

А.В. Мотало¹, В.П. Мотало²¹ Газопромислове управління “Львівгазвидобування”,² Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра “Інформаційно - вимірювальні технології”

АКТУАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ РОЗВИТКУ ТЕОРІЇ КВАЛІМЕТРІЇ

© Мотало А.В., Мотало В.П., 2011

Розглянуті і проаналізовані основні проблеми розвитку теорії кваліметрії, зокрема, питання теорії оцінювання якості продукції, теорії міри якості продукції та теорії синтезу багатовимірних кваліметричних шкал

In the article the most important problems of development of qualimetry theory such as the questions of the theory of product quality evaluation, of the theory of quality measure and of the theory of synthesis of multidimensional qualimetric scales are considered and analyzed

Вступ. Метою будь-якого вимірювання є отримання кількісної *достовірної інформації* щодо об'єкта дослідження (вимірювання). Достовірність отриманої вимірювальної інформації забезпечується здійсненням аналізу точності отриманих результатів вимірювань відповідно до умови забезпечення *єдності вимірювань*, тобто такого їх стану, коли результати вимірювань виражаються в узаконених одиницях, а характеристики похибок або невизначеності (непевності) вимірювань відомі та із заданою ймовірністю не виходять за встановлені границі [1]. Одною із умов забезпечення єдності вимірювань є встановлення *простежуваності* результату вимірювання, коли отриманий результат вимірювання можна пов'язати із значенням величини, яке відтворюється національними або міжнародними еталонами через неперервний ланцюг звірянь, для кожного з яких зазначено характеристики невизначеності (непевності) [2].

Зазначені вище питання є предметом вивчення *метрології*, зокрема, теоретичної метрології, науковою основою якої є теорія вимірювання. Предметом вивчення *кваліметрії*, як нового напрямку у метрології, є питання кількісного оцінювання якості продукції, а результатом вимірювання - рівень якості досліджуваної продукції. На відміну від класичної метрології, теорія якої є досить розробленою [3-5], теорія кваліметрії через специфічність об'єкта дослідження (продукції) сьогодні недостатньо вивчена, хоча, поза всяким сумнівом, є надзвичайно актуальною, що і зумовило тематику даної статті.

Основні завдання дослідження. Загалом об'єктами дослідження кваліметрії можуть бути будь-які об'єкти, до яких можна застосувати термін «*продукція*». Відповідно до [6] це технічні засоби, перероблені матеріали, послуги та інтелектуальна власність. Предметом розгляду статті є перші два види продукції.

Кваліметричні вимірювання загалом складаються із двох основних етапів [7]:

- вимірювання різних характеристик (властивостей) продукції — механічних, просторових, електричних, магнітних, теплових, хімічного складу тощо;
- оцінювання якості продукції шляхом визначення рівня якості на основі отриманих результатів вимірювань відповідних її характеристик чи властивостей.

Загалом перший етап кваліметричних вимірювань є експериментальною частиною і його можна означити як технологічні вимірювання; другий етап — це опрацювання результатів експериментів з метою визначення результату вимірювання, тобто рівня якості досліджуваної

продукції. Такий підхід до кваліметричних вимірювань з позиції теорії вимірювань дозволяє вважати їх одним із видів непрямих вимірювань, а кваліметрію — одним із розділів метрології [3].

Сьогодні існує методологічне забезпечення вимірювання окремих характеристик (властивостей) продукції. Методологічне забезпечення вимірювання якості продукції в комплексному розумінні цього терміну практично відсутнє.

У роботі розглянуто питання, які, на думку авторів, сьогодні є одними із найактуальніших у кваліметрії, а саме:

- аналіз основних проблем теорії оцінювання якості продукції;
- аналіз основних проблем теорії міри якості продукції;
- синтез багатовимірних кваліметричних шкал.

Аналіз основних проблем теорії оцінювання якості продукції.

