

# Оцінка невизначеності вимірювань при калібруванні мірників металевих еталонних 2-го розряду

О.А. Новосьолов

Харківський національний університет радіоелектроніки, пр. Науки, 14, 61166, Харків, Україна  
oanovoselov@ukr.net

## Анотація

У статті розглядаються проблемні питання, пов'язані із забезпеченням однаковості вимірювань у законодавчій метрології, а саме при калібруванні робочих еталонів, які застосовуються при повірці законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки. Однією з умов забезпечення єдності вимірювань є відповідність будь-якого засобу вимірювальної техніки усім вимогам технічної специфікації. Порядок проведення повірки законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки встановлює співвідношення між розширеною невизначеністю вимірювань, що забезпечує еталон, та максимально допустимою похибкою засобу вимірювальної техніки, не більш ніж один до трьох. Однак при цьому порівнюються неоднорідні величини – похибка визначає відхилення показів засобу вимірювальної техніки від опорного значення, а невизначеність вимірювань характеризує якість калібрування цього засобу в конкретній калібрувальній лабораторії. І ця невизначеність вимірювань при калібруванні залежить від багатьох факторів, наявних у лабораторії. При цьому достовірність оцінки невизначеності вимірювань під час калібрування робочого еталона залежить від правильного вибору процедур оцінювання невизначеності вимірювань при калібруванні. Тому в Законі України “Про метрологію та метрологічну діяльність”, тобто на законодавчому рівні, встановлено, що калібрування та оформлення його результатів проводяться відповідно до національних стандартів, гармонізованих із відповідними міжнародними та європейськими стандартами, та документів, прийнятих міжнародними та регіональними організаціями з метрології.

У статті зазначені проблеми актуалізації наявної нормативної бази для калібрування засобів вимірювальної техніки на прикладі мірників еталонних та забезпечення метрологічної простежуваності результатів калібрувань засобів вимірювань об'єму рідини. Запропоновано процедуру оцінки невизначеності вимірювань при калібруванні мірника еталонного 2-го розряду об'ємним методом.

**Ключові слова:** невизначеність вимірювань; робочий еталон; методика калібрування; мірник металевий еталонний; метрологічна простежуваність.

Отримано: 09.08.2024

Відредаговано: 16.08.2024

Схвалено до друку: 20.08.2024

## Вступ

Відповідно до другої частини статті 27 Закону України “Про метрологію та метрологічну діяльність” [1], Міністерство економіки України своїм наказом від 10.08.2020 за № 1518 “Про затвердження Порядку калібрування вторинних та робочих еталонів” (далі – Порядок) [2] затвердило порядок калібрування вторинних та робочих еталонів, який було зареєстровано у Міністерстві юстиції України 13 жовтня 2020 року за № 1000/35283.

Цей Порядок встановлює процедуру та умови калібрування вторинних та робочих еталонів, які використовують під час повірки засобів вимірювальної техніки, що перебувають в експлуатації та застосовуються у сфері законодавчо регульованої метрології.

Перелік категорій законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки (далі – ЗР ЗВТ),

що підлягають періодичній повірці, встановлено Постановою Кабінету Міністрів України від 4 червня 2015 року за № 374 “Про затвердження переліку категорій законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки, що підлягають періодичній повірці” [3].

Порядок проведення повірки ЗР ЗВТ регламентовано наказом Міністерства економіки України від 08.02.2016 року за № 193 “Про затвердження Порядку проведення повірки законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки, що перебувають в експлуатації, та оформлення її результатів” [4], в якому встановлено вимогу щодо відношення розширеної невизначеності (за довірчої ймовірності 95%) значення величини, що відтворює або вимірює еталон, до максимально допустимої похибки ЗР ЗВТ, що підлягає повірці, яка має бути не більше ніж один до трьох. Визначення такого

співвідношення є прикладом непрямого урахування невизначеності вимірювань.

### Постановка проблеми

Згідно з частиною третьою статті 27 “Калібрування” [1]: “3. Калібрування 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”.

Водночас, згідно з [2]: “4. Калібрування робочих еталонів проводиться згідно з методиками калібрування, які містяться в національних стандартах або розроблені виконавцями з урахуванням національних стандартів, гармонізованих з відповідними міжнародними та європейськими стандартами, та документів, прийнятих міжнародними та регіональними організаціями з метрології”.

