УДК.621.317

Г. Микитин, Р. Федорів

ЕЛЕМЕНТИ ТЕОРІЇ МІРЯННЯ

Викладені результати аналітичного огляду метрологічної термінології. Проаналізовано алгоритм міряльного процесу, запропоновано визначення поняття "міряння", розглянуто варіант функціонально узгодженої системи понять теорії міряння, виявлено неоднозначності розуміння деяких метрологічних понять.

Умовні позначення:

N - число, отримане в результаті міряння;

d_i - ознака об'єкта;

d_0 - однорідна ознака, відтворювана мірою;

x, y - значення фізичних величин;

Δ - значення міри;

Ent - функція, значення якої дає ціле число відношення фізичної величини і міри;

n - розподільна здатність вимірювача;

N_m - число рівнів керованого відтворення міри;

a_i - коефіцієнт, який приймає значення в двійковому коді;

k - коефіцієнт перетворення;

Δ_p - приведене значення міри.

Вступ

Сучасні інформаційні технології орієнтовані на використання результатів міряння різноманітних фізичних величин, причому діапазон кожної з них невпинно розширюється. Проблемами міряння фізичних величин займаються спеціалісти різних галузей науки і техніки. У міряльних цілях використовують різноманітні фізичні явища та ефекти. Фізичні величини згруповані в окремі класи, наприклад, механічні, електричні, оптичні, атомні. Кожний з класів фізичних величин має свою специфіку. Відповідно до неї є підхід до розуміння міряння. Внаслідок цього, теорія міряння втратила однорідність і потребує з нових позицій і на основі досягнень відповідного переосмислення як, власне, міряльної техніки, так і інформаційних технологій. З цією метою в даній роботі аналізується алгоритм міряльного процесу, дається означення поняття "міряння", розглядається варіант функціонально узгодженої системи понять теорії міряння, виявляються неоднозначності розуміння деяких метрологічних понять.

1. Поняття "міряння" і його інтерпретація

Міряння фізичної величини в силу суб'єктивного відображення зовнішнього фізичного світу через призму рознесених в часі понять, термінів своєрідно трактувалось і сприймалось. Зокрема, в метрології та міряльній техніці міряння визначалось як:

1) об'єкти та атрибути об'єктів, які при порівнянні із подібними до них припускають розрізнювання більшого, рівного, меншого, ми називаємо величинами; якщо ми можемо виразити їх числом, то ми називаємо це число числовим значенням величини; спосіб, через який знаходиться число, називається міряннням величини [1];

2) пізнавальний процес, сутність якого в порівнянні шляхом фізичного експерименту даної величини з деяким її значенням, прийнятим за одиницю [2];

3) процес порівняння міряної величини з однорідною, прийнятою за одиницю [3];

4) пізнавальний процес порівняння, результат якого виражається числом [4];

5) побудова шкали через ізоморфне відображення емпіричної системи з відношеннями в числову систему з відношеннями [5];

6) процес приймання і перетворення інформації про досліджувану величину з метою отримання кількісного результату, порівняння її з одиницею міряння у найбільш зручній для використання формі [6];

7) визначення кількісного значення величини експериментальним шляхом в результаті прямого або непрямого порівняння з відомим значенням [7];

8) знаходження значень фізичних величин дослідним шляхом за допомогою спеціальних технічних засобів [8];

9) складна операція, зміст якої у порівнянні фізичної величини з деяким її значенням, прийнятим за одиницю, виконання необхідних логічних та обчислювальних дій, в представленні результату міряння в числовій формі з вказаною точністю [9];

10) процедура кількісної або якісної оцінки розглядуваної властивості [10];

11) процес взаємно однозначного відображення характеристики інформативних ознак об'єкта або явища на цифрову шкалу із заданими амплітудно-просторово-часовими мірами [11];

12) система операцій, метою яких є визначення значення величини [12];

13) сукупність операцій, що виконуються для визначення значень величини [13].

