

Інфраструктура вимірювань – футурологічні міркування щодо її майбутнього

Самойленко О. М.¹ 

¹ ДП «Укрметргестстандарт», Україна

E-mail: a_samoilenko@ukr.net

Анотація

Футурологія, як наука про передбачення майбутнього розвитку людства, має велике значення для планування конкретних кроків, які треба зробити сьогодні.

Зроблена спроба такого наукового передбачення щодо розвитку такої важливої частини інфраструктури вимірювань як звірення еталонів, міжлабораторні порівняння результатів вимірювань та калібрування. Сучасний стан цієї частини інфраструктури вимірювань не відповідає тим викликам, які кидає складний і швидкозмінний світ навколо. Звірення еталонів проводяться недостатньо часто. Коло учасників обмежене. СМС-рядки одержати надто складно. Міжлабораторні порівняння та калібрування відокремлені від звірень тощо.

Обґрунтовується ідея удосконалення інфраструктури вимірювань в майбутньому, шляхом використання можливостей та переваг, які надає нам всім Глобальна інформатизація.

Відповідь на сучасні виклики вбачається у створенні **Всеохоплюючої мережі простежуваності вимірювань** (далі – **Мережі**). Передбачається, що Мережа буде максимально автоматизованою, а відповідно, швидкою, динамічною, всеохоплюючою. Звірення різного рівня, для різних видів та підвидів вимірювань, в Мережі будуть започатковуватися без обмежень, швидко та легко. Вони зможуть проводитися перманентно, тобто без зупинок. Міжлабораторні порівняння та калібрування в Мережі будуть безпосередньо прив'язані до звірень еталонів. Міжлабораторні порівняння, започатковані в Мережі, будуть відрізнятися від звірень еталонів тільки тим, що започатковуватимуться для робочих еталонів та робочих приладів. Суб'єктивний людський фактор започаткування, планування, оброблення та аналізування результатів вимірювань в Мережі буде значно знижений.

Опубліковано

20.06.22



Сформульована мета, основні (але не всі) завдання та принципи роботи такої Мережі в майбутньому. Висвітлюються її переваги.

Ключові слова: Всеохоплююча мережа простежуваності вимірювань, звірення еталонів, міжлабораторні порівняння результатів вимірювань, калібрування, невизначеність.

1. Вступ

Без погляду у майбутнє, якщо це торкається того, що створює людина, не може бути такого, щоб це майбутнє коли-небудь відбулося. Дивлячись у майбутнє не ставиться завдання кардинально змінити порядок, що склався у сфері звірень еталонів, міжлабораторних порівнянь результатів

вимірювань та калібрувань сьогодні. Ставиться завдання обговорити з колегами сценарій можливих еволюційних змін у цій сфері у майбутньому.

Одним зі шляхів розвитку пропонується створення **Всеохоплюючої мережі простежуваності вимірювань**. Вона, на думку автора, органічно з'єднає звірення еталонів, міжлабораторні порівняння результатів вимірювань та калібрування.

Тим самим охопити вимірювання, які виконуються Метрологічною спільнотою від національних та призначених метрологічних інститутів до калібрувальних, вимірювальних та випробувальних лабораторій. З самої назви Мережі випливає, що основною метою її створення буде прозоре, швидке та надійне забезпечення простежуваності вимірювань. Слово «Всеохоплююча» означає, що до неї, у добровільному порядку, можуть бути інтегровані складові інфраструктури вимірювань – від окремих калібрувальних та випробувальних лабораторій до національних метрологічних інститутів та, можливо, метрологічних систем галузей промисловості, сільського господарства, медицини тощо.

Свідомо уникається конкретизація деяких питань, наприклад, участь і роль у Мережі, що описується, зацікавлених міжнародних організацій, національних і призначених метрологічних інститутів, органів з акредитації, провайдерів, лабораторій підприємств та калібрувальних лабораторій тощо (надалі – метрологічної Спільноти). Уникається також докладний аналіз сучасного стану інфраструктури вимірювань та міжнародних документів, на які вона спирається. Ця інфраструктура та документи добре відомі. Порівнюються фрагменти нових пропозицій з фрагментами існуючої інфраструктури. Викладаються більш докладно деякі важливі організаційні і технічні питання, що торкаються національних метрологічних інститутів, призначених інститутів та різноманітних лабораторій – безпосередніх, у майбутньому, користувачів Мережі (надалі – лабораторій).

Звірення еталонів, міжлабораторні порівняння результатів вимірювань та калібрування мають не тотожні процедури, але мають більше чи менше спільного для різних видів та підвидів вимірювань. Можна стверджувати, що ці процедури дуже схожі організаційно. Вони, часто, тотожні у сенсі одержаного кінцевого результату. Наприклад, під час звірень еталонів, міжлабораторних порівнянь чи калібрувань таких еталонів як кінцеві міри довжини, будуть одержані значення їх довжини та її невизначеності. Цей результат не залежить від наяв-

них еталонів, методів вимірювань та оброблення їх результатів. Виходячи із цього пропонується розглядати, у межах даної публікації, вимірювання під час звірень еталонів, міжлабораторних порівнянь результатів вимірювань та калібрувань, придатними для опрацювання в єдиній Всеохоплюючій мережі простежуваності вимірювань.

В перспективі Мережа це зведення міжнародних домовленостей, правил, процедур, описів математичного апарату, програмного забезпечення, баз даних результатів вимірювань та результатів їх оброблення, баз статистичних даних щодо стаціонарних та пересувних еталонів інститутів та лабораторій, а також, адміністративних, організаційних та технічних засобів, що забезпечують її функціонування.

2. Чи потрібна нова Мережа?

Перш ніж наважитися оприлюднити основні засади створення Мережі автор неодноразово задавав собі декілька запитань, які можуть виникнути у будь-якого метролога і не тільки у тих, хто читає ці рядки. Тому логічно, обґрунтування створення Мережі побудувати як низку запитань та відповідей.

