

оброблення даних: ДСТУ ISO 6974-2:2007. – [Чинний від 2008-10-01]. – К. : Держспоживстандарт України, 2008. – 21 с. – (Національний стандарт України). 26. Природний газ. Обчислення теплоти згоряння, густини, відносної густини і числа Воббе на основі компонентного складу: ДСТУ ISO 6976:2009. – [Чинний від 01-01-2011]. – К. : Держспоживстандарт України, 2010. – 48 с. – (Національний стандарт України). 27. ГОСТ 20060-83. Газы горючие природные. Методы определения содержания водяных паров и точки росы влаги. – М. : Издательство стандартов, 1983. – 16 с. 28. Газы горючие природные. Методы определения сероводорода и меркаптановой серы: ГОСТ 22387. 2-97. – [Дата введенья 01. 01. 88]. – М. : Издательство стандартов, 1987. – 14 с. – (Государственный стандарт Союза ССР).

УДК 53.08:621.2.08

## АНАЛІЗ ШКАЛ ВИМІРЮВАНЬ

Ї Мотало Василь, 2015

Національний університет “Львівська політехніка”, кафедра інформаційно-вимірювальних технологій,  
вул. С. Бандери, 12, Львів, 79013, Україна

*Розглянуто й проаналізовані основні питання теорії та принципи систематизації типів шкал вимірювань.*

*Розглянуто види властивостей емпіричних об'єктів та особливості їх прояву і відповідні їм шкали вимірювань. Вибір і використання тієї чи іншої шкали і, відповідно, методики вимірювання залежить від виду вимірюваної величини та способу отримання вимірювальної інформації, тобто способу порівняння розмірів величин.*

*Ключові слова: метрологія, вимірювання, шкала величини, шкали вимірювань, шкали найменувань, шкали порядку, шкали інтервалів, шкали відношень, абсолютні шкали.*

*Рассмотрены и проанализированы основные вопросы теории и принципы систематизации типов шкал измерений. Рассмотрены виды свойств эмпирических объектов, особенности их проявления и соответствующие им шкалы измерений. Выбор и использование той или иной шкалы и, соответственно, методики измерения зависят от вида измеряемой величины и от способа получения измерительной информации, т. е. способа сравнения размеров величин.*

*Ключевые слова: метрология, измерения, шкала величины, шкалы измерений, шкалы наименований, шкалы порядка, шкалы интервалов, шкалы отношений.*

*The basic principles of systematization of measurement scales types are describes and analyses in this article. Properties types of the empirical objects and corresponding measurement scales are considered. According to VIM3 (“International vocabulary of metrology: Basic and general concepts and associated terms”), measurement scale (quantity-value scale) is an ordered set of quantity values of quantities of a given kind of quantity used in ranking, according to magnitude, quantities of that kind, for example, Celsius temperature scale, time scale, Rockwell C hardness scale etc.*

*According to the metric determination, depending on the type of the investigated empirical object, in particular, of its properties, and therefore the type of measured value, measurement scales are divided into the following types: non-metric scales: nominal scales and ordinal scales; metric scales: intervals scales, ratios scales and absolute scales. Metric scales – these are scales, which have the units of measurement (for eg., meter, ampere, m/s). Non-metric scales – these are scales, which do not have units of measurement.*

*According to the form of empirical data obtaining, measurement scales are divided into verbal, numerical and graphic.*

*According to the number of the displayed properties of empirical objects, measurement scales are divided into one-dimensional and multidimensional.*

*Nominal scales are formed in the case when a certain property of empirical objects is evident only in respect of equivalence. The main informative parameter of such objects is their quantity (number), which is determined by counting. This feature can be displayed by any number or other mark that does not contain any information about the value size, which is inherent in this property. Nominal scales or scales of names are used in the measurement of objective evidences such as odor, color, blood groups, nationality, marital status, age, gender, work experience, qualifications, telephone numbers, passports, bar codes of products, etc.*

*Ordinal scales are formed in the case when a certain property of empirical objects is shown in relation of equivalence and order (of level). Located according to ascending or descending order, namely, according to the rank, the size of the measured values constitute ordinal scale or rank scale. The ordinal scale or rank scale is expressed in the form of an ordered sequence of points, marked with letters, numbers or symbols that meet certain values size  $Q_i$ ,  $i=1,2,3,\dots,n$ :  $Q_1 < Q_2 < Q_3 < \dots < Q_n$ . It is known about the extent of the value  $Q_i$  that one of them is always less than the next and larger than the previous one, but exactly the sizes are unknown. The hardness of minerals, sensitivity of films, the intensity of earthquakes, volume level and more are measured by the ordinal. Wind power is measured on 12-point Beaufort scale.*

*The intensity of earthquakes is measured on a 10-point Richter scale.*

*Scales which are formed from strictly defined intervals are much more sophisticated, the so-called intervals scales, which are described by the equation  $Q_i - Q_j = \Delta Q_{i,j}$ , and the interval  $\Delta Q_{i,j}$  between the size of value  $Q_i$  and  $Q_j$  is exactly known. Value scale can be set on the intervals scale and there is adopted by agreement "conditional zero". For example, in the Celsius temperature scale one degree (1 °C) is equal to 1/100 interval between the temperature of melting ice, adopted as a starting point (0 °C) and water boiling (100 °C). So, the unit value and its dimension can be set on the intervals scale. According to interval scale it is possible to determine not only that one size is larger (smaller) from the other, but also how much more it is larger (smaller), it means that on intervals scale it is possible to perform mathematical operations such as addition and subtraction.*

*The most advanced, the most informative and the most common of all the measuring scales there are ratios scales, in which the starting point of reference is adopted by the point with really zero size value ("absolute zero"). An example of the ratio scale is Kelvin temperature scale. As the origin the absolute zero of temperature is taken, at which the thermal motion of molecules stops. The second point of reference is the melting temperature of ice. According to Celsius scale interval between the points of reference is 273.15 °C. Therefore, on Kelvin scale it is divided into equal parts, each of which is 1/273.15 of the interval between the points of reference and is called Kelvin. Ratio scale serves for the submission of the measurement result, obtained by experimental comparison of  $i$ - size  $Q_i$  with  $j$ -th size  $Q_j$  according to rule  $q = Q/[Q]$ . On the ratio scales it is possible to perform all arithmetic operations: addition, subtraction, multiplication and division. In this regard, ratio scales are the most widely used in metrology, particularly for measuring electrical quantities – amperage, voltage, electric resistance and others.*

*The absolute scale – this is a ratio scale (proportional or additive) of dimensionless quantity. The results of measurements in absolute scales can be expressed not only in terms of arithmetic values, but as a percentage, fractions of millionths (p.p.m.), parts per thousand, bits, bytes and decibels.*

*The choice and use of this or that scale and, therefore, measurement methodology depends on empirical objects properties, the type of measured value and obtaining method of measuring information, namely the way of comparison of the of the quantities sizes.*

**Key words:** metrology, measurements, quantity-value scale, measurement scales, nominal scales, ordinal scales, interval scales, ratio scales, absolute scales.

**Вступ.** Питання означення поняття "шкала вимірювань", як одного із ключових понять теорії вимірювань, трактування його суті та специфіки реалізації викликало зацікавленість, його досліджували упродовж всієї тисячолітньої історії розвитку метрології. Особливої актуальності це питання набуло

сьогодні у зв'язку із введенням у метрологічну практику Міжнародного словника з метрології VIM3 [1], який відображає розвиток поняттєво-термінологічного забезпечення сучасної метрології та суттєво розширює сферу її дослідження, а також рекомендацій Міжнародного комітету мір і ваг щодо

становлення нових задач метрології у таких сферах людської діяльності, як медицина, торгівля, економіка, промисловість, освіта, психологія, соціологія, кваліметрія тощо [2].

Насамперед йдеться про розширене трактування ключового поняття метрології – “вимірювання” і пов’язаних з ним понять “величина” та “вимірювана величина”:

◆ *вимірювання* (англ. – *measurement*) – процес експериментального визначення одного або декількох значень величини, які обґрунтовано можна приписати величині;

◆ *величина* (англ. – *quantity*) – властивість явища, тіла або речовини, що може бути виражена кількісно у вигляді числа із відмітною ознакою як основою для порівняння. Основою для порівняння може бути одиниця вимірювання (одиниця величини), методика вимірювання, стандартний зразок або їх комбінація;

◆ *вимірювана величина* (англ. – *measurand*) – величина, що підлягає вимірюванню.

