

УДК 389.62.1:165

В.П. Чалий<sup>1</sup>, О.В. Чала<sup>2</sup><sup>1</sup> ДП «Науково-дослідний інститут метрології вимірювальних і управляючих систем», Львів<sup>2</sup> Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків

## ПОХИБКА, НЕВИЗНАЧЕНІСТЬ ЧИ НЕПЕВНІСТЬ У ВИМІРЮВАННІ?

Проведено всебічний аналіз концептуальних (денотативних) і додаткових (конотативних) значень базових термінів: «похибка», «невизначеність», «непевність», виходячи із специфічних особливостей вимірювання відповідно до концепції GUM. Показано, що термін «похибка» втратив своє концептуальне та конотативне значення і не міг уже в повній мірі відображати суть нового поняття у новій парадигмі. Слово «невизначеність» не має значення «розсіювання» – денотативна невідповідність, а крім того має і конотативну невідповідність. Пропонується в концепції GUM замість терміна «невизначеність» використовувати термін «непевність».

**Ключові слова:** вимірювання, метрологія, концепція GUM, гносеологія, істинне значення, поняття, термін.

### Вступ

Концепція GUM [1, 2], або новий підхід до оцінки і подання результату вимірювання, фактично, є новою парадигмою метрології, яка ґрунтується на іншій, відмінній від класичного підходу (від концепції «істинного значення») системі постулатів (аксіом), понять і відповідним їм термінам [3]. Сама концепція GUM як і використовувані в ній терміни до сьогодні сприймається у нас неоднозначно.

Особливо багато питань виникає щодо терміна «невизначеність», який є ключовим у новому підході. Одні автори [4] вважають цей термін шкідливим і пропонують вживати «добре відомий» термін «похибка». Інші [5, 6] – навпаки, пропонують використовувати замість нього термін «непевність». У решті-решт така ситуація вкрай заплутує і так непросто понятійно-термінологічну систему нового підходу і дезорієнтує метрологів.

**Метою даного дослідження** є всебічний аналіз концептуальних (денотативних) і додаткових (конотативних) значень базових термінів: «похибка», «невизначеність», «непевність», виходячи із специфічних особливостей вимірювання відповідно до концепції GUM.

### Похибка

Складність розуміння поняття «вимірювання» полягає у його уявній простоті. Насправді ж вимірювання – це складний, багатогранний і суперечливий процес. Його, очевидно, слід розглядати щонайменше в трьох аспектах:

– як технічну процедуру отримання та подання вимірювальної інформації;

– як один із основних емпіричних способів кількісного пізнання властивостей об'єктів довколишнього світу;

– як спосіб оцінювання прагматичної інформації про властивості процесів, об'єктів тощо з метою прийняття надійних рішень у практичній діяльності.

Метрологія, як наука про вимірювання і їх використання, займає особливе місце серед інших наук, обслуговуючи кожну з них і тісно переплітаючись з ними. Науково-технічний прогрес, ті чи інші зміни в цих науках призводять до відповідних змін у метрології – змін в аксіоматиці, до еволюції базових та появи нових понять і термінів.

У різні історичні періоди наука про вимірювання розвивалась то як математична, то як фізична теорія. У перший період – в Стародавній Греції бере початок теоретичне вивчення процесу вимірювання і тоді відбувається поділ вимірювання на прикладну (у вигляді набору правил) та фундаментальну теорію, яка стає в центрі уваги античної математики. Тобто наука про вимірювання розвивалася спочатку переважно як математична теорія.

Другий період (приблизно з кінця 18-го століття) – це початок розвитку промислового виробництва, міжнародної торгівлі, коли виникає гостра потреба встановлення однаковості мір для різних величин.

Наприклад, у древньому Львові, який стояв на перехресті торгових шляхів, ще в середні віки однаковість мір ретельно дотримувалася. За це в мері відповідала високооплачувана особа – кат. Відхилення від встановлених норм, зразків (на вмисне чи випадкове) суворо каралося.

Другий період співпадає із зародженням точних наук, із швидким розвитком фізики і техніки. Була розроблена система одиниць фізичних величин і перші еталони. Наука про вимірювання розвивається уже як прикладна фізична теорія. Утім, побутувало стійке уявлення, що ґрунтувалося на висновках математичної теорії вимірювання, про те, що існує істинне, абсолютно точне значення фізичної величини.

Природно, що термін, яким користувалися для означення відхилення від істинного значення, мав негативний відтінок: погрішність (вина, провина, гріх – відхилення від встановленої норми), похибка (хиба, вада, необачність).

Тобто, термін «похибка» за своїм основним (денотативним) і додатковим (конотативним) значенням повністю відповідав на той час концептуальній суті свого поняття та передавав відповідний (негативний) його експресивно-оцінний відтінок.