Чи буде потреба у Мережі, що пропонується?

Так. Однією з основних причин створення Мережі може бути незадоволена потреба лабораторій у звіреннях еталонів та раундах міжлабораторних порівнянь результатів вимірювань.

Чи завжди влаштовують всіх терміни, у які проводяться звірення та порівняння?

Ні, деякі звірення та порівняння організуються не часто і тривають роками, що не може влаштувати нікого.

Чи не заважкий тягар лягає на пілотну лабораторію, яка береться за організацію звірень?

Так, саме це часто буває причиною зволікань з започаткуванням, проведенням та закінченням звірень.

Чи задовольняють терміни публікації СМС рядків за результатами звірень?

Також ні, з певних об'єктивних та суб'єктивних причин ця процедура також іноді триває роками.

Чи є причиною великих термінів занадто висока бюрократизація і відсутність автоматизації?

Так.

Чи є виходом з ситуації формалізація процедур звірень та порівнянь з метою їх подальшої автоматизації?

Так.

Чи є потреба в інших лабораторіях у порівняннях та міжлабораторних порівняннях не тільки в національних та призначених інститутах?

Так.

Чи достатньо, у деяких видах та підвидах вимірювань, проводиться звірень та порівнянь, для надійної реалізації (відтворення) одиниць вимірювань?

Ні.

Чи повністю виключає існуюча процедура звірень та порівнянь суб'єктивний фактор?

Ні.

Чи є потреба зменшувати суб'єктивний фактор шляхом подальшої формалізації процедур та автоматизації?

Так.

Перелік питань може бути продовжений.

Якщо читач так чи інакше відповів на ці запитання під час їх читання то вже, тим самим, долучився до дискусії щодо шляхів побудови Мережі.

У підтвердження актуальності запитань, наведених вище, була проаналізована доповідь [1]. Там означені такі самі або аналогічні проблеми. Головна – великі терміни між звіреннями або їх повна відсутність за потреби довести свої вимірювальні можливості та опублікувати свої СМС-рядки. Наявне протиріччя між «Досвідче-

ними» НМІ («issuing NMI» [1]), які мають достатню для них кількість СМС-рядків в базі даних JCRB та «Молодими» НМІ («applicant NMI» [1]), які не мають таких рядків, хочуть мати, але не мають такої можливості. Крім того, коло учасників ключових звірень, як правило, обмежується «Досвідченими» НМІ. «Молодими» НМІ треба чекати додаткових звірень.

Виходом з ситуації пропонуються так звані гібридні звірення еталонів. Докладно схема таких звірень наведена в [1]. Коротко їх сутність полягає в наступному. Артефакт калібрується «Молодим» НМІ. Матеріали надсилаються голові технічного комітету регіональної метрологічної організації за видом вимірювань. Артефакт калібрується «Досвідченим» НМІ. Матеріали надсилаються так само. Технічний комітет виступає третьою незалежною стороною. Він порівнює результати калібрувань і публікує звіт. До аналізування звіту залучаються сторонні експерти. Якщо результати калібрувань збігаються в межах заявленої невизначеності, пропонується надавати можливість «Молодому» НМІ одержувати СМС-рядок. Якщо ні, вся провина за велику розбіжність в результатах лягає на «Молодий» НМІ. В [1] говориться про певну підтримку Спільнотою таких пропозицій, але до визнання та практичної реалізації справа ще не дійшла. Мабуть залишаються сумніви в неупередженості процесу гібридних звірень.

Якщо глибоко проаналізувати [1], то в гібридних звіреннях є раціональне зерно, але виникають питання негативного характеру та логічні відповіді на них.

Чи виключається суб'єктивний фактор організації, проведення, аналізування, та опублікування результатів гібридних звірень?

Ні. В якійсь мірі він збільшується, тому повної підтримки та довіри Спільноти немає.

Чи присутня в пропозиціях [1] автоматизація процесу організації, проведення, аналізування, оброблення та використання результатів гібридних звірень?

Ні. Це суто ручна, бюрократична процедура, яка не виключає суб'єктивізму.

Чи присутній науковий підхід до оброблення та аналізування кінцевих результатів гібридних звірень? Чи можливий такий підхід?

Ні. Відсутній зовсім. Всі розбіжності списуються на «Молодий» НМІ. Не передбачається накопичення та аналізування статистичних даних за результатами перманентних вимірювань.

Чи йде мова про участь у гібридних звіреннях інших «Молодих» але потужних лабораторій крім НМІ?

Ні. Вони залишаються поза процесом.

Перелік недоліків запропонованих гібридних звірень можна продовжити.

3. Суб'єкти та об'єкти вимірювань

В [2] запропоновано декілька узагальнених моделей вимірювань, які пропонується застосовувати для оброблення результатів вимірювань під час звірень еталонів, міжлабораторних порівнянь та калібрувань. Ці моделі спеціально розроблялися для застосування у Мережі. Тому як вони призначені для оброблення різних результатів вимірювань за різними видами та підвидами вимірювань їх неможливо було викласти без введення двох нових узагальнюючих термінів – суб'єкти та об'єкти вимірювань.

В [2] наведена аргументація, чому необхідно ці терміни ввести. Прочитуємо нижче їх визначення наведені в [2]. Їх введення відштовхується від визначення вимірювання, наведеного в [3]: «2.1 вимірювання – експериментально отримані одне або більше значень величини, які можуть обґрунтовано приписані величині».

Йому не протирічить таке визначення: **вимірювання** – процес взаємодії суб'єкта вимірювань та об'єкта вимірювань, результатом якого є значення величини. Це визначення наведене для того, щоб увести два нових важливих терміни.

Суб'єкт вимірювань – той, що так чи інакше реалізує або відтворює значення величини під час вимірювань.

