



## АНАЛІЗ КАЛІБРУВАЛЬНИХ ТА ВИМІРЮВАЛЬНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ УКРАЇНИ

**П.І. Неєжмаков**, доктор технічних наук, старший науковий співробітник, генеральний директор ННЦ "Інститут метрології", м. Харків

**Ю.Ю. Буняєва**, начальник лабораторії ННЦ "Інститут метрології", м. Харків



П.І. Неєжмаков



Ю.Ю. Буняєва

*Наведено результати аналізу калібрувальних та вимірювальних можливостей (СМС) України та деяких країн Європи. Розглянуто загальну інформацію щодо СМС та бази даних ключових звірень (КСДВ) Міжнародного бюро мір та ваг. Наведено ілюстративні матеріали щодо кількості СМС з бази даних КСДВ.*

*The results of the analysis of calibration and measurement capabilities (CMC) of Ukraine and some European countries are given. The general information on CMCs and key comparison database (KCDB) of International Bureau of Weights and Measures is considered. The illustrative materials on the number of CMCs from KCDB database are provided.*

### 1. Калібрувальні та вимірювальні можливості. Визначення та сучасний стан

В Угоді про взаємне визнання національних еталонів і сертифікатів калібрування та вимірювань, що видаються національними метрологічними інститутами (СІРМ МРА) [1] записано, що *калібрувальна та вимірювальна можливість* – це найвищий рівень калібрування або вимірювання, що зазвичай пропонується клієнтам, виражений у значеннях довірчого рівня, що дорівнює 95 % ; іноді називається як найкраща вимірювальна можливість.

У контексті Угоди СІРМ МРА і Угоди Міжнародного співробітництва з акредитації лабораторій (ІЛАС), а також у зв'язку зі Спільною заявою

СІРМ-ІЛАС було погоджено таке загальне визначення, яке наведено в Документі СІРМ МРА-D-04 "Калібрувальні та вимірювальні можливості в контексті Угоди СІРМ МРА" [2]:

"СМС – це калібрувальна та вимірювальна можливість, що пропонується клієнтам на звичайних умовах:

- а) опублікована в базі даних ключових звірень ВІРМ (КСДВ) Угоди СІРМ МРА, або
- б) зазначена в галузі акредитації лабораторії, отриманої від підписанта Угоди ІЛАС.

#### Примітки:

1. Значення термінів "калібрувальна та вимірювальна можливість", (СМС), що використовується в Угоді СІРМ МРА, і "найкраща вимірювальна можливість" (ВМС), що історично використовується у зв'язку з невизначеностями, встановленими в галузі діяльності акредитованої лабораторії, є ідентичними. Терміни ВМС та СМС у поточних галузях застосування повинні тлумачитися аналогічним і однаковим способом.

2. Відповідно до заявленої СМС, вимірювання або калібрування повинні:

- проводитися відповідно до документованої процедури і мати встановлений бюджет невизначеності в рамках системи менеджменту національного метрологічного інституту (НМІ) або акредитованої лабораторії;
- проводитися на регулярній основі (включаючи на вимогу або для зручності за графіком у визначені дати протягом року);
- бути доступними для всіх клієнтів.

3. Визнається можливість деяких НМІ пропонувати "особливі" калібрування з виключно низькими невизначеностями, які проводяться не "за звичайних умов" і які, як правило, пропонуються лише невеликому колу клієнтів НМІ з метою наукових досліджень або з причин національної політики. Однак ці калібрування проводяться поза Угодою СІРМ МРА, не можуть використовувати заявленню еквівалентності, складене JCRB, та

не можуть використовувати логотип Угоди CIPM MRA. Вони не можуть пропонуватися клієнтам, які будуть використовувати їх для забезпечення комерційної, регулярно доступної послуги. Проте НМІ, які можуть запропонувати послуги з меншою невизначеністю, ніж невизначеність, зазначена в KCDB Угоди CIPM MRA, можуть подавати їх на експертизу СМС, з тим щоб, де це доречно, визнати їх доступними на регулярній основі.