Розглянемо причини такої різноманітної інтерпретації поняття "міряння". У наведених означеннях, з точки зору мови, як засобу вираження пізнавальної дійсності, відображається відношення поняття до слова. Тобто, слово є засобом утворення поняття. Слова, словосполучення використовуються для позначення понять і функціонують в нашій мові як терміни.

Структуру науково-технічної мови складають різні поняття, терміни. Через своєрідність підходу до тлумачення тих чи інших явищ, об'єктів навколишнього середовища нерідко вживаємо різні терміни для пояснення одного і того ж поняття. На перший погляд здається, що терміни є просто назвами певних явищ. Насправді ж, зміст терміну стає зрозумілим не з того, що ми ним позначуємо, не з семантичного означення, а з теорії цього явища. Тобто, метрологічні терміни повинні бути глибоко пов'язані з теоретичними концепціями міряння. Це підкреслює відповідність форми терміну його змістові, дозволяє логічно інтерпретувати метрологічне поняття.

Тривале користування російськомовною літературою призвело до вкорінення багатьох сумнівних у відношенні їх чистоти науково-технічних термінів. Сьогодні йде процес становлення держави. Особливою є проблема мовознавства. У тому розумінні, що кожний термін повинен би віддзеркалювати сутність явища кореневою системою української мови.

У науковій мові часто зустрічаємо терміни метафоричного характеру. Наприклад, термін "поле величини". Його розуміють, як множину однорідних ознак об'єкта навколишнього середовища. Часто вживають термін "апріорна інформація". Для фізиків, спеціалістів в галузі мірянь цей термін означає ті знання, дані, які були отримані до початку експерименту. А для філософів він асоціюється з терміном "апріорне судження", відповідно введеним в свій час. Ці приклади продовжують такі філософські та загальнонаукові категорії як: метод, об'єкт, суб'єкт, властивість, кількість, якість, модель. Метафорична структура наукової мови призводить до багатозначності метрологічних понять.

Такі неузгодженості вносять свій відбиток на розуміння проблеми міряння фізичних величин, призводять до нечіткості формулювань означень понять теорії міряння.

2. Аналіз алгоритму міряльного процесу

Аналіз алгоритму міряння дасть можливість уяснити: що, як і чим міряємо; означити поняття міряння; функціонально узгодити між собою метрологічні поняття; відповідно сформувати систему понять теорії міряння.

Об'єкти навколишнього середовища пізнаємо за допомогою конкретних методів. Серед них, як загальнонаукові, виділяють: емпіричні, емпірично-теоретичні, теоретичні. Порівняння, рахунок, міряння, оцінювання, розпізнавання відомі як емпіричні.

Світ пізнається шляхом порівняння. Порівняння об'єктів навколишнього середовища здійснюється за допомогою ознак і є змістовним у випадку їх однорідності. Ознака - характеристика об'єкта чи сукупності об'єктів, що відрізняє їх від інших. Порівнюючи об'єкти за однорідними ознаками, встановлюємо подібність або відмінність між ними. Більше того, із сукупності об'єктів виявляємо, що певної ознаки в одного з об'єктів "більше" або "менше", ніж в другого. Класифікуючи об'єкти за однорідними ознаками, формуємо певні сукупності об'єктів. Кількість якісно однорідних об'єктів з деякої сукупності визначаємо за допомогою рахунку. Результатом рахунку є число однорідних об'єктів.

Відомості про ознаку досліджуваного об'єкта отримуємо в процесі його взаємодії з фізичним полем (електричним, магнітним, електромагнітним, тепловим, гравітаційним та ін.). Характеристики фізичного поля, які при взаємодії з досліджуваним об'єктом зазнають характерних змін, відображаються потоком енергії. Потік енергії переносить відомості від досліджуваного об'єкта до приладу. Носієм відомостей про ознаку об'єкта є сигнал.