Об'єкт вимірювань – той, якому обґрунтовано приписується значення величини за результатами вимірювань.

Терміну суб'єкт вимірювань відповідають вимірювальний прилад (інструмент), вимірювальна система, компаратор, датчик, лічильник тощо.

Терміну об'єкт вимірювань відповідають однозначна або багатозначна міра, стандартний зразок речовини, еталонна газова суміш, еталонна установка, наприклад, еталонна силовідтворювальна установка, польовий лінійний компаратор тощо.

Виходячи з запропонованих термінів та визначень їх понять, як суб'єкти так і об'єкти вимірювань можуть бути як пересувними так і не пересувними (стаціонарними). Тобто, між лабораторіями під час звірень еталонів, міжлабораторних порівнянь та калібрувань можуть знаходитися в обігу як об'єкти так і суб'єкти вимірювань, в залежності від специфіки виду та підвиду вимірювань. Це треба постійно пам'ятати, читаючи наступний матеріал.

Результати вимірювань та параметри суб'єктів та об'єктів вимірювань пов'язані моделями вимірювань. Найбільш простою та загальною моделлю вимірювань є модель прямих вимірювань значень величини. Вона широко застосовується та так, чи інакше описана в [4-11].

В ускладненому, більш універсальному вигляді, ця модель докладно розглянута в [2, 12-14] стосовно оброблення результатів звірень еталонів. Наведемо її для прикладу:

$$x_j^i = y^i + d_j + x_j^i \cdot b_j \quad (1)$$

де x_j^i – виміряне суб'єктом вимірювань з номером j значення величини, що зберігається об'єктом вимірювань з номером i ;

y^i – значення величини, що зберігається об'єктом вимірювань з номером $i = 1 \dots i \dots n$ (**параметр об'єкту вимірювань**);

d_j – **адитивний параметр суб'єкта вимірювань** з номером $j = 1 \dots j \dots k$;

b_j – мультиплікативний параметр суб'єкта вимірювань з номером $j = 1 \dots j \dots k$.

В [2], крім моделі (1), запропоновано ще п'ять аналогічних моделей. Наприклад, в [15] докладно розглянута модель прямих порівнянь значень величини вимірюваних декількома інтерферометрами, а в [16] прямих вимірювань приростів значень величини з [2]. Так чи інакше, за запропонованими моделями визначаються значення величини, що зберігаються об'єктами вимірювань і адитивний та мультиплікативний параметри суб'єктів вимірювань. Застосування декількох таких узагальнених моделей вимірювань в Мережі дозволить охопити в ній широке коло еталонів та вимірювальних приладів (інструментів) за різними видами та підвидами вимірювань.

Ці моделі вимірювань носять універсальний характер і можуть бути розповсюджені на міжлабораторні порівняння та калібрування. Мається на увазі, що y^i може бути опорним значенням ключових звірень або просто опорним значенням для звірень більш низького рівня. Може бути приписаним значенням під час міжлабораторних порівнянь чи результатом калібрування міри. Параметри суб'єкта вимірювань d_j та b_j можуть бути адитивними та мультиплікативними ступенями еквівалентності під час звірень, характеристиками функціонування під час міжлабораторних порівнянь за [17, 18], адитивними та мультиплікативними зсувами (2.18 VIM [3]) під час калібрування за [19] та відповідними поправками (2.53 VIM [3]) під час вимірювань.

Далі, якщо ми будемо вживати термін вимірювання, то будемо мати на увазі, що вони можуть виконуватися під час звірень еталонів, міжлабораторних порівнянь або калібрувань. Будемо вважати, що такі вимірювання можуть окремо або сумісно оброблятися в Мережі.

Дуже важливо, що параметр d_j можна інтерпретувати як оцінку адитивної систематичної похибки (зсуву) відтворення суб'єктом вимірювань нуля шкали вимірюваної величини. А параметр b_j можна інтерпретувати як оцінку мультиплікатив-

ної систематичної похибки (зсуву) одиниці вимірювань, яку реалізує або відтворює суб'єкт вимірювань.

Таким чином, використовуючи запропоновані терміни, можливо описати Мережу загальну для багатьох видів та підвидів вимірювань.

4. Футурологічні міркування щодо концепції роботи нової Мережі

4.1. Мета та завдання створення Мережі

Наразі існує усталений порядок взаємного визнання еталонів, калібрувальних та вимірювальних можливостей національних метрологічних інститутів (НМІ) закріплений в [20, 21]. Одним з центральних питань взаємного визнання є демонстрування простежуваності результатів вимірювань до одиниць вимірювань SI. Необхідними атрибутами демонстрування простежуваності є демонстрування нерозривності ланцюга звірень-калібрувань та невизначеності вимірювань за цим ланцюгом у кожній його ланці.

На нашу думку зараз існує деклараційний порядок демонстрування простежуваності.

Під час ключових звірень організованих Міжнародним бюро мір та ваг (МБМВ), ключових та додаткових звірень організованих регіональними метрологічними організаціями, НМІ супроводжують результати своїх вимірювань деклараціями щодо їх невизначеності. Ця невизначеність є апіорною по відношенню до наступних звірень тому, як підтверджена тільки внутрішніми дослідженнями, розрахунками та статистичними даними лабораторії. Така невизначеність є нічим іншим ніж декларацією. Для її підтвердження і потрібні звірення. Не вдаючись в деталі, те саме можна сказати і як про міжлабораторні порівняння, так і про процедуру акредитації калібрувальних лабораторій взагалі.

Участь у звірваннях є успішною, коли ступінь еквівалентності еталона [5], на якому виконувались вимірювання під час звірень, менша за декларовану розширену невизначеність в даній точці вимірювань. При цьому, всім відома проблема, коли

задекларована НМІ апріорна невизначеність вимірювань може бути як більша так і менша за реальну у декілька разів.