Переліки методик калібрування робочих еталонів розміщуються на офіційних вебсайтах виконавців”.

Як бачимо, в [2] допускається проводити калібрування згідно з методиками калібрування, які розроблені виконавцями, про що в [1] мова не йде. Але Закон має вищу юридичну силу, яка полягає в тому, що всі підзаконні нормативно-правові акти приймаються на його основі та за своїм змістом не повинні суперечити Закону. Таким чином, маємо юридичну колізію – розбіжність між нормативно-правовими актами, що регулюють одні й ті ж правовідносини у метрологічній діяльності, що пов’язана із забезпеченням єдності вимірювань у країні.

Також треба зауважити, що згідно з ДСТУ EN ISO/IEC 17025:2019 “Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій” [5]: “7.2.1.4 Якщо замовник не зазначає метод для використання, лабораторія має вибрати відповідний метод та проінформувати замовника про вибраний метод. Рекомендують методи, опубліковані в міжнародних, регіональних чи національних стандартах, або рекомендовані авторитетними технічними організаціями, або описані у відповідній науковій літературі чи журналах, або ті, що зазначає виробник обладнання. Можуть бути використані також методи, розроблені або модифіковані лабораторією”.

Тож міжнародний стандарт, що встановлює вимоги до компетентності калібрувальних лабораторій, дозволяє використовувати методики калібрування, розроблені виконавцями.

Тому для подолання розбіжності між [1] та [2] треба вносити зміни до одного з цих нормативно-правових актів.

Наразі калібрування робочих еталонів здійснюються акредитовані Національним агентст-

вом з акредитації України (далі – НААУ) калібрувальні лабораторії та наукові метрологічні центри, які мають документально підтверджену простежуваність своїх еталонів до національних еталонів, еталонів інших держав або міжнародних еталонів відповідних одиниць вимірювання.

Для власника робочого еталона найважливішим питанням є питання відповідності еталона тим вимогам, які прописані в його технічній специфікації, де вказані нормовані метрологічні характеристики, які дозволяють робити висновок про його придатність для вимірювань у відомому діапазоні та з відомою точністю.

Калібрування робочих еталонів відбувається за методиками калібрування, розробленими самими виконавцями, які проводять калібрування та оцінюють невизначеність вимірювань за своїм розумінням та на свій розсуд. Це не суперечить вимогам до акредитованих калібрувальних лабораторій, але суттєво впливає на достовірність результатів перевірки ЗР ЗВТ. Як показує проведений аналіз методик калібрування, що розроблені калібрувальними лабораторіями, для оцінювання невизначеності в них застосовуються різні рівняння вимірювань та оцінювання невизначеності вхідних величин за цими рівняннями проводиться на розсуд фахівців лабораторії. Це не може позитивно впливати на достовірність результатів калібрування в таких лабораторіях.

Щоб переконатися в цьому, досить ознайомитися зі “Сферами акредитації” калібрувальних лабораторій, де заявлені найкращі калібрувальні та вимірювальні можливості (Calibration and Measurement Capability – далі СМС) лабораторій з калібрування одного й того ж типу робочого еталона відрізняються між собою в декілька разів. Такий підхід у забезпеченні єдності вимірювань веде до хаосу в метрологічній діяльності.

Відсутність стандартизованих методик калібрування робочих еталонів не забезпечує єдності вимірювань у законодавчо регульованій сфері метрології та порушує вимоги частини третьої статті 27 [1], тому розробка ефективних стандартизованих методик калібрування робочих еталонів є актуальним завданням і запорукою забезпечення єдності вимірювань у законодавчо регульованій сфері метрології.

### Виклад основного матеріалу

Відповідно до ДСТУ 8912:2019 “Метрологія. Колонки паливороздавальні для рідкого палива. Методика перевірки” [6], як робочі еталони для перевірки такого важливого ЗР ЗВТ, як колонка паливороздавальна для заправки автомобілів, застосовують мірники еталонні 2-го розряду, згідно з ДСТУ 3537:2011 “Метрологія. Державна повірочна схема для засобів вимірювань об’єму рідини” [7], номінальною місткістю 10, 20, 50, 100,

200, 500, 1000 л, при цьому розширена відносна невизначеність повинна не перевищувати 0,15%. Цю вимогу слід розуміти так, що мірник 2-го розряду, наприклад, номінальною місткістю 10 л, забезпечує вимірювання об'єму 10 л із розширеною невизначеністю не більше 0,015 л. Але, згідно з ДСТУ 7218:2011 “Мірники металеві еталонні. Методика повірки (калібрування)” [8], границі основної допустимої похибки мірників 2-го розряду за температури 20 °С мають бути  $\pm (0,05 - -0,1)\%$ . Тобто найбільше значення невизначеності вимірювань об'єму 10 л мірником 2-го розряду номінальною місткістю 10 л перевищує його максимально допустиму похибку як мінімум у 1,5 раза.