При зіставленні декількох об'єктів за однорідною ознакою можна їх порівнювати з одним із них. Таким чином, виникає поняття про міру як об'єкт, якому властива ознака для порівняння з ним однорідних ознак інших об'єктів. Якщо ознаці об'єкта в процесі порівняння з мірою відповідає число, вона є фізичною величиною. Співвідношення міри і міряльної величини встановлює число, яке відображає властивості досліджуваного об'єкта. Властивість об'єкта - характеристика об'єкта, що виявляється у відношенні еквівалентності, у відношенні еквівалентності та порядку, у відношенні адитивності чи у всіх трьох відношеннях разом. Таке числове відображення характерне для побудови шкали приладу. При порівнянні однорідних ознак об'єктів з мірою, рахунку співвідношення міри і значення фізичної величини ідеальним пристроєм порівняння приймається наступне значення [14]:

$$N = (0 \text{ при } d_l \le d_0), (1 \text{ при } d_l > d_0), \quad (1)$$

Число N, отримане за допомогою міри та пристрою порівняння, підтверджує акт міряння значення фізичної величини.

Деякі ознаки досліджуваних об'єктів, середовищ відносяться до фізичних величин, значення яких можуть бути поміряні шляхом безпосереднього зіставлення з мірою. Прямим методом міряються наступні фізичні величини: довжина, вага, кут, сила електричного струму. У літературі прямі методи міряння відомі як методи зіставлення та зрівноважування. Сутність методів зіставлення - в однократному паралельному порівнянні міряної величини з усіма вихідними значеннями шкали приладу сформованої мірою її багатократним відтворенням за певним алгоритмом.

Для прямого міряння фізичних величин, наприклад, довжини методом зіставлення за алгоритмом (рис. 1)

$$N\Delta > x < (N+1)\,\Delta, \quad (2)$$

рівняння міряння запишеться:

$$N = Ent\,(x/\Delta). \quad (3)$$

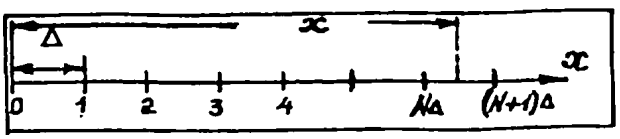

Рис. 1 . Міряння прямим методом

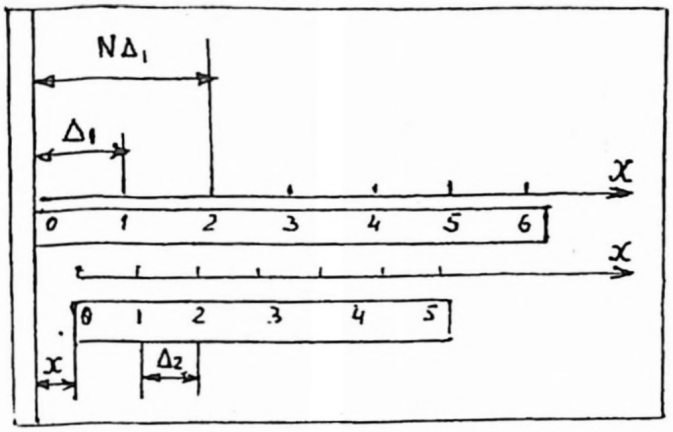

Рис. 2. Міряння методом ноніуса

Різновидністю методу зіставлення є метод ноніуса. Він використовується у випадку відсутності міри для міряння малих значень фізичних величин. Грунтується він на використанні двох різних за величиною однозначних мір Δ_1 і Δ_2, які шляхом багатократного відтворення формують дві рівномірні шкали приладу з одиничною системою числення. Значення величини другої міри визначається як

$$\Delta_2=\Delta_1 (1-1/n). \quad (4)$$

При мірянні фізичних величин методом ноніуса нульові мітки шкал зсуваються на міряну величину x. За алгоритмом (рис.2)

$$N\Delta_1 - (x - N\Delta_2) < \Delta_1/n, \quad (5)$$

$$N\Delta_1=x+N\Delta_2 \quad (6)$$

число N, як результат міряння, визначають за номером найближчих до початку шкал міток, що співпадають. Якщо знехтувати величиною (Δ_1/n) у виразі (5) і відповідно підставити в нього вираз (3), отримаємо результат міряння методом ноніуса:

$$N = Ent(x_н/\Delta_1) = Ent(x/(\Delta_1/n)) = Ent(x/\Delta_р). \quad (7)$$

Багаторазове порівняння міряної величини та вихідної величини керованої міри до їх зрівноважування складає сутність методу зрівноважування. Прикладом прямого міряння методом зрівноважування є міряння електричного струму. В залежності від способу зміни величини міри розрізняють наступні алгоритми прямого міряння методом зрівноважування: послідовного рахунку, послідовного наближення, відліків. За алгоритмом послідовного рахунку (рис.3):

$$0 < \left(x - \sum_{i=1}^{N} a_i \Delta \right) < \Delta \quad (8)$$

$$x_0=0 \quad (9)$$

$$x_1=x_0+\Delta=1\Delta$$

$$x_2=x_1+\Delta=2\Delta$$

$$x_3=x_2+\Delta=3\Delta$$

- - - - - - - - - - -

$$x_N=x_{N-1}+\Delta=N\Delta$$

$$a_i=(1 \text{ при } x-i\Delta >0),(0 \text{ при } x-i\Delta<0). \quad (10)$$

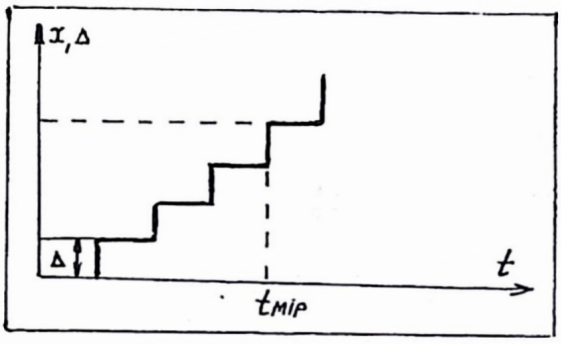

Рис. 3. Міряння методом зрівноважування

Відсутність пристроїв порівняння та мір для більшості електричних та неелектричних величин обумовлює необхідність використання міряльного перетворювача. Для ідеального перетворювача характерна лінійна залежність:

$$Y = k\,X. \tag{11}$$

Після перетворення однієї фізичної величини в іншу, результат порівнюється з мірою пристроєм з проградуйованою шкалою. Внаслідок цього, прилад переходить в один з рівноважних станів. За рівноважним станом приладу оцінюємо значення міряної величини. Міряння з попереднім перетворенням роду фізичної величини характеризується рівнянням:

$$N = Ent(y/\Delta) = Ent(k\alpha/\Delta) = Ent(x/(\Delta/k)) = Ent(x/\Delta_p). \tag{12}$$

Таким чином, виходячи з наведених алгоритмів та рівнянь прямого і непрямого мірянь фізичних величин пропонується означення цього поняття. Міряння - послідовність операцій і дій, спрямованих на отримання числа, яке характеризує значення фізичної величини в одиницях міри.

3. Системи понять теорії міряння

У рамках термінології міряльного процесу, не порушуючи вже усталених принципів і методів уніфікації, стандартизації термінології, використовуючи дедуктивний метод розвитку термінологічної системи в галузі міряння, пропонується своєрідний варіант структури системи понять теорії міряння. Відомо, що в термінології поняття завжди розглядаються у відповідному зв'язку з іншими поняттями. Дана структура системи понять теорії міряння має в своїй основі ієрархічні партитивні відношення між поняттями цілого та його частин (міряльного процесу і його складових) та неієрархічні відношення, які через причинно-наслідковий зв'язок відображають послідовність операцій і дій процесу міряння (див. табл. 1).

Таблиця 1

Поняття міряльного процесу	
Ієрархічні відношення	Неієрархічні відношення
Порівняння	Відомості, ознака, властивість, характеристика.
Рахунок	Класифікація, кількість, число, цифра.
Реєстрація	Предмет, відмітка, пристрій.

Міряння	Модель, сигнал, параметр, метод, величина, розмірність, одиниця, значення, міра, шкала, прилад, перетворювач, порівнювач, діапазон, градуювання, результат, похибка, точність, контроль.
Оцінювання	Реалізація, імовірність, розподіл, моменти.