На підставі успішних результатів звірень НМІ декларують свої вимірювальні можливості у вигляді СМС-рядків. СМС-декларації доповідаються на технічних комітетах РМО, обговорюються колом експертів, виправляються за їх зауваженнями (якщо такі є) та приймаються їх голосуванням.

В документі Консультативного комітету з електромагнетизму МБМВ [22] щодо планування, організації звірень, оброблення результатів вимірювань за ними та звітування, йде посилання на [5], як на рекомендацію, яку треба використовувати під час оброблення результатів вимірювань. В [5] свідомо не йдеться про статистичне оцінювання результатів звірень. Там йдеться саме про підтвердження декларацій учасників звірень щодо заявленої невизначеності вимірювань. Підтвердження декларацій учасників звірень, щодо невизначеності їх вимірювань, носить переважна більшість опублікованих звітів про звірення.

Акредитація лабораторій національними органами згідно з [19] є бюрократичною процедурою з підтвердження декларації у вигляді галузі акредитації. Обов'язковою умовою підтвердження задекларованої галузі є наявність простежуваності, яка реалізується через калібрування еталонів лабораторії в інших акредитованих лабораторіях або НМІ, які мають СМС-рядки [20].

Проведення міжлабораторних порівнянь результатів вимірювань згідно з [17] є локальною процедурою з підтвердження професійного рівня персоналу калібрувальних, випробувальних та вимірювальних лабораторій. Своему результату вимірювань лабораторія приписує невизначеність, тим самим декларує свої вимірювальні можливості. Відношення відхилення результату вимірювань від опорного значення до сумарної невизначеності надає для аналізу характеристики функціонування лабораторії. Характеристики функціонування накопичуються та аналізуються згідно з [7]. Оцінювання реальної невизначеності вимірювань за накопиченими статистичними даними не передбачається.

Ні в якому разі не можна стверджувати, що згадане вище декларування з подальшим підтвердженням здійснюється безпідставно і що це є неналежною процедурою. Тим не менш, з огляду на декларативний характер, існуючий порядок демонстрування простежуваності не можна назвати всеохоплюючим та достатньо надійним.

Мета створення Всеохоплюючої мережі простежуваності вимірювань – поступовий перехід до порядку демонстрування простежуваності через показники одержані за статистичними даними вимірювань.

Статистичному аналізу піддаються вимірювання одержані лабораторіями за певний період часу. Вимірювання виконуються власними або надісланими їм суб'єктами вимірювань на власних або надісланих їм об'єктах вимірювань.

Таким чином, лабораторії перманентно виконують вимірювання та розміщують їх в Мережі. Всі вимірювання періодично оброблюються в Мережі спеціальною програмою за спеціально розробленим математичним апаратом (див., наприклад, розділ 3 та [2, 12-16]). Таким чином вони поступово об'єднуються в Мережу простежуваності. Місце в ієрархії простежуваності кожного еталона буде визначатися спочатку задекларованою невизначеністю. З часом вона буде уточнена за статистичними даними накопичуваними за результатами оброблення в Мережі.

Чим більше (в розумних межах) виконується вимірювань в Мережі за одиницю часу більшою кількістю лабораторій, тим вища точність реалізації (відтворення) одиниці вимірювань в цілому. Чим більше буде утворено зв'язків між суб'єктами та об'єктами під час вимірювань в Мережі, тим надійніша буде простежуваність вимірювань.

Завдання щодо створення Мережі:

- базування на засадах закладених МБМВ та ІЛАС;
- максимальна охоплюваність Мережею членів Спільноти, які виконують вимірювання;
- простота та зрозумілість Спільноті основних принципів роботи Мережі, а також математичного апарату;

- максимальна простота та доступність використання Мережі;
- максимально можливе виключення суб'єктивного фактору організації вимірювань, оброблення їх результатів та оформлення звітності за вимірюваннями в Мережі;
- залучення можливо більшої кількості пересувних та стаціонарних суб'єктів та об'єктів вимірювань лабораторій до обігу в Мережі;
- утворення можливо більшої кількості зв'язків між суб'єктами та об'єктами через вимірювання введені в Мережу;
- сумісне оброблення великої кількості зв'язаних між собою вимірювань за універсальним математичним апаратом;
- підвищення визначеності одиниць вимірювань за результатами оброблення всієї сукупності вимірювань в Мережі за окремим видом або підвидом вимірювань;
- підвищення оперативності (скорочення часу) розповсюдження одиниць вимірювань від еталонів найвищої точності до робочих приладів;
- прискорення одержання результатів з оброблення вимірювань;
- швидке і ефективне використання результатів оброблення вимірювань;
- суттєве зменшення трудомісткості та обсягу ручної роботи під час оброблення результатів вимірювань у порівнянні із тим, якщо б аналогічна робота виконувалась без застосування автоматизації.

Принципи та правила роботи Мережі повинні розроблятися та прийматися Метрологічною спільнотою. Спільнота також обирає кваліфікованого Адміністратора Мережі. Він, від її імені і за виробленими нею принципами та правилами, реалізує Мережу.

Головний принцип реалізації Мережі Адміністратором – максимальна автоматизація і неупередженість:

- організації вимірювань;
- оброблення результатів вимірювань;

- оформлення звітності за вимірюваннями;
- використання результатів вимірювань.

Мережа є технічною реалізацією прийнятих Спільнотою домовленостей щодо організації одержання, опрацювання та використання результатів вимірювань під час звірень еталонів, міжлабораторних порівнянь результатів вимірювань та калібрувань.

Мережа призначена для автоматизації організації вимірювань, автоматизованого збирання їх результатів та їх оброблення, автоматизованого опублікування результатів вимірювань та оброблення, збереження цих результатів та забезпечення вільного доступу до них та вільного (за призначенням) їх використання. Адміністратор, за дорученням Спільноти, організує розроблення програмного забезпечення для цієї автоматизації.