Розширення сфери дослідження сучасної метрології відображає відхід від звуженого зведення поняття вимірюваної величини до “фізичної величини” [3], оскільки фізична величина є лише однією із низки можливих вимірюваних величин – фізичних, хімічних, біологічних, психологічних, соціологічних, економічних оцінок якості продукції [4] тощо. Істотне розширення номенклатури вимірюваних величин потребує, своєю чергою, вдосконалення методології синтезу *шкал вимірювань* цих величин, разом із питаннями відтворення *одиниць* та створення *еталонів* вимірюваних величин. Вирішення цих питань необхідне, зокрема, для забезпечення єдності вимірювань у вказаних вище сферах відповідно до вимог Закону України “Про метрологію та метрологічну діяльність” [5], що визначає їх актуальність і зумовило тематику цієї роботи.

**Метою** цієї статті є аналіз теорії сучасних шкал вимірювань та критеріїв їх систематизації, вироблення рекомендацій щодо методології синтезу шкал вимірювань та їх використання для розв’язання відповідних вимірювальних задач.

## 1. Теоретичні засади класифікації типів шкал вимірювань

**1.1. Аналіз відомих означень поняття “шкала вимірювань”.** Загалом, *шкала (вимірювань)* (від лат. *scala* – *сходи*) – це зіставлення результату вимірювання якої-небудь величини і точок на прямій. У чинних

сьогодні довідкових та нормативних документах у сфері метрології є різні означення шкали вимірювань. Згідно з VIM3 [1], *шкала вимірювань (шкала значень величини, шкала величини)* (англ. – *measurement scale, quantity-value scale*) – упорядкований набір значень величин цього роду, використовуваний для ранжування відповідно до розміру величин цього роду. Згідно з ДСТУ 2681-94 [3], *шкала фізичної величини* (англ. – *reference-value scale of a quantity or property*) – послідовний ряд значень однорідних фізичних величин, які присвоєні цим величинам відповідно до узгоджених правил. В найпростішому розумінні, *шкала вимірювань (шкала вимірюваної величини)* – це послідовний ряд значень однорідної фізичної величини, які присвоєні цій величині відповідно до узгоджених правил. Наприклад, температурна шкала Цельсія, шкала міцності матеріалів тощо. Шкали вимірювань використовують для порівняння розмірів однорідних величин.

Узагальненіше означення *шкали вимірювань* наведене в [6]. Одну емпіричну підмножину властивостей емпіричних об’єктів можна відобразити двома або більшою кількістю підмножин формальних об’єктів. Різні числові підмножини  $x_{1N_1}$  та  $x_{1N_2}$ , які відображають ту саму емпіричну підмножину  $X_1$ , перебувають у певному взаємозв’язку. Цей взаємозв’язок виражається в понятті шкали вимірювань, тобто *шкала вимірювань* – це залежність між елементами певної числової підмножини  $x_{1N_1}$  та підмножини  $x_{1N_2}$ , які відображають ту саму емпіричну підмножину  $X_1$ .

Отже, *шкала вимірювань* (в широкому розумінні) – це відображення множини різних проявів кількісної або якісної властивості емпіричного об’єкта на прийнятну за згодою упорядковану множину чисел або іншу систему логічно пов’язаних знаків (позначень) [7–9]. Такими системами знаків є, наприклад, множина позначень (назв) кольорів, множина балів оцінювання стану емпіричного об’єкта, множина класифікаційних символів тощо. Елементи множин прояву властивостей емпіричних об’єктів перебувають в певних логічних співвідношеннях між собою: співвідношенні “еквівалентності” чи “рівності”, співвідношенні “відмінності” чи “подібності (близькості)” цих елементів; кількісних відмінностях – “більше”, “менше”; можливості виконання операцій додавання, віднімання, множення та ділення елементів множин тощо. Ці

особливості прояву властивостей емпіричних об'єктів і визначають типи відповідних їм шкал вимірювань.

**1.2. Критерії класифікації типів шкал вимірювань.** Всі відомі класифікації *типів* шкал вимірювань (вимірювальних шкал) або, як часто неточно говорять, класифікації шкал вимірювань (вимірювальних шкал), ґрунтуються на тому, як трактується поняття вимірювання [6–11]. Відповідно, розрізняють широкі й вузькі класифікаційні системи: говорять про шкали вимірювань в загальному розумінні й про шкали вимірювань конкретних величин. *Шкала величини* (у вузькому розумінні) – шкала вимірювання певної величини, наприклад, шкала часу, газова шкала вимірювання температури тощо [9].

Для розуміння функції шкал в теорії вимірювань насамперед потрібно означити відмінність між *матеріальними* та *концептуальними* шкалами. Ця відмінність, не відкидаючи взаємозв'язку цих типів шкал, зумовлена відмінностями між *теоретичними* та *емпіричними* аспектами вимірювань, поширюється, насамперед, на шкали вимірювань метричних величин: *величина – засіб вимірювання*, наприклад, температура – термометр, тиск – барометр чи манометр, густина – пікнометр чи ареометр тощо.

Іншим концептуальним поняттям у теорії шкал є початкова точка відліку, або “*нуль*” шкали: нульову точку шкали трактують як *точку рівноваги* – так званий “*абсолютний нуль*”, наприклад, “*нуль*” на температурній шкалі Кельвіна, або як *точку віднесення* – так званий “*умовний нуль*”, наприклад, 0 °С на температурній шкалі Цельсія. Цю відмінність часто трактують як відмінність між послідовними значеннями величин, які об'єктивно мають певний мінімум, наприклад, температура, і не мають його, наприклад, час.

У теорії вимірювань шкалою вимірювань у найзагальнішому розумінні вважають впорядковану систему [9]:

$$\{A; N; F\}, \quad (1)$$

де **A** – емпірична реляційна система (емпірична система з відношеннями); **N** – числова реляційна система (числова система з відношеннями); **F** – ізоморфне або гомоморфне відображення **A** “в” **N**.

Зокрема, *k*-вимірною шкалою вимірювань вважають гомоморфізм **F** (відображення) незвідної емпіричної системи з відношеннями  $A = \langle A; (R_i)_{i \in I} \rangle$  в *k*-вимірну числову систему з відношеннями  $N = \langle N^k; (S_i)_{i \in I} \rangle$  [8].

Образи елементів множини **A** за заданого гомоморфізму називають *шкальними значеннями*.

Також для розуміння функції шкал у теорії вимірювань потрібно означити взаємозв'язок між поняттями “*величина*”, “*вимірювана величина*” та “*вимірювання*”.

Загальну класифікацію шкал вперше запропонував американський вчений-психолог Стенлі Стівенс, автор теорії психофізичних вимірювань, у 1946 р. [10]. Класифікаційною ознакою для розподілу шкал С. Стівенс вибрав їх *метричну детермінованість*. Система типів шкал за С. Стівенсоном ґрунтується на поняттях *емпіричної операції*, *математичної структури шкали*, а також *статистики*, яка використовується для опрацювання отриманих числових даних за цією шкалою. Поділ шкал вимірювань на метричні та неметричні залежить від типу досліджуваного емпіричного об'єкта, зокрема, від його властивостей, і, відповідно, від виду вимірюваної величини. *Метричні шкали* – це шкали, у яких є одиниці вимірювання (наприклад, метр, м/с). До них належать шкали інтервалів та шкали відношень, а також абсолютні шкали [7]. *Неметричні шкали* – це шкали, у яких немає одиниць вимірювань. До них належать шкали найменувань і шкали порядку.

Іншими важливими ознаками класифікації шкал вимірювань є форма отримання емпіричних даних і кількість відображуваних властивостей емпіричних об'єктів.

Отже, основними критеріями класифікації шкали вимірювань є:

- ◆ типи і властивості емпіричних об'єктів;
- ◆ види і властивості вимірюваних величин;
- ◆ способи порівняння розмірів величин;
- ◆ метрична детермінованість вимірюваних величин;
- ◆ форма отримання емпіричних даних;
- ◆ кількість відображуваних властивостей емпіричних об'єктів.