4. Як правило, існує чотири способи вираження повного заявленого невизначеності (діапазон, рівняння, фіксоване значення та матриця). Невизначеності завжди повинні відповідати Керівництву за вираженням невизначеності у вимірюваннях (GUM) та включати компоненти, зазначені в протоколах відповідних ключових звірень консультативних комітетів Міжнародного комітету мір та ваг (CIPM). Ці протоколи можна знайти у звітах зі звірень, опублікованих у KCDB Угоди CIPM MRA, ключових або додаткових.

5. Вклади у зазначену в сертифікаті калібрування невизначеність, які пов'язані з роботою приладу клієнта до чи після його калібрування або вимірювання в лабораторії чи НМІ та включають транспортні невизначеності, зазвичай повинні бути включені із заявленого невизначеності. Вклади в зазначену в сертифікаті калібрування невизначеність, під час його калібрування в НМІ або акредитованій лабораторії, включають виміряні робочі характеристики приладу, що пройшов випробування. Заявлені невизначеності СМС враховують цю ситуацію, включаючи узгоджені значення, що забезпечуються найкращими існуючими приладами. Це також має місце у разі, коли один НМІ забезпечує простежуваність до SI для іншого НМІ, часто використовуючи прилад, що не випускається серійно.

5а. Там, де НМІ заявляють свої СМС клієнтам за допомогою таких послуг, як калібрування або передача опорного значення, заявленого невизначеності, що подається НМІ, має, як правило, включати фактори, пов'язані з процедурою вимірювання, так, як воно проводитиметься на зразку, тобто необхідно розглядати типові матричні ефекти, перешкоди і т. ін. Такі заявленого невизначеності, як правило, не включатимуть вклади від стабільності або неоднорідності матеріалу. Однак від НМІ можуть зажадати оцінити такі ефекти і вказати в сертифікаті вимірювання відповідну невизначеність. Оскільки невизначеність, пов'язана з указаною СМС, не може передбачити ці ефекти, невизначеність СМС повинна ґрунтуватися на аналізі характерних показників методу щодо типових стабільних та однорідних зразків.

5б. Там, де НМІ заявляють свої СМС клієнтам за допомогою надання сертифікованих стандартних зразків (CRM), зазначення невизначеності, приписаної CRM та заявленої в СМС, має супроводжуватися зазначенням впливу матеріалу

(особливо ефекту нестабільності, неоднорідності і розміру зразка) на невизначеність вимірювання для кожного сертифікованого значення величини. Сертифікат CRM також повинен містити інструкції щодо використання за призначенням і обмеженням у використанні матеріалу.

6. СМС НМІ, опубліковані в KCDB, забезпечують унікальну схему простежуваності до SI, що пройшла зовнішню експертизу, або, там де це неможливо, до узгоджених установленим зразковим мірам або відповідним еталонам вищого порядку. Експертам з акредитації лабораторій рекомендується консультиватися з KCDB (<http://kcdb.bipm.org>) при проведенні експертизи заявленої невизначеності та бюджету лабораторії для забезпечення відповідності заявлених невизначеностей невизначеностям НМІ, через який лабораторія заявляє простежуваність.

7. Національні еталони, що підтримують СМС з НМІ або ПІ, чи самі є первинними реалізаціями SI, чи простежуються до первинних реалізацій SI (або, де це є неможливим, до узгоджених установлених зразкових мір або відповідних еталонів вищого порядку) в інших НМІ за допомогою Угоди CIPM MRA. Інші лабораторії, об'єднані Угодою ІЛАС (тобто акредитовані Органом з акредитації, що є повноправним членом ІЛАС), також забезпечують визначну схему простежуваності до SI через її реалізацію в НМІ, які є підписантами Угоди CIPM MRA, відображаючи тим самим значення Угоди CIPM MRA і Угоди ІЛАС, що доповнюють одна одну.

8. Оскільки різні сторони погоджуються з тим, що використання зазначених в цьому документі визначень і термінів повинно заохочуватися, примушення до цього не повинно бути.

У KCDB СМС описується вимірюваною величиною та діапазоном вимірюваної величини і характеризується невизначеністю, яка, як правило, має довірчий рівень 95 %, а також методом або приладом, що використовуються, значеннями впливних параметрів за їх наявності і будь-якими іншими корисними відомостями.