В цілому, не торкаючись, поки що, питань економічної доцільності створення Мережі, відмітимо, що, на нашу думку, Адміністратор повинен проводити свою роботу на комерційних засадах. Витрати лабораторій на роботу в Мережі окупляться, оскільки за результатами обміну суб'єктами та/або об'єктами вимірювань між лабораторіями та оброблення результатів вимірювань ними в Мережі:

- параметри об'єктів та суб'єктів вимірювань будуть вважатись **оціненими**;
- невизначеність параметрів суб'єктів та об'єктів вимірювань, буде вважатись **оціненою** за статистичними даними сумісного оброблення вимірювань за всією Мережею простежуваності;
- суб'єкти та об'єкти вимірювань лабораторій, які знаходяться чи знаходились в обігу в Мережі, будуть вважатись **каліброваними**;
- результати цього калібрування будуть вважатись **простежуваними**;
- методики калібрування, за якими вимірювали лабораторії, будуть вважатись **валідованими**;
- вимірювальні можливості лабораторій та професійний рівень їх персоналу будуть вважатись **підтвердженими**;

- час та кошти лабораторій, призначені на калібрування власних еталонів, на акредитацію та підготування до неї, на раунди міжлабораторних порівнянь будуть **зеконотмененими**.

За фактом, інфраструктура окремих ланцюгів простежуваності буде поступово перетворена на інфраструктуру суцільної Мережі простежуваності.

4.2. Основні принципи роботи Мережі

Робота Мережі повинна ґрунтуватись на певних принципах незалежно від того проводяться звірення, міжлабораторні порівняння або калібрування. Зважаючи, що за цими процедурами виконуються вимірювання, наведемо основні принципи їх організації в Мережі.

1. Вільне започаткування вимірювань

Вимірювання започатковуються будь-якою лабораторією, яка відповідає певним критеріям. Критерії встановлюються Метрологічною спільнотою, а за їх дотриманням слідкує Адміністратор. Лабораторія, яка започатковує вимірювання (ініціатор), заповнює анкету в Мережі. Адміністратор перевіряє відповідність критеріям і дає згоду. Вимірювання започатковано.

2. Вільний доступ до вимірювань

Будь-яка лабораторія заповнює анкету в Мережі, якщо хоче приєднатися до вимірювань. Вона допускається до вимірювань, якщо відповідає певним критеріям, встановленим Метрологічною спільнотою. Адміністратор перевіряє відповідність критеріям і дає згоду. Нового учасника конкретних вимірювань залучено. Логістична частина Мережі автоматично включає залучену лабораторію до графіків вимірювань.

3. Перманентність вимірювань

Певна кількість суб'єктів та об'єктів вимірювань, які належать різним лабораторіям та приєдналися до вимірювань, постійно знаходяться в обігу між ними. Обіг відбувається за графіками

складеними в автоматизованому режимі з урахуванням логістичної оптимізації. Критерії оптимізації встановлюються Спільнотою.

4. Простежуваність одиниць вимірювань

Під час вимірювань Мережа повинна заохочувати та технічно забезпечувати зв'язок між групами еталонів різними за невизначеністю вимірювань. Ланцюги простежуваності повинні об'єднуватись в Мережу. Таке об'єднання здійснюється за рахунок збільшення кількості зв'язків між суб'єктами та об'єктами вимірювань, які знаходяться в обігу між лабораторіями.

5. Математична однозначність оброблення

Параметри об'єктів та суб'єктів вимірювань, а також їх невизначеності повинні оцінюватись за методом найменших квадратів, наприклад, за [2, 12-14]. Удосконалення математичного апарату та призначеної для цього спеціальної комп'ютерної програми організовується Адміністратором.

6. Конфіденційність

Спільнота встановлює ступені конфіденційності різної інформації доступної в Мережі. Адміністратор контролює режим дотримання конфіденційності. Лабораторії повинні мати можливість встановлювати та знімати режими конфіденційності для певної інформації, яку заносять до Мережі.

7. Сепарація за невизначеністю вимірювань

Програма відповідальна за логістичну оптимізацію планує виконання вимірювань для суб'єктів з близькою заявленою невизначеністю. Згодом автоматично враховується невизначеність одержана за статистичними даними з оброблення вимірювань.

8. Безпека

Мережа повинна бути захищена від несанкціонованого втручання в її роботу та маніпулювання даними. Адміністратор забезпечує режим безпечного експлуатування Мережі.

9. Надійність

Кількість вимірювань та їх невизначеність повинна задовольняти вимоги щодо визначення параметрів об'єктів та суб'єктів з прийнятною невизначеністю за результатами статистичного оброблення.

10. Добровільність

Ніхто не може змусити лабораторію вирішувати через Мережу питання організації, оброблення, звітування та використання матеріалів звірень, міжлабораторних порівнянь та калібрувань. Вони можуть бути вирішені іншим шляхом. Лабораторія може частково організувати свою діяльність в Мережі, частково по іншому на свій розсуд.

4.3. Коментарі до принципу «Вільне започаткування вимірювань»

Критерії, яким повинна відповідати лабораторія-ініціатор вимірювань, повинні бути прості, всім зрозумілі та прозорі, наприклад:

- ініціатор повинен запропонувати для обігу в Мережі пересувний суб'єкт або об'єкт вимірювань, який відповідає критеріям Спільноти;
- бажано, щоб цей суб'єкт або об'єкт вимірювань, до початку обігу в мережі, не був раніше задіяний у звіреннях, також не був підданий зовнішньому калібруванню;
- ініціатор повинен мати стаціонарний суб'єкт або об'єкт вимірювань, який відповідає критеріям Спільноти, для калібрування пересувного суб'єкту або об'єкту вимірювань;
- запропонований для обігу в Мережі пересувний суб'єкт або об'єкт вимірювань до початку обігу в Мережі повинен бути підданий внутрішньому калібруванню ініціатором.