## 2. Типи і властивості досліджуваних об'єктів

**2.1. Формальні та емпіричні об'єкти.** *Вимірювання* – це найадекватніше відображення числами властивостей і характеристик емпіричних об'єктів і явищ [6]. Формальними об'єктами, тобто результатами вимірювань, є сукупність чисел.

Нехай  $(X, Z)$  – незліченна множина властивостей емпіричних об'єктів **X**, які перебувають між собою в незліченній множині фактичних відношень, а  $(X_N, Z_N)$  – зліченна множина формальних об'єктів **X<sub>N</sub>**, тобто числових характеристик властивостей, які перебувають між собою в зліченній множині відношень **Z<sub>N</sub>**.

В цьому випадку *емпіричними об'єктами*, відображеними числами, є:

- ◆ незліченна підмножина властивостей об'єктів  $X_1 \in (X, Z)$ ;

- ◆ незліченна підмножина фактичної залежності між властивостями різних об'єктів  $Z_1 \in (X, Z)$ .

*Формальні об'єкти*, тобто результати відображення, такі:

- ◆ зліченна підмножина сукупності чисел, які відображають властивості об'єктів  $X_{1N} \in (X_N, Z_N)$ ;

- ◆ зліченна підмножина числової залежності  $Z_{1N}$  між числовими характеристиками властивостей об'єктів  $Z_{1N} \in (X_N, Z_N)$ .

Отже, *відображення числами* залежно від характеру об'єкта відображення можна розділити на *відображення властивостей* та *відображення залежності* між різними властивостями.

**2.2. Властивості емпіричних об'єктів.**

**2.2.1. Співвідношення понять “властивість” і “величина”.** Об'єктом вимірювання чи досліджуваним

об'єктом може бути будь-який емпіричний об'єкт – явище, тіло, речовина чи процес, одна або декілька кількісних чи якісних властивостей якого підлягають вимірюванню. Об'єктами вимірювання, загалом, є як фізичні, так і нефізичні об'єкти – біологічні, психологічні, соціальні, економічні тощо. Отже, йдеться про вимірювання як кількісних, так і якісних властивостей об'єктів. Оскільки, згідно з VIM3 [1], поняття “*величина*” належить до якісних властивостей, які описуються шкалами найменувань, то поняття “*властивість*” є загальнішим порівняно із поняттям “*величина*” і повніше відтворює суть вимірювань у нефізичних сферах, тобто “*нефізичних вимірювань*” у сучасному розумінні.

Загалом, емпіричні об'єкти мають багато властивостей, які проявляються в тій чи іншій формі. Однак серед великої різноманітності властивостей об'єктів у метрології встановлено три основних типи їх прояву – у відношенні *еквівалентності*, *порядку* (*рівня*) та *адитивності* [6], відповідні постулати яких наведено у табл. 1.

Таблиця 1

**Постулати відношення еквівалентності, порядку та адитивності**

Table 1

**Postulates of equivalence, order and additivity relations**

<b>1. Постулати відношення еквівалентності</b>				
Назва постулату	<i>Дихотомії</i> (подібності або неподібності)	<i>Симетричності</i> (симетричність відношення еквівалентності)	<i>Транзитивності за якістю</i> (перехід відношення еквівалентності)	
Математична модель	Або $X(A) \approx X(B)$ , або $X(A) \neq X(B)$	Якщо $X(A) \approx X(B)$ , то $X(B) \approx X(A)$	Якщо $X(A) \approx X(B)$ і $X(B) \approx X(C)$ , то $X(A) \approx X(C)$	
<b>2. Постулати відношення порядку</b>				
Назва постулату	<i>Трихотомії</i>	<i>Антисиметричності</i>	<i>Транзитивності за інтенсивністю властивості</i> (перехід відношення порядку)	
Математична модель	Або $X(A) \approx X(B)$ , або $X(A) > X(B)$ , або $X(A) < X(B)$	Якщо $X(A) > X(B)$ , то $X(B) < X(A)$	Якщо $X(A) > X(B)$ і $X(B) > X(C)$ , то $X(A) > X(C)$	
<b>3. Постулати відношення адитивності</b>				
Назва постулату	<i>Монотонності</i> (однонапрявленості адитивності)	<i>Комутативності</i> (перемішуваності доданків)	<i>Дистрибутивності</i> (розподільчий закон)	<i>Асоціативності</i> (закон сполучності)
Математична модель	Якщо $X(A) = X(C)$ і $X(B) > 0$ , то $X(A) + X(B) > X(C)$	$X(A) + X(B) =$ $= X(B) + X(A)$	$X(A) + X(B) =$ $= X(A + B)$	$[X(A) + X(B)] + X(C) =$ $= X(A) + [X(B) + X(C)]$

**2.2.2. Відношення еквівалентності.** Відношення еквівалентності  $R(\approx)$  є найзагальнішою характеристикою емпіричних об'єктів, коли певна властивість є спільною для низки об'єктів, тобто об'єкти можуть бути подібні або не подібні між собою, наприклад, різні види сигналів, різні типи систем вимірвальних механізмів аналогових електромеханічних вимірвальних приладів тощо. Відношення еквівалентності позначають символом  $a \approx b$  або  $\approx(a; b)$ , а постулати, які його описують, наведені у табл. 1, п.1.

**2.2.3. Відношення порядку.** Відношення порядку (інтенсивності)  $R(<)$  проявляється у тому разі, коли певна властивість є більшою або меншою у різних об'єктів, наприклад, "більше тепле – менш тепле", "більш тверде – менш тверде" тощо. Постулати, які описують відношення порядку, наведені у табл. 1, п. 2.

**2.2.4. Відношення адитивності.** Відношення адитивності  $R(+)$  проявляється у тому, що над однорідними властивостями різних об'єктів можна виконувати арифметичні дії. Наприклад, електричні опори різних резисторів, маси різних тягарців тощо. Постулати, які описують відношення адитивності, наведені у табл.1, п.3.

Загалом, комутативність – умова, яку може задовольняти бінарна операція. Якщо бінарну операцію записати як множення, то закон комутативності має вигляд:  $ab = ba$ .

Дистрибутивність, у широкому розумінні, – умова, яку можуть задовольняти дві бінарні операції, визначені на тій самій множині. Якщо одну операцію записати як множення, а другу – як додавання, то закон дистрибутивності має вигляд:  $a(b+c) = ab+ac$ .

Асоціативність (закон асоціативності) – умова, яку може задовольняти бінарна операція. Якщо бінарну операцію записати як множення, то закон асоціативності має вигляд:  $a \cdot (b \cdot c) = (a \cdot b) \cdot c$ ; якщо додавання, то  $(a+b)+c = a+(b+c)$ . Закон асоціативності задовольняють операції додавання і множення чисел та матриць, множення підстановок, а також композиція перетворень.

Операції віднімання і ділення чисел не задовольняють закону асоціативності, оскільки  $(a:b):c \neq a:(b:c)$ .

**2.3. Зв'язок властивостей емпіричних об'єктів і вимірюваних величин.** Отже, як зазначав один із засновників основ класичної теорії вимірювань – англійський вчений-фізик Н. Кемпбел [9], залежно від прояву найзагальніших відношень еквівалентності, порядку та адитивності розрізняють три види властивостей емпіричних об'єктів і, відповідно, вимірюваних величин:

◆  $X_{екв}$  – властивості емпіричних об'єктів, які проявляються лише у відношенні еквівалентності;

◆  $X_{инт}$  – інтенсивні величини, які проявляють себе у відношеннях еквівалентності та порядку;

◆  $X_{екс}$  – екстенсивні величини, які проявляються у відношеннях еквівалентності, порядку і адитивності.

**2.4. Класифікація типів шкал вимірювань залежно від прояву властивостей емпіричних об'єктів.** Якщо властивість певного емпіричного об'єкта  $X_I$  проявляється лише у відношенні еквівалентності, то залежність між елементами числових підмножин  $x_{1N_1}$  та  $x_{1N_2}$  (його відображеннями) відсутня, оскільки в цьому випадку кожен емпіричний підмножину властивостей емпіричних об'єктів можна відобразити будь-якою числовою підмножиною. Шкалу вимірювань у такому разі називають шкалою найменувань (назв), або шкалою класифікації.