СМС визнаються міжнародною метрологічною спільнотою і публікуються в KCDB Міжнародного бюро мір та ваг (BIPM) [3].

Для взаємного визнання національних еталонів та сертифікатів калібрувань та вимірювань CIPM MRA встановлює необхідність:

- наявності результатів ряду ключових звірень, що проводяться за чітко встановленими методиками, які ведуть до кількісної міри ступеня еквівалентності національних еталонів;
- використання кожним НМІ відповідної системи менеджменту якості;
- успішної участі кожного НМІ у відповідних додаткових звіреннях.

Ступінь еквівалентності, що відноситься до опорного значення ключового звірення еталона або результатів вимірювань, – це ступінь, в якому зна-

чення еталона узгоджується з опорним значенням ключового звірення. Кількісно ступінь еквівалентності еталона виражається у двох термінах: відхиленням від опорного значення ключового звірення і невизначеністю цього відхилення, що розраховується при довірчому інтервалі 95 % .

Станом на 1 березня 2016 р. у KCDB зареєстровано 24591 СМС-рядок, з них за розділами:

- 14462 – загальні фізика;
- 4040 – іонізуючі випромінювання;
- 6078 – хімія.

До розділу загальної фізики входять такі галузі:

- акустика, ультразвук та вібрація (AUV);
- електрика та магнетизм (EM);
- довжина (L);
- маса та пов'язані з нею величини (M);
- фотометрія та радіометрія (PR);
- термометрія (T);
- час та частота (TF).

Динаміку змін сумарної кількості СМС, зареєстрованих у KCDB з 2008 по 2016 рр., наведено на рис. 1 [4].

З рисунка можна побачити, що постійне збільшення СМС спостерігалось до березня 2013 р. В останні роки кількість СМС зменшувалася за рахунок видалення старих СМС або переміщення їх у “сіру” зону, або використання “таблиць невизначеності” в електромагнітних вимірюваннях. Хоча у середньому кількість опублікованих СМС є стабільною, фактично, присутній постійний приріст кількості у розмірі близько 900 за рік через подані нові СМС.

Наразі 72 країни-члени Метричної конвенції та 22 країни з 40 асоційованих країн-членів Генеральної конференції з мір та ваг (CGPM), які підписали CIPM MRA, опублікували, принаймні, один рядок СМС у KCDB (рис 2).

Звернемо увагу, що серед усіх країн із асоційованим членством в CGPM Україна займає другу позицію та є лідером серед країн Європи за кількістю СМС. Кількість уже опублікованих СМС значною мірою залежить від кількості звірень, в яких НМІ країни брав/бере участь. Із графіка, наведеного на рис. 3, видно, що наукові метрологічні центри (НМЦ) України активно беруть участь у ключових та додаткових звіршеннях.