Результати вимірювань та їх невизначеності, під час цього калібрування, обов'язково повинні бути введені ініціатором у Мережу. Ці результати вимірювань не оприлюднюються. Але після започаткування обігу цього суб'єкту чи об'єкту в Мережі

ініціатор втрачає можливість виправлення цих результатів вимірювань.

Якщо до започаткованих вимірювань певний час ніхто не приєднався, то вони знімаються з розгляду та передаються в архів. Тобто, вимірювання в Мережі автоматично припиняються, коли всі суб'єкти або об'єкти, за даним підвидом вимірювань, пройшли за графіками всі лабораторії і ніхто до вимірювань більше не приєднується. З чиеїсь ініціативи звірення можуть бути поновлені. Параметри суб'єктів та об'єктів вимірювань одержані на попередньому етапі використовуються як опорні для поновлених вимірювань.

Лабораторія може користуватися Мережею для оброблення результатів вимірювань під час калібрування будь-яких суб'єктів та об'єктів вимірювань, якщо вона вирішить, що застосований в Мережі математичний апарат придатний для цього. За узгодженням з замовником калібрування, його результати можуть бути оприлюднені в Мережі. Можуть оброблятися та публікуватися результати калібрування власних еталонів та приладів.

Вкрай важливим є утворення «горизонтальних» вимірювальних зв'язків, разом з «вертикальними» вимірювальними зв'язками. Сумісне зрівнювання за МНК всіх результатів вимірювань за певний період і утворює Мережу.

Заохочується введення у Мережу результатів вимірювань під час калібрування власних еталонів у двох або декількох лабораторіях, у тому числі у власній лабораторії. Заохочується також обмін аналогічними пересувними суб'єктами або об'єктами вимірювань між лабораторіями для перехресного калібрування з одночасним «сліпим» уведенням результатів вимірювань в Мережу.

Зважаючи, що невизначеність таких результатів калібрувань буде оцінюватись статистично під час зрівнювання вимірювань у Мережі за ^[24] та ^[25], то така відкритість повинна позитивно сприйматися і заохочуватися Спільнотою взагалі та органами з акредитації зокрема.

Можуть бути започатковані паралельні вимірювання з визначення параметрів однорідних суб'єктів або об'єктів вимірювань. Через певний час Мережа

запропонує їх об'єднати шляхом обміну об'єктами чи суб'єктами вимірювань. Після цього, параметри суб'єктів та об'єктів вимірювань будуть результатом сумісного оброблення результатів вимірювань.

Можуть бути започатковані вимірювання в основі яких дві або декілька моделей вимірювань та відповідних їм методів вимірювань. Наприклад, прямі вимірювання довжини кінцевих мір та їх компарування можуть бути об'єднані.

Додаткові витрати на додаткові вимірювання та на введення їх в Мережу повинні компенсуватися зменшенням чисто бюрократичних паперових процедур щодо ведення системи управління якістю лабораторії за [19].

4.4. Коментарі до принципу «Вільний доступ до вимірювань»

Будь-яка лабораторія може приєднатися до вимірювань, якщо відповідає критеріям викладеним в підрозділі 4.3. За спрощеною процедурою, вона може приєднатися до вимірювань не запропонувавши пересувного суб'єкта або об'єкта для обігу в мережі. Але лабораторія обов'язково повинна продемонструвати наявність суб'єкта або об'єкта вимірювань, який відповідає критеріям Спільноти. На ньому вона буде виконувати вимірювання під час калібрування пересувного суб'єкта або об'єкта вимірювань.

Додаткові умови:

- лабораторія може приєднатися не у всьому діапазоні вимірювань величини, заявленим під час вимірювань, а тільки в певному під діапазоні або, навіть, в окремії точці;
- діапазон вимірювань може бути розширений, якщо новий учасник запропонував для обігу в Мережі свій суб'єкт або об'єкт вимірювань, який відповідає критеріям, з більшим діапазоном.

4.5. Коментарі до принципу «Простежуваність одиниць вимірювань»

Оптимальним було увесь процес проведення звірень розмістити в Мережі, яка надала б мож-

ливість приєднатися до них усім бажаним національним метрологічним інститутам. Організація звірень за принципами Мережі надасть можливість, наприклад 100-150 НМІ та призначеним інститутам провести звірення у досить короткі терміни. Моделювання таких звірень для 120 суб'єктів та 192 об'єктів вимірювань, наведене в [14], неспростовно доводить це. Під час таких звірень будуть визначені адитивні та мультиплікативні ступені еквівалентності суб'єктів вимірювань, які будуть опорними для наступних звірень та калібрувань. Це вища ланка Мережі.

За приєднання до процесу в Мережі призначених інститутів та потужних активних лабораторій звірення еталонів плавно переростуть у міжлабораторні порівняння. Обмін суб'єктами чи об'єктами між ними і учасниками звірень вищої ланки почне процес прирощення мережі знизу. Поступово сформується середня ланка Мережі.

На нижчій ланці Мережі невеликі калібрувальні, випробувальні та вимірювальні лабораторії зможуть вирішувати свої різноманітні задачі. Наприклад, провести процедуру на кшталт гібридних звірень описаних [1], тільки без довгих, підозрілих бюрократичних процедур. Для цього достатньо буде спочатку самому калібрувати свій об'єкт чи суб'єкт і виставити результати в мережі, а потім направити його на калібрування до лабораторії середньої або вищої ланки з проханням оформити результати калібрування в Мережі.

Під час роботи через Мережу повинні автоматично використовуватися актуальні параметри суб'єктів та об'єктів вимірювань та їх невизначеності для наступних звірень, порівнянь та калібрувань. Це дозволить уникнути помилок, як це може бути під час уведення поправок, а також дозволить об'єктивно оцінити невизначеність за всією Мережею (а не просто ланцюгом) простежуваності.