Аналіз об'єкта дослідження (вимірювання). Аналіз об'єкта дослідження здійснюємо на основі базових положень теорії вимірювань:

- основна задача вимірювання — це отримання кількісної достовірної інформації щодо об'єкта дослідження, що забезпечується отриманням результату вимірювання, який супроводжується характеристиками його точності, тобто похибкою або невизначеністю, які не перевищують заданих значень;

- об'єкт дослідження з фізичної точки зору характеризується як емпірична система.

Такий підхід приводить до двох основних проблем теорії вимірювань [4, 5]:

- *проблеми адекватності математичної моделі*, яка полягає у необхідності забезпечення гомоморфного відображення властивостей об'єкта дослідження у математичну модель системи, побудованої у вигляді цілісної, логічно витриманої структури, яка гомоморфно відображає основні властивості емпіричного об'єкта. При цьому формальні властивості операцій і співвідношень із властивостями емпіричної системи під час проведення вимірювального експерименту є гомоморфними до відповідних операцій і співвідношень результатів експерименту;

- *проблеми однозначності розв'язання вимірювальної задачі*, яка полягає в установленні єдиності (однозначності) міри та у визначенні умов, за яких різні шкальні значення можуть відображати одні і ті ж кількісні особливості вимірюваної величини, тобто інваріантність шкальних значень або шкальних перетворень.

Аналіз відомих методів оцінювання якості продукції. Сьогодні у кваліметрії є два основні методи оцінювання якості продукції — диференційний і комплексний [8].

Диференційним називають *метод*, який ґрунтується на використанні одиничних показників якості продукції. При цьому одиничним вважають показник якості, що характеризує одну із властивостей продукції. Показники якості продукції у свою чергу поділяються на абсолютні та відносні.

Абсолютний показник якості продукції P_i ($i = 1, 2, \dots, n$, де n — число властивостей) чисельно дорівнює значенню i -ї властивості продукції p_i і виражається у її одиницях. Отже, у процедурі оцінювання якості продукції він є безпосередньо вимірюваною величиною, а для з'ясування оцінюваної ситуації «добре — погано», «багато — мало», «достатньо — недостатньо» отримане значення показника P_i порівнюють із базовим значенням цього показника $P_{b,i}$, тобто значенням показника якості продукції, прийнятим за основу під час порівняльного оцінювання її якості. Загалом співвідношення між показниками P_i та $P_{b,i}$ залежно від виду оцінюваної властивості продукції виражається формулами: $P_i \leq P_{b,i}$ або $P_i \geq P_{b,i}$.

Однак вказані співвідношення не дають чіткої відповіді щодо рівня якості продукції, тобто наскільки «добре» чи наскільки «погано», тому у кваліметрії частіше користуються відносним показником якості продукції K_i , який визначають як

$$K_i = \frac{P_i}{P_{b,i}} \text{ у випадку } P_i \leq P_{b,i} \text{ або } K_i = \frac{P_{b,i}}{P_i} \text{ у випадку } P_i \geq P_{b,i}. \quad (1)$$

Значення одиничних відносних показників якості K_i завжди лежать у межах $0 \leq K_i \leq 1$, однак у залежності рівня якості продукції від числового значення показника K_i вони змінюються по різному і можна виділити дві групи показників якості.

У *першій групі* показників якості, коли до *підвищення рівня якості* досліджуваної продукції призводить *збільшення* значення одиничного оцінюваного абсолютного показника якості продукції P_i і, відповідно, *збільшення* одиничного відносного показника якості K_i , то повинна виконуватися умова $K_i \Rightarrow 1$.

У *другій групі* показників якості, навпаки, коли до *підвищення рівня якості* досліджуваної продукції призводить *зменшення* значення одиничного оцінюваного абсолютного показника якості продукції P_i і, відповідно, *зменшення* одиничного відносного показника якості K_i , то повинна виконуватися умова $K_i \Rightarrow 0$.