Але з часом, для підвищення точності почали застосовувати досконаліші вимірювальні прилади, проводити багаторазові вимірювання. Та результати вимірювання (за достатньої роздільної здатності приладу) кожного разу відрізнялися між собою.

Постулат про те, що похибка при вимірюванні фізичної величини неминуча, знайшов своє емпіричне підтвердження в дослідженнях з квантової фізики (принцип невизначеності Гейзенберга [7]), у хвильовій механіці (співвідношення частото-часової невизначеності Гейбора) та негентропійного принципу інформації Брілюена [8], що принципово обмежує точність, ставши видатними відкриттями в галузі вимірювання в сучасній фізиці.

У фізичній теорії вимірювання похибка вже не розглядалася, як раніше, величиною детермінованою, а випадковою і, як будь-яка випадкова величина, характеризувалася розподілом густини ймовірності – точковими, параметричними, чи інтервальними оцінками. Змінилося також ставлення до цього поняття – наявність похибки вже уважалася результатом недбалства, а як закономірне явище і не викликало негативних асоціацій. Тобто, відбулася підміна поняття: змінилася його суть і додатковий відтінок.

Таким чином, термін «похибка» втратив своє концептуальне значення, як відхилення від істинного значення, та конотативне – негативне значення і не міг уже в повній мірі відображати суть нового поняття у нових умовах.

### Невизначеність

У концепції GUM знайшли свою реалізацію основні ідеї інформаційної теорії вимірювання

[9]. Вимірювання тут трактується як процес передавання інформації від об'єкта до суб'єкта. Засіб вимірювання – як канал передавання інформації, а характеристики неточності – як шум, заваду. Само вимірювання розглядають як деяку процедуру, за допомогою якої здійснюється звуження інтервалу непевності відносно вимірюваної величини і результатом якої є отримання вимірювальної інформації. Використання статистичної (у шенонівському сенсі) теорії інформації у вимірюванні ґрунтується на тому, що такий підхід до вимірювання подібний до процесу перетворення в інформацію ентропії, як міри невизначеності випадкової ситуації. Це і стало підставою для застосування до вимірювання відомої формули К. – Е. Шенона [10]:

$$H(X/X_n) = H(X) - Y, \quad (1)$$

де  $H(X/X_n)$  – залишкова (апостеріорна) ентропія, тобто невизначеність, яка лишається після отримання показу  $X_n$ ,  $H(X)$  – вхідна (апостеріорна) ентропія, що характеризує невизначеність стосовно вимірюваної величини перед вимірюванням, а величина  $Y$  трактується як статистична кількість інформації, отриманої в результаті вимірювання.

Виходячи з наведеної вище формули, можна бачити, що точність вимірювання характеризує апостеріорна ентропія, або залишкова невизначеність, яка дорівнює різниці апостеріорної ентропії (вхідної невизначеності стосовно вимірюваної величини) та інформації, отриманої в результаті вимірювання. Тобто – це те, що лишилося невідомим, не повністю визначеним після виконання процедури вимірювання – міра невизначеності знань відносно вимірюваної величини. На цій підставі для характеристики точності вимірювання був уведений термін «невизначеність», який відображає денотат-концептуальне значення таким чином розтлумаченого поняття.

Але в міжнародному словнику [2] це визначено як параметр, який характеризує розсіювання значень, що приписують вимірюваній величині на підставі використовуваної інформації. Утім, слово – термін «невизначеність» не має значення «розсіювання»; тут доречним був би термін «неоднозначність». Тобто, наявна денотативна невідповідність терміна «невизначеність» і поняття, яке він має відображати.

Крім того, слово невизначеність несе невідповідне конотативне (додаткове) значення: воно асоціюється із стійко пов'язаним з основним значенням у свідомості носія мови додатковими значеннями і сприймається як щось не визначене, туманне, не пізнаване у принципі і вже, хоча б через це, не зрозуміле. Парадоксально звучить часто вживане словосполучення «визначити неви-

значеність», нагадуючи відомий афоризм – «объ- ять необъятное». Таким чином, термін «невизначеність» має і конотативну невідповідність.

Пізніші дослідження [11], крім того, показали, що процес вимірювання відрізняється від процесу передавання інформації насамперед активністю приймача інформації, тоді як під час передавання інформації активним початком є передавач; пізнавальний процес передбачає не тільки передавання інформації, а також її перетворення, перекодування з однієї, об'єктивної форми в іншу, суб'єктивну форму при збереженні змісту. Таким чином, вимірювальна невизначеність (або ентропія – міра невизначеності знань відносно вимірюваної величини) не відповідає за своєю суттю ентропії Шенона: під одним і тим терміном ховаються різні поняття.