4.6. Коментарі до принципу «Конфіденційність»

Лабораторія може приймати участь у звіреннях та міжлабораторних порівняннях інкогніто, тобто ім'я в Мережу вводиться під час залучення

до вимірювань, але з відповідною поміткою, і тому не публікується.

Протоколи вимірювань, до моменту їх оброблення в Мережі, доступні тільки для лабораторії, що виконувала вимірювання. Такі результати вимірювань автоматично включаються в оброблення. Після оброблення вимірювань в Мережі лабораторії втрачають можливість їх змінювати.

Остаточні каталоги параметрів об'єктів та суб'єктів вимірювань, їх технічні протоколи, відомості щодо вимірювальних можливостей лабораторій тощо повинні знаходитися у відкритому доступі для органів акредитації. Результати вимірювань можна пред'явити національному органу з акредитації, іншим зацікавленим організаціям та лабораторіям тільки після їх оприлюднення у відкритому доступі.

4.7. Коментарі до принципу «Сепарація за невизначеністю вимірювань»

Вимірювання можуть бути започатковані для будь-якої ланки суб'єктів або об'єктів за рівнем невизначеності. Тобто, не обов'язково, щоб це були еталони найвищої ланки. Згодом, коли до вимірювань приєднуються еталони різних ланок, Мережа сепарує еталони за фактичною невизначеністю на групи і логістична програма буде організовувати вимірювання у групі та зв'язки між групами.

Наприклад, перша група лабораторій, які мають найменшу невизначеність, звіряються між собою і з лабораторіями другої групи (частково), які мають дещо нижчу невизначеність. Друга група лабораторій, звіряються між собою і з лабораторіями першої та третьої групи (частково), які мають ще нижчу невизначеність і т. і. Звіряти еталони, невизначеність вимірювань якими відрізняється у декілька десятків разів, немає сенсу. Це тільки призводить до труднощів у вирішенні системи рівнянь під час зрівнювання. Якщо невизначеності вимірювань дуже різняться, то система рівнянь може бути, з цієї причини, погано обумовлена. Її рішення буде вироджуватись.

Після накопичення певної статистики сепарація може відбуватися з урахуванням невизначеності, оціненої на попередніх етапах вимірювань за МНК. Це означає, що Мережа зможе перевести лабораторію у вищу або нижчу групу для проходження подальших вимірювань.

4.8. Коментарі до принципу «Безпека»

Лабораторії звинувачені в маніпулюванні результатами вимірювань та іншими даними до роботи в Мережі не допускається. Функція відстеження маніпулювань та блокування доступу в Мережу покладається на Адміністратора. Апеляції розглядаються в порядку визначеному Стільнотою.

5. Загальний опис прикладу організації вимірювань в запропонованій Мережі

Опишемо загальний приклад для окремого виду або підвиду вимірювань, для якого така процедура буде доцільною. Опишемо приклад спираючись на сучасну практику, але так, якби Мережа вже існувала. Уявимо, що був досягнутий консенсус МБМВ, НМІ та лабораторій відносно того, що всі вимірювання за певним видом чи підвидом вимірювань будуть заноситись до Мережі за наведеними вище завданнями та принципами.

Таким чином, наприклад, якщо в Мережі обробити результати вимірювань під час ключових звірень МБМВ. Використати їх результати як опорні під час оброблення результатів вимірювань під час ключових звірень регіональних метрологічних організацій. Використати результати цих всіх звірень як опорні для додаткових звірень. Включити до них всі бажані НМІ та лабораторії, які мають обладнання достатньо високого рівня, але не мають, можливо, достатнього досвіду чи відповідного статусу. На базі всіх цих НМІ та лабораторій організувати міжлабораторні порівняння для всіх бажаних лабораторій. Організувати ці звірення, а потім міжлабораторні порівняння, у дуже стислі терміни. Адже технічна реалізація принципів, закладених в роботу Мережі, будуть

сприяти цьому. При цьому, включити в обіг між НМІ та лабораторіями більшу, ніж зазвичай, кількість пересувних суб'єктів або об'єктів вимірювань. В кожній лабораторії вимірювання повинні бути проведені на декількох пересувних об'єктах та суб'єктах вимірювань. Найбільше навантаження щодо кількості вимірювань ляже на провідні НМІ, але пілотної лабораторії не буде. Роль пілотної лабораторії виконає Мережа.

Розрахунки невизначеності своїх вимірювань лабораторіями будуть вважатися, як зазвичай, апріорними і використовуватися для обчислення ваг вимірювань під час їх зрівнювання в Мережі. Невизначеність ступенів еквівалентності та опорних значень еталонів (тобто параметрів суб'єктів і об'єктів вимірювань) буде розраховуватися за всією Мережею простежуваності за результатами сумісної статистичної обробки з урахуванням цих апріорних ваг. Згодом ваги вимірювань будуть уточнюватися згідно з реальними оцінками невизначеності вимірювань одержаними зі статистичного оброблення.

Калібрування, які будуть оброблятися в Мережі, будуть автоматично спиратися на зазначені ступені еквівалентності та опорні значення еталонів. Вони будуть одержувати оцінки своїх систематичних зміщень з їх урахуванням. Невизначеність вимірювань буде розраховуватися математично строго за МНК ^[12-14], за всією Мережею простежуваності.

Все це, безперечно, буде мати значний позитивний ефект щодо покращання простежуваності результатів вимірювань в галузі, в якій буде започаткована така процедура.

6. Висновки

1. Сформульована мета, поставлені завдання та розроблені основні принципи створення **Всеохоплюючої мережі простежуваності вимірювань (Мережі)**. Вона, за рахунок максимальної автоматизації, дозволить зробити роботу щодо демонстрування простежуваності вимірювань, більш швидкою, динамічною, всеохоплюючою, а, відповідно більш ефективною ніж досі.

