

4. Бойко Т. Забезпечення довіри споживача до результатів оцінювання якісного рівня продукції // *Вимірювальна техніка і метрологія*. – 2008. – № 69. – С. 138–142. 5. Бойко Т.Г. Формування теоретичних та нормативно-технічних засад оцінювання якісного рівня продукції: автореф. дис. д-р техн. наук: 05.01.02 / Т.Г.Бойко; [Національний університет "Львівська політехніка"]. – Львів, 2010. – 34 с. 6. Boyko T. *Uncertainty of Measurement Results in the Process of Product Qualitative Level Identification* / Taras Boyko, Tetiana Bubela // *Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications: Proceedings of the 6th IEEE International Workshop 15–17 September 2011.: thesis*. – Prague, Czech Republic, 2011. – P. 586–589. 7. *Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement: First edition*. – ISO, Switzerland, – 1993. – 101 p. 8. *Метрологія та вимірювальна техніка: підруч. [для студ. вузів електротехнічних спец.]* / [Є.С. Поліщук, М.М. Дорожжовець, В.О. Яцук, В.М. Ванько, Т.Г. Бойко]; за ред. проф. Є.С. Поліщука. – Львів: Бескид Біт, 2003. – 544 с. 9. Бойко Т.Г. *Моделювання кількісної оцінки якості продукції з врахуванням невизначеності оцінювання* / Т.Г. Бойко // *Математичне та імітаційне моделювання систем (МОДС '2010): п'ята наук.-практ. конф. з міжн. участю 21–25 червня 2010 р.: тези доповіді*. – К., 2010. – С. 78–79.

УДК 53.083:658.56

В.П. Мотало

Національний університет "Львівська політехніка",
кафедра інформаційно-вимірювальних технологій

МЕТОДОЛОГІЯ СИНТЕЗУ ВІРТУАЛЬНОЇ МІРИ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ

© Мотало В.П., 2012

Розглянуто методологію побудови віртуальної міри якості продукції та методику оцінювання непевності (невизначеності) її значень.

Ключові слова: віртуальна міра, оцінювання.

In the article the methodology of creating of the virtual quality measure and the methodology of estimation of measure values uncertainty are considered.

Key words: virtual quality, measure.

1. Вступ

Насиченість сучасного світового ринку різноманітними видами продукції і послуг надає споживачам можливість вибору, що спричинило підвищення вимог до якості продукції. Відповідно зросли вимоги до методів та методик оцінювання якості продукції, що привело до виникнення нового напрямку в розвитку метрології – *кваліметрії*, предметом вивчення якої є кількісне оцінювання якості продукції [1, 2]. Однак у кваліметрії, на відміну від класичної метрології в широкому розумінні цього терміна, теорія якої є досить розробленою [3; 4], через специфічність об'єкта дослідження – *продукції* – сьогодні є ціла низка проблем теоретичного, інструментального, метрологічного та нормативно-методологічного характеру, аналіз і шляхи розв'язання яких і зумовили тематику статті та її актуальність.

2. Основні завдання досліджень

Метою будь-якого вимірювання є отримання кількісної *достовірної інформації* щодо об'єкта дослідження (вимірювання). Достовірність одержаної вимірювальної інформації забезпечується аналізуванням 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 *непевності* (*невизначеності*) вимірювань відомі та із заданою ймовірністю не виходять за встановлені межі [5].

У роботі [6] автор запропонував і розвинув концептуальне поняття *кваліметричного вимірювання* як непрямого вимірювання декількох різнорідних характеристик (властивостей) продукції, метою якого є визначення рівня якості продукції. Основою будь-якого вимірювання є порівняння вимірюваної величини з мірою, яка відтворює та (або) зберігає певну фізичну величину заданого значення [7]. Специфікою кваліметричних вимірювань є відсутність конкретних фізичних мір якості тієї чи іншої продукції, а наявні базові (стандарті зразки) досліджуваної продукції не завжди відповідають метрологічним вимогам, які ставляться до мір, і не завжди методологічно можливо порівняти досліджувану продукцію із таким базовим зразком, що, власне, і становить основну проблему реалізації кваліметричних вимірювань. Зазначимо, що, незважаючи на актуальність, питання розвитку теорії міри якості продукції сьогодні практично не досліджене [8].