Наприклад, при оцінюванні якості природного газу як джерела енергії до *першої групи* показників якості відноситься питома теплота згоряння газу та вміст у газовій суміші важких вуглеводнів (пентану, гексану та ін.), а до *другої групи* – вологість газу та вміст негорючих компонентів, зокрема, азоту [9].

Для визначення рівня якості продукції значення відносного показника якості K_i порівнюють із його базовим значенням $K_{b,i}$, а співвідношення між ними виражається формулами $K_i \leq K_{b,i}$ або $K_i \geq K_{b,i}$. Числові значення базових показників якості $K_{b,i}$ встановлюємо залежно від виду оцінюваної властивості продукції: у *першій групі* показників якості $K_{b,i} = 1$, а у *другій групі* - $K_{b,i} = 0$, тобто приймаємо їх оптимальні значення.

Отже, під час реалізації диференційного методу оцінювання якості продукції здійснюється роздільне порівняння окремих показників якості (абсолютних чи відносних) з їх базовими значеннями, що є перевагою даного методу. Однак, оскільки різниця між отриманим і базовим значеннями показників якості для одних властивостей продукції може бути більшою, а для інших — меншою, то зробити висновок щодо рівня якості продукції як цілісного об'єкта неможливо, що є недоліком цього методу. Іншим недоліком є неврахування рівня впливу різних властивостей продукції на її якість, тобто вагомості цих властивостей, особливо у випадку великої їх кількості.

Більш досконалим методом оцінювання якості продукції є *комплексний метод*, який ґрунтується на використанні комплексних показників якості продукції, що характеризують декілька властивостей продукції [8]. Комплексний показник якості найчастіше виражають двома способами:

- функціональною залежністю визначального (головного) абсолютного показника якості продукції P_v від вихідних одиничних абсолютних показників якості P_i , тобто $P_v = f(P_i)$;
- як середній зважений (арифметичний або геометричний) відносний показник якості продукції $\bar{K}_z$ із вихідних одиничних показників її якості K_i .

У тих випадках, коли є вся необхідна інформація, використовують перший спосіб. Однак на практиці встановити функціональну залежність $P_v = f(P_i)$ вдається досить рідко, оскільки одиничні показники P_i мають різну фізичну природу і їх важко або практично неможливо пов'язати функціональною залежністю. Тому у більшості випадків під час оцінювання якості продукції зазвичай визначають за допомогою $\bar{K}_z$. При цьому переважно використовують відносні показники

якості. Наприклад, середній зважений арифметичний відносний показник якості продукції визначають за формулою [7]

$$\bar{K}_z = \sum_{i=1}^n K_i m_i, \quad (2)$$

де m_i — нормалізований коефіцієнт вагомості показника K_i , тобто $\sum_{i=1}^n m_i = 1$.

Перевагою комплексного методу оцінювання якості продукції є врахування впливу окремих її властивостей на якість продукції, однак усереднення одиничних показників якості різної природи без індивідуального порівняння однорідних показників є його недоліком. У ряді досліджень [10] розглянуто шляхи вдосконалення комплексного методу, однак у них не усунено зазначений недолік. Тому питання комплексного оцінювання якості продукції потребує подальшого дослідження [11].

Аналіз основних проблем теорії міри якості продукції.

Вступ до аналізу теорії міри якості продукції. Основою будь-якого вимірювання є порівняння вимірюваної величини з мірою [12]. Специфікою кваліметричних вимірювань є відсутність конкретних фізичних мір якості тієї чи іншої продукції, що, власне, і становить основну проблему реалізації даних вимірювань.

Теорія вимірювань базується на методах теорії міри, включаючи теорію ймовірності, математичну статистику та теорію вимірювальних інформаційних систем, інструментом аналізу яких є математична модель [5]. Операції порівняння під час реалізації процесу вимірювання не обов'язково здійснюються за допомогою засобів вимірювальної техніки. Такий висновок дає можливість переходу до аналізу якості продукції на основі аналізу віртуальної міри якості [7, 11].