2. Створення Мережі дозволить перейти від декларативного порядку демонстрування простежуваності, з наступним її підтвердженням, до демонстрування простежуваності через безперервне накопичення і оброблення статистичних даних.

3. Перманентне (безперервне) експлуатування Мережі дозволить будь-якій лабораторії включитися в процес вимірювань у будь-який момент, виходячи з її потреб та можливостей. За відсутності необхідних вимірювань лабораторія зможе їх започаткувати. Мережа проінформує спільноту про започаткування нових вимірювань. Не треба роками чекати, коли будуть започатковані нові звірення або міжлабораторні порівняння результатів вимірювань.

4. Мережа, ймовірно, буде виконувати деякі функції системи управління якістю лабораторії. Цим самим буде знижений надто обтяжливий для лабораторій рівень бюрократизації необхідний для підготовки до акредитації та аудитів. Статистичні дані вимірювань оброблені в Мережі нададуть органам з акредитації неспростовну доказову базу необхідного рівня компетентності лабораторій.

5. Наявність Мережі, в цілому, покращить інфраструктуру вимірювань.

Посилання

1. Chu-Shik Kang 2019 *APMP Guideline for the Use of Hybrid Comparisons as Evidence Supporting CMC Claims*. Report at the 40th Meeting.
2. Kuzmenko Iu., Samoilenko O., Tsiporenko S. 2021 *Multipurpose measurement models for adjustment by the least squares method*. *Measuring Equipment and Metrology*. **82**, **2**, pp. 29-37. DOI: <https://doi.org/10.23939/istcmtm2021.02.029>
3. JCGM 200:2012 *International vocabulary of metrology – Basic and general concepts and associated terms (VIM)*.
4. Nielsen L. 2000 *Evaluation of measurement intercomparisons by the method of least squares*. Danish Institute of Fundamental Metrology, Technical Report DFM-99-R39.
5. Cox M. G. 2002 *The evaluation of key comparison data*. *Metrologia*. **V. 39**, pp. 589-595.
6. Nielsen L. 2003 *Identification and handling of discrepant measurements in key comparisons*. *Measurement Techniques*. **46** (5), pp. 513-522. <https://doi.org/10.1023/A:1025373701977>

7. Sutton C. M. 2004 *Analysis and linking of international measurement comparisons*. Metrologia. **V. 41**.
IOPscience: <http://iopscience.iop.org/0026-1394/41/4/008>
8. White D. R. 2004 *On the analysis of measurement comparisons*. Metrologia. **V. 41**.
IOPscience: <http://iopscience.iop.org/0026-1394/41/3/003>
9. Elster C., Chunovkina A. G., Woger W. 2010 *Linking of a RMO key comparison to a related CIPM key comparison using the degrees of equivalence of the linking laboratories*. Metrologia. **V. 47**.
IOPscience: <http://iopscience.iop.org/0026-1394/10/010096>
10. Koo A., Clare J. F. 2012 *On the equivalence of generalized least-squares approaches to the evaluation of measurement comparisons*. Metrologia. **V. 49**.
IOPscience: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/0026-1394/49/3/340>
11. Elster C., Toman B. 2013 *Analysis of key comparison data: critical assessment of elements of current practice with suggested improvement*. Metrologia. **V. 50**.
IOPscience: <http://iopscience.iop.org/0026-394/13/050549>
12. Кузьменко Ю., Самойленко О. 2018 *Опрацювання за методом найменших квадратів результатів вимірювань за ключових, регіональних та додаткових звірень еталонів*. Метрологія та прилади. **70**, с. 3-13.
13. Кузьменко Ю., Самойленко О. 2021 *Зрівнювання результатів вимірювань за методом найменших квадратів*. Інфраструктура вимірювань. **1**.
<https://mi-journal-online.org/index.php/journal/article/view/1/1>
DOI: [https://doi.org/10.33955/v1\(2021\)-001](https://doi.org/10.33955/v1(2021)-001)
14. Самойленко О. 2021 *Альтернативний підхід до міжнародних звірень*. Інфраструктура вимірювань. **2**.
<https://mi-journal-online.org/index.php/journal/article/view/1/2>
DOI: [https://doi.org/10.33955/v2\(2021\)-009](https://doi.org/10.33955/v2(2021)-009)
15. Самойленко О., Адаменко О., Калініченко В. 2018 *Методика та результати прямих звірень пересувних лазерних інтерферометрів Renishaw XL-80*. Метрологія та прилади. **72**, с. 3-13.
16. Samoilenko O., Adamenko O. 2019 *Length measurement results processing for adjustment or calibration of distance meters and tachometers on the infield comparator Geodesy, Cartography and Aerial Photography*. **90**, pp. 15-28.
17. ДСТУ EN ISO/IEC 17043:2017 *Оцінка відповідності. Загальні вимоги до перевірки професійного рівня (EN ISO/IEC 17043:2010; ISO/IEC 17043:2010, IDT)*.
18. ILAC P 10:2002. *ILAC Policy on traceability of measurement results, International Laboratory Accreditation Cooperation*. Sydney.
19. ДСТУ ISO/IEC 17025:2019 *Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій (ISO/IEC 17025:2017, IDT)*.
20. October 14, 1999 *Mutual recognition of national measurement standards and calibration and measurement certificated issued by national metrology institutes*. p. 45.
21. CIPM MRA-D-04 March 2017 *Calibration and Measurement Capabilities in the context of the CIPM MRA*. Version 5.
22. CCEM June 2017 *Guidelines for Planning, Organizing, Conducting and Reporting Key, Supplementary and Pilot Comparisons*. Version 2.1.
23. ISO 13528:2005 *Statistical methods for use in proficiency testing by interlaboratory comparisons*.
24. JCGM 100:2008 *Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurement*.
25. JCGM 102:2008 *Evaluation of measurement data – Supplement 2 to the «Guide to the expression of uncertainty in measurement» Extension to any number of output quantities*.