

УДК 389.62.1:53.088

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

## ГНОСЕОЛОГІЧНІ КОРЕНІ «КРИЗИ» В СУЧАСНІЙ МЕТРОЛОГІЇ НА ПОСТРАДЯНСЬКОМУ ПРОСТОРИ

*Проблему вимірювання як складного, багатогранного та діалектично суперечливого процесу кількісного пізнання оточуючого світу, розглянуто в історично - філософському плані на тлі суб'єктно-об'єктних відносин. Показано, що криза в сучасній метрології, яка існує в країнах на пострадянському просторі, має гносеологічні корені і стосується не тільки інструментального блока наукового методу пізнання, але зачіпає також світоглядні установки і нормативно-методологічні принципи. Цим можна пояснити категоричне несприйняття нового підходу до вимірювання – концепції непевності\* (або концепції GUM) окремими метрологами країн СНД, вихованими на філософії радянського зразка. Концепція GUM являє собою, фактично, нову парадигму метрології; вона повністю впроваджена в практику на Заході. Криза, як період формування і усвідомлення нової парадигми метрології на пострадянському просторі, продовжується.*

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

### Вступ

Прискорений розвиток науки і техніки у 20-му столітті, необхідність значного підвищення точності вимірювання і швидкодії засобів вимірювання, проникнення вимірювання в нові для традиційної метрології галузі, розширення міжнародної співпраці, торгівлі, гонка озброєнь та інше поставили перед метрологією нові завдання [1]. Класичний підхід, що ґрунтується на концепції істинного значення вимірюваної величини, який почав формуватися майже два століття тому, вже не міг адекватно відповісти на нові виклики. Накопичувалися нові факти, значущі аномалії, що суперечили загально прийнятим поняттям і базовим положенням класичної метрології. Появилися нові конкуруючі теорії.

Втім, коли з'явився новий підхід у вигляді концепції непевності (невизначеності), то на пострадянському просторі він був сприйнятий неоднозначно. Ще й сьогодні різні автори висловлюють різні, часом протилежні думки з приводу концепції непевності (концепції GUM) [2]. Практикуючі метрологи дезорієнтовані і не розуміють, що відбувається. Тому для з'ясування ситуації дуже важливо розглянути проблему в усіх її аспектах. Навряд чи можна такий стан речей пояснити простою «ленью мысли» чи «защитой чести мундира». Причини заховані, мабуть, набагато глибше.

\* Термін «непевність» за своєю денотативною сутністю відповідає терміну «невизначеність», але значно відрізняється за конотативним значенням, підкреслюючи антропоморфний характер вимірювання і краще відображає поняття, яке в англійській мові позначено терміном «uncertainty».

### Розвиток метрології та наукові революції

Накопичення «аномальних» фактів, які не вписуються в існуючу систему основних положень метрології, поява конкуруючих теорій вимірювання, обговорення фундаментальних положень, звернення до філософії – все це симптоми «кризи» в метрології.

Розвиток науки за Т. Куном [3] відбувається як зміна, у першу чергу, «психологічних парадигм» - поглядів на наукову проблему, що породжують нові гіпотези та теорії. І парадигма, згідно з теорією наукових революцій, переживає «кризу». Протягом «кризи» випробуються нові ідеї, які, можливо, не бралися до уваги або навіть були відкинуті. Зрештою формується нова парадигма, яка набуває власних прихильників. І між прихильниками нової і прихильниками старої парадигми починається інтелектуальна битва. Найчастіше, як сила переконання, виступає час – природне зникнення носіїв старої парадигми.

Розвиток знань, відповідно до теорії Т. Куна, визначається зміною панівних парадигм, але не простим підсумовуванням знань, тобто відбувається не тільки і не стільки кількісні зміни, як якісні зміни в структурі наукових знань. Тобто, у наявності маємо цілком закономірний процес зміни парадигми метрології, свідками і учасниками якого ми з вами є.

Щоб простежити шлях еволюції теорії вимірювання до виникнення кризи необхідно провести ретроспективний аналіз становлення метрології.