Якщо властивість певного емпіричного об'єкта  $X_I$  проявляється у відношенні еквівалентності та порядку, то шкала вимірювань – це залежність між його відображеннями  $x_{1N_1}$  та  $x_{1N_2}$ , яка є монотонно спадною або зростаючою функцією, тобто якщо  $x'_1 > x''_1$ , то  $x'_{1N_1} > x''_{1N_1}$  і  $x'_{1N_2} > x''_{1N_2}$ . Шкалу вимірювань у цьому випадку називають шкалою порядку, або ранговою шкалою.

Якщо властивість певного емпіричного об'єкта  $X_I$  проявляється у всіх трьох відношеннях – еквівалентності, порядку та адитивності, то залежність між елементами числових підмножин  $x_{1N_1}$  та  $x_{1N_2}$  описується рівнянням  $x_{1N_1} = a \cdot x_{1N_2} + b$  у шкалі, яку називають шкалою інтервалів, та рівнянням  $x_{1N_1} = a \cdot x_{1N_2}$  – у шкалі, яку називають шкалою відношень (де  $a$  – безрозмірний коефіцієнт або масштаб шкали;  $b$  – початкова точка відліку шкали, яка має розмірність вимірюваної величини).

### 3. Способи порівняння розмірів величин

Вибір і використання тієї чи іншої шкали і, відповідно, методику вимірювання залежать від виду вимірюваної величини та способу отримання вимірювальної інформації, тобто способу порівняння розмірів величин.

Згідно із *другою аксіомою* метрології, вимірювання за суттю полягає у дослідному порівнянні розмірів величин [11]. Отже, друга аксіома метрології стосується процедури вимірювання і стверджує, що порівняння розмірів за допомогою експерименту є єдиним способом отримання вимірювальної інформації. Але не вказується, яким способом і за допомогою яких засобів здійснюється порівняння, оскільки це вже інше питання.

Загалом є три способи порівняння двох розмірів величини  $Q_i$  та  $Q_j$  між собою:

◆ порівняння розмірів величини  $Q_i$  та  $Q_j$  стосовно їх *еквівалентності* – однакові чи різні:

$$Q_i \geq Q_j; \quad (2)$$

◆ знаходження *різниці* між розмірами величини  $Q_i$  та  $Q_j$ :

$$Q_i - Q_j = \Delta Q_{i,j}; \quad (3)$$

◆ знаходження *відношення* між розмірами величини  $Q_i$  та  $Q_j$ :

$$\frac{Q_i}{Q_j} = q_{i,j}. \quad (4)$$

*Перший спосіб* – найпростіший. Експериментальне розв'язання нерівності (2) дає змогу відповісти на питання, який із двох розмірів *більший* від іншого чи вони однакові, але нічого не говорить про те, на скільки більший чи менший або у скільки разів більший чи менший. Це найменш інформативне вимірювання, однак повніша інформація в окремих випадках і не потрібна.

Інформативнішим є *другий спосіб* порівняння розмірів величини за правилом (3), який дає змогу визначити, *на скільки більший* або *менший* один розмір від іншого, чи вони однакові, однак не дає змоги сказати, у скільки разів більший чи менший.

Відповідь на запитання, *у скільки разів* один розмір величини *більший* чи *менший* від іншого, дає *третій спосіб* порівняння розмірів за правилом (4), у процесі реалізації якого встановлюють, скільки разів  $j$ -й розмір поміщається в  $i$ -му. У цьому випадку  $j$ -й розмір  $Q_j$ , з яким порівнюється розмір  $Q_i$ , є *одиницею вимірювання* величини  $Q$ , тобто  $Q_j = [Q]$ , а  $q_{i,j}$  –

*числовим значенням* вимірюваної величини, тобто отримуємо результат вимірювання:

$$Q_i = q_{i,j} \cdot [Q]. \quad (5)$$

Отже, *третій спосіб* порівняння розмірів величин за правилом (4) є найінформативнішим, оскільки дає змогу отримати значення вимірюваної величини в узаконених (стандартизованих) одиницях, тобто результат вимірювання.

## 4. Класифікація типів шкал вимірювань

**4.1. Типи шкал вимірювань за метричною детермінованістю.** Отже, за *метричною детермінованістю*, тобто залежно від виду вимірюваної величини, шкали поділяють на такі типи:

◆ *нестричні* шкали:

- шкали найменувань, або номінальні шкали;
- шкали порядку, або ординальні шкали;

◆ *метричні* шкали:

- шкали інтервалів;
- шкали відношень;
- абсолютні шкали.

**4.2. Типи шкал вимірювань за формою отримання емпіричних даних.** За *формою отримання емпіричних даних* шкали вимірювань поділяють на:

- ◆ вербальні шкали;
- ◆ числові шкали;
- ◆ графічні шкали.

Загалом, більшість шкал, що використовуються у практичній метрології, є змішаними: вербально-числові, вербально-графічні, число-графо-вербальні тощо.

Важливою характеристикою шкали вимірювань є її *специфікація* – прийнятий за згодою документ, який містить означення шкали та (або) опис правил та процедур відтворення цієї шкали або одиниці шкали, якщо вона існує.

**4.3. Типи шкал вимірювань за кількістю відображуваних властивостей емпіричних об'єктів.** За *кількістю відображуваних властивостей емпіричних об'єктів* шкали вимірювань поділяють на:

- ◆ *одновимірні*;
- ◆ *багатовимірні*.

## 5. Характеристики шкал вимірювань

**5.1. Шкали найменувань (шкали класифікації, номінальні шкали)** (англ. – *nominal scales*). Шкала

найменувань, чи номінальна шкала, утворюється у тому разі, коли певна властивість емпіричних об'єктів проявляється тільки у відношенні *еквівалентності* (див. табл. 1, п. 1). Цю властивість можна відобразити будь-якою цифрою чи іншим знаком, що не містять жодної інформації щодо розміру величини, якій притаманна ця властивість. Основним інформативним параметром таких об'єктів є їх кількість, яку визначають за допомогою *лічби*.

У разі використання шкал найменувань досліджувані об'єкти розділяють на непересічні підмножини, порівнюють один з одним і визначають їхню *еквівалентність* – *нееквівалентність*. У результаті цієї процедури утворюється сукупність класів еквівалентності. Об'єкти, що належать до одного класу, еквівалентні один одному і відмінні від об'єктів, що належать до інших класів. Еквівалентним об'єктам присвоюють однакові імена. Шкали найменувань використовують, вимірюючи такі об'єктивні ознаки, як запахи, кольори, групи крові, національність, сімейний стан, вік, стать, стаж роботи, кваліфікацію, номери телефонів, паспортів, штрихкоди товарів, а також суб'єктивне ставлення респондентів до певних аспектів соціального явища, процесу: мотиви трудової поведінки, судження і твердження з різних питань, ціннісні орієнтації, інтереси, установки тощо. Отже, *шкали найменувань* – це шкали, які встановлюють відповідність ознаки тому чи іншому класу об'єктів, об'єднаних на підставі їхньої загальної властивості чи еквівалентності.

Найпростішою номінальною шкалою є *дихотомічна*. Виконуючи вимірювання за дихотомічною шкалою, вимірювані ознаки або досліджувані властивості об'єктів розділяють на два непересічних класи і їх можна кодувати двома символами або цифрами, наприклад, 0 і 1, або буквами А і Б, а також будь-якими двома іншими, відмінними один від одного, символами. Ознака, виміряна за дихотомічною шкалою, називається *альтернативною*. Альтернативна класифікація полягає у розділенні об'єктів на дві групи, які утворюються за логічним принципом “А” – “не А”. Наприклад, нормальний – аномальний; здоровий – хворий; одружений – неодружений тощо. Але клас “не А” часто буває дуже узагальненим, є сенс його диференціювати на підкласи: одружений // неодружений / розлучений / вдівець. Шкалу найменувань поділяють за кількістю відображуваних властивостей об'єктів, наприклад:

◆ *дихотомічна* шкала – відображення кольору очей: світлі – темні: С - Т або 1 – 2;

◆ *тетрагорична* шкала – відображення типів темпераментів: сангвінік, флегматик, холерик, меланхолік: С, Ф, Х, М або 1, 2, 3, 4;

◆ *полігорична* шкала – відображення видів професії: колгоспник, робітник, безробітний, службовець, військовий: К, Р, Б, С, В або 1, 2, 3, 4, 5.

