

МЕТРОЛОГІЯ, СТАНДАРТИЗАЦІЯ ТА СЕРТИФІКАЦІЯ

УДК 53.083:658.56

АНАЛІЗ ТОЧНОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ РІВНЯ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ВІРТУАЛЬНОЇ МІРИ ЯКОСТІ

Ї Мотало Василь, 2012

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

Розглянуто основні проблеми методології кваліметричних вимірювань, зокрема, питання теорії міри якості продукції та теорії багатовимірного шкалювання. Запропоновано і проаналізовано методіку оцінювання точності визначення рівня якості продукції із використанням віртуальної міри якості. Методика ґрунтується на оцінюванні непевності (невизначеності) отриманих результатів вимірювань рівня якості із урахуванням кореляції між одиничними показниками якості досліджуваної продукції.

Рассмотрены основные проблемы методологии кваліметрических измерений, в частности, вопросы теории меры качества продукции и теории многомерного шкалирования. Предложена и проанализирована методика оценивания точности определения уровня качества продукции с использованием виртуальной меры качества. Методика основана на оценивании неопределенности полученных результатов измерений уровня качества с учетом корреляции между единичными показателями качества исследуемой продукции.

In the article the main problems of methodology of the qualimetric measurements such as the questions of the theory of the product quality measure and the theory of multidimensional scaling are considered. The methodology of evaluation of precision of the quality level estimation by using of the virtual quality measure is proposed and analyzed. The methodology is based on determining of uncertainty of received results of measurements of the quality level and allows for the correlation between the single quality parameters of the estimated product.

Вступ. У сучасних умовах насиченість ринків різноманітними видами продукції і послуг надає споживачам можливість вибору, що зумовило підвищення вимог до якості продукції. Такий стан світового ринку привів до того, що забезпечення високої якості продукції стало визначальним напрямом соціально-економічного розвитку багатьох країн. Відповідно зросли вимоги до методів та методик оцінювання якості продукції.

Згідно із ДСТУ ISO 9000:2007 [1], *якість продукції* – ступінь, до якого сукупність власних характеристик продукції задовольняє вимоги. Для практичного оцінювання якості продукції користуються *показниками якості*, які є кількісними оцінками однієї чи декількох властивостей продукції, що характеризують її якість. Кількісне оцінювання якості продукції є предметом вивчення *кваліметрії*, як нового напрямку розвитку *метрології* [2; 3]. Однак у квалі-

метрії, на відміну від класичної метрології в широкому розумінні цього терміна, теорія якої є досить розробленою [3–5], через специфічність об'єкта дослідження – *продукції* – сьогодні є цілий ряд проблем теоретичного, інструментального, метрологічного та нормативно-методологічного характеру, аналіз і шляхи розв'язання яких і зумовили тематику цієї статті та її актуальність.

1. Аналіз основних проблем методології кваліметричних вимірювань. Мета будь-якого вимірювання – отримати кількісну *достовірну інформацію* 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 [6].

У роботі [7] автор запропонував і розвинув концептуальне поняття *кваліметричного вимірювання* як непрямого вимірювання декількох різнорідних характеристик (властивостей) продукції, метою якого є визначення рівня якості продукції.

Кваліметричні вимірювання загалом складаються з двох основних етапів:

- *вимірювання різних характеристик (властивостей)* досліджуваної продукції – механічних, просторових, електричних, магнітних, теплових, хімічного складу тощо;

- *оцінювання якості продукції* шляхом визначення *рівня якості* на підставі отриманих результатів вимірювань відповідних характеристик чи властивостей досліджуваної продукції.

Загалом *перший етап* кваліметричних вимірювань є їх експериментальною частиною і його можна означити як *технологічні вимірювання*, а *другий етап* – це *опрацювання результатів проведених експериментів* з метою визначення *результату вимірювання*, тобто рівня якості досліджуваної продукції.

Такий підхід до *кваліметричних вимірювань* з позиції теорії вимірювань дає підстави вважати їх одним із видів непрямих вимірювань, а кваліметрію – одним із розділів метрології як науки про вимірювання [2; 3].