Побудова віртуальної міри якості продукції на основі базового профілю якості, сформованого із одиничних зважених базових відносних показників якості. Профіль якості продукції загалом являє собою сукупність одиничних показників якості продукції.

Відповідно, профілі якості досліджуваної продукції, сформовані із одиничних відносних показників якості, доцільно розділити на дві групи [7]:

- оцінювані профілі якості $\Pi_{K,o}$, сформовані із одиничних зважених оцінюваних відносних показників якості продукції $K_{oz,i}, i=1,2,\dots,n$:

$$\Pi_{K,o} = \{K_{oz,1}; K_{oz,2}; \dots; K_{oz,n}\}, \quad (3)$$

$$K_{oz,i} = K_{o,i} \cdot m_i, \quad (4)$$

де $K_{o,i}$ - i -ті одиничні оцінювані відносні показники якості продукції, числові значення яких визначають за формулами (1) відповідно до вимірюваних відповідних властивостей $P_{o,i}$ досліджуваної продукції;

- базові профілі якості $\Pi_{K,b}$, сформовані із одиничних зважених базових відносних показників якості продукції $K_{bz,i}, i=1,2,\dots,n$:

$$\Pi_{K,b} = \{K_{bz,1}; K_{bz,2}; \dots; K_{bz,n}\}, \quad (5)$$

$$K_{bz,i} = K_{b,i} \cdot m_i, \quad (6)$$

де $K_{b,i}$ - i -ті одиничні базові відносні показники якості продукції, числові значення яких, як було означено вище, для першої групи показників дорівнюють одиниці, а для другої — нулю.

Базовий профіль якості $\Pi_{K,b}$, сформований із одиничних зважених базових відносних показників якості продукції, і є віртуальною мірою якості продукції.

Методика визначення рівня якості продукції із використанням віртуальної міри якості. Для визначення рівня якості продукції використаємо зважену евклідову модель індивідуальних відмінностей, яка дозволяє отримати однозначну оцінку рівня якості продукції шляхом порівняння

оцінюваного профілю якості досліджуваної продукції $\Pi_{K,o}$ із базовим профілем якості $\Pi_{K,b}$, тобто із віртуальною мірою якості [7, 11]. Порівняння профілів якості $\Pi_{K,o}$ та $\Pi_{K,b}$, сформованих за описаною вище методикою, здійснюємо шляхом визначення різниць між відповідними одиничними зваженими відносними оцінюваними $K_{oz,i}$ і базовими $K_{bz,i}$ показниками якості, а абсолютну відмінність $\Delta\Pi$ між ними визначаємо за формулою

$$\Delta\Pi = \sqrt{\sum_{i=1}^n (K_{oz,i} - K_{bz,i})^2} = \sqrt{\sum_{i=1}^n m_i^2 (K_{o,i} - K_{b,i})^2}. \quad (7)$$

Отже, як видно із формули (7), значення абсолютної відмінності $\Delta\Pi$ змінюється в діапазоні від 0 до 1, причому чим ближче значення $\Delta\Pi$ до нуля, тим ближчими є значення оцінюваних показників $K_{o,i}$ до базових $K_{b,i}$ і якість продукції вища.

На основі отриманого значення $\Delta\Pi$ побудуємо шкалу рівня якості продукції Q , за якою вищий якості продукції відповідає більше числове значення рівня якості:

$$Q = (1 - \Delta\Pi) \cdot 100\%. \quad (8)$$

Отже, рівень якості продукції Q , визначений за розробленою методикою, змінюється від 0 до 100%. Крім оцінювання якості продукції, запропонована методика на основі отриманих значень абсолютної відмінності $\Delta\Pi$ та рівня якості продукції Q дозволяє здійснювати її сортування за рівнем якості і, відповідно, встановлювати різну ціну на неї. Однак питання сортування продукції у залежності потребує детального економічного аналізу.