І з цієї точки зору термін «невизначеність» доречно було б замінити на інший термін, щоб уникнути плутанини.

### Непевність

Відповідно до [1], невизначеність вимірювання можна подавати через впевненість. Така невизначеність буде відображати неповноту знань про вимірювану величину. Поняття «впевненість» дуже важливе, так як воно переміщує метрологію в сферу, де результат вимірювання має розглядатися і чисельно визначатися в термінах ймовірності, які виражають ступінь довіри.

На сьогодні в практичній метрології на передній план поряд з підвищенням точності вимірювання виступає довіра до результату вимірювання. З метою забезпечення взаємної довіри до національних еталонів, сертифікатів калібрування, та результатів вимірювання національними метрологічними інститутами більшості розвинених країн (у тому числі НМІ України) підписана міжнародна Угода СІРМ МРА [12], яку за своїм значенням іноді прирівнюють до Метричної Конвенції 1875-го року.

Дослідження процесу вимірювання з позиції теорії пізнання на тлі об'єктно-суб'єктного поділу реальності [13 – 15] дало можливість розкрити його «внутрішній» механізм і показати, що людина (суб'єкт) відіграє у вимірюванні вирішальну роль: вона виступає щонайменше у двох іпостасях, – як „компонент” вимірюваної системи і як „споживач” результату вимірювання (це може поєднуватися в одній особі). Вимірювання без присутності людини втрачає свій сенс. Тобто вимірювання – процес антропоморфний. Тому з гносеологічної точки зору важливим моментом є відношення суб'єкта до одержаного результату вимірювання, яке відображається таким філософським поняттям як „упевненість” (віра). Очевид-

но саме тому в термінах, пов'язаних з вимірюванням, часто використовуються слова з коренем „вір”: перевірка, довірчий (інтервал, гранці, похибка, ймовірність), повірка, верифікація тощо. Суб'єкт (експериментатор, „споживач” результату вимірювання) повинен оцінити ризики, яких він може зазнати, приймаючи те чи інше рішення на основі результатів вимірювання. Він має впевнитися (повірити, переконатися) у якості результату вимірювання, оцінивши кількісно ступінь непевності (див., наприклад [16]). Невизначеність іноді тлумачать як кількісну міру сумніву експериментатора в отриманому результаті вимірювання.

Тому, з точки зору забезпечення довіри (впевненості) до результату вимірювання термін «непевність» якнайкраще відповідає денотату - концептуальному значенню поняття. Конотат терміна «непевність» також не викликає невідповідних емоцій чи невідповідних експресивно – оціночних відтінків. Тому пропонується замість терміна «невизначеність» вживати термін «непевність».

### Висновки

У зв'язку зі зміною парадигми метрології зазнали змін аксіоматика, основні поняття сучасної теорії вимірювання та відповідні їм терміни.

Термін «похибка», який за концепції «істинного значення» відповідав своєму концептуальному і конотативному значенню, втратив їх у концепції GUM.

Термін «невизначеність» вимірювання можна розглядати в трьох аспектах:

– з точки зору кількісного пізнання об'єктів реального світу – це апостеріорна ентропія або залишкова невизначеність знань стосовно вимірюваної величини. Тут термін «невизначеність» відповідає своєму концептуальному значенню, але викликає невідповідні асоціації та є причиною непорозумінь і плутанини;

– з точки зору технічної процедури отримання прагматичної вимірювальної інформації – це параметр, який характеризує розсіювання значень, що приписують вимірюваній величині. Але слово «невизначеність» не має значення «розсіювання»; тут доречним був би термін «неоднозначність»;

– з точки зору оцінювання отриманої вимірюваної інформації для прийняття обґрунтованих рішень і управління ризиками, що виникають у практичній діяльності – це кількісна міра сумніву в отриманих результатах вимірювання; у цьому аспекті термін «непевність» якнайкраще відповідає денотату - концептуальному значенню поняття. Конотат терміна «непевність» також не викликає невідповідних асоціацій чи експресивно – оціночних відтінків.

Враховуючи важливість на сьогодні довіри до результатів вимірювання як на рівні лабораторій так і на міжнародному рівні і те, що термін «непевність» якнайкраще відповідає основному - денотативному значенню поняття і не викликає невідповідних асоціацій чи невідповідних експресивно – оціночних відтінків, пропонуємо замість терміна «невизначеність» використовувати термін «непевність».