Перелік систем вимірювальних механізмів: магнітоелектрична, випрямна, термоелектрична, електромагнітна, електродинамічна, феродинамічна, електростатична, індукційна – також утворює *полігоричну шкалу найменувань*: М, В, Т, Е, Д, Ф, С, І або 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8. Інформативним параметром такої шкали є лише кількість систем – вісім, а послідовність їх розміщення і відповідне позначення порядковим номером не має ніякого значення. Подібно утворюються інші відомі шкали найменувань: шкали груп крові людини з урахуванням резус-фактора, шкали запахів, шкали кольорів тощо.

*Ключові ознаки* шкал найменувань: неприйнятність (відсутність) поняття “нуля” та “одиниці вимірювання” і, відповідно, “розмірності” величини; відсутність будь-яких арифметичних операцій; недопустимість зміни специфікацій, які описують окремі шкали; допустимість лише ізоморфних (еквівалентних) перетворень, а також деяких статистичних операцій під час опрацювання результатів вимірювань у цих шкалах, наприклад, знаходження модального або найчисленнішого за результатами вимірювання класу еквівалентності.

*Математичні операції*, допустимі у шкалах найменувань під час опрацювання результатів вимірювань: набір членів та їх класифікація; категорії рівності та еквівалентності; адекватна статистика *мода*, як оцінка центрування, тобто відображення найчисленнішого за результатами вимірювань класу еквівалентності.

**5.2. Шкали порядку (ординальні шкали, рангові шкали)** (англ. – *ordinal scales*). *Шкала порядку (ординальна шкала, рангова шкала)* утворюється у тому разі, коли певна властивість емпіричних об'єктів проявляється у відношеннях *еквівалентності* та *порядку (рівня)* (див. табл. 1). Шкали порядку використовуються для порівняння розмірів порядкових величин.

*Порядкова величина* (англ. – *ordinal quantity*) – величина, визначена за узгодженою методикою вимірювання і для якої можна встановити відповідно



до її розміру загальне порядкове співвідношення з іншими однорідними величинами, але для якої неприйнятні алгебраїчні операції [1]. Порядкові величин можуть входити лише в емпіричні співвідношення і не мають ні одиниць вимірювань, ні розмірності. Різниця й відношення між порядковими величинами не мають фізичного змісту.

Найпростішим способом отримання інформації про розмір вимірюваної величини є порівняння його з іншим – “*що більше (менше)?*”, “*що легше (важче)?*” тощо. Детальніша інформація про те, *наскільки* більше (менше) чи *у скільки разів* більше (менше), може бути і не потрібна. Наприклад, маса  $m_1$  одної людини може бути набагато або ненабагато більшою від маси  $m_2$  іншої людини, але, щоб з'ясувати, хто важчий (легший), цієї інформації цілком достатньо. Подібно розв'язують різні задачі вибору: хто вищий? хто швидший? що твердіше? тощо. Кількість порівнюваних між собою розмірів може бути доволі великою.

Розміщені у послідовності зростання або зменшення, тобто за рангом, розміри вимірюваних величин становлять *шкалу порядку* чи *рангову шкалу*. Наприклад, розмістивши людей за їх зростом, можна сказати, хто з них вищий або нижчий, але не можна сказати, на скільки чи у скільки разів вищий (нижчий). Розміщення розмірів у послідовності їх зростання чи зменшення з метою одержання вимірювальної інформації, тобто за ранговою шкалою, називається *ранжуванням*.

Отже, результат експериментального розв'язання нерівності (2) стосовно порівняння розмірів величини  $Q_i$  та  $Q_j$  можна подати на *шкالی порядку* у формі упорядкованої послідовності точок, позначених буквами, цифрами чи знаками, які відповідають певним розмірам величини  $Q_i$ ,  $i = 1, 2, 3, \dots, n$ :

$$Q_1 < Q_2 < Q_3 < \dots < Q_n. \quad (6)$$

Про розміри величини  $Q_i$  відомо, що один із них завжди менший від наступного і більший від попереднього, але самі розміри невідомі. Отже, шкали порядку (ординальні шкали) – є системами, які складаються із символів, що зв'язані відношеннями “більше” – “менше”. Символи в цих шкалах розташовуються у послідовності монотонного зростання (зменшення) і відображають розвиток ознаки в емпіричній системі. Ці шкали дають змогу визначати ступінь вираження ознаки. Шкали порядку повинні містити не менше від трьох класів, які утворюють послідовність: *погано* – *середньо* – *добре*.

Для вдосконалення вимірювань за допомогою порядкових шкал точки на них фіксують як *опорні (реперні)* та присвоюють їм певні цифри, які називають *балами*, а вимірювальну шкалу, утворену з використанням реперних точок, називають *реперною шкалою порядку*, або *реперною ранговою шкалою*. Наприклад, знання студентів визначають за чотирирівневою реперною ранговою шкалою: 2 – “незадовільно”, 3 – “задовільно”, 4 – “добре”, 5 – “відмінно”. Силу вітру вимірюють за 12-бальною шкалою Бофорта – від *штилю*, якому присвоєно розмір “0 балів”, до *урагану*, якому присвоєно “12 балів”. Інтенсивність землетрусів вимірюють за 10-бальною шкалою Ріхтера – від *мікроземлетрусів*, які практично не відчуються і яким присвоєно розмір “0 балів”, до рівня *серйозних руйнацій* на територіях завдовжки та завширшки в сотні кілометрів, якому присвоєно розмір “10 балів”.

Отже, реперні шкали порядку є *числовими* або *кількісними* шкалами, на відміну від *нечислових* або *вербальних* шкал порядку. За реперними ранговими шкалами вимірюють твердість мінералів, чутливість фотоплівки, інтенсивність землетрусів, рівень гучності тощо. Також їх широко використовують у спорті, мистецтві, гуманітарних науках та в інших сферах, в яких вимірювання ще не досягли високого рівня.

Залежно від способу впорядкування об'єктів або їх вимірюваних властивостей шкали порядку бувають *уніполярними* та *біполярними*. За *уніполярного* впорядкування утворюються класи за ступенем вираження певних ознак. Наприклад, шкала порядку для вимірювання ступеня *розумової відсталості*: *немає* – *слабке* – *середнє* – *сильне* відхилення від норми. За *біполярного* впорядкування виходять з полярних проявів певних властивостей, які фіксуються як “*точки відліку*” в шкалі. На вербальному рівні це виявляється у вигляді вибору антонімів: *товариський* – *замкнений*; *рівноважений* – *нерівноважений*; *балакучий* – *мовчазний* тощо. Також між антонімами може розташовуватися одна або більше проміжних категорій.

*Ключові ознаки* шкал порядку: неприйнятність (відсутність) поняття “*одиниці вимірювання*” та “*розмірності*”; необов'язковість наявності “*нуля*” шкали, тобто “*нуль*” може бути у шкалі порядку або може не бути; допустимість будь-яких монотонних перетворень; недопустимість зміни специфікацій, які описують окремі шкали. Результати вимірювань у

шкалах порядку виражають у балах, ступенях або рівнях, які можуть бути позначені дискретними рядами натуральних чисел (у числових шкалах порядку). Властивості *трихотомії* та *транзитивності* показують, що на шкалах порядку можна виконувати *логічні операції*.

Основним недоліком реперних рангових шкал є невизначеність розмірів інтервалів між реперними точками. Тому над відповідними балами не можна виконувати математичні операції – додавати, віднімати, ділити, перемножувати тощо.