Аналіз основних проблем теорії синтезу багатовимірних кваліметричних шкал.

Означення багатовимірної шкали вимірювань. У процесі вимірювання відбувається відображення вимірюваних величин їх значеннями у вигляді числового значення величини з позначенням її одиниці [12]. Таке відображення на практиці реалізується за допомогою *шкал вимірювань*, побудованих за певними методиками в залежності від виду вимірюваної величини. У випадку кваліметричних вимірювань, коли одночасно вимірюють декілька величин, мова йде про відображення множини властивостей емпіричних об'єктів множиною формальних об'єктів (чисел).

Загалом у теорії вимірювань за *k-вимірну шкалу вимірювань* приймають *гомоморфізм (відображення) m* незвідної емпіричної системи з відношеннями $\mathbf{A} = \langle A; (R_j)_{j \in J} \rangle$ “в” *k-вимірну*

числову систему з відношеннями $\mathbf{B} = \langle N^k; (S_j)_{j \in J} \rangle$ [4]. У даному означенні прийнято, що A – це *множина n* досліджуваних емпіричних об'єктів a_i , $i=1,2,\dots,n$ або *множина n* властивостей a_i досліджуваного емпіричного об'єкта, тобто $A = \{ a_1, a_2, \dots, a_n \}$, із встановленою на ній множиною *відношень* $(R_j)_{j \in J}$ – відношення еквівалентності, відношення порядку (інтенсивності, рівня), відношення адитивності тощо ($j=1,2,\dots,k$ або $J=\{1,2,\dots,k\}$). Отже, A – це *множина n* вимірюваних величин.

Образи $m(A)$ елементів множини A за даного гомоморфізму називають *шкальними значеннями*. Оскільки дане відображення є гомоморфізмом, то із числових відношень між шкальними значеннями роблять висновки про емпіричні відношення між емпіричними об'єктами: об'єкти $a_1, a_2, \dots, a_{k_i}$ перебувають у відношенні R_i тоді і тільки тоді, коли шкальні значення $m(a_1), m(a_2), \dots, m(a_{k_i})$ перебувають у відношенні S_j . Відношення $(S_j)_{j \in J}$, використані в означенні шкали, відповідають емпіричним відношенням $(R_j)_{j \in J}$.

Отже, якщо термін *шкала* використовують стосовно *звідної* емпіричної системи з відношеннями, то мають на увазі відображення $\tilde{m}$, індуковане шкалою m , яка відповідає *незвідній* емпіричній системі з відношеннями.

Специфікою кваліметричних вимірювань є те, що визначення результату вимірювання, тобто рівня якості досліджуваної продукції, здійснюють на основі результатів вимірювань ряду властивостей продукції, які мають різну фізичну природу, різні одиниці і, відповідно, різні шкали вимірювань. Отже, у процесі кваліметричних вимірювань відбувається відображення множини $(p_1, p_2, \dots, p_n) \in \mathbf{P}$ емпіричних об'єктів (властивостей досліджуваної продукції p_i , $i = 1, 2, \dots, n$) у числову множину $(P_1, P_2, \dots, P_n) \in \mathbf{P}$ (результатів вимірювань властивостей досліджуваної продукції) з подальшим перетворенням числової множини $\mathbf{P}$ в однозначну оцінку рівня якості досліджуваної продукції Q .