### Список літератури

1. ISO/IEC Guide 98. Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995) (Частина 3: Настанови з подання непевності у вимірюванні).
2. International vocabulary of basic and general terms in metrology (VIM). (Міжнародний словник основних і загальних термінів у метрології). ISO, 1993.
3. Теоретические основы информационно – измерительных систем: Учебник / В.П. Бабак, С.В. Бабак, В.С. Еременко и др.; под ред. чл.-кор. НАН Украины В.П. Бабак. – К., 2014. – 832 с.
4. Тищенко В.А. О переводе и заимствовании терминологии из международных метрологических документов / В.А. Тищенко, В.И. Токатлы, В.И. Лукьянов // ИТ. – 2003. – №10. – С. 12-16.
5. Дискуссия. Существует ли необходимость введения в метрологию нового термина... [Электронный ресурс]. – Режим доступа до ресурсу: [www.khlorin.ru/discuss.php](http://www.khlorin.ru/discuss.php).
6. Чалий В. Мовні проблеми гармонізації вітчизняних метрологічних стандартів з міжнародними / В. Чалий, Г. Мізюк, О. Чобітко // Метрологія та прилади. – 2008. – №2. – С. 3-9.
7. Білий М.У. Атомна фізика / М.У. Білий, Б.А. Охріменко. – Знання, 2008. – 559 с.
8. Стахов А.П. Введение в алгоритмическую теорию измерения / А.П. Стахов. – М.: Сов. радио, 1977. – 288 с.

9. Новицкий П.В. Основы информационной теории измерительных устройств / П.В. Новицкий. – Л.: Энергия, 1968. – 226 с.

10. Попов В.П. Инварианты Нелинейного Мира. 2006. [Электронный ресурс] / В.П. Попов. – Режим доступа до ресурсу: [www. http://holism.narod.ru/gb](http://holism.narod.ru/gb).

11. Урсул А.Д. Информация (методологические аспекты) / А.Д. Урсул. – М.: Наука, 1971. – 122 с.

12. Mutual recognition of national measurement standards and of calibration and measurement certificates issued by national metrology institutes. – Paris, 14 October 1999 (Угода про Взаємне Визнання національних еталонів і сертифікатів калібрування та вимірювань, що видаються національними метрологічними інститутами).

13. Чалий В. Деякі філософсько-інтерпретаційні та прикладні аспекти концепції непевності у вимірюванні / В. Чалий // Метрологія та прилади. – 2011. – №4. – С. 3-10.

14. Чалий В. Єдність і метрологічна простежуваність результатів вимірювань потужності ультразвуку / В. Чалий, Т. Ільницька, І. Кізілівський // Метрологія та прилади. – 2014. – №5. – С. 5-10.

15. Чалий В.П. Гносеологічні корені «кризи» в сучасній метрології на пострадянському просторі / В.П. Чалий, С.Ф. Чалий // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2015. – Вип. 2 (127). – С. 13-16.

16. МИ 1317 – 2005. ГСИ. Результаты и характеристики погрешности измерений. Формы представления. Способы использования при испытаниях образцов продукции и контроль их параметров. – М.: Изд. стандартов.

Надійшла до редколегії 7.04.2015

Рецензент: д-р техн. наук, проф. И.П. Захаров, Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків.

### ПОГРЕШНОСТЬ, НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЬ ИЛИ НЕУВЕРЕННОСТЬ В ИЗМЕРЕНИЯХ?

В.П. Чалый, О.В. Чала

Проведен всесторонний анализ концептуальных (денотативной) и дополнительных (коннотативных) значений базовых терминов: «погрешность», «невизначеність» (неопределенность), «непевність» (неуверенность), исходя из специфических особенностей измерения в соответствии с концепцией GUM. Показано, что термин «погрешность» потерял свое концептуальное и коннотативное значение и не может в полной мере отражать суть нового понятия в новой парадигме. Слово «неопределенность» не имеет значения «рассеивание» - денотативное несоответствие, а кроме того имеет и коннотативное несоответствие. Предлагается в концепции GUM вместо термина «невизначеність» использовать термин «непевність».

**Ключевые слова:** измерение, метрология, концепция GUM, гносеология, истинное значение, понятия, термин.

### ERROR, UNCERTAINTY OR DOUBT IN MEASUREMENTS?

V.P. Chalyy, O.V. Chala

The comprehensive analysis of conceptual (denotative) and additional (connotative) values of basic terms: "error", "uncertainty" (nevznatchenist) and "nepevnist" was conducted. The analysis was carried out taking into account the specific characteristics of measurement according to the concept GUM. It is shown that the term "error" has lost its conceptual and connotative meaning and could not have fully reflect the essence in new notion of the new paradigm. The word "nevznatchenist" is not used in the sense of "dispersion" - denotative discrepancy and in addition it has a connotative mismatch. It is proposed to use the term "nepevnist" instead of the term «nevznatchenist» in concept GUM.

**Keywords:** measurement, metrology, concept GUM, epistemology, true value, notion, term.