По-друге, максимально допустима відносна похибка деяких типів паливороздавальних колонок становить  $\pm 0,25\%$ , і в цьому випадку, якщо брати до уваги найбільше значення невизначеності вимірювань 0,15%, яке повинен забезпечувати еталонний мірник і яке прописано у [6], необхідне співвідношення 1:3 не витримується.

Слід також зауважити, що у [8] відсутній розділ з оцінки невизначеності вимірювань при калібруванні мірників еталонних. Враховуючи обов'язковість калібрування застосовуваних при повірці робочих еталонів, зокрема мірників еталонних 2-го розряду, відсутність стандартизованої методики калібрування сприяє порушенню забезпечення єдності вимірювань у законодавчо регульованій сфері метрології, тому [8] потребує актуалізації.

Наразі, згідно з [7], в Україні створено державний первинний еталон одиниці об'єму рідини – ДЕТУ 03-03-13, який зберігається у Національному науковому центрі “Інститут метрології”, м. Харків.

ДЕТУ 03-03-13 відтворює одиницю об'єму рідини кубічний метр ( $\text{м}^3$ ) з використанням світової константи – густини дистильованої води.

Діапазони значень відтворюваної одиниці об'єму рідини та розширені невизначеності ДЕТУ 03-03-13 становлять такі значення:

- від  $1 \times 10^{-3} \text{ м}^3$  до  $1 \times 10^{-1} \text{ м}^3$  та від  $5 \times 10^{-1} \text{ м}^3$  до  $1 \text{ м}^3 - U = 8 \times 10^{-5} \text{ м}^3$ ;

- від  $1 \times 10^{-1} \text{ м}^3$  до  $5 \times 10^{-1} \text{ м}^3 - U = 5 \times 10^{-5} \text{ м}^3$ .

Але наразі ці вимірювальні можливості Національного наукового центру “Інститут метрології” не опубліковано в базі даних ключових звірень (KCDB) на сайті Міжнародного бюро з мір та ваг (BIPM), бо не завершені міжнародні звірення по статичному об'єму рідини з використанням як еталонів порівняння мірників еталонних 1-го розряду місткістю  $5 \text{ дм}^3$ ,  $10 \text{ дм}^3$ ,  $20 \text{ дм}^3$ .

Таким чином, калібрувальні лабораторії не можуть забезпечити метрологічну простежуваність результатів своїх калібрувань робочих еталонів для повірки засобів вимірювань об'єму рідини

в Україні та вимушені калібрувати робочі еталони за кордоном в організаціях, що мають докази метрологічної простежуваності до Міжнародної системи одиниць SI.

Якщо ознайомитися зі “Сферами акредитації” калібрувальних лабораторій, акредитованих Національним агентством з акредитації України на калібрування мірників еталонних (виписку зі “Сфер акредитації” наведено в табл. 1, дані взято з сайту НААУ), то можна відзначити таке:

- 1) більшість калібрувальних лабораторій проводять калібрування згідно зі своїми розробленими методиками калібрування, і лише дві лабораторії застосовують національний стандарт [8] та п'ять лабораторій – європейське керівництво EURAMET cg-21. Version 1.0 [9];

- 2) деякі калібрувальні лабораторії не розділяють мірники як об'єкти калібрування на технічні та еталонні, та встановлюють однакове значення розширеної невизначеності вимірювань при їх калібруванні;