### Короткий історичний огляд

Людство займається вимірюваннями з незапам'ятних часів. З вимірюваннями пов'язують виникнення системи числення та походження інших

наук. Зокрема, існує історична концепція щодо «вимірювального» походження математики [4]. Розвиток науки про вимірювання історично можна поділити на три періоди.

Перший період (зародження вимірювання) - коли виникли практичні потреби в найпростіших вимірюваннях під час побудови житла, виготовленні знарядь праці та інше. Утім уже в Стародавній Греції бере початок теоретичне вивчення процесу вимірювання, формуються фундаментальні поняття такі як «величина», «вимірювання», що відносяться до фундаментальних понять науки. 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.

У цей період виникає перша «криза» в математиці, пов'язана з відкриттям неспіврозмірних відрізків. На його подолання було запропоновано метод «вичерпування» (Євдокс) та відомої аксіоми Архімеда.

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. 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 як прикладна фізична теорія. Зароджується нова галузь науки – метрологія, однією з центральних задач якої стає забезпечення єдності вимірювання.

Утім, вимірюваними були лише фізичні величини, які вважалися постійними. Їх число було обмеженим. Метрична Конвенція (1875 рік) поширювалася спочатку тільки на довжину і масу [1]. Вимоги до швидкодії засобів вимірювання не ставилися. Теорія вимірювання базувалася на математичній абстракції можливості «абсолютно точного» порівняння двох величин, на понятті «істинного значення», що дозволяло сформулювати відповідні аксіоми порівняння величин: аксіому тотожності, рангового порядку, та адитивності.

Третій період (20-те століття) пов'язаний з прискореним розвитком науки і техніки і прогресом в усіх сферах людської діяльності. Дослідження в ядерній фізиці та енергетиці, освоєння ближнього космосу, розвиток комунікацій, дослідження світового океану, успіхи в кібернетичних науках, у біології, психології та інше поставили перед метрологією нові завдання. Розпочався третій період з «кризи» у фізиці та математиці. У квантовій фізиці був сформульований принцип невизначеності Гейзенберга, який став квантомеханічною формою постулата неминучості похибки під час вимірювання [4].

Причиною «кризи» в математиці стало виявлення парадоксів у теорії множин, тісно пов'язаної з методологічним базисом теоретико-множинної теорії вимірювання і з поняттям актуальної безмеж-

ності. На її подолання виник конструктивний напрям у математиці, у якому поняття актуальної безмежності відкидалося. «Кризи» в математиці та фізиці не могли не вплинути на розвиток теорії вимірювання, з якими вона тісно пов'язана.

Значно зросли вимоги до точності вимірювання; за останні 60 років рівень точності підвищувався від трьох до десяти разів за 10 – 20 років. Всі еталони одиниць системи SI, включно з еталомом одиниці маси, створюються на основі квантових ефектів.

Почалося інтенсивне зближення прикладного і фундаментального напрямків у теорії вимірювання, які до цього часу розвивалися окремо. Запроваджуються методи імітаційного моделювання з використанням ЕОМ (метод Монте-Карло), ширше використовують «мисленнєвий» експеримент під час оцінювання характеристик точності (наприклад, непевності за типом В).

Третій період характерний ще і тим, що вимірювання проникають у «нефізичні» науки, такі як психологію, соціологію, економіку, етнографію, системотехніку, кібернетику та інші, де також вимагається кількісне оцінювання величин. Розробляються шкали вимірювання. Різко зростає число фізичних (хімічних, біологічних та інших) вимірюваних величин. На 21-й Генеральній Конференції мір і ваги в 1999-му році була схвалена думка про те, що тепер метрологія поширюється майже на всі галузі [1].

Спочатку, відповідно до законів діалектики, відбувалася диференціація метрології за галузями: на промислову, приладову, лабораторну, квантомеханічну, психологічну та інше. Потім розпочався процес виділення і вивчення того спільного, що характерне для метрології у різних галузях. Були висунуті альтернативні теорії вимірювання: інформаційна, алгоритмічна, аксіоматична та інші [5 – 7]. У [8, 9] з позиції теорії пізнання на підставі суб'єктно-об'єктних відносин був розкритий «внутрішній» механізм процесу вимірювання, сформульовано фундаментальні принципи вимірювання і уточнено роль суб'єкта при вимірюванні. Нарешті було розроблено новий підхід – концепцію непевності, на якій ґрунтуються міжнародні основоположні документи з метрології – VIM, GUM [2, 10].

