу.

### Джерела невизначеності та впливові величини

Відповідно до [5, 6] розрізняють два типи оцінювання стандартної невизначеності:

- за типом А — обчислена шляхом статистичного аналізу результатів спостережень;
- за типом В — обчислена в інший спосіб, ніж статистичним аналізом результатів спостережень.

**Стандартна невизначеність за типом А**

Невизначеністю вимірювання, обчисленою за типом А відповідно до [4], є стандартна невизначеність процесу зважування  $u_w(\Delta m_c)$  — середньоквадратичний відхил різниці значення маси  $s(\Delta m_{ci})$ :

$$u_w(\Delta m_c) = \frac{s(\Delta m_{ci})}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta m_{ci} - \overline{\Delta m_c})^2}{n(n-1)}}, \quad (1)$$

де  $\Delta m_{ci}$  — різниця умовного значення маси між гирею, що калібрують, та еталонною гирею в  $i$ -му циклі;

$$\overline{\Delta m_c} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta m_{ci} -$$

середнє значення різниці умовного значення маси між гирею, що калібрують, та еталонною гирею;  $n$  — кількість циклів.

При цьому основним впливовим фактором є випадкова складова, яка зумовлена:

- облаштування приміщення, де розташовані компаратори;
- компетентністю оператора, який проводить калібрування.

Щоб зменшити вплив випадкових складових на процес вимірювання обладнання у КЛ розміщено у спеціальному приміщенні, фундамент якого відокремлено від фундаменту основної будівлі. Приміщення обладнано системами кондиціонування та контролю умов довкілля, віброзахистом, захистом від електромагнітних завад. Компаратори додатково захищені від руху повітря скляною обудовою. До проведення робіт з калібрування допускається компетентний персонал лабораторії, який має досвід у виконанні відповідних робіт або пройшов навчання та стажування.

**Стандартна невизначеність за типом В**

Відповідно до [4] вхідними величинами для обчислення невизначеності за типом В є:

- невизначеність еталонної гирі  $u(m_{cr})$ ;
- невизначеність ваги/компаратора  $u_{ba}$ ;
- невизначеність поправки на виштовхувальну силу  $u_b$ .

Стандартну невизначеність значення маси еталонної гирі обчислюють з сертифіката калібрування шляхом ділення приписаної розширеної невизначеності  $U$  на коефіцієнт розширення  $k$ , і поєднують з невизначеністю внеску, зумовленого нестабільністю маси еталонної гирі  $u_{inst}(m_{cr})$  (якщо ця інформація доступна) [4]:

$$u(m_{cr}) = \sqrt{\left(\frac{U}{k}\right)^2 + u_{inst}^2(m_{cr})}. \quad (2)$$

Для мінімізації внеску зумовленого невизначеністю еталона (еталонної гирі), необхідно, щоб еталон був відкалібрований на самій вершині нерозривного ланцюга калібрування, оскільки, кожне наступне калібрування робить свій внесок у невизначеність вимірювання. Національний еталон є основою для передачі значень величини іншим еталонам відповідної одиниці величини, що є в державі [7]. Тому калібрування еталонних гир, які використовують у КЛ, проведено в ННЦ "Інститут метрології" за допомогою державного первинного еталона одиниці маси ДЕТУ 02–01–96.

Невизначеність поправки на виштовхувальну силу обчислюють за формулою [4]:

$$u_b^2 = \left[ m_{cr} \frac{(\rho_r - \rho_t)}{\rho_r \rho_t} u(\rho_a) \right]^2 + [m_{cr} (\rho_a - \rho_o)]^2 \frac{u^2(\rho_t)}{\rho_t^4} + m_{cr}^2 (\rho_a - \rho_o) \cdot [(\rho_a - \rho_o) - 2(\rho_{al} - \rho_o)] \frac{u^2(\rho_r)}{\rho_r^4}, \quad (3)$$

де  $\rho_{al}$  — густина повітря протягом (попереднього) калібрування еталонної гирі під час застосування еталонної гирі більш високого порядку.  $\rho_a$  — густина вологого повітря;  $\rho_o = 1,2 \text{ кг/м}^3$  — густина повітря, взята за умовне значення;  $\rho_r, \rho_t$  — густина еталонної гирі та гирі, що калібрують, відповідно.

При застосуванні формули (3) треба бути впевненим в тому, що застосовується те ж саме значення невизначеності густини еталонної гирі  $u(\rho_r)$ , що застосовувалося в обчисленнях невизначеності при попередньому калібруванні. Велика невизначеність не може бути обрана довільно.

Густину вологого повітря можна визначати з апроксимуючої формули [4]:

$$\rho_a = \frac{0,34848\rho - 0,009(hr) \cdot e^{0,061t}}{273,15 + t} \quad (4)$$

де  $\rho$  — атмосферний тиск, гПа;  $hr$  — відносна вологість, %;  $t$  — температура, °С.

Невизначеність обчислення густини повітря оцінюють із невизначеності температури, тиску та вологості повітря. Якщо густина вологого повітря не відхиляється від густини повітря, взятого за умовне значення, більше ніж на  $\pm 10\%$ , то невизначеність густини повітря  $u(\rho_a)$  можна оцінювати як:

$$u(\rho_o) = \frac{0,12}{\sqrt{3}} \text{ (кг/м}^3\text{)}. \quad (5)$$

Для визначення умов довкілля в КЛ використано прилад з абсолютною похибкою визначення температури не більше  $\pm 0,4$  °С, вологості повітря — не більше  $\pm 2\%$ .