Сьогодні реально існує методологічне забезпечення вимірювання окремих характеристик (властивостей) тієї чи іншої продукції, за якими оцінюють її якість, а методологічне забезпечення вимірювання якості продукції в комплексному розумінні цього терміна практично відсутнє, навіть за умови, що значення відповідних характеристик виміряно достатньо достовірно.

Відповідно до концептуальних положень теорії вимірювань [4; 5], основні проблеми розвитку теорії кваліметричних вимірювань, на думку автора, такі:

- проблеми розвитку теорії оцінювання якості продукції;
- проблеми розвитку теорії міри якості продукції;
- проблеми синтезу багатовимірних кваліметричних шкал;
- проблеми оцінювання точності кваліметричних вимірювань.

2. Мета роботи та основні завдання досліджень.

Очевидно, що в межах однієї статті неможливо про-

аналізувати всі перераховані вище проблеми теорії кваліметричних вимірювань, тому звернемо основну увагу на проблему *оцінювання точності результатів кваліметричних вимірювань*, тобто *оцінювання точності визначення рівня якості продукції*, яке, знову ж таки на думку автора, сьогодні є одним із найменш досліджених у кваліметрії. Це, власне, і є *метою* цієї роботи.

Однак зазначимо, що дослідити цю проблему відокремлено від перших трьох неможливо, оскільки тільки в сукупності вони характеризують суть кваліметричних вимірювань. Основою будь-якого вимірювання, зокрема і кваліметричного, є порівняння вимірюваної величини з мірою, яка зберігає і відтворює певну величину заданого значення [8].

Тому *основні завдання досліджень* у цій роботі такі:

- методологія синтезу міри якості продукції;
- методологія реалізації кваліметричного вимірювання і отримання результату – рівня якості продукції;
- оцінювання непевності (невизначеності) одержаного значення рівня якості продукції.

3. Методологія синтезу міри якості продукції

3.1. Вступ до аналізу теорії міри якості продукції.

Як вже зазначено, основою будь-якого вимірювання є порівняння вимірюваної величини з мірою [8]. Специфікою кваліметричних вимірювань є відсутність конкретних фізичних мір якості тієї чи іншої продукції, а наявні базові (стандарти зразки) досліджуваної продукції не завжди відповідають метрологічним вимогам, які ставляться до мір, і не завжди методологічно можливо здійснити порівняння досліджуваної продукції із таким базовим зразком, що, власне, і становить основну проблему реалізації цих вимірювань.

Теорія вимірювань базується на методах теорії міри, враховуючи 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 перейти до аналізу якості продукції на основі аналізу віртуальної міри якості [9].

Отже, у цій роботі для методологічного забезпечення повної реалізації процедури кваліметричних вимірювань пропонуємо 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 однієї 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* в цьому випадку виражається у сенсі віртуальної імітації певних функцій вимірювального 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 (тут *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, яка дорівнює кількості координат багатовимірного

евклідового простору) мають різну фізичну природу та різні розмірності і є точками на відповідних координатних осях багатовимірного простору. Також зазначимо, що масштаби по окремих *i*-х координатних осях різні і визначаються коефіцієнтами вагомості μ 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 П*, що являє собою сукупність кількісних одиничних показників якості продукції [9;14]. Профілі якості *П* можна сформувати як із *абсолютних* одиничних показників якості продукції P_i , $i = 1, 2, \dots, n$, тобто як $\Pi_P = \{P_1; P_2; \dots; P_n\}$, так і із *відносних* одиничних показників якості продукції K_i , $i = 1, 2, \dots, n$, тобто як $\Pi_K = \{K_1; K_2; \dots; K_n\}$.

Зазначимо, що між окремими одиничними показниками якості продукції переважно відсутні функціональні зв’язки, що відрізняє профіль якості від *математичної моделі* якості, у якій якість продукції функціонально пов’язана з окремими її властивостями.

Отже, *профіль якості продукції*, що є сукупністю одиничних показників якості продукції, – окрема комплексна характеристика її якості, що можна використати для побудови *віртуальної міри якості*, як показано далі.