З метою взаємного визнання національних еталонів, сертифікатів калібрування та результатів вимірювання між національними метрологічними інститутами передових країн була також підписана міжнародна Угода CIPM MRA [11]. У національних метрологічних інститутах та вимірювальних лабораторіях впроваджені системи якості відповідно до міжнародного стандарту ДСТУ ISO/IEC 17025 [12].

Як видно з викладеного вище, вимірювання на вимогу розвитку продуктивних сил суспільств і розпочавшись з простого порівняння фізичної величини з мірою, якою були, наприклад, лікоть, фут або карат (горошина плоду хлібного дерева) перетворилося в складний процес з використанням скла-

дних вимірювально-обчислювальних комплексів та вимірювально-інформаційних систем і з мірами у вигляді елементарних частинок (атомів, електронів або довжин хвиль лазерного випромінювання).

### Особливості вимірювання

Складність поняття «вимірювання» – у його, як здається на перший погляд, простоті. У дійсності вимірювання – це складний, багатогранний та діалектично суперечливий процес кількісного оцінювання властивостей об'єктів реального світу [7].

Людина в процесі пізнання використовує різні форми відображення дійсності, у тому числі за допомогою формальних об'єктів. Серед них найзручнішою формою відображення виявилось число. За допомогою вимірювання отримують цінну об'єктивну інформацію у вигляді сукупності чисел, чим вимірювання відрізняється від інших емпіричних методів пізнання, таких як спостереження, порівняння, контроль, ідентифікація. Наука про вимірювання займає особливе місце серед інших наук, таких як математика, фізика, філософія та інші, обслуговуючи кожну з них і тісно переплітаючись з ними.

Саме завдяки появі та вдосконаленню наукових приладів з'явилася ідея подолати приблизність в описі онтологічної природи і заміна його «світом прецизійності». Як зауважив відомий британський фізик А. Майкельсон: «...нові фізичні відкриття ховаються за похибками вимірювання».

На фундаментальному рівні існують щонайменше два принципово відмінні підходи до вимірювання: у концепції істинного значення приймається аксіома щодо можливості абсолютно точного вимірювання (без похибки). У концепції непевності – навпаки, похибка є невіддільною ознакою вимірювання. Відмінності між ними сягають своїми коренями глибокої давнини [4].

Вимірювання в інформаційній теорії [5, 6] розглядають як деяку процедуру, за допомогою якої з'являється (зменшується) ентропія (інтервал невизначеності) відносно вимірюваної величини. Похибка у такому разі аналогічна залишковій ентропії (Шенона), яка залишається по закінченні вимірювання.

Необхідно підкреслити ключову роль суб'єкта (людини) у процесі вимірювання. Він виступає щонайменше у двох іпостасях: як «компонент» вимірювальної системи і як «споживач» вимірювальної інформації [8]. За відсутності людини (безпосередньої чи опосередкованої) вимірювання втрачає свій сенс. Вимірювання – процес антропоморфний і дуже важливо з гносеологічної точки зору забезпечити довіру, впевненість людини (експериментатора) в отриманому результаті вимірювання.

### Аксіоми, постулати, поняття і терміни

Теорія вимірювання, як і інші науки базується на системі постулатів та аксіом як вихідних положеннях,

які встановлюють взаємозв'язок основних понять теорії у визначених для них термінах [13]. Нова парадигма метрології – концепція непевності, відрізняється від концепції істинного значення не тільки своєю аксіоматикою, але і світоглядними установками та нормативно – методологічними принципами.