- 3) більш ніж половина калібрувальних лабораторій застосовували один метод для вираження СМС – діапазон вимірювання. Згідно з ІЛАС-Р14:09/2020 “Політика ІЛАС щодо невизначеності вимірювань у калібруванні” [10], не повинно бути неоднозначності у вираженні СМС у сферах акредитації й, відповідно, щодо найменшої невизначеності вимірювання, якої очікує досягти лабораторія під час калібрування. У випадку, коли вимірювана величина охоплює значення або ряд значень та застосовується метод для вираження СМС – діапазон вимірювання, калібрувальна лабораторія повинна забезпечити належну лінійну інтерполяцію, щоб знайти невизначеність при середніх значеннях. Для мірників еталонних та технічних, які є матеріальними мірами місткості та мають нормоване значення об'єму, СМС повинно бути вказано для кожного номінального значення. Тому вираження найменшої невизначеності вимірювання при калібруванні мірників еталонних та технічних діапазоном значень є некоректним.

Треба наголосити, що у [9] не робиться жодних заяв та гарантій того, що цей документ або інформація, що міститься в ньому, будуть придатні для будь-якої конкретної мети, що процедура та формули, запропоновані в цьому документі, не призначені й не можуть замінити особисту думку та відповідальну оцінку, індивідуально зроблену метрологами в будь-якому конкретному додатку та лабораторії, а використані підходи не є обов'язковими і призначені для керівництва калібрувальними лабораторіями. Також у [9] не наведені вимоги до кваліфікації виконавців калібрування та вимоги безпеки при калібруванні, заявлені умови калібрування стосуються тільки температурного режиму. Тому використовувати

Виписка зі “Сфер акредитацій” калібрувальних лабораторій з калібрування мірників

№ п/п	Найменування КЛ	Об’єкт калібрування	Діапазон або точка вимірювань, у яких проводиться калібрування	Розширена невизначеність вимірювань $U(k=2)$	Позначання нормативних документів на методи калібрування
1	Криворізька філія ДП “Дніпростандарт-метрологія”	Мірники еталонні	від 1,0 до 100 дм <sup>3</sup> від 1,0 до 500 дм <sup>3</sup>	0,007 дм <sup>3</sup> (0,007%) 0,15 дм <sup>3</sup> (0,03%)	ДСТУ 7218:2011 МК-02/20
2	Рівненська філія ДП “Львівстандарт-метрологія”	Мірники металеві	2–500 дм <sup>3</sup>	$(2,1 \times 10^{-4} - 0,38)$ дм <sup>3</sup>	КЛМЦ-МК-003
3	Запорізька філія ДП “Дніпростандарт-метрологія”	Мірники еталонні	$(2 - 5 \times 10^3)$ дм <sup>3</sup>	$(1 \times 10^{-4} - 4,97 \times 10^{-2})$ дм <sup>3</sup>	МК 11-03-03:2018
4	ТОВ “Тестметрстандарт”	Мірники металеві	від 2 до 500 дм <sup>3</sup>	від 0,02% до 0,5%	МК 03-03
5	Черкаська філія ДП “Полтавастандарт-метрологія”	Мірники металеві еталонні, мірники металеві технічні, міри повної місткості металеві	2 дм <sup>3</sup> 5 дм <sup>3</sup> 10 дм <sup>3</sup> 20 дм <sup>3</sup> 50 дм <sup>3</sup>	0,16 см <sup>3</sup> 0,38 см <sup>3</sup> 0,49 см <sup>3</sup> 0,94 см <sup>3</sup> 2,7 см <sup>3</sup>	МК 07-03-01 EURAMETcg-19
		Мірники металеві еталонні, мірники металеві технічні, міри повної місткості металеві	10 дм <sup>3</sup> 20 дм <sup>3</sup> 50 дм <sup>3</sup> 100 дм <sup>3</sup> 200 дм <sup>3</sup> 500 дм <sup>3</sup> 1000 дм <sup>3</sup>	2,7 см <sup>3</sup> 4,8 см <sup>3</sup> 12 см <sup>3</sup> 29 см <sup>3</sup> 46 см <sup>3</sup> 0,16 дм <sup>3</sup> 0,29 дм <sup>3</sup>	МК 07-03-01 EURAMETcg-19
6	ДП “Харківстандарт-метрологія”	Мірники еталонні та технічні	2–1000 дм <sup>3</sup>	0,0035%	ДСТУ 7218:2011 EURAMET Calibration Guide No.19
7	ДП “Вінницястандарт-метрологія”	Мірники металеві	2–10000 дм <sup>3</sup>	$1 \times 10^{-4} - 1$ дм <sup>3</sup>	МК 020-210-2015
8	ДП “Укрметртест-стандарт”	Мірники еталонні	1–2000 л	0,02%	EURAMET cg-21. Version 1.0
9	ДП “Київоблстандарт-метрологія”	Мірники металеві еталонні	1–500 л	(0,01–0,1)%	МК 03-01:2015
10	Волинська філія ДП “Львівстандарт-метрологія”	Мірники еталонні та технічні	2 дм <sup>3</sup> 5 дм <sup>3</sup> 10 дм <sup>3</sup> 20 дм <sup>3</sup> 50 дм <sup>3</sup> 200 дм <sup>3</sup>	0,0004 дм <sup>3</sup> 0,002 дм <sup>3</sup> 0,003 дм <sup>3</sup> 0,003 дм <sup>3</sup> 0,018 дм <sup>3</sup> 0,020 дм <sup>3</sup>	МК М ПХ-28-2022
11	Чернівецька філія ДП “Івано-Франківськ-стандартметрологія”	Мірники еталонні та технічні	5–500 дм <sup>3</sup>	$(5 \times 10^{-3} - 1 \times 10^{-2})$ дм <sup>3</sup>	МК 02-03
12	ДП “Одесастандарт-метрологія”	Мірники еталонні	2–100 дм <sup>3</sup>	$(6,7 \times 10^{-5} - 3 \times 10^{-2})$ дм <sup>3</sup>	МК0335
13	Сумська філія ДП “Полтавастандарт-метрологія”	Мірники	1,0 дм <sup>3</sup> 2,0 дм <sup>3</sup> 5,0–200 дм <sup>3</sup> 500 дм <sup>3</sup>	0,01% 0,005% 0,006% 0,013%	СОУ РУ 71.2-02568064.018:2018
14	ТОВ “Рівнестандарт”, м. Рівне	Мірники II розряду	1–500 дм <sup>3</sup>	(0,05–0,1)%	МК-Mv-02-2021
		Мірники I розряду	1–100 дм <sup>3</sup>	(0,01–0,02)%	EURAMET Calibration Guide №.19