Відносно основних розділів міряння - метрології, міряльного процесу, результату та похибки мірянь, засобів та методів мірянь, метрологічного забезпечення засобів мірянь, доцільно було б визначити:

- вихідні однослівні терміни в галузі міряль (наприклад, об'єкт, величина, властивість, перетворення, міряння);
- двослівні терміни, основу яких складають вже відомі за формою і змістом однослівні, а разом вони несуть нове навантаження (наприклад, міряна величина, властивість об'єкта, міряльне перетворення. єдність мірянь);
- трислівні терміни, в основі яких аналогічно знаходяться двослівні (наприклад, забезпечення єдності мірянь).

Такий підхід до впорядкування термінологічної системи дасть змогу розглянути міряння як функціонування послідовно-означених одно-, дво-, трислівних термінів. Тобто, розглянути термін "фізична величина", якщо ми знайомі з терміном "величина", розглянути однослівний термін "міряння", якщо йому передують однозначно послідовно-означені терміни: об'єкт, властивість, ознака, однорідність, порівняння, величина, рахунок, міра, число, шкала, точність, які витримані у своїй функціональній залежності.

4. Аналіз змісту деяких метрологічних понять

З точки зору відповідності форми змістові, неоднозначності розуміння цікавими є наступні метрологічні поняття:

- рахунок і міряння;
- значення фізичної величини і результат міряння;
- прямі міряння;
- аналого-цифровий перетворювач;
- міра та одиниця міряння;
- реєстрація і міряння.

Відомо, що внаслідок міряння значення деякої фізичної величини отримуємо число. Але й рахунок своєю метою має отримання числа. Так в чому ж різниця? Суттєвими поняттями, за якими необхідно відрізняти рахунок від міряння, є міра і число. Рахуючи - визначаємо кількість якісно однорідних об'єктів з деякої сукупності. Міряючи - визначаємо число, як результат, шляхом порівняння міряної величини з однорідною, за фізичною природою, мірою. Рахуємо за допомогою натуральних чисел, а міряємо за допомогою раціональних та дійсних.

Часто поняття "значення фізичної величини" асоціюється з поняттям "результат міряння". Значення фізичної величини - оцінка фізичної величини у вигляді числового значення величини із зазначенням її одиниці [15]. Цікавим є той факт, що в літературі дають рекомендації недоцільності використання виразу "міряння значення фізичної величини" з тої причини, що значення величини - це результат вже скінченного міряння. Не береться до уваги те, що значення величини може бути апріорі відомим, але не виміряним. Тоді, як результат міряння фізичної величини числове значення фізичної величини знайдене шляхом її міряння [15].Таким чином, значення фізичної величини може не бути результатом міряння, а результат міряння - завжди числове значення фізичної величини.

Цікавим для розуміння є термін "прямі міряння". У літературі йому дають наступне означення: міряння, при якому невідому величину знаходять безпосередньо за результатами досліду [16]. Стрілкові прилади подають за приклад використання

прямого міряння. У той час, як робота будь-якого стрілкового приладу грунтується на міряльному перетворенні невідомої величини в проміжну, надалі в кут відхилення стрілки за шкалою, який знаходиться у відповідній функціональній залежності з міряною величиною. Тільки за певних умов термін "прямі міряння" відповідає своєму змістові. Це стосується міряння такої величини як довжина, де міряльним пристроєм є лінійка. Тут значення міряної величини дістаємо безпосереднім шляхом без будь-яких перетворень роду фізичної величини.

Міряльне перетворення є відображенням однієї форми енергії в іншу. В залежності від форми енергії (механічна, електрична, магнітна, теплова, випромінювальна, хімічна) комбінація вхідного (міряного) та вихідного сигналів визначає тип перетворювача. Серед них - резистивні, ємнісні, індуктивні, перетворювачі на магнітних ефектах, п'єзоелектричні, оптичні, перетворювачі для міряння температури та інші. В тому плані аналого-цифрове перетворення в книжках з основ метрології та електричних мірянь вважають усталеним поняттям і трактують як: перетворення неперервної міряної величини в квантовану та утворення відповідного коду [16]. За означенням першої редакції державного стандарту України з метрології: аналого-цифровий перетворювач - міряльний прилад, в якому створюється кодовий сигнал міряльної інформації. Маємо протиріччя в означеннях. З терміном "перетворення" в нас асоціюється перетворення однієї величини в іншу. А тут йде представлення вхідної міряної величини - кодом (без перетворення в іншу фізичну величину). Цей алгоритм закладений в методі зрівноважування, що є підтвердженням прямого міряння без допоміжного перетворення. Таким чином, назва терміну "аналого-цифровий перетворювач" не відповідає його змістові. Аналогові прилади насправді виконують функцію перетворення, аналого-цифрові перетворювачі - функцію міряння.