Основні проблеми теорії синтезу багатовимірних кваліметричних шкал. Отже, процес шкалювання, тобто сукупність методик і процедур, які дозволяють побудувати відповідну шкалу вимірювання, у кваліметрії є багатовимірним шкалюванням. Із цього означення випливають наступні проблеми теорії кваліметричних шкал:

- кваліметричні шкали повинні бути числовим відображенням емпіричної системи, властивості якої не пов'язані між собою функціональними залежностями;
- побудову кваліметричних шкал доцільно здійснювати у багатовимірному метричному просторі, яким є n -вимірний евклідів простір;
- теорія багатовимірних кваліметричних шкал повинна давати можливість зведення їх до одновимірної шкали для отримання однозначної оцінки рівня якості продукції;
- кваліметрична шкала повинна мати чітко виражені границі, наприклад, 0—1 або 0—100%, що дає можливість однозначного оцінювання рівня якості однотипної продукції у різних лабораторіях і забезпечує простежуваність результатів досліджень.

Розв'язання вказаних проблем теорії кваліметричних шкал є перспективним напрямом розвитку теорії кваліметричних вимірювань і предметом подальших наукових досліджень.

Висновки

1. Одними із основних проблем теорії кваліметрії є проблеми теорії оцінювання якості продукції, теорії міри якості продукції та теорії синтезу багатовимірних кваліметричних шкал.
2. Розв'язання вказаних проблем доцільно аналізувати комплексно на основі теорії багатовимірного шкалювання, віртуальної міри якості продукції та зваженої евклідової моделі індивідуальних відмінностей.
3. Запропонована методологія аналізу кваліметричних вимірювань дає можливість зведення багатовимірної кваліметричної шкали до одновимірної із чітко означеними границями і забезпечує отримання однозначної оцінки рівня якості оцінюваної продукції.

1. Закон України про метрологію та метрологічну діяльність, №1765-IV від 15.06.2004р. / Верховна Рада України. – Офіц. вид. – К.: Парлам. вид-во, 2004. – 22 с. – (Бібліотека офіційних видань). 2. Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій: ДСТУ ISO/IEC 17025:2006. – [Чинний від 2007-07-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2007. – 26 с. – (Національний стандарт України). 3. Шишкин И.Ф. Теоретическая метрология: Ученик для вузов/ Шишкин И.Ф. – М.: Издательство стандартов, 1991. – 471 с. 4. Пфанцагль И. Теория измерений / Пфанцагль И.; пер. с англ. В.Б.Кузьмина. – М.: Мир, 1976. – 166 с. 5. Берка К. Измерения. Понятия, теории, проблемы / Берка К.; пер. с чешского К.Н. Иванова. – М.: Прогресс, 1987. – 320 с. 6. Системи управління якістю. Основні положення та словник термінів: ДСТУ ISO 9000:2007. – [Чинний від 2008-01-01]. – К.: Держстандарт України, 2008. – 35 с. – (Державний стандарт України). 7. Мотало В.П. Система оцінювання якості продукції з використанням віртуальної міри якості/ Стадник Б.І., Мотало В.П., Мотало А.В. // Стандартизація, сертифікація, якість, 2009. - №2. - С. 48 -55. 8. Якість продукції. Оцінювання якості. Терміни та визначення: ДСТУ 2925-94. – [Чинний від 1996-01-01]. – К.: Держстандарт України, 1995. – 27 с. – (Державний стандарт України). 9. Мотало В.П. Методика оцінювання якості природного газу як джерела енергії/ Мотало В.П., Мотало А.В., Стадник Б.І. // Стандартизація, сертифікація,

якість, 2009. - №4. - С. 56 -61. 10. Ванько В. Методика оцінки якості продукції та послуг за допомогою теорії матриць / Ванько В., Столярчук П. // Вимірювальна техніка та метрологія. — 2007. — Вип. 67. — С. 108—114. 11. Мотало В.П. Методологія оцінювання якості та відповідності продукції з використанням віртуальної міри якості/ Мотало В.П, Мотало А.В. // Вимірювальна техніка та метрологія, 2008. – Вип. 69. – С. 129-137. 12. Метрологія. Терміни та визначення: ДСТУ 2681-94. — [Чинний від 1996-01-01]. — К.: Держстандарт України, 1994. — 68 с. — (Державний стандарт України).