цей документ як методику калібрування не зовсім доречно.

Наочним прикладом того, що відсутність стандартизованої методики калібрування мірників еталонних 2-го розряду не забезпечує єдності вимірювань у законодавчо регульованій сфері метрології, є результати перевірки професійного рівня калібрувальних лабораторій з калібрування мірника еталонного М2р-10 Гр-01-03, під координацією акредитованого НААУ відповідно до вимог ДСТУ EN ISO/IEC 17043 “Оцінка відповідності. Основні вимоги до проведення перевірки кваліфікації” [11] провайдера Державного підприємства “Харківстандартметрологія”, де отримані значення розширених невизначеностей відрізняються між собою у 5 разів – від 0,00062 до 0,003 дм<sup>3</sup>, а кількість врахованих величин, які вважаються впливовими, варіюється від 3 до 7, що свідчить про формування різних рівнянь вимірювання.

За [8] повірку мірників 2-го розряду проводять об’ємним або масовим методом, місткість мірників визначають 2 рази, як остаточний результат беруть середнє арифметичне отриманих значень.

При калібруванні мірника 2-го розряду, для достовірного встановлення дійсного значення його місткості, кількість вимірювань повинна бути як мінімум 5 разів для можливості визначення грубих похибок і промахів при застосуванні статистичних критеріїв виділення аномальних спостережень.

Розглянемо оцінку невизначеності вимірювань при калібруванні мірника 2-го розряду об’ємним методом, який є найбільш розповсюдженим, через те що він простіший і дешевший, ніж масовий метод. Об’ємний метод є методом прямого порівняння і може застосовуватися двома різними способами: наливанням питної води в попередньо змочений мірник із мірника 1-го розряду або зливанням питної води з мірника, що калібрується, у мірник 1-го розряду.

У [8] застосовано спосіб наливання. Якщо рівень води у мірнику 2-го розряду, що калібрується, після наливання є нижчим за позначку його номінальної місткості, тоді вода доливається у мірник піпеткою градуйованою з вимірюванням по шкалі піпетки об’єму долитої води, але якщо рівень води вищий за позначку, залишок води відбирається за допомогою піпетки зі зливанням води в мірний циліндр для визначення по шкалі об’єму відібраної води.