Аксіома щодо існування істинного значення та можливості виміряти величину абсолютно точно означає, що за елементарну міру (за одиницю вимірювання) ніби можна взяти безмежно малу дискретну частинку, яка зберігає властивість (тобто вимірювану величину) всього об'єкта. Утім, таке твердження суперечить базовим положенням діалектики. За Гегелем [14], буття ... містить у собі три ступеня: якість, кількість, і міру. Якість ... тотожна з буттям визначеність, так, що дещо перестає бути тим, чим воно є, коли воно втрачає свою якість. Міра є єдність перших двох – якісно визначена кількість. Всі речі мають свою міру, якісно визначену кількість ... , але тут є межа, при порушенні якої (при подальшому збільшенні або зменшенні) речі перестають бути тим, чим вони були. Таким чином, «істинне значення» не може бути аксіомою для побудови теорії так, як суперечить законам діалектики та емпіричному досвіду і втрачає свій сенс не тільки в практичному, але і в теоретичному відношенні.

У концепції непевності навпаки, прийнято постулат про неможливість абсолютно точного вимірювання величини і що похибка є неодмінною ознакою вимірювання – щонайменше відповідає дефініційній непевності, пов'язаній із значенням одиниці вимірювання. Одиницю ж вимірювання можна зменшувати (для підвищення точності) тільки до певної межі, визначеної будовою матерії. За подальшого поділу одиниця вимірювання втрачає свої попередні властивості і вже не може виконувати роль одиниці даної вимірюваної величини [8]. Такий підхід повністю відповідає сучасній парадигмі науки і підтверджений експериментально (принцип невизначеності Гейзенберга в квантовій механіці, співвідношення частотно – часової невизначеності Гейбора у хвильовій механіці та негентропійний принцип інформації Брюллоена в термодинаміці) [4].

У за аксіоми теорії вимірювання взято наступні фундаментальні положення суб'єктно – об'єктних відносин, сформульовані М.Планком: зовнішній світ існує незалежно від нас; цей світ безпосередньо недосяжний нам; ми придумуємо спрощені моделі, які слугують нам фізичними образами цього недосяжного нам світу.

На такій аксіоматиці базуються нові (оновлені) поняття у концепції непевності вимірювання: величина, вимірювання, гносеологічний бар'єр, непевність (невизначеність), метрологічна простежуваність, калібрування та інше. Велике значення в концепції GUM надається довірі до результату вимірювання, виходячи з антропоморфного характеру вимірювання. Тому поняття невизначеності (непевності) іноді представляють як «кількісну оцінку непевненості експериментатора в отриманому результаті» [15].

## Висновки

Концепція непевності (невизначеності) виникла в наслідок нагальних потреб сьогодення (економіки, науки, соціальної сфери, торгівлі тощо), які кардинально відрізняються від тих, що були в часи зародження класичної метрології. Концепція непевності, відповідно до теорії наукових революцій, являє собою нову парадигму метрології. Вона впроваджена на Заході; на пострадянському просторі «криза» в метрології продовжується у вигляді формування «психологічної парадигми».

На сьогодні теорію вимірювання не можна вважати завершеною. Ще необхідно впорядкувати аксіоматику теорії, уточнити деякі поняття і переглянути відповідні україномовні терміни. Поряд з опануванням практичних методів оцінювання непевності вимірювання більше уваги необхідно приділити тлумаченню світоглядних установок та нормативно – методологічних принципів концепції непевності.