Міра та одиниця міряння - одні з основних елементів міряльного процесу. Ці метрологічні поняття не завжди адекватні. Але і саме поняття "міра" далеко неоднозначне. Поняття "міра" широко використовується і має відповідний зміст в залежності від вирішення різного класу задач. У математиці користуються поняттям "міри точкової множини" як відстані між двома об'єктами, які відображають числами на множині. У міряльній техніці - це засіб вираження фізичної величини числом.

Історія створення метричних мір бере початок з точних мірянь "природної" одиниці довжини меридіану Землі і закінчується створенням і введенням предметних еталонів - одиниці довжини і маси - метра і кілограма. Від часу введення метра інші міри почали представляти цією одиницею. Виникла ситуація коли міра і одиниця міряння не одне і те ж. Тепер мірою може бути дюйм, а одиницею міряння. - метр. Для цього потрібно знати коефіцієнт перерахунку. Таким чином, існують різні одиниці міряння одних і тих же фізичних величин, наприклад, градуси і радіани, джоулі і електровольти.

Для єдиності представлення результату міряння - розмірність числа, як результат міряння, може бути в одних одиницях, а міра, яка використовується для отримання цього числа - інша. Оскільки, зручно і доцільно подавати результат міряння в одиницях, то розбіжність між одиницею міряння і мірою є нормою. Навіть еталон довжини - довжина хвилі оранжевої лінії випромінювання криптону-86, представлена одиницею міряння - метром.

Метрологічні поняття "реєстрація" і "міряння" є неоднозначними для змістового розуміння. Уточнимо зміст реєстрації.

Предмети довкілля сприймаються органами відчуттів (зору, слуху, нюху, смаку, дотику) і реєструються у мозку людини за якісними та кількісними ознаками. Точність відображення про предмет у пам'яті людини є індивідуальною і достатньо ненадійною у випадку відтворення. Точність реєстрації зросла, коли її здійснювали за допомогою відміток. Наприклад, довжину реєстрували як деяку зарубину на палиці. З прогресивним розвитком цивілізації розроблялись різноманітні пристрої реєстрації. Ці пристрої використовувались для кількісної реєстрації таких фізичних величин як довжина, кут. Це обумовлено тим, що людина здатна реєструвати ці величини без

будь-якого їх перетворення.

У практиці мірянь використовують ручну і автоматичну реєстрацію значень фізичних величин. Зокрема, приклад ручної наведено вище. Автоматичну розрізняють аналогову та цифрову. Розглянемо зміст автоматичної реєстрації. За результатом реєстрації визначають характер зміни міряної величини, встановлюють функціональний зв'язок між зареєстрованою та поміряною величинами. Для вирішення багатьох задач міряння достатньо зареєструвати значення міряної величини, перетвореної у зручну для сприйняття величину - її аналог, наприклад, довжину. Для цього використовуються реєструючі прилади: самописці, світло-променеві, електронно-променеві осцилографи.

Фізичний зміст міряння значення фізичної величини відображається наступною послідовністю операцій і дій:

- взаємодією міряного об'єкта з міряльним приладом;
- міряльним перетворенням однієї фізичної величини в іншу фізичну величину;
- порівнянням значення фізичної величини з однорідною за фізичною природою мірою;
- отримання результату міряння внаслідок порівняння значення фізичної величини з мірою.