1. Складання модельного рівняння калібрування мірника еталонного 2-го розряду:

$$\Delta = V_{c20} - V_{s20} = \frac{V_c - V_s [1 + (t - 20)\beta_s]}{1 + (t - 20)\beta_c}, \quad (1)$$

де  $\Delta$  – систематична похибка мірника 2-го розряду, що калібрується;

$V_c$  – виміряне значення об’єму мірника, що калібрується, при температурі навколишнього середовища  $t$ ;

$V_s$  – значення об’єму еталонного мірника 1-го розряду, взяте з сертифіката про калібрування (для температури 20 °С);

$\beta_c, \beta_s$  – значення коефіцієнтів об’ємного розширення матеріалів, із яких виготовлені, відповідно, мірник, що калібрується, та еталонний мірник. Кращими матеріалами для виготовлення мірників вважаються нержавіюча сталь та латунь. Коефіцієнт об’ємного розширення металу мірника становить для корозійностійкої сталі  $\beta_{сталь} = 3,6 \times 10^{-5} 1/^\circ\text{C}$ , для латуні  $\beta_{латунь} = 6,4 \times 10^{-5} 1/^\circ\text{C}$ .

2. Оцінювання стандартних невизначеностей вхідних величин.

2.1. Стандартна невизначеність за типом А, пов’язана з розсіянням показів мірника, що калібрується, обумовлена джерелами невизначеності, що мають випадковий характер, визначається за формулою:

$$u_A = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (V_i - \bar{V}_i)^2}{n(n-1)}}, \quad (2)$$

де  $n$  – кількість вимірювань;

$\bar{V}_i$  – середнє арифметичне значення отриманих результатів вимірювання місткості, що калібрується.

2.2. Стандартна невизначеність за типом В, обумовлена джерелами, які мають системний характер, визначається за формулою:

$$u_B = \sqrt{u^2(V_s) + u(V_u)^2 + u^2(\delta_{відл}) + u^2(t)}, \quad (3)$$

де  $u(V_s)$  – стандартна невизначеність, обумовлена невизначеністю вимірювань при калібруванні еталонного мірника 1-го розряду з сертифіката калібрування, визначатиметься таким чином:

$$u(V_s) = \frac{U_{cal}(V_s)}{k}, \quad (4)$$

де  $U_{cal}(V_s)$  – розширена невизначеність вимірювань при калібруванні еталонного мірника 1-го розряду, в одиницях об’єму (значення взято з останнього сертифіката калібрування);

$k$  – коефіцієнт покриття, якщо невизначеність у сертифікаті оцінено на рівні достовірності 95,45%, то  $k = 2$ ;

$u(V_u)$  – стандартна невизначеність, обумовлена невизначеністю вимірювань при калібруванні піпетки градуйованої або циліндра мірного з сертифіката калібрування, визначатиметься таким чином:

$$u(V_u) = \frac{U_{cal}(V_u)}{k}, \quad (5)$$

де  $U_{cal}(V_u)$  – розширена невизначеність вимірювань при калібруванні піпетки градуйованої або

циліндра мірного, в одиницях об'єму (значення взято з останнього сертифіката калібрування);

$k$  – коефіцієнт покриття, якщо невизначеність у сертифікаті оцінено на рівні достовірності 95,45%, то  $k = 2$ ;

$u(\delta_{відл})$  – стандартна невизначеність, обумовлена відліком за шкалою мірника, що калібрується, у припущенні трикутного закону розподілу, визначатиметься таким чином:

$$u(\delta_{відл}) = \frac{q}{2\sqrt{6}}, \quad (6)$$

де  $q$  – ціна поділки шкали мірника, що калібрується;

$u(t)$  – стандартна невизначеність, обумовлена вимірюванням температури води, визначатиметься таким чином:

$$u(t) = \frac{U_{cal}(t)}{k}, \quad (7)$$

де  $U_{cal}(t)$  – розширена невизначеність вимірювань при калібруванні термометра (значення взято з останнього сертифіката калібрування);

$k$  – коефіцієнт покриття, якщо невизначеність у сертифікаті оцінено на рівні достовірності 95,45%, то  $k = 2$ .