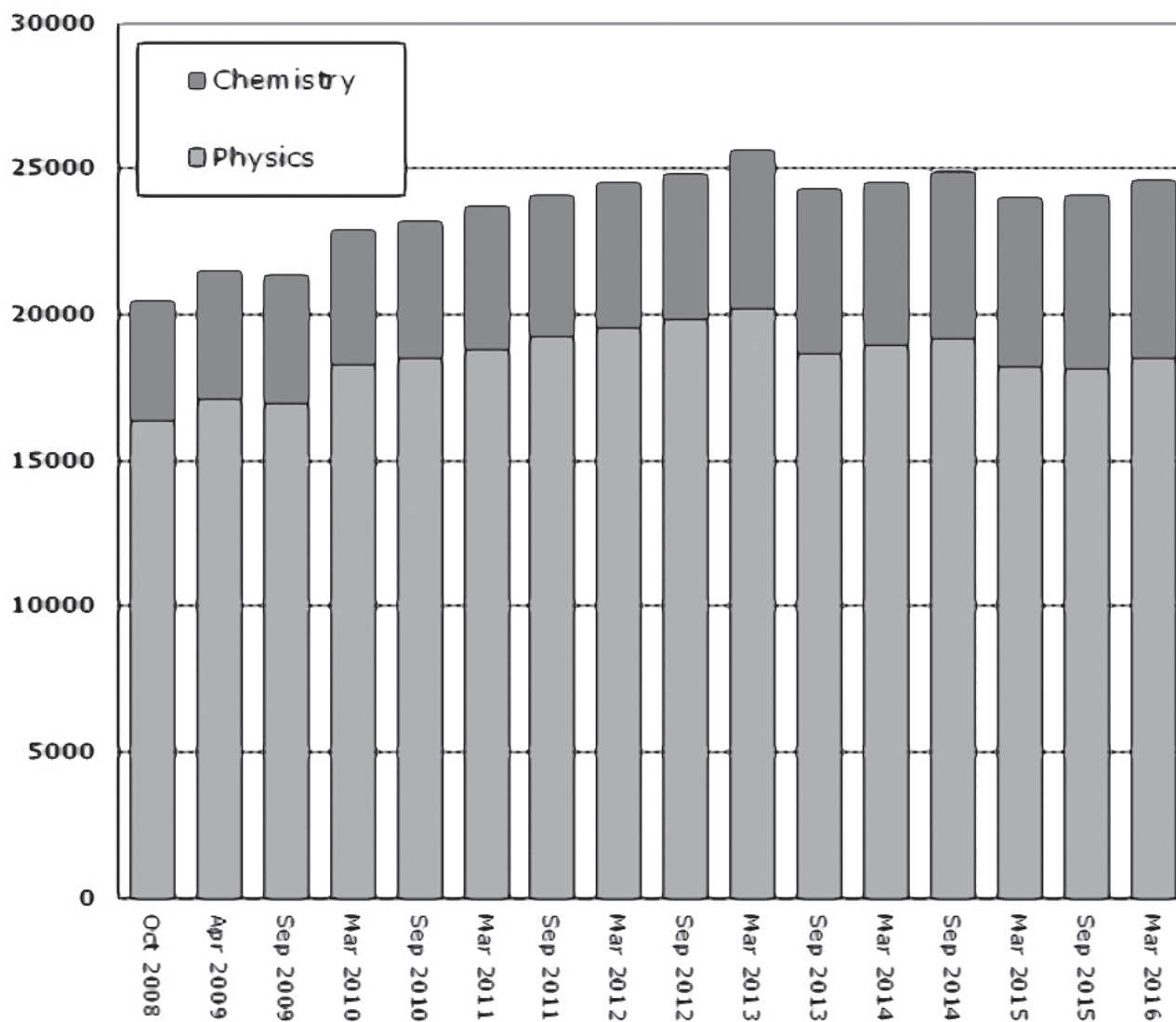


Рис. 1. Кількість СМС, зареєстрованих у KCDB з 2008 р.:

■ – хімія; ■ – фізика

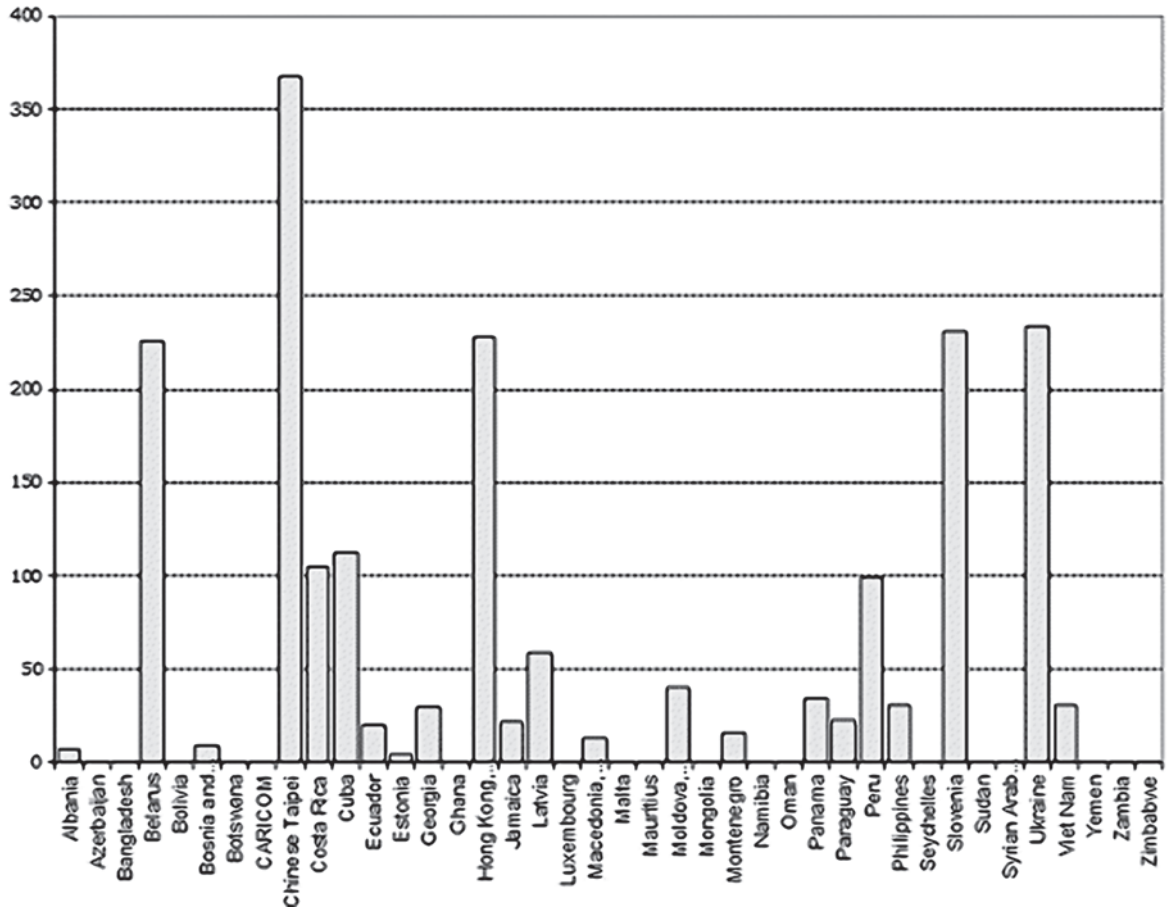


Рис. 2. Кількість СМС, опублікованих асоційованими країнами-членами CGPM, станом на 1 березня 2016 р.