Сумарна стандартна невизначеність ваги/компаратора складається з невизначеності внесків, зумовлених чутливістю ваги/компаратора  $u_s$ , дискретністю відліку електронної ваги/компаратора  $u_d$ , розташуванням

вантажу на платформі  $u_E$ , магнітними властивостями гирі  $u_{ma}$ , і її обчислюють за формулою [4]:

$$u_{ba} = \sqrt{u_s^2 + u_d^2 + u_E^2 + u_{ma}^2}. \quad (6)$$

Якщо ваги градуують за допомогою гир-допусків масою  $m_s$  і стандартною невизначеністю  $u(m_s)$ , то невизначеність внеску, зумовленого чутливістю визначають за формулою:

$$u_s^2 = \left(\overline{\Delta m_c}\right)^2 \left( \frac{u^2(m_s)}{m_s^2} + \frac{u^2(\Delta I_s)}{\Delta I_s^2} \right), \quad (7)$$

де  $\Delta I_s$  — зміна показів ваг, спричинена гирею-допуском;  $u(\Delta I_s)$  — невизначеність  $\Delta I_s$ ;  $\overline{\Delta m_c}$  — середня різниця значень маси між випробною й еталонною гирями.

Для електронних ваг з ціною поділки шкали  $d$  невизначеність вкладу, внесеного роздільною здатністю:

$$u_d = \left( \frac{d/2}{\sqrt{3}} \right) \cdot \sqrt{2}. \quad (8)$$

Невизначеність внеску, зумовленого розташуванням вантажу на платформі можна визначати за формулою:

$$u_E = \frac{d_1 \cdot D}{2 \cdot \sqrt{3}}, \quad (9)$$

де  $D$  — різниця між максимальним і мінімальним значеннями, отриманими під час випробування ваг на визначення похибки за розташування вантажу на платформі;  $d_1$  — оцінена відстань між центрами гир;  $d_2$  — відстань від центра вантажоприймальної платформи до одного з кутів.

Невизначеність внеску, зумовленого розташуванням вантажу на платформі, можна знехтувати, оскільки вона, як правило, перекривається невизначеністю внеску, зумовленого процесом зважування, т. б. невизначеністю вимірювання оціненою за типом А.

Невизначеність внеску, зумовленого магнітними властивостями гирі, можна прийняти такою, що дорівнює нулю, якщо гирі задовольняють вимогам ДСТУ OIML R111–1 [4].

Для мінімізації внеску, зумовленого невизначеністю ваг, придбано високоточні чутливі компаратори фірми RADWAG Wagi Elektroniczne. Що дозволило знехтувати невизначеністю внеску, зумовленого чутливістю компаратора.

### Міжлабораторні порівняння

Міжлабораторні порівняння у галузі вимірювання маси МЛС.UA01.M.M-06 проведено у липні 2016 р. Провайдером МПР (пілотною лабораторією) був ННЦ “Інститут метрології”, зберігач державного первинного

еталона одиниці маси, що дозволило забезпечити пряму простежуваність до міжнародного еталона одиниці маси.

Під час МПР калібрувальна лабораторія НВП “Техноваги” визначила умовну масу еталонів порівняння та оцінила її розширену невизначеність, а також зробила висновок щодо відповідності гир — еталонів порівняння класу точності згідно з ДСТУ OIML R111–1 [4].

Слід зауважити, що оскільки калібрування еталонних гир, які використовувала КЛ, виконано ННЦ “Інститут метрологія”, то пілотна лабораторія при оцінці результатів вимірювання врахувала кореляцію даних.

Вимірювання та розрахунок бюджету невизначеності калібрувальною лабораторією виконано за методикою, розробленою КЛ відповідно до методики, встановленої у ДСТУ OIML R111–1 [4].

### Висновок

Проведені заходи дозволили калібрувальній лабораторії НВП “Техноваги” отримати позитивні результати в міжлабораторних порівняннях у галузі вимірювання маси і забезпечити простежуваність результатів калібрування до міжнародного еталона одиниці маси.

### Список літератури

- [1] ДСТУ ISO 9001:2015 Системи управління якістю. Вимоги (ISO 9001:2005, IDT). — [Чинний від 2016–07–01]. — 31 с.
- [2] ДСТУ IEC/ISO 17025:2006 Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій (ISO/IEC 17025:2005, IDT). — [Чинний від 2007–07–01]. — 32 с.
- [3] Політика НААУ щодо участі органів з оцінки відповідності у перевірках кваліфікації [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://naau.org.ua/english-polityka-naau-shhodo-uchasti-organiv-z-otsinky-vidpovidnosti-u-mizhlaboratornyh-porivnyanniah-ta-perevirkah-kvalifikatsiy/>
- [4] ДСТУ OIML R111–1:2008 Метрологія. Гирі класів точності E1, E2, F1, F2, M1, M1–2, M2, M2–3 і M3. Частина 1. Загальні технічні вимоги та методи випробування (OIML R111–1:2004, IDT). — [Чинний від 2010–01–01]. — 72 с.
- [5] ДСТУ-Н РМГ 43:2006 Метрологія. Застосування «Руководства по выражению неопределенности измерений» (РМГ 43:2001 IDT). — [Чинний від 2007–07–01]. — 28 с.
- [6] ЕА-4/02 М:2013 Вираз невизначеності вимірювання при калібруванні [Електронний ресурс]. — 73 с. — Режим доступу: [http://naau.org.ua/wp-content/uploads/2015/06/EA-4\\_02.pdf](http://naau.org.ua/wp-content/uploads/2015/06/EA-4_02.pdf)
- [7] Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність» [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/1314-18>