Тому *основні завдання досліджень* у цій роботі такі:

- розроблення та аналіз методології синтезу міри якості продукції;
- розроблення та аналіз методики оцінювання непевності (невизначеності) значень, відтворюваних мірою якості продукції.

3. Методологія синтезу міри якості продукції

3.1. Вступ до аналізу теорії міри якості продукції. Теорія вимірювань базується на методах теорії міри, зокрема теорії ймовірності, математичній статистиці та теорії вимірювальних інформаційних систем, інструментом аналізу яких є математична модель [4]. 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 [9].

Отже, у цій роботі для методологічного забезпечення повної реалізації процедури кваліметричних вимірювань пропонується використати *віртуальну міру якості продукції*, яка є теоретичним аналогом відповідної фізичної міри якості досліджуваної продукції.

3.2. Означення терміна “віртуальна міра якості продукції”. Для означення терміна *віртуальна міра якості продукції* використаємо основні положення *технології віртуальних вимірювальних приладів* як одної із найсучасніших високих інформаційних технологій [10;11] і *теорії множин* як відповідного розділу математики [12].

Суть технології віртуальних вимірювальних приладів полягає у комп'ютерній програмній імітації реальних фізичних вимірювальних приладів, вимірювальних систем та систем управління. Термін “*віртуальний*” не слід трактувати буквально як уявний, реально не існуючий, оскільки вимірювальні прилади, створені на цій технології, насправді є цілком реальними і працюють з реальними вхідними сигналами. *Віртуальність* у цьому випадку виражається у сенсі віртуальної імітації певних функцій приладу математичними і програмними засобами.

Отже, *віртуальна міра якості продукції* – це відображення реальної фізичної міри якості певної продукції, виражене математичними і програмними засобами.

З іншого боку, *якість продукції* визначається її властивостями як об'єктивними особливостями, які можуть проявлятися під час розроблення, виготовлення, експлуатації та споживання продукції, а кількісними оцінками однієї чи декількох властивостей продукції, що характеризують її якість, є *показники якості* [13].

Отже, *віртуальна міра якості продукції* являє собою певну *множину* (сукупність, об'єднання) деяких довільних об'єктів (елементів), об'єднаних за певними загальними для них властивостями (ознаками). Такими об'єктами (елементами) є одиничні абсолютні й відносні показники якості продукції. Множини є предметом розгляду *теорії множин* – розділу математики, що вивчає множини, абстрагуючись від конкретної природи елементів множин [12]. Зокрема, один із розділів теорії множин вивчає питання будови точкових множин у *n*-вимірному евклідовому просторі (де *n* – кількість координат), у якому, власне, і здійснюється оцінювання якості продукції, оскільки одиничні абсолютні показники якості продукції P_i ($i = 1, 2, \dots, n$, де *n* – кількість одиничних

показників, що дорівнює кількості координат багатовимірному евклідовому простору) мають різну фізичну природу та різні розмірності і є точками на відповідних координатних осях багатовимірному простору. Також зазначимо, що масштаби по окремих i -х координатних осях різні і визначаються коефіцієнтами вагомості w_i відповідних одиничних абсолютних показників якості P_i .