## Список літератури

1. BIPM. *Involving Needs for Metrology in Trade, Industry and Society and the Role of BIPM. A report prepared by the CIPM for the governments of the Member States of the Meter Convention. BIPM, Sevre. April 2003. (Вимоги до метрології в сфері торгівлі, промисловості, суспільства та роль BIPM. Звіт, підготовлений CIPM для урядів країн-членів Метричної Конвенції. BIPM, Севр. Квітень, 2003).*
2. ISO/IEC Guide 98. Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995) (Част. 3: Насма-нови з подання непевності у вимірюваннях).
3. Kuhn T.S. *The Structure of Scientific Revolutions. (Chicago: University of Chicago Press. 1962) ISBN 0-226-45808-3. (Кун Е. С. Структура научных революций).*
4. Стахов А.П. *Введение в алгоритмическую теорию измерений / А.П. Стахов. – М.: Сов. радио, 1977. – 288 с.*
5. Новицкий П.В. *Основы информационной теории измерительных устройств / П.В. Новицкий. – Л.: Энергия, 1968. – 248 с.*
6. Новицкий П.В. *Оценка погрешностей результатов измерений / П.В. Новицкий, Н.А. Зограф. – Л.: Энергоатомиздат, 1991. – 301 с.*
7. Орнатский П.П. *Теоретические основы информационно-измерительной техники / П.П. Орнатский. – К.: Вища школа, 1983. – 405 с.*
8. Чалый В.П. *Деякі філософсько-інтерпретаційні та прикладні аспекти концепції непевності у вимірюванні / В.П. Чалый // Метрологія та прилади. – 2011. – № 4 (30). – С. 3-10.*
9. Чалый В.П. *Измерение как элементарный акт познания / В.П. Чалый // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2013. – Вип. 3(110). – С. 20-24.*
10. *Международный словарь по метрологии. Основные и общие понятия и соответствующие термины. – СПб: НПО «Профессионал», 2010. – 80 с.*
11. *Mutual recognition of national measurement standards and of calibration and measurement certificates issued by national institute.-Paris. 14 October 1999 (Угода про взаємне визнання національних еталонів і сертифікатів калібрування та вимірювань, що видаються національними метрологічними інститутами).*
12. DСТU ISO/IEC 17025. *Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій.*
13. Баранов В.А. *Перспективы формирования теории проектирования средств измерения автоматических систем [Электронный ресурс] / В.А. Баранов. – Режим доступа: www/SciTecLibrary/ru.*
14. Гегель Г.В.Ф. *Энциклопедия философских наук. Т.1. Наука логики / Г.В.Ф. Гегель. – М.: Мысль, 1974.*
15. *Stephanie Bellю ABeginner's Guide to Uncertainty of Masurement.-NPL Teddington, Middlesex, United kingdom, TW11 OLW August 1999 ISSN 1368-6550.*

Надійшла до редколегії 23.12.2014

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

## ГНОСЕОЛОГИЧЕСКИЕ КОРНИ «КРИЗИСА» В СОВРЕМЕННОЙ МЕТРОЛОГИИ НА ПОСТСОВЕТСКОМ ПРОСТРАНСТВЕ

В.П. Чалый, С.Ф. Чалый

*Проблема измерения как сложного, многогранного и диалектически противоречивого процесса количественного познания окружающего мира, рассмотрена в исторически-философском плане на фоне субъектно-объектных отношений. Показано, что кризис в современной метрологии, который существует в странах на постсоветском пространстве, имеет гносеологические корни и касается не только инструментального блока научного метода познания, но затрагивает также мировоззренческие установки и нормативно методологические принципы. Этим можно объяснить категорическое невосприятие нового подхода к измерению – концепции неуверенности (или концепции GUM) отдельными метрологами стран СНГ, воспитанными на философии советского образца. Концепция GUM – фактически новая парадигма метрологии; она полностью внедрена в практику на Западе. Кризис, как период формирования и осознания новой парадигмы метрологии на постсоветском пространстве, продолжается.*

**Ключевые слова:** измерение, метрология, концепция неуверенности, философия, гносеология, истинное значение, понятие, срок.

## EPISTEMOLOGICAL ROOTS OF "CRISIS" IN MODERN METROLOGY IN THE FORMER SOVIET UNION

V.P. Chaliy, S.F. Chaliy

*The problem of measuring is a complex, multifaceted and dialectically contradictory process of quantitative knowledge of the surrounding world, considered in historical - philosophical terms against the post-Soviet countries background of the subject-object relations. It is shown that the crisis in modern metrology that exists in the post-Soviet countries, has epistemological roots and is not only instrumental unit scientific method of knowledge, but also affect the ideological setting and regulatory and methodological principles This may explain the categorical rejection of the new approach to measuring - the concept of uncertainty (or concept GUM) metrologists some countries, brought up on the philosophy of the Soviet model. GUM concept is actually a new paradigm metrology; it is fully implemented in practice in the West. The crisis, as during the formation and realization of a new paradigm of metrology in the post – Soviet continues is continues.*

**Keywords:** measurement, metrology, concept of uncertainty, philosophy, epistemology, true meaning, concept, term.