3. На підставі модельного рівняння коефіцієнти чутливості дорівнюватимуть:

$$c_c = \frac{1}{1 + (t - 20)\beta_c}, \quad (8)$$

$$c_s = -\frac{1 + (t - 20)\beta_s}{1 + (t - 20)\beta_c}, \quad (9)$$

$$c_t = -\frac{V_s(\beta_c - \beta_s) - V_c\beta_c}{[1 + (t - 20)\beta_c]^2}. \quad (10)$$

4. Сумарна стандартна невизначеність буде дорівнювати:

$$u_c = \sqrt{u_A^2 + u_B^2}. \quad (11)$$

5. Розширена невизначеність буде дорівнювати:

$$U = k \cdot u_c, \quad (12)$$

де  $k$  – коефіцієнт покриття.

У випадках, коли нормальний (гаусівський) розподіл можна віднести до вимірюваної величини і стандартна невизначеність, пов'язана з оцінкою вихідної величини, є достатньо надійною, використовують стандартний коефіцієнт покриття  $k = 2$ , що відповідає ймовірності охоплення приблизно 95%. Ці умови виконуються в більшості випадків, які зустрічаються під час калібрування.

6. Бюджет невизначеності вимірювань наведено у табл. 2.

Таблиця 2

Бюджет невизначеності вимірювань при калібруванні мірника 2-го розряду об'ємним методом

Вхідна величина	Значення вхідної величини	Стандартні невизначеності вхідних величин	Коефіцієнти чутливості	Вклади невизначеності, дм <sup>3</sup>
$V_c$	$\bar{V}_c$	$u_A$	(8)	(2)
$V_s$	$U_{cal}(V_s)$	$u(V_s)$	(9)	(4)
$V_{\text{ц}}$	$U_{cal}(V_{\text{ц}})$	$u(V_{\text{ц}})$	(8)	(5)
$t$	$U_{cal}(t)$	$u(t)$	(10), дм <sup>3</sup> /°C	(7)
$\delta_{відл}$	0	$u(\delta_{відл})$	1	(6)
Вихідна величина	Оцінка результату вимірювання, дм <sup>3</sup>	Стандартна сумарна невизначеність, дм <sup>3</sup>	Коефіцієнт охоплення	Розширена невизначеність, дм <sup>3</sup>
$\Delta$	(1)	(11)	$k$	(12)

## Висновки

1. Необхідно застосування в Україні міжнародної практики зі стандартизації методик калібрування та методів оцінки невизначеності, для забезпечення єдності вимірювань.

2. Розробка стандартизованих методик калібрування робочих еталонів, які застосовуються при повірці законодавчо регульованих ЗВТ, є запорукою забезпечення єдності вимірювань у законодавчо регульованій сфері метрології.

3. Замовнику проведення калібрування робочих еталонів треба у своїй заявці на калібрування обов'язково вказувати, щоб у сертифікаті калібрування виконавець робив висновок щодо

відповідності робочого еталона зазначеним метрологічним характеристикам.

4. ДСТУ 7218:2011 “Мірники металеві еталонні. Методика повірки (калібрування)” потребує актуалізації в плані доповнення розділом “Оцінка невизначеності вимірювань при калібруванні”.

5. Для забезпечення метрологічної простежуваності результатів калібрування робочих еталонів для повірки засобів вимірювань об'єму рідини до Міжнародної системи одиниць SI треба завершувати міжнародні звірення по статичному об'єму рідини з використанням як еталонів порівняння еталонних мірників 1-го розряду місткістю 5 дм<sup>3</sup>, 10 дм<sup>3</sup>, 20 дм<sup>3</sup>.

# Evaluation of the measurement uncertainty during the calibration of metal reference gauges of the 2<sup>nd</sup> category

O. Novoselov

Kharkiv National University of Radio Electronics, Nauky Ave., 14, 61166, Kharkiv, Ukraine  
oanovoselov@ukr.net

## Abstract

The paper considers problematic issues related to ensuring the uniformity of measurements in the field of legal metrology, namely, during the calibration of working measurement standards used for verification of legally regulated measuring instruments. One of the conditions for ensuring the uniformity of measurements is the compliance of any measuring instrument with the requirements that are prescribed in its technical specification, where standardized metrological characteristics are indicated, which allows us to conclude about the suitability of the instrument for measurements in a known range and with a known accuracy.