У *кваліметрії* як розділі метрології, предметом вивчення якого є питання кількісного оцінювання якості продукції, розглянута вище *множина* деяких довільних об'єктів (елементів) має назву *профіль якості*, який являє собою сукупність кількісних одиничних показників якості продукції [9;14]. Профілі якості Π можуть бути сформовані як із *абсолютних* одиничних показників якості продукції P_i , $i = 1, 2, \dots, n$, тобто як Π_P :

$$\Pi_P = \{P_1; P_2; \dots; P_n\}, \quad (1)$$

так і із *відносних* одиничних показників якості продукції K_i , $i = 1, 2, \dots, n$, тобто як Π_K :

$$\Pi_K = \{K_1; K_2; \dots; K_n\}. \quad (2)$$

Зазначимо, що між окремими одиничними показниками якості продукції переважно відсутні функціональні чи кореляційні зв'язки, що відрізняє профіль якості від *математичної моделі* якості, яка функціонально пов'язує якість продукції з окремими її властивостями.

Отже, *профіль якості продукції* є окремою комплексною характеристикою її якості й може бути використаний для побудови *віртуальної міри якості*, що покажемо у подальшому аналізі.

3.3. Класифікація показників якості продукції. Сьогодні у кваліметрії є два основні методи оцінювання якості продукції — диференційний і комплексний [13].

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, своєю чергою, поділяються на абсолютні та відносні.

Абсолютний показник якості продукції P_i ($i = 1, 2, \dots, n$, де n — кількість властивостей) числово 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 в кваліметрії частіше користуються відносним показником якості продукції K_i , який визначають як

$$K_i = \frac{P_i}{P_{b,i}} \text{ у випадку } P_i \leq P_{b,i} \text{ або } K_i = \frac{P_{b,i}}{P_i} \text{ у випадку } P_i \geq P_{b,i}. \quad (3)$$

Значення одиничних відносних показників якості K_i завжди лежать у межах $0 \leq K_i \leq 1$, однак залежно від 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 приводить *збільшення* значення одиничного оцінюваного абсолютного показника якості продукції P_i і, відповідно, *збільшення* одиничного відносного показника якості K_i , повинна виконуватися умова $K_i \Rightarrow 1$.

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

Наприклад, у разі оцінювання якості природного газу як джерела енергії до *першої групи* показників якості належить питома теплота згорання газу та вміст у газовій суміші важких

вуглеводнів (пентану, гексану тощо), 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 цього 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 за великої їх кількості.

Досконалішим методом оцінювання якості продукції є *комплексний метод*, який ґрунтується на використанні комплексних показників якості продукції, що характеризують декілька властивостей продукції [13]. 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 їх 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]

$$\bar{K}_z = \sum_{i=1}^n K_i m_i, \quad (4)$$

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

Перевагою комплексного методу оцінювання якості продукції є урахування впливу окремих її властивостей на якість продукції, однак усереднення одиничних показників якості різної природи без індивідуального порівняння однорідних показників є його недоліком.

3.4. 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 [9]:

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

$$\tilde{I}_{K,o} = \{K_{oz,1}; K_{oz,2}; \dots; K_{oz,n}\}, \quad (5)$$

$$K_{oz,i} = K_{o,i} \cdot m_i, \quad (6)$$

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

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

$$\dot{I}_{K,b} = \{K_{bz,1}; K_{bz,2}; \dots; K_{bz,n}\}, \quad (7)$$

$$K_{bz,i} = K_{b,i} \cdot m_i, \quad (8)$$

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

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

4. Методика визначення рівня якості продукції із використанням віртуальної міри якості

Для визначення рівня якості продукції використаємо зважену евклідову модель індивідуальних відмінностей, яка дає змогу отримати однозначну оцінку рівня якості продукції, порівнюючи оцінюваний профіль якості досліджуваної продукції $П_{K,o}$ із базовим профілем якості $П_{K,b}$, тобто із віртуальною мірою якості [9]. Порівняння профілів якості $П_{K,o}$ та $П_{K,b}$, сформованих за описаною вище методикою, здійснюємо, визначаючи різниці між відповідними одиничними зваженими відносними оцінюваними $K_{oz,i}$ і базовими $K_{bz,i}$ показниками якості, а *абсолютну відмінність* або *функцію відхилень ДП* між ними визначаємо за формулою

$$\Delta \dot{I} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (\hat{E}_{oz,i} - \hat{E}_{bz,i})^2} = \sqrt{\sum_{i=1}^n m_i^2 (\hat{E}_{o,i} - \hat{E}_{b,i})^2}. \quad (9)$$