У міряльному процесі аналогова реєстрація виконує функцію міряльного перетворення і означується як: відмітка на певному об'єкті, наприклад, діаграмному папері, відомостей про значення фізичної величини, як досліджуваний об'єкту без процедури порівняння з мірою.

У тому контексті розглянемо цифрову реєстрацію. Як приклад цифрової реєстрації, неперервна міряна величина перетворюється за допомогою частотних перетворювачів у пропорційну до неї частоту, яку, у свою чергу, міряють шляхом відліку числа імпульсів за деякий згаданий часовий інтервал, який порівнюється з мірою. Тут цифрова реєстрація несе змістове навантаження міряння і означується як подання значення міряної величини числом.

Отже, міряння - один із способів реєстрації значень фізичних величин. І коли ми говоримо, що міряємо значення фізичної величини, це означає, що ми її реєструємо цифровим способом.

Висновок

Теорія міряння є фундаментальною основою для побудови різного роду міряльних систем. Метрологічна термінологія - її вихідний момент. На сьогоднішній день внаслідок того, що потік відомостей про навколишнє середовище, фізичні процеси в ньому все збільшується, актуальною залишається необхідність в перегляді наступних питань:

- результат міряння; процес формування;
- вибір міри; її властивості, побудова шкали приладу;
- діапазони міряння; межі, міряльні перетворення, метрологічне забезпечення.

Summary. Results of an analytic survey of metrological terminology is stated. An algorithm of measuring process is analyzed and definition of "measuring" notion is proposed. A variant of functionally compatible system of measuring theory notions is considered and unsynonymous understanding of some metrological notions is revealed.

Література

1. Гельмгольц Л.Ф. Счет и измерение.- Казань, Издательство Казанского ун-та, 1883.- 210 с.
2. Маликов М.Ф. Основы метрологии.-Коммерприбор, 1949. - 479 с.
3. Попов В.С. Электрические измерения и приборы; Учебник.-6-е изд., испр.-М.Л. Госэнергоиздат - Судпрогиз, 1953. -380 с.
4. Востроκнутов Н.Г. Учебное пособие по курсу "Электрические и магнитные измерения. Основы метрологии". Москва: Всесоюзный заочный энергетический институт, 1964.-152 с.
5. Пфанцагль Й. Теория измерений.-М.:Мир, 1976.-248 с.
6. Кушнир Ф.В. Электрорадиоизмерения; Уч. пос. -Л.:Энергоатомиздат, -320 с.

7. Хофманн Д. Техника измерений и обеспечение качества. - Москва: Энерго-атомиздат, 1983 - 471 с.
8. Электрические измерения. Учеб. пособие для вузов / Малиновский В.Н., Демидова-Панферова Р.М., Евланов Ю.Н. и др.; Под ред. д-ра техн. наук Малиновского В.Н. -М.:Энергоатомиздат, 1985. - 416 с.
9. Винокуров В.И. и др. Электрорадиоизмерения.Уч. пос. / Винокуров В.И., Каплин С.И., Петелин И.Г.; Под ред. Винокурова В.И.. 2-е изд., перераб. и доп. -М.: Высш. шк., 1986 -351 с.
10. Брянский Л.Н., Двойников А.С. Краткий справочник метролога. Москва: Изд-во стандартов, 1991. - 80 с.
11. Беленький Я.Е. Принцип квазиортогональности в измерениях. Киев: Наукова думка, 1992.-222 с.
12. Міжнародний словник основних і загальних термінів метрології.- Т.50 - 40с.
13. Орнатский П.П. Теоретические основы информационно-измерительной техники.-Киев: Вища школа, 1983.- 455 с.
14. Совет экономической взаимопомощи. Постоянная комиссия по координации научных и технических исследований. Словарь по метрологии.-1989.-231 с.
15. Державний стандарт України. Метрологія. Терміни та визначення. Перша редакція. Київ: 1993.-69 с.
16. Основы метрологии и электрические измерения; Учеб./Авдеев Б.Я., Антонюк Е.М., Душин Е.М. и др.; Под ред. Душина Е.М. -6-е изд. перераб. й доп. -Л.:Энергоатомиздат. 1987.- 480 с.