



УДК 389.151

ІСТОРИЧНІ ЗМІНИ У СВІТОВІЙ МЕТРОЛОГІЇ — ПОЧЕСНИЙ ВИКЛИК ДЛЯ УКРАЇНИ У НОВОМУ СТАТУСІ

**Historical Changes in World Metrology —
a «Matter of Honor» Challenge
for Ukraine in New Status**

Л. Віткін, доктор технічних наук, професор,
директор департаменту технічного регулювання,
Міністерство економічного розвитку
та торгівлі України, м. Київ,
e-mail: dtr@me.gov.ua,

Ю. Кузьменко, кандидат технічних наук,
заступник генерального директора
з метрології, оцінки відповідності засобів
вимірювальної техніки та наукової діяльності,
ДП «Укрметрестандарт», м. Київ,
e-mail: jkuzmenko@ukrcsm.kiev.ua

L. Vitkin, doctor of technical science, professor,
director of technical regulation department,
Ministry of Economical Development
and Trade of Ukraine, Kyiv,
e-mail: dtr@me.gov.ua,

Yu. Kuzmenko, candidate of technical sciences,
deputy director general for metrology, conformity
assessment of measuring instruments and scientific
activity, State Enterprise «All-Ukrainian State Research
and Production Center for Standardization, Metrology,
Certification and Consumers' Rights Protection», Kyiv,
e-mail: jkuzmenko@ukrcsm.kiev.ua

Представлено коротке описання подій під час обговорення та голосування резолюції 26-ї Генеральної Конференції з мір та ваг щодо прийняття нових визначень основних одиниць системи SI. Надано коментарі та ілюстрації щодо змісту й сенсу «перевизначення».

Сформульовано зміст функцій та завдань національної метрологічної системи України у статусі Країни — Члена Метричної Конвенції.

The brief description of voting for new SI units' definition at the 26-th General Conference on Weights and Measures meeting is given. Comments and illustrations on redefinitions are given.

New challenges and tasks for national metrology system of Ukraine in status of Member State are described.

Ключові слова: Генеральна Конференція, перевизначення одиниць, фізичні константи, Метрична Конвенція, національний метрологічний інститут, призначений інститут.

Keywords: General Conference, redefining units, physical constants, Metric Convention, national metrology institute, appointed institute.

16 листопада 2018 року в залі засідання 26-ї Генеральної Конференції з мір та ваг пролунало урочисте «так!» («*In Favor!*») від повноважного представника України як Країни — Члена Метричної Конвенції. Це була відповідь на запитання головуючого у поіменному голосуванні на підтримку Резолюції Генеральної Конференції щодо нових визначень основних одиниць системи SI. З прийняттям цієї резолюції сталася історична подія, знаменна в двох аспектах: в аспекті загального розвитку міжнародної метрології, об'єднаної й координованої органами Метричної Конвенції, та в аспекті набуття Україною, незалежною державою, міжнародного визнання її метрологічної системи як рівноправної складової світової метрології.

26-е засідання Генеральної Конференції з мір та ваг (CGPM) відбулося з 13 до 16 листопада 2018 року у Версалі (Франція). Від України як Країни — Члена Метричної Конвенції в роботі засідання взяли участь заступник Міністра Мінекономрозвитку Ю.П. Бровченко, директор департаменту технічного регулювання Мінекономрозвитку Л.М. Віткін, генеральний директор ННЦ «Інститут метрології» П.І. Неєжмаков, заступник генерального директора ДП «Укрметрестандарт» Ю.В. Кузьменко.



Л. Віткін



Ю. Кузьменко

Голосування за Резолюцією А відбулося 16 листопада, у п'ятницю, з 10.50 до 13.25 під час проведення відкритого засідання з розгляду перевизначення базових одиниць *SI* після представлення таких ключових доповідей:

* «Квантовий ефект Хола та переглянуті одиниці *SI*»;

* «Роль константи Планка у фізиці»;

* «Оптичні атомні годинники — відкриття нових перспектив у квантовому світі»;

* «Вимірювання за допомогою фундаментальних констант; як будуть працювати переглянуті одиниці *SI*».