The procedure for verification of legally regulated measuring instruments establishes a ratio between the expanded measurement uncertainty provided for by the measurement standard and the maximum permissible error of the measuring instruments of no more than one to three. Determining such a ratio is an example of indirect accounting for the measurement uncertainty. The reliability of the assessment of the compliance of a working measurement standard with metrological requirements, which are regulated by the technical specification, depends on the correctness of the procedures for evaluating the measurement uncertainty during calibrations. The paper indicates the problems of updating the existing regulatory framework for the calibration of measuring instruments using reference gauges as an example and ensuring metrological traceability of the results of the calibration of the liquid volume measuring equipment. Attention was drawn to the need to apply in Ukraine the international practice of the standardization of calibration techniques and methods of uncertainty evaluation to ensure the uniformity of measurements.

A procedure for evaluating the measurement uncertainty during the calibration of the reference 2<sup>nd</sup>-grade gauge by the volumetric method, which is used as a working measurement standard when verifying legally regulated measuring instruments – fuel dispensers for refuelling cars – is proposed.

**Keywords:** measurement uncertainty; working measurement standard; calibration method; metal reference gauge; metrological traceability.

### Список літератури

1. Закон України від 05.06.2014 № 1314–VII “Про метрологію та метрологічну діяльність”.
2. Наказ Мінекономіки України від 10.08.2020 № 1518 “Про затвердження Порядку калібрування вторинних та робочих еталонів”.
3. Постанова Кабінету Міністрів України від 04.06.2015 № 374 “Про затвердження переліку категорій законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки, що підлягають періодичній повірці”.
4. Наказ Мінекономіки України від 08.02.2016 № 193 “Про затвердження Порядку проведення повірки законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки, що перебувають в експлуатації, та оформлення її результатів”.
5. ДСТУ EN ISO/IEC 17025:2019. Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій (EN ISO/IEC 17025:2017, IDT; ISO/IEC 17025:2017, IDT).
6. ДСТУ 8912:2019. Метрологія. Колонки паливороздавальні для рідкого палива. Методика повірки.
7. ДСТУ 3537:2011. Метрологія. Державна повірочна схема для засобів вимірювань об’єму рідини.
8. ДСТУ 7218:2011. Мірники металеві еталонні. Методика повірки (калібрування).
9. EURAMET cg-21. Version 1.0 (04/2013). Guidelines on the Calibration of Standard Capacity Measures using the Volumetric Method.
10. ILAC-P14:09/2020. Політика ILAC щодо невідомості вимірювань в калібруванні.
11. ДСТУ EN ISO/IEC 17043:2017. Оцінка відповідності. Загальні вимоги до перевірки професійного рівня (EN ISO/IEC 17043:2010; ISO/IEC 17043:2010, IDT).

### References

1. The Law of Ukraine “On metrology and metrological activity” dated June 5, 2014 No. 1314–VII (in Ukrainian).
2. Order of the Ministry of Economy of Ukraine “On approval of the Procedure for the calibration of secondary and working standards” dated August 10, 2020 No. 1518 (in Ukrainian).
3. Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine “On approval of the list of categories of legally regulated measuring equipment subject to periodic verification” dated June 4, 2015 No. 374 (in Ukrainian).
4. Order of the Ministry of Economy of Ukraine “On approval of the Procedure for verification of legally regulated measuring equipment in use and registration of its results” dated February 8, 2016 No. 193 (in Ukrainian).
5. DSTU EN ISO/IEC 17025:2019. General requirements for the competence of testing and calibration laboratories (EN ISO/IEC 17025:2017, IDT; ISO/IEC 17025:2017, IDT) (in Ukrainian).
6. DSTU 8912:2019. Metrology. Fuel dispensers for liquid fuel. Verification method (in Ukrainian).
7. DSTU 3537:2011. Metrology. State verification scheme for means of measuring the volume of liquid (in Ukrainian).
8. DSTU 7218:2011. Metal reference gauges. Method of verification (calibration) (in Ukrainian).
9. EURAMET cg-21. Version 1.0 (04/2013). Guidelines on the Calibration of Standard Capacity Measures using the Volumetric Method.
10. ILAC-P14:09/2020. ILAC Policy on Measurement Uncertainty in Calibration.
11. DSTU EN ISO/IEC 17043:2017. Assessment of conformity. General requirements for professional level verification (EN ISO/IEC 17043:2010; ISO/IEC 17043:2010, IDT) (in Ukrainian).