*Математичні операції*, допустимі у шкалах порядку під час опрацювання результатів вимірювань: набір членів та їх класифікація; категорії еквівалентності та порядку; адекватні *статистики*: оцінки центрування *мода* і *медіана*, тобто якась  $(k+1)$ -та величина серед  $n = 2k+1$  величин, розміщених за зростанням; *розмах вибірки*, як характеристика розкиду й оцінка непевності (невизначеності) отриманого результату; відносна частість появи і порядкова кореляція випадкових величин. Однак знаходження середнього значення як оцінки центрування неможливе.

**5.3. Шкали інтервалів** (англ. – *interval scales*). Значно досконалішими є шкали, утворені зі строго визначених інтервалів, тобто так звані *шкали інтервалів*, які описуються рівнянням  $Q_i - Q_j = \Delta Q_{i,j}$ , а інтервал  $\Delta Q_{i,j}$  між розмірами величини  $Q_i$  та  $Q_j$  точно відомий. *Шкали інтервалів*, які умовно позначають знаком  $\Delta Q_{i,j}$ , утворюються у тому разі, коли певна властивість емпіричних об'єктів проявляється у відношеннях *еквівалентності*, *порядку* та *адитивності* (див. табл. 1) і може бути встановлений *масштаб* величини. Також на шкалі інтервалів встановлюють прийнятий за згодою “умовний нуль”, тобто початок відліку значень величини. Наприклад, у температурній шкалі Цельсія за початок відліку або “умовний нуль” (0 °C) прийняли температуру танення льоду. Відповідно, на шкалі інтервалів може бути встановлена “одиниця” величини та її “розмірність”, що характеризує цю шкалу як метричну.

Однак початок відліку (нульова точка) на шкалі інтервалів  $\Delta Q_{i,j}$  не однозначно встановлений, а залежить від вибору розміру  $Q_j$ , з яким здійснюється порівняння. Для забезпечення єдності вимірювань цей розмір повинен бути загальноприйнятим і встановленим

законодавчо. Так, наприклад, у температурних шкалах Цельсія та Реомюра порівняння здійснюється з температурою танення льоду, за шкалою Фаренгейта – з температурою суміші льоду з сіллю та нашатирем, а за шкалою Кельвіна – з температурою, за якої припиняється тепловий рух молекул (“абсолютний нуль”). Для визначення висот як умовну нульову точку використовують рівень моря, який не є сталим, а змінюється в часі та просторі.

Для встановлення *масштабу* на шкалах інтервалів  $\Delta Q_{i,j}$ , крім початку відліку, вибирають ще одну *опорну (реперну) точку* і розділяють отриманий інтервал між точками на певну кількість поділок чи градацій (від лат. *gradus* – ступень). Зокрема, у трьох вказаних вище температурних шкалах – Цельсія, Реомюра та Фаренгейта – другою опорною точкою є температура кипіння води за номінального значення атмосферного тиску ( $p = 101,101$  Па). На шкалі Цельсія цей інтервал розділений на 100 градацій – *градусів Цельсія* °C, тобто один градус Цельсія (1 °C) дорівнює 1/100 інтервалу між температурою танення льоду, прийнятою за початок відліку (0 °C), і температурою кипіння води (100 °C); на шкалі Реомюра – на 80 градацій (*градусів Реомюра* °R); на шкалі Фаренгейта – на 180 градацій (*градусів Фаренгейта* °F), при цьому початок відліку зміщений на 32 °F у бік низьких температур. Відповідно, між одиницями цих температурних шкал чинні такі співвідношення:  $1^\circ\text{C} = 0,8^\circ\text{R} = 9/5^\circ\text{F}$ .

Градації на шкалах інтервалів є лише одиницями вимірювань інтервалів між розмірами, а не самих розмірів величин. Очевидно, що як градації можна використовувати узаконені одиниці вимірюваних величин. Вираження інтервалів в тих чи інших одиницях величин називають їх *значенням*. Інтервали можна порівнювати між собою як за принципом – *на скільки один інтервал більший чи менший* від іншого, так і за принципом – *у скільки разів більший чи менший*. Стосовно розмірів величин, то за шкалою інтервалів можна отримати лише інформацію, *на скільки один розмір більший чи менший* від іншого. Якщо, наприклад, другий розмір більший від першого на сім градацій, а третій менший від другого на дві градації, то перший розмір менший від третього на п'ять градацій.

Отже, на шкалі інтервалів можна виконувати лише *адитивні* математичні операції – додавання та

віднімання. Отримати інформацію про те, у скільки разів один розмір *більший* чи *менший* від іншого, на шкалі інтервалів неможливо, оскільки на ній строго відомий тільки масштаб величини, а початок відліку вибраний довільно. Тому визначити за шкалою інтервалів абсолютне значення розміру неможливо. Для цього потрібно знати самі розміри, а даних про це на шкалі інтервалів нема.

Із наведеного вище аналізу можна зробити такі висновки:

- ◆ для забезпечення єдності вимірювань на шкалі інтервалів повинен бути загальноприйнятий і встановлений законодавчо *початок відліку (нульова точка)*;

- ◆ для вирішення питання, у скільки разів один розмір більший (менший) від іншого, потрібно знати самі розміри.

Неможливість вирішення другого питання є істотним недоліком шкали інтервалів  $\Delta Q_{i,j}$ . Однак, як видно із (3), у разі зменшення розміру  $Q_j$ , з яким здійснюється порівняння, різниця  $\Delta Q_{i,j} \Rightarrow Q_i$ , тобто

$$\lim_{Q_j \rightarrow 0} \Delta Q_{i,j} = Q_i.$$

Отже, в граничному випадку *шкала інтервалів*  $\Delta Q_{i,j}$  переходить у *шкалу розмірів*  $Q_i$ .

Такою є, наприклад, температурна шкала Кельвіна, за якою здійснюється порівняння з температурою, за якої припиняється тепловий рух молекул. Це абсолютно нульова температура, чи "*абсолютний нуль*". Нижчої температури нема, тому на шкалі Кельвіна немає від'ємних температур, а в додатному напрямі відкладають абсолютні температури чи значення температур, які дорівнюють інтервалу між вимірюваною температурою і абсолютним нулем. Аналогічно можна побудувати шкалу абсолютних висот, прийнявши за початок відліку центр земної кулі.

Якщо *шкала інтервалів*  $\Delta Q_{i,j}$  переходить в *шкалу розмірів*  $Q_i$ , то як градації доцільно використати одиниці вимірюваних величин. Така шкала, градуйована в узаконених одиницях, стає *шкалою значень*  $Q$ .

*Ключові ознаки* шкал інтервалів: наявність встановлених за згодою "*умовного нуля*" та "*одиниці вимірювання*"; прийнятність поняття "*розмірності*"; допустимість лінійних перетворень; допустимість зміни специфікацій, які описують окремі шкали.

*Математичні операції*, допустимі у шкалах порядку під час опрацювання результатів вимірювань:

набір членів та їх класифікація; категорії еквівалентності, порядку та адитивності; математичні *операції*: додавання і віднімання, а також логарифмування; адекватні *статистики*: оцінки *центрування* – мода і медіана, а також середнє арифметичне; оцінки *розсіювання* – дисперсія та стандартне відхилення; *стандартна непевність* (невизначеність), як оцінка точності отриманого результату вимірювання; відносна частість появи і лінійна кореляція випадкових величин.

**5.4. Шкали відношень** (англ. – *ratio scales*). Якщо в шкалі інтервалів за початок відліку вибрати таку реперну точку, в якій розмір величини справді дорівнює нулю, а не приймається умовно, то за такою шкалою можна знайти абсолютне значення розміру і визначити не тільки, на скільки один розмір більший (менший) від іншого, але й у скільки разів він більший (менший), а така шкала називається *шкалою відношень*. Отже, *шкала відношень* утворюється у тому разі, коли певна властивість емпіричних об'єктів проявляється у відношеннях *еквівалентності, порядку та адитивності* (див. табл. 1), а за початок відліку прийнята реперна точка з дійсно *нульовим розміром* величини.