3.3. Аналіз видів показників якості продукції. Первинними кількісними оцінками якості продукції є *одиничні показники якості*, тобто показники, які характеризують одну із властивостей продукції [13]. Показники якості продукції поділяють 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 , отриманому під час вимірювання, 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» одержане значення *оцінюваного* показника $P_{o,i}$ порівнюють зі значенням відповідного *базового* показника $P_{b,i}$, тобто значенням показника якості продукції, прийнятим за основу під час порівняльного оцінювання її якості [13].

Загалом співвідношення між показниками $P_{o,i}$ та $P_{b,i}$ залежно від виду оцінюваної властивості продукції виражається формулами: $P_{o,i} \leq P_{b,i}$ або $P_{o,i} \geq P_{b,i}$.

Однак вказані співвідношення не дають чіткої відповіді щодо рівня якості продукції, тобто наскільки «добре» чи наскільки «погано», тому в кваліметрії частіше користуються *відносними показниками якості продукції* K_i , значення яких зазвичай знаходять за формулами [15]:

$$K_{o,i} = \frac{P_{o,i}}{P_{b,i}} \quad \text{у випадку } P_{o,i} \leq P_{b,i}$$

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

Значимо, що формули (1) не завжди коректно відбивають суть впливу значень одиничних показників якості продукції на значення рівня її якості Q , зокрема у випадку встановлення регламентованих граничних значень одиничних показників якості продукції. У такому разі необхідні поглиблений аналіз і коригування формул (1), що показано далі.

Значення одиничних відносних показників якості $K_{o,i}$ завжди лежать у межах $0 \leq K_{o,i} \leq 1$, однак залежно від того, як значення показників $K_{o,i}$ впливають на значення рівня якості продукції Q , вони змінюються по-різному і можна виділити *дві групи* показників якості продукції.

У *першій групі* показників якості до *підвищення рівня якості* досліджуваної продукції приводить *збільшення* значення одиничного оцінюваного абсолютного показника якості $P_{o,i}$ і, відповідно, *збільшення* одиничного відносного показника якості $K_{o,i}$, а у *другій групі* показників якості *підвищення рівня якості* досліджуваної продукції забезпечує *зменшення* значення одиничного оцінюваного абсолютного показника якості $P_{o,i}$ і, відповідно, *зменшення* одиничного відносного показника якості $K_{o,i}$. Наприклад, при оцінюванні 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]. Отже, у *першій групі* показників якості *підвищення рівня якості* досліджуваної продукції відбувається за умови, коли $K_{o,i} \Rightarrow 1$, а у *другій групі* – за умови, що $K_{o,i} \Rightarrow 0$.

Відповідно до вимог ДСТУ 2925-94 [13] встановлюють *регламентовані* граничні значення абсолютних показників якості продукції $P_{o,i}$ – *мінімальне* $P_{i,\min}$ та *максимальне* $P_{i,\max}$.

У *першій групі* показників якості за умови, коли $P_{o,i} < P_{i,\min}$, продукція вважається *бракованою*. Максимальне значення абсолютного показника якості продукції $P_{i,\max}$ – це максимально можливе значення показника, якого можна досягти відповідно до сьогоdnішнього рівня технології виготовлення такої продукції і яке відповідає *найвищому* значенню рівня якості продукції Q . Відповідно, значення одиничного оцінюваного абсолютного показника якості продукції $P_{o,i}$ не перевищує $P_{i,\max}$, тобто $P_{o,i} \leq P_{i,\max}$. Максимальне значення абсолютного показника якості продукції $P_{i,\max}$ приймають за базове значення цього показника, тобто $P_{i,\max} = P_{b,i}$. Отже, у *першій групі* показників якості значення одиничного абсолютного показника якості $P_{o,i}$ лежить у межах $P_{i,\min} \leq P_{o,i} \leq P_{i,\max}$. Відповідно, значення одиничного відносного показника якості $K_{o,i}$ лежить у межах $K_{i,\min} \leq K_{o,i} \leq 1$, де $K_{i,\min} = P_{i,\min} / P_{b,i}$ – *мінімальне допустиме* значення цього показника, яке відповідає *найнижчому допустимому* значенню рівня якості Q . Якщо $K_{o,i} < K_{i,\min}$, продукція вважається *бракованою*. Якщо ж $P_{o,i} = P_{i,\max}$, то $K_{o,i} = 1$, що відповідає *найвищому* значенню рівня якості Q . Отже, у *першій групі* показників якості продукції *базові* значення відносних показників якості $K_{b,i} = 1$, а значення одиничних *відносних* показників якості $K_{o,i}$ доцільно обчислювати за формулою

$$K_{o,i} = \frac{P_{o,i}}{P_{i,\max}} = \frac{P_{o,i}}{P_{b,i}}, \quad P_{o,i} \leq P_{b,i}. \quad (2)$$