Отже, як видно із формули (9), значення *функції відхилень ДП* змінюється в діапазоні від 0 до 1, причому чим ближче значення *ДП* до нуля, тим ближчими є значення оцінюваних показників $K_{o,i}$ до базових $K_{b,i}$ і рівень якості продукції вищий.

На основі отриманої *функції відхилень ДП* побудуємо шкалу визначення *рівня якості продукції Q*, за якою вищій якості продукції відповідає більше числове значення рівня якості:

$$Q = 1 - DP \text{ або } Q = (1 - DP) \cdot 100\%. \quad (10)$$

Отже, рівень якості продукції Q , визначений за розробленою методикою, змінюється від 0 до 1 або від 0 до 100 %. Крім оцінювання якості продукції, запропонована методика на основі отриманих значень *функції відхилень ДП* та *рівня якості продукції Q* дозволяє здійснювати її сортування за рівнем якості і, відповідно, встановлювати різну ціну на неї. Однак питання сортування продукції залежно від рівня її якості Q потребує детального економічного аналізу.

5. Оцінювання точності віртуальної міри якості продукції

Оцінювання точності віртуальної міри якості продукції здійснюємо, оцінюючи непевності (невизначеності) значень, відтворюваних мірою. Як впливає із нормативних документів [15] та літературних джерел [16], первинною оцінкою точності результату будь-якого вимірювання x є його стандартна непевність (невизначеність) $u(x)$. Аналіз здійснюємо у такій послідовності.

Оскільки відповідно до (7) віртуальна міра якості складається із одиничних зважених базових відносних показників якості продукції $K_{bz,i}$, $i = 1, 2, \dots, n$, а відповідно до (8) – $K_{bz,i} = K_{b,i} \cdot m_i$, то розглядаємо непевність значення кожного із цих показників зокрема. За умови відсутності кореляції між значеннями величин m_i та $K_{b,i}$ *комбіновану стандартну непевність* за типом В $u_{cB}(K_{bz,i})$ значення одиничного зваженого базового відносного показника якості продукції $K_{bz,i}$ визначаємо за формулою

$$u_{cB}(\hat{E}_{bz,i}) = \sqrt{C_{m_i}^2 \cdot u_B^2(m_i) + C_{K_{b,i}}^2 \cdot u_B^2(\hat{E}_{b,i})}, \quad (11)$$

де $u_B(m_i)$ – стандартна непевність значення коефіцієнта вагомості m_i ; $C_{m_i} = \frac{\partial K_{bz,i}}{\partial m_i} = K_{b,i}$ –

коефіцієнт впливу непевності значення коефіцієнта вагомості m_i на непевність значення одиничного зваженого базового відносного показника якості продукції $K_{bz,i}$; $u_B(K_{b,i})$ – стандартна непевність

значення одиничного базового відносного показника якості продукції $K_{b,i}$; $C_{K_{b,i}} = \frac{\partial K_{b_z,i}}{\partial K_{b,i}} = m_i$ -

коефіцієнт впливу непевності значення одиничного базового відносного показника якості продукції $K_{b,i}$ на непевність значення зваженого базового відносного показника якості продукції $K_{b_z,i}$.

Далі визначаємо розширену непевність $U_p(K_{b_z,i})$ значення одиничного зваженого базового відносного показника якості продукції $K_{b_z,i}$:

$$U_p(K_{b_z,i}) = k_p \cdot u_{cB}(K_{b_z,i}), \quad (12)$$

де k_p – коефіцієнт розширення (охоплення), значення якого залежить від рівня довіри p та густини розподілу можливих значень $K_{b_z,i}$ [16].