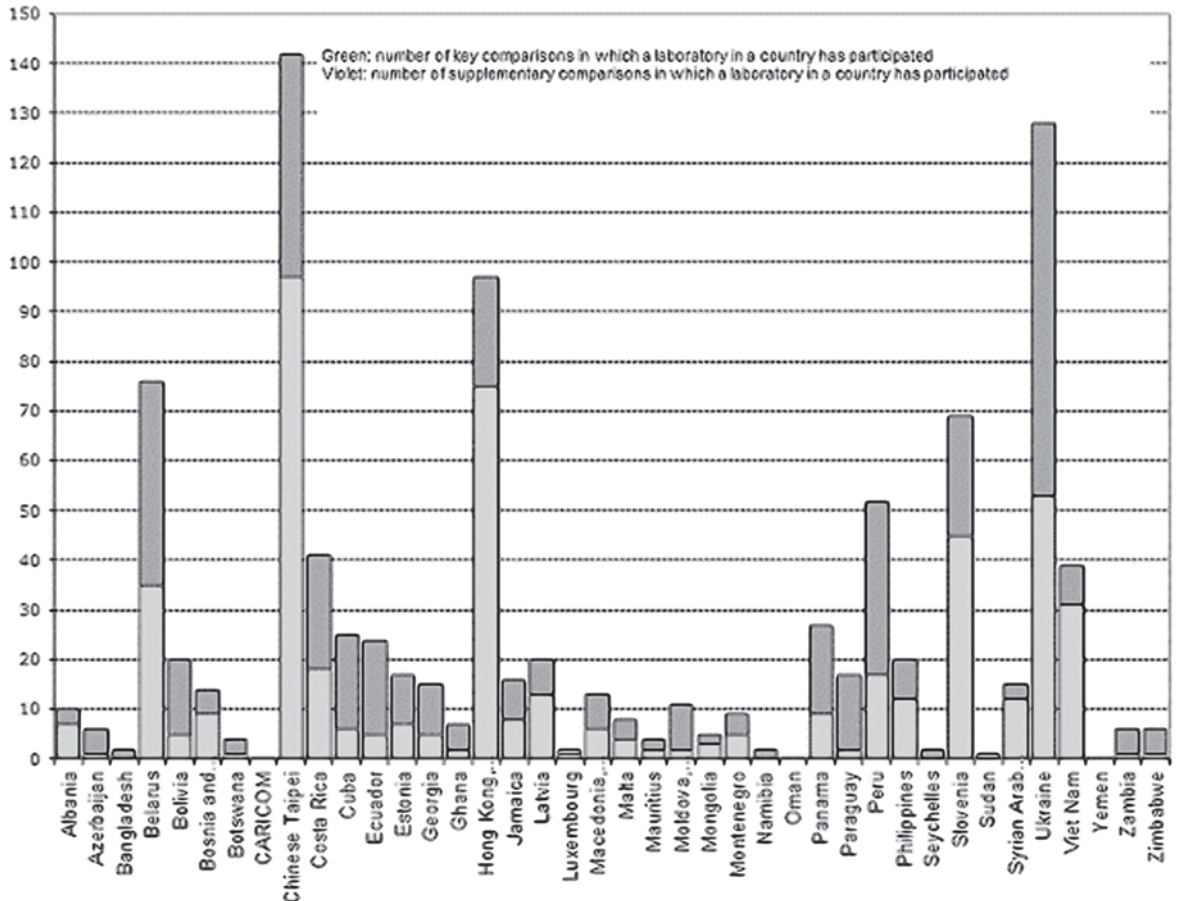


Рис. 3. Кількість ключових та додаткових звірень, в яких беруть участь асоційовані країни-члени CGPM, станом на 1 березня 2016 р.: ■ – ключові звірення; ■ – додаткові звірення

Розподіл кількості СМС за метрологічними галузями та НМЦ України

	Загалом	AUV	EM	L	M	PR	QM	RI	T	TF
Україна	234	29	56	25	11	0	24	15	44	30
ННЦ “Інститут метрології”	135	-	19	21	6	-	-	15	44	30
ДП “Укрметртест-стандарт”	67	-	37	4	2	-	24	-	-	-
ДП НДІ “Система”	29	29	-	-	-	-	-	-	-	-
ДП “Івано-Франківськ-стандартметрологія”	3	-	-	-	3	-	-	-	-	-

Ще дуже важливим показником є кількість опублікованих СМС відносно до кількості ключових звірень, в яких взято участь НМІ країни. За цим показником Україна перевищує середній показник 3,3. За результатами цих звірень найближчим часом можна очікувати публікацію нових СМС України в KCDB.

## 2. Аналіз СМС України

Успішна участь наукових метрологічних центрів України в ключових та додаткових звірненнях [5] дозволила опублікувати 234 СМС-рядки в базі даних KCDB станом на 1 березня 2016 р.

Інформацію щодо розподілу загальної кількості СМС України за метрологічними галузями та НМЦ наведено в табл. 1.

Як бачимо, найбільша кількість СМС-рядків України припадає на вимірювання з EM та T. Але, маючи всього лише по одному державному первинному еталону в галузі AUV та TF, кожен із цих еталонів має майже найбільшу кількість

СМС серед усіх еталонів України. Зворотна ситуація склалася в галузі PR. Маючи одинадцять первинних еталонів, жоден НМЦ України не опублікував жодного СМС-рядка. Наразі галузь фотометрії набуває все більшого значення для світової економіки через важливість використання енергоефективних та енергозберігаючих технологій.