У пояснювальних доповідях, що передували голосуванню, Нобелівські Лауреати Клаус фон Клітцинг та Вільям Філіпс одногосно назвали введення нових визначень основних одиниць системи *SI* найзначимою революцією з часів Французької революції 1799 року. Це означає, що перевизначення одиниць *SI* є результатом величезної багаторічної роботи багатьох колективів фізиків-метрологів, яка зумовила і здійснила революційний діалектичний перехід від застосування максимуму можливостей мистецтва вимірювань для кількісного накопичення даних стосовно фізичних закономірностей та констант, що їх описують, до якісного кроку фіксації досягнутого рівня знань значень констант як основи для нових визначень одиниць, виходячи з фіксованих значень.

При тому, що перехід став революційною подією, йому передував еволюційний розвиток міжнародних підходів до єдності й технічної обґрунтованості застосування одиниць вимірювань. Тому автори вважають доцільним надати короткий ретроспективний огляд розвитку світової метрології.

Вимірювання завжди відігравали в житті суспільства настільки важливу роль, що це навіть відобразилося у Біблії, а саме, у Книзі Левіт Старого заповіту:

«35 Не робить неправди в суді, в мірі, у вазі й у вимірюванні.

36 Нехай будуть у вас ваги вірні, гирі вірні, ефа вірна і гін вірний...».

Подальший розвиток суспільства призвів до удосконалення вимірювань та змусив людство створювати основи для порівнянь одних і тих же вимірювань, тобто створювати фізичні величини та їх перші еталони. Очевидним рішенням на той час було застосувати зрозумілі та очевидні фізичні об'єкти та, зокрема, будову людського тіла.

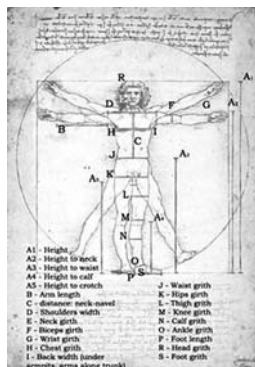
Під час Французької революції, а саме, 22 червня 1799 р в Архіві Республіки (*Archives de la République*) в Парижі розміщено два платинових еталони, що втілюють метр і кілограм. У такий спосіб відбулося створення десяткової метричної системи, і це був перший крок у розвиток сучасної міжнародної системи одиниць.

Наступним визначальним історичним кроком було створення Метричної Конвенції (*Convention du Mètre*) — договору, який створив Міжнародне бюро мір і ваг (*BIPM*), міжурядової організації під керівництвом Генеральної конференції з питань ваг і заходів (*CGPM*) та під наглядом за її діяльністю Міжнародним комітетом з мір та ваг (*CIPM*).

Конвенція була підписана у Парижі 20 травня 1875 року представниками сімнадцяти держав. Окрім заснування *BIPM* та визначення шляхів фінансування та управління діяльністю *BIPM*, Метрична Конвенція встановила постійну організаційну структуру для урядів країн-членів, щоби вони діяли спільно щодо всіх питань, які стосуються одиниць вимірювань.

Конвенція застосовується до формату, який використовувався на межі дев'ятнадцятого століття, і базується на розумінні тогочасного управління міжнародними організаціями. Конвенція, дещо модифікована у 1921 році, залишається основою міжнародної угоди про одиниці вимірювань.

Після тривалих міжнародних досліджень, проведених *BIPM*, які розпочалися у 1948 році, 10-е засідання *CGPM* у 1954 році схвалило впровадження ампера, кельвіна та кандели як базових одиниць відповідно для електричного струму, термодинамічної температури та світлової інтенсивності. Назва Міжнародної системи одиниць, з аббревіатурою *SI*,



була надана системі 11-м засіданням *CGPM* у 1960 році. На 14-му засіданні *CGPM* у 1971 році, після тривалих дискусій між фізиками та хіміками, поточна версія *SI* була завершена шляхом додавання моля як базової одиниці для кількості речовини, в результаті чого загальна кількість базових одиниць досягла семи.

І тепер учасники 26-ї Генеральної конференції з мір та ваг прийняли історичне рішення про перевизначення чотирьох із семи основних одиниць Міжнародної системи одиниць (*SI*): кілограма, ампера, Кельвіна і моля. Цим рішенням кілограм було «відв'язано» від матеріального носія-еталона (так званого артефакту), і у подальшому він визначатиметься через постійну Планка. З цього моменту всі одиниці системи *SI* прив'язано до фундаментальних фізичних констант. Трансляція засідання конференції, де одногосно було прийнято це рішення, велася на сайті Міжнародного бюро мір і ваг.