Зазначимо, що розширену непевність $U_p(K_{b_z,i})$ не завжди потрібно визначати, оскільки для оцінювання стандартної непевності $u(Q)$ отриманого відповідно до (9) та (10) значення рівня якості продукції Q , яка визначається непевністю $u(DIP)$ функції відхилень DIP , тобто $u(Q) = u(DIP)$, використовується комбінована стандартна непевність за типом В $u_{cB}(K_{b_z,i})$, знайдена за формулою (11).

Висновки

1. Однією із основних проблем розвитку теорії кваліметричних вимірювань є проблема теорії міри якості продукції.
2. Для реалізації кваліметричних вимірювань доцільно використати віртуальну міру якості продукції, побудовану на основі базового профілю якості продукції.
3. Оцінювання точності віртуальної міри якості продукції доцільно здійснювати, оцінюючи непевності (невизначеності) значень, відтворюваних мірою.

1. Азгальдов Г.Г. О кваліметрии / Азгальдов Г.Г., Райхман Э.П. – М.: Издательство стандартов, 1973. – 172 с. 2. Шишкин И.Ф. Теоретическая метрология: учебник для вузов/ И.Ф. Шишкин. – С.-Петербург: Питер, 2010. – 485 с. 3. Пфанцагль И. Теория измерений / И. Пфанцагль; пер. с англ. В.Б.Кузьмина. – М.: Мир, 1976. – 166 с. 4. Берка К. Измерения. Понятия, теории, проблемы / К. Берка; пер. с чешского К.Н. Иванова. – М.: Прогресс, 1987. – 320 с. 5. 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). 6. Мотало В.П. Проблеми метрологічного забезпечення кваліметричних вимірювань / Мотало В.П. // Вимірювальна техніка та метрологія, 2008. – Вип. 68. – С. 190-195. 7. Метрологія. Терміни та визначення: ДСТУ 2681-94. — [Чинний від 1996-01-01]. — К.: Держстандарт України, 1994. — 68 с. — (Державний стандарт України). 8. Мотало В.П. Методологія оцінювання якості та відповідності продукції з використанням віртуальної міри якості / В.П. Мотало, А.В. Мотало // Вимірювальна техніка та метрологія, 2008. – Вип. 69. – С. 129–137. 10. Трэвис Дж. LabVIEW для всех / Дж. Трэвис, Дж. Кринг. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: ДМК Пресс, 2008. – 880 с. 11. Евдокимов Ю.К. LabVIEW для радиоинженеров: от виртуальной модели до реального прибора / Ю.К. Евдокимов, В.Р. Линдваль, Г.И. Щербаков. Практическое руководство для работы в программной среде LabVIEW. – М.: ДМК Пресс, 2007. – 400 с. 12. Колмогоров А.Н. Элементы теории функций и функционального анализа / А.Н. Колмогоров, С.В. Фомин. – М.: Наука, 1981. – 543 с. 13. Якість продукції. Оцінювання якості. Терміни та визначення: ДСТУ 2925-94. – [Чинний від 1996-01-01]. – К.: Держстандарт України, 1995. – 27 с. – (Державний стандарт України). 14. Дэйвисон М. Многомерное шкалирование: Методы наглядного представления данных / М. Дэйвисон; пер. с англ. В.С. Каменского. – М.: Финансы и статистика, 1988. – 254 с. 15. Метрологія. Застосування “Руководства по выражению неопределенности измерений”: ДСТУ-Н РМГ 43:2006. – [Чинна від 2007-01-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2006. – 20 с. – (Настанови). 16. Дорожовець М.М. Опрацювання результатів вимірювань: навч. посіб. / М.М. Дорожовець– Львів: Видавництво Національного університету “Львівська політехніка”, 2007. – 624 с.