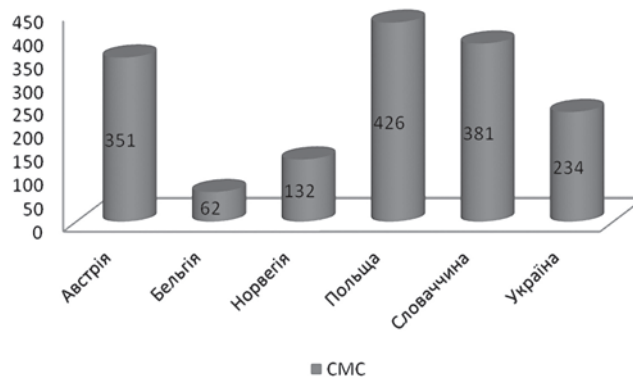


Рис. 4. Загальна кількість СМС України та деяких країн Європи

Таблиця 2

Державні первинні еталони України що мають найбільшу кількість СМС-рядків

Назва та номер еталона за Реєстром	НМЦ України	Кількість СМС-рядків в KCDB
Державний первинний еталон одиниці температури кельвіна в діапазоні від 273,16 до 1357,77 К (ДЕТУ 06-05-98)	ННЦ “Інститут метрології”	35
Державний первинний еталон одиниць часу та частоти (ДЕТУ 07-01-97)	ННЦ “Інститут метрології”	30
Державний первинний еталон одиниці звукового тиску в повітряному середовищі (ДЕТУ 10-01-11)	ДП НДІ “Система”	29
Державний первинний еталон одиниці довжини (ДЕТУ 01-03-98)	ННЦ “Інститут метрології”	15
Державний первинний еталон одиниці молярної частки компонентів у газових середовищах (ДЕТУ 05-01-95)	ДП “Укрметртест-стандарт”	15
Державний первинний еталон одиниці активності радіонуклідів (ДЕТУ 12-02-98)	ННЦ “Інститут метрології”	14