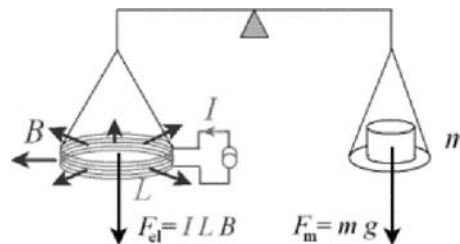
Нинішнє рішення завершує реформу, що тривала кілька десятиліть років: ще у 1983 році метр було прив'язано до значення швидкості світла у вакуумі (ї значення швидкості було зафіксовано, було припинено всі програми вимірювання швидкості світла у вакуумі, оскільки його значення стало точно відомим за визначенням. У 2005 році дослідники визначилися у виборі ще трьох констант для перевизначення інших одиниць. Постійну Планка було обрано як основу для визначення одиниці маси, кілограма, елементарного електричного заряду (заряду електрона) одиниці сили струму, а постійну Больцмана — термодинамічної температури.

Для завершення цього переходу знадобилося кілька років для того, щоби з високою точністю виміряти константи:

- частоту переходу, пов'язаного із надтонким розщепленням основного стану атома цезію 133, $\Delta\nu(^{133}\text{Cs})_{\text{СТР}} = 9192631770 \text{ Гц}$;

- швидкість світла у вакуумі $c_0 = 299792458 \text{ м/с}$;
- постійну Планка $h = 6,62606\text{X} \cdot 10^{-34} \text{ Дж}\cdot\text{с}$;
- елементарний заряд $e = 1,602117\text{X} \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$;
- постійну Больцмана $k = 1,3806\text{X} \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}$;
- постійну Авогадро $N_A = 6,02214\text{X} \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$;
- спектральну силу світлового потоку монохроматичного випромінювання частотою $540 \cdot 10^{12} \text{ Гц}$ $K(\lambda_{555}) = 683 \text{ лм/Вт}$.

До цього дня одиницю маси, кілограм, було прив'язано до рукотворного артефакту, циліндра зі сплаву платини та іридію, який зберігається у французькому місті Севр. Результати кількох міжнародних звірень національних копій, виготовлених із того ж матеріалу, засвідчили, що їх маси змінюються щодо головного еталона в діапазоні ± 50 мікрограмів за 100



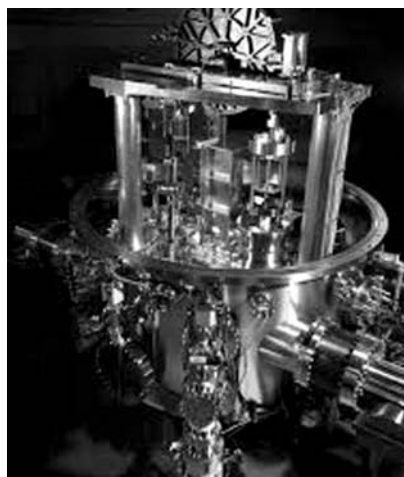
років. Наскільки при цьому змінилася маса головного еталона — невідомо, оскільки його немає з чим порівнювати. Для багатьох типів вимірювань таке відхилення може призвести до недостовірних результатів.

Тепер затверджено нове визначення кілограма, засноване на постійній Планка. Установка, за допомогою якої можна реалізувати новий еталон маси, називається вагами Кіббля. У таких вагах еталоном виступає вантаж, який урівноважує силу відштовхування між постійним магнітом і котушкою, за якого пропускають струм. У такий спосіб масу об'єкта можна визначити внаслідок рівності електричної та механічної сил.

Константа Планка «ховається» у рівняннях, які описують роботу електричної частини установки, і без її фіксування перевизначити кілограм було неможливо. Примітно, що та ж сама установка раніше використовувалася якраз для уточнення константи Планка, але для цього застосовувався інший режим її роботи.

Завдяки новому визначенню кілограма кожна країна зможе відтворювати еталонну установку самостійно у будь-який час, не вдаючись до звірення з головним еталоном.

Конференція також затвердила нове визначення ампера. Колишнє визначення, затверджене у 1948 році, було засновано на вимірюванні сили, що діє на паралельні провідники зі струмом. Тепер вчені вирішили зафіксувати не тільки чисельне значення постійної Планка для кілограма, а й чисельне значення електричного заряду: для нового визначення ампера.