Прикладом шкали відношень є температурна шкала Кельвіна. В ній за початок відліку, як вже зазначено вище, прийнятий "*абсолютний нуль*" температури, за якого припиняється тепловий рух молекул. Другою реперною точкою прийнята температура танення льоду. За шкалою Цельсія інтервал між цими реперними точками дорівнює 273,15 °С. Тому на шкалі Кельвіна його ділять на рівні частини, кожна з яких дорівнює 1/273,15 інтервалу між реперними точками і називається *кельвіном*. У числовому вираженні один кельвін (1 К) дорівнює 1 °С, що полегшує перехід від однієї температурної шкали до іншої.

Шкала відношень призначена для подання результату вимірювання, отриманого експериментальним порівнянням *i*-го розміру величини  $Q_i$  з *j*-м розміром  $Q_j$  за рівнянням (4):  $q_{i,j} = Q_i/Q_j$ . Якщо як *j*-й розмір  $Q_j$  вибрано розмір узаконеної одиниці вимірювання  $[Q]$  цієї величини, то на шкалі відношень отримають числове значення вимірюваної величини  $q = Q_i/[Q]$ , яке показує, у скільки разів розмір величини  $Q_i = Q$  більший від розміру одиниці вимірювання  $[Q]$ , або на скільки одиничних розмірів він більший від нуля. На практиці замість *шкали числових значень*  $q$  використовують *шкалу*

значень  $Q$ , яка відрізняється від шкали розмірів  $Q_i$  тим, що в ній розміри виражені в узаконених одиницях вимірювання  $[Q]$ .

Шкали відношень є найдосконалішими, найінформативнішими та найпоширенішими із усіх вимірвальних шкал. На них можна виконувати всі арифметичні операції: додавання, віднімання, множення та ділення. У зв'язку з цим шкали відношень широко використовують у метрології, зокрема, для вимірювань електричних величин – сили струму, напруги, електричного опору тощо. Однак, на жаль, побудова шкал відношень не завжди можлива. Час, наприклад, можна вимірювати тільки за шкалою інтервалів.

Шкали відношень, в яких не має сенсу операція “підсумовування”, називаються *пропорційними* шкалами відношень, або шкалами відношень *першого роду*. Шкали відношень, в яких операція “підсумовування” має сенс, називаються *адитивними* шкалами відношень, або шкалами відношень *другого роду*. Наприклад, шкала термодинамічних температур – пропорційна, а шкали маси чи сили струму – адитивні.

*Ключові ознаки* шкал відношень: наявність природних, тобто незалежних від прийнятої системи одиниць, “абсолютного нуля” та арифметичної “одиниці вимірювання”; використання поняття “розмірності”; допустимість лінійних та нелінійних перетворень; допустимість зміни специфікацій, які описують окремі шкали.

*Математичні операції*, допустимі у шкалах відношень під час опрацювання результатів вимірювань: набір членів та їх класифікація; категорії еквівалентності, порядку та адитивності; математичні операції: додавання, віднімання, множення і ділення, а також логарифмування; адекватні *статистики*: оцінки *центрування* – мода, медіана і середнє арифметичне а також середнє геометричне і середнє гармонійне; оцінки *розсіювання* – дисперсія та стандартне відхилення; *стандартна непевність* (невизначеність), як оцінка точності отриманого результату вимірювання; відносна частість появи і лінійна кореляція випадкових величин.

### 5.5. Абсолютні шкали (англ. – *absolute scales*).

*Абсолютна шкала* – це шкала відношень (пропорційна чи адитивна) *безрозмірної* величини. Результати вимірювань в абсолютних шкалах можуть бути виражені не лише в арифметичних одиницях, але й у процентах, мільйонних частках (р.р.м.), проміле, бітах,

байтах та децибелах. Абсолютну шкалу, діапазон значень якої лежить в межах від нуля до одиниці або до деякого граничного значення за специфікацією шкали, називають абсолютною обмеженою шкалою.

Отже, абсолютним шкалам притаманні всі ознаки шкал відношень, але додатково в них є однозначне визначення одиниці вимірювання. Абсолютні шкали використовують для вимірювання відносних величин, тобто відношень однойменних величин. Наприклад, це *шкали коефіцієнтів* підсилення, ослаблення, відбиття, поглинання, корисної дії, нелінійних спотворень тощо; *шкали відносної* діелектричної та магнітної проникності; *шкали добротності* індуктивних елементів та коливних систем; *шкали вологості* тощо.

*Ключові ознаки* абсолютних шкал: наявність природних, тобто незалежних від прийнятої системи одиниць, “абсолютного нуля” та арифметичної “одиниці вимірювання”; використання поняття “розмірності”; допустимість лише тотожних перетворень; допустимість зміни специфікацій, які описують окремі шкали.

### 5.6. Одновимірні й багатовимірні шкали (англ. – *one-dimensional and multidimensional scales*).

*Одновимірна шкала* – це шкала вимірювання властивостей емпіричного об'єкта, яка характеризується одним параметром і результати вимірювання в якій виражаються одним числом чи знаком (позначенням). *Багатовимірна шкала* – це шкала вимірювання властивостей емпіричного об'єкта, яка характеризується двома або більше параметрами і результати вимірювання в якій виражаються двома або більше числами чи знаками (позначеннями).

Більшість вимірвальних шкал є одновимірними, наприклад, шкали маси, довжини, сили струму тощо. Однак деякі властивості об'єктів у принципі неможливо описати одним параметром. Наприклад, електричний імпеданс чи комплексний коефіцієнт перетворення описуються двома параметрами, які утворюють *двовимірні* шкали; колір описують трьома координатами в моделях простору кольорів, які утворюють *тривимірні* шкали.

Багатовимірні шкали можуть бути утворені поєднанням шкал різних типів.

### 5.7. Вербальні шкали (англ. – *verbal scales*).

*Числові шкали* (англ. – *numerical scales*). *Графічні шкали* (англ. – *graphic scales*). За *формою отримання емпіричних даних* шкали поділяються на вербальні, числові та графічні. *Вербальні шкали* є набором

суджень (не менше від двох) про наявність та (або) про ступінь вираження ознаки. Судження можуть бути відображені у різних формах:

◆ у вигляді полюсів шкали, так звана *згорнута вербальна шкала*: сильний – слабкий; великий – маленький; активний – пасивний тощо, тобто тут використана так звана *семантична диференціація*;

◆ у формі впорядкованого набору вербального позначення градацій (ступенів) шкали, тобто так звана *розгорнена вербальна шкала*. Наприклад, для визначення ступеня вираження ознаки “красивий” використано сім градацій: дуже красивий – красивий – швидше красивий, ніж непривабливий – середньо красивий – швидше непривабливий, ніж красивий – непривабливий – дуже непривабливий.

Вербальні шкали використовуються під час формування запитань у тестах. Наприклад, у тесті щодо з'ясування ставлення до певного твердження потрібно поставити *позначку* біля вислову, який найбільшою мірою відповідає вашому ставленню до твердження “Якби була можливість, я би ввів сухий закон”: а) це цілком відповідає моїй думці; б) загалом я згоден з цим; в) не знаю, що відповісти; г) навряд чи я з цим згоден; д) я абсолютно не згоден з цим. Однак невизначеність розуміння та інтерпретації судження різними людьми перешкоджає використуванню вербальних шкал як точного психометричного інструменту. Тому вербальні шкали в чистому вигляді через їхню неоднозначність використовуються не дуже часто.

*Числові шкали* – це шкали з певною кількістю послідовних чисел. Позитивом чисел є їхня універсальність, зрозумілість, об'єктивність. Числа є найзручнішим засобом відображення відношення до об'єкта у ряді інших об'єктів або відображення ступеня вираження ознаки. Наприклад, охарактеризувати ступінь вираження ознаки *товариський* – *замкнутий* можна за п'ятибальною шкалою: 5, 4, 3, 2, 1 (поставити позначку на певній цифрі на шкалі).

*Графічні шкали* наочно відображають можливий розвиток ознаки у вигляді безперервної лінії або фігури. Графічні шкали можуть бути вертикальними і горизонтальними. Безперервність графічних шкальних оцінок дає змогу отримати детальнішу, точнішу оцінку вимірюваної ознаки порівняно з дискретними числовими шкалами. Наприклад, для вираження ознаки “люблю не люблю” лінії чи фігури у графічних шкалах можуть ділитися на рівні відрізки і позначатися цифрами або словами.