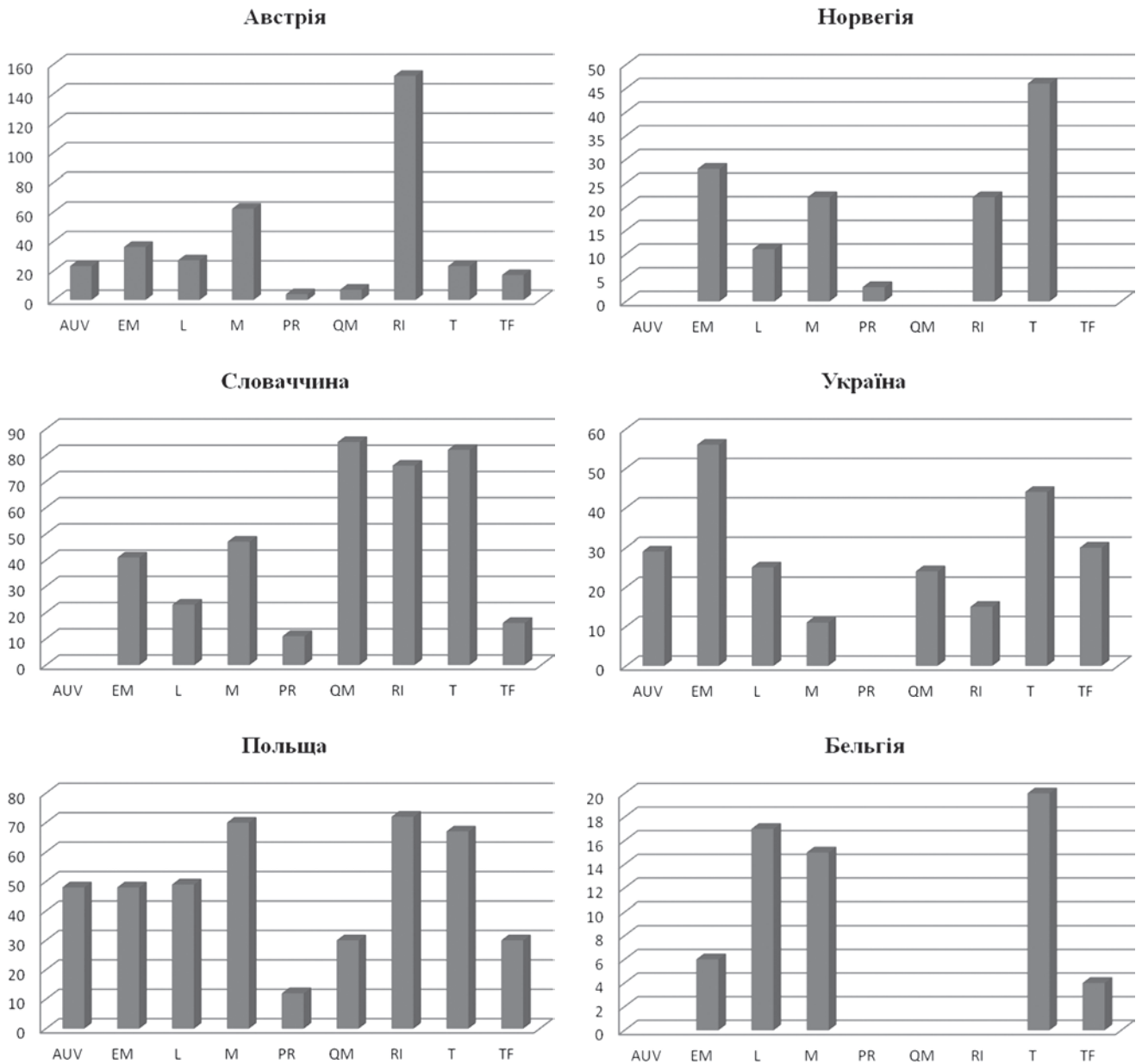


Рис. 5. Розподіл СМС України та деяких країн Європи за метрологічними галузями

Відзначимо, що більше половини всіх СМС-рядків України приходить лише на шість державних первинних еталонів (табл. 2), які найбільш затребувані для виконання метрологічних завдань.

Для проведення порівняльного аналізу калібрувальних та вимірювальних можливостей України для

прикладу було обрано країни Європи середнього рівня за розвитком метрологічної інфраструктури та активності участі в СІРМ МРА: Австрію, Бельгію, Норвегію, Польщу та Словаччину. Загальну кількість СМС цих країн станом на 1 березня 2016 р. наведено на рис. 4 [6].

Розподіл усіх СМС за метрологічними галузями для вказаних країн наведено на рис. 5.

## Висновки

Результати проведеного аналізу калібрувальних та вимірювальних можливостей України показують, що Україна займає впевнену середню позицію серед розвинених країн Європи, незважаючи на те, що країна має статус асоційованого члена в CGPM та не є членом ЄС. Але відставання України за кількістю СМС від країн-лідерів є ще дуже великим.

Основною перешкодою до нарощування власних СМС, визнаних міжнародною метрологічною спільнотою, є недостатня активність участі НМЦ України у звіреннях національних еталонів.

Важливими віхами на шляху подолання цього відставання є:

- підписання Метричної конвенції, що дасть можливість брати безпосередню участь у ключових звіреннях консультативних комітетів;
- створення та вдосконалення державних первинних еталонів, які за своїми метрологічними характеристиками відповідатимуть еталонам розвинених країн.

## Список літератури

1. Mutual recognition of national measurement standards and of calibration and measurement certificates issued by national metrology institutes. – Paris, 14 October 1999 [Electronic recourse]. – Режим доступу: <http://www.bipm.org/utis/en/pdf/CIPM-MRA-2003.pdf>
2. Документ CIPM MRA-D-04 “Калибровочные и измерительные возможности в контексте Соглашения CIPM MRA” // Інформаційний бюлетень з міжнародної метрології. – 2014. – № 1. – С. 34–52.
3. The BIPM key comparison database [Electronic resource]. – Режим доступу: <http://kcdb.bipm.org>.
4. KCDB Report [Electronic resource]. – Режим доступу: <http://www.bipm.org/jsp/en/ViewKCDBReport.jsp>.
5. Неєжмаков П.І. Аналіз структури еталонної бази України та участі України у ключових та додаткових звіреннях національних еталонів / П.І. Неєжмаков, Ю.Ю. Буняєва // Український метрологічний журнал. – 2015. – № 4. – С. 3–9.
6. Number of CMCs by metrology area and by country [Electronic resource]. – Режим доступу: [http://www.bipm.org/utis/common/pdf/KCDB\\_CMCs.pdf](http://www.bipm.org/utis/common/pdf/KCDB_CMCs.pdf).