Одиниця температури, кельвін, до сьогодні визначалася як $1/273,16$ термодинамічної температури потрійної точки води. Це визначення створювало свої незручності, оскільки у воді завжди є домішки важких ізотопів водню й кисню, і вони можуть значно зсувати потрійну точку. Тому метрологам довелося створити окремий стандарт — Віденський стандарт усередненої океанської води. Її рецепт виглядає так: 0,00015576 моля дейтерію на моль звичайного водню; 0,0003799 моля ^{17}O на моль ^{16}O ; 0,0020052 моля ^{18}O на моль ^{16}O . Окрім того, щоби визначати точні значення в інших діапазонах, вченим доводилося контролювати точки плавлення і кипіння кількох інших речовин. Нове визначення Кельвіна засновано на постійній Больцмана, яка тепер буде точно дорівнювати $1,380649 \times 10^{-23} \text{ Дж} \times \text{K}^{-1}$ (джоулів на кельвін).

Моль до цього часу було прив'язано до кількості атомів у 0,012 кілограма стабільного вуглецю-12, тобто було пов'язано з масою. У новій версії системи *SI* він буде визначено через зафіксовану постійну Авогадро, тобто дорівнюватиме $6,02214076 \times 10^{23}$ частинок.

Проект реформи було схвалено 16 листопада 2018 року, але набуде чинності вона у Всесвітній день метрології, 20 травня 2019 року.

Значимість участі представників України у Генеральній Конференції з мір та ваг з офіційними повноваженнями від урядового органу для реалізації права обговорення і голосування за порядком денним Конференції переоцінити важко. Це результат і наслідок здійснення багаторічних зусиль з набуття міжнародного визнання національної метрологічної системи, логічним завершенням яких стало прийняття Закону України «Про приєднання України до Метричної Конвенції» і далі — набуття Україною 7-го серпня 2018 року статусу Країни — Члена Метричної Конвенції. До цієї події українські метрологічні установи йшли принаймні 15 років — з листопада 2003 року, коли за підписом заступника голови Держстандарту Україна приєдналася до Міжнародної Угоди «Про взаємне визнання

національних еталонів, сертифікатів калібрувань та сертифікатів вимірювань, що видаються національними метрологічними інститутами» (*CIPM MRA*).

Реалізацію процедур у рамках *CIPM MRA* з набуття міжнародного визнання національних еталонів України, калібрувальних та вимірювальних можливостей чотирьох метрологічних установ, від імені й за довіреністю яких було підписано Угоду, очолив урядовий орган з метрології — на той час Держстандарт України, а сьогодні Мінекономрозвитку України (МЕРТ). Отже МЕРТ перебрав на себе у рамках Угоди роль національного метрологічного інституту, а ННЦ «Інститут метрології», НДІ «Система», ДП «Укрметртестстандарт» та ДП «Івано-Франківськстандартметрологія» мають статус призначених інститутів. Кінцевою метою кожного із заходів у рамках *CIPM MRA* відносно певного виду вимірювань є отримання так званого «рядка», в англійській версії «*entry*», *CMC* у базі даних *KCDB* на офіційному сайті Міжнародного бюро мір та ваг (*BIPM*). Цей рядок містить дані стосовно найвищих метрологічних можливостей країни щодо певної величини, у певному діапазоні її значень з певною невизначеністю.

Уся різноманітність процедур і надзвичайно великий обсяг робіт з отримання рядків *CMC*, включаючи міжнародні звірення еталонів, міжнародний трирівневий аналіз результатів звірень, розроблення, впровадження відповідної системи якості, міжнародний аудит системи у рамках регіональної метрологічної організації *COOMET* і багато іншого — це предмет описання в окремій статті, якщо виявиться інтерес до цього.

Потрібно особливо відзначити, що довгий і багатотрудний шлях до визнання України у Метричній Конвенції завершився копіткою роботою персоналу департаменту технічного регулювання Мінекономрозвитку України з розроблення проекту Закону України «Про приєднання України до Метричної Конвенції» і послідовного підтримання просування законопроекту до його остаточного прийняття Верховною Радою.

І сьогодні департамент наполегливо працює над законом про повне приєднання до Міжнародної організації законодавчої метрології (*OIML*), що так само важливо для визнання можливостей України в оцінці відповідності засобів вимірювальної техніки — важливої умови подолання технічних бар'єрів у міжнародній торгівлі, просуванні товарів і послуг. 

Отримано / received: 09.01.2019.