**5.8. Вербально-числові шкали** (англ. – *verbal-numerical scales*). Доволі часто виникає необхідність вимірювання показників якості, оцінки яких свідомо суб'єктивні. Так, наприклад, на знаннях і досвіді фахівців основані оцінки ступеня ризику під час реалізації того чи іншого інвестиційного проекту, конкурентоспроможності певного виду продукції, рівня компетентності кандидата на вакантну посаду тощо. У цих випадках використовують особливий тип порядкових шкал – *вербально-числові шкали*. Головна особливість вербально-числових шкал полягає в тому, що вони дають змогу виміряти ступінь інтенсивності якої-небудь властивості, що є суб'єктивною.

До складу вербально-числової шкали входять змістовий (словесний) опис виділених градацій і відповідні їм числові значення. Найвідомішою вербально-числовою шкалою є шкала Харрінгтона [12], відображена у табл. 2.

Таблиця 2

#### Вербально-числова шкала Харрінгтона

Table 2

#### Verbal-numerical Harrington scale

Змістовий опис	Дуже низький рівень	Низький рівень	Середній рівень	Високий рівень	Дуже високий рівень
Числове значення	0,00–0,20	0,20–0,37	0,37–0,64	0,64–0,80	0,80–1,00

Числові значення градацій шкали Харрінгтона отримані за результатами аналізу великого масиву статистичних даних. Завдяки цьому шкала Харрінгтона універсальна і може у відповідних модифікаціях (наприклад, у вигляді шкали балів) використовуватися для оцінювання багатьох модифікацій якісних показників. Однак для оцінювання об'єктів за критеріями, що допускають лише суб'єктивну оцінку фахівців, доцільно використати спеціальні шкали, що відображають специфіку того чи іншого критерію, тієї чи іншої групи об'єктів під час вироблення та прийняття рішення, тобто можна використовувати окрему процедуру для формування вербально-числових шкал, спеціально призначених для оцінювання проектів за критеріями, для яких загальноприйняті вербально-числові шкали відсутні.

Загалом, формування вербально-числової шкали можна розділити на два етапи:

- ◆ вибір градацій (розподілів) шкали;
- ◆ визначення числових значень градацій шкали.

Числові значення градацій шкали знаходять за допомогою так званої *арифметизації* вербальних шкал, яка полягає у присвоєнні відповідних дійсних чисел градаціям шкали зі збереженням заданих відношень. Відповідність між множиною градацій шкали і множиною дійсних чисел, що задає арифметизацію вербальної шкали, є гомоморфізмом емпіричної системи у числову. Процедуру арифметизації

вербальних шкал особливо часто використовують для синтезу ординальних шкал для знаходження оцінок якості об'єктів складної структури [13].

Основні характеристики різних типів шкал вимірювань і статистики (математичні операції), що використовуються для опрацювання результатів вимірювань залежно від типу шкали, наведено у табл. 3.

Таблиця 3

### Характеристики різних типів шкал вимірювань

Table 3

#### Characteristics of various types of measurement scales

№ з/п	Характеристики типів шкал вимірювань	Тип шкали вимірювань					
		Шкали найменувань	Шкали порядку	Шкали інтервалів	Шкали відношень		Абсолютні шкали
					1-го роду (пропорційні)	2-го роду (адитивні)	
1	Допустимі логічні співвідношення між проявами властивостей	Еквівалентність, відмінність	Еквівалентність, відмінність, порядок	Еквівалентність, порядок	Еквівалентність, порядок, пропорційність	Еквівалентність, порядок	Еквівалентність, порядок, пропорційність
2	Наявність "нуля"	Не має змісту	Не обов'язково	"Умовний нуль" за згодою	"Абсолютний нуль" за означенням		
3	Наявність одиниці вимірювання	Не має змісту		Одиниця вимірювання, встановлена за системою одиниць або прийнята за згодою			Відносні одиниці
4	Допустимі перетворення	Ізоморфне відображення	Монотонні перетворення	Лінійні, нелінійні (тільки у шкалах відношень) та логарифмічні перетворення			Логарифмічні перетворення
5	Арифметичні операції	Не мають змісту		Додавання, віднімання	Додавання (тільки у шкалах 2-го роду), віднімання, множення і ділення		Відсутні
6	Статистики	Зліченність, мода	Мода, медіана	Мода, медіана, середнє арифметичне, дисперсія, стандартне відхилення; середнє геометричне та середнє гармонійне – тільки у шкалах відношень			Відсутні
7	Оцінки точності результатів вимірювань	Розмах вибірки		Похибка або стандартна непевність (невизначеність) отриманого результату вимірювання			

#### Висновки

1. Істотне розширення номенклатури вимірюваних величин, зумовлене виникненням нових завдань метрології в таких сферах людської діяльності, як медицина, торгівля, економіка, промисловість, освіта, психологія, кваліметрія, соціальна сфера тощо, потребує, своєю чергою, вдосконалення методології синтезу шкал вимірювань цих величин, разом із питаннями відтворення одиниць вимірювань та еталонів величин.

2. Особливості властивостей емпіричних об'єктів є ключовими у визначенні типів відповідних їм шкал вимірювань.

3. Всі відомі класифікації типів шкал вимірювань (вимірювальних шкал) ґрунтуються на тому, як трактується поняття вимірювання.

4. Вибір і використання тієї чи іншої шкали і, відповідно, методики вимірювання залежить від виду вимірюваної величини та способу отримання вимірювальної інформації, тобто способу порівняння розмірів величин.

5. Питання методології систематизації та синтезу шкал вимірювань потребує подальшого дослідження, зокрема, глибшого математичного аналізу точності шкал вимірювань.

1. *International vocabulary of metrology: Basic and general concepts and associated terms (VIM3)*. JCGM 200:2012 (E/F). – 90 p. 2. *Evolving Needs for Metrology in Trade, Industry and Society and the Role of the BIPM* // A report prepared by the CIPM for the governments of the Member States of the Metre Convention. – Intergovernmental Organization of the Metre Convention, 2007. – 164 p. 3. *Метрологія. Терміни та визначення: ДСТУ 2681-94*. – [Чинний від 1995-01-01]. – Київ: Держстандарт України, 1994. – 68 с. – (Державний стандарт України). 4. *Мотало В. П. Аналіз основних проблем теорії кваліметричних вимірювань / В. П. Мотало, А. В. Мотало // Стандартизація, сертифікація, якість*. – 2011. – № 1. – С. 60–64. 5. *Закон України “Про метрологію та метрологічну діяльність”*, № 1314-VII від 05.06.2014 р. / Верховна Рада України. – Офіц. вид. – К.: Парлам. вид-во, 2014. – 28 с. – (Бібліотека офіційних видань). – (Закон України).

6. *Орнатский П. П. Теоретические основы информационно-измерительной техники / П. П. Орнатский*. – К.: Вища школа, 1983. – 455 с. 7. *Шкалы измерений. Термины и определения: ГСИ. РМГ 83-2007*. – [Дата вступления в силу - 2008-08-01]. – М.: Стандартинформ, 2008. – 24 с. – (Рекомендации). 8. *Пфанцагль И. Теория измерений / И. Пфанцагль; пер. с англ. В. Б. Кузьмина*. – М.: Мир, 1976. – 166 с. 9. *Берка К. Измерения: понятия, теории, проблемы / К. Берка; пер. с чешск. К. И. Иванова*. – М.: Прогресс, 1987. – 320 с. 10. *Stevens S.S. Philosophy of Science: On the theory of scales of measurement*. – Cleveland – New York, Science, 1946. 11. *Шишкин И. Ф. Теоретическая метрология. Часть 1. Общая теория измерений: учебник для вузов / И. Ф. Шишкин*. – 4-е изд. – СПб.: Питер, 2010. – 192 с. 12. *Орлов А. И. Прикладная статистика: учебник для вузов / А. И. Орлов*. – М.: Экзамен, 2006. – 672 с. 13. *Редьога Ю. В. Арифметизация ординальных шкал вимірювання якості програмних засобів / Ю. В. Редьога, Н. А. Яремчук // Інформаційні системи, механіка та керування: науково-технічний збірник*. – 2011. – Вип. 7. – С. 5–15.