У *другій групі* показників якості значення одиничного абсолютного показника якості $P_{o,i}$ також лежить у межах $P_{i,\min} \leq P_{o,i} \leq P_{i,\max}$, однак у цьому випадку значення *мінімального* $P_{i,\min}$ та *максимального* $P_{i,\max}$ показників якості мають інший зміст: *мінімальне* значення $P_{i,\min}$ – це мінімально можливе значення показника $P_{o,i}$, яке можна забезпечити за сьогоdnішнього рівня технології виготовлення цієї продукції,

і яке відповідає *найвищому* значенню рівня якості продукції Q , (бажано, щоб значення $P_{i,\min}$ наближалось до нуля, тобто $P_{i,\min} \Rightarrow 0$), а максимальне значення абсолютного показника якості продукції $P_{i,\max}$ є граничним допустимим значенням цього показника, у разі перевищення якого, тобто за умови, коли $P_{o,i} > P_{i,\max}$, продукцію вважають *бракованою*.

Значення *одиночного відносного* показника якості $K_{o,i}$ у *другій* групі показників якості доцільно обчислювати за формулою

$$K_{o,i} = \frac{P_{o,i} - P_{i,\min}}{P_{i,\max} - P_{i,\min}} = \frac{P_{o,i} - P_{b,i}}{P_{i,\max} - P_{b,i}}, P_{o,i} \geq P_{b,i}. \quad (3)$$

Отже, відповідно до (3) значення *одиночного відносного* показника якості $K_{o,i}$ за умови $P_{o,i} = P_{i,\min}$ дорівнює нулю ($K_{o,i} = 0$), що відповідає *найвищому* значенню рівня якості Q , а за умови $P_{o,i} = P_{i,\max} - K_{o,i}$ дорівнює 1 ($K_{o,i} = 1$), що відповідає *найнижчому допустимому* значенню рівня якості Q , тобто значення $K_{o,i}$ лежить в межах $0 \leq K_{o,i} \leq 1$. Отже, у *другій групі* показників якості продукції *базові* значення *абсолютних* показників якості $P_{b,i} = P_{i,\min}$, а *базові* значення *відносних* показників якості $K_{b,i} = 0$.

3.4. Побудова віртуальної міри якості продукції на основі базового профілю якості, сформованого із *одиночних зважених базових відносних показників якості*. Оскільки *абсолютні* *одиночні* показники якості продукції P_i , $i = 1, 2, \dots, n$ числово дорівнюють відповідним значенням властивостей продукції, отриманих під час проведення вимірвального експерименту, тобто вони мають різну фізичну природу і різні розмірності, то для побудови *профілів якості* досліджуваної продукції і, відповідно, *віртуальної міри якості* продукції використаємо *відносні* *одиночні* показники якості продукції $K_{o,i}$, $i = 1, 2, \dots, n$, значення яких знайдемо за формулами (2) і (3). Під час побудови *профілів якості* досліджуваної продукції враховуємо також різний вплив *одиночних* показників якості продукції на рівень її якості, для чого використовуємо *одиночні зважені* показники якості.

Відповідно, профілі якості досліджуваної продукції, сформовані із *одиночних зважених відносних* показників якості, доцільно розділити на дві групи [9]:

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

$$\Pi_{K,o} = \{K_{oz,1}; K_{oz,2}; \dots; K_{oz,n}\}, K_{oz,i} = K_{o,i} \cdot m_i, \quad (4)$$

де $K_{o,i}$ – i -ті *одиночні оцінювані відносні* показники якості продукції, числові значення яких знаходять за формулами (2) та (3) відповідно до вимірваних відповідних властивостей $P_{o,i}$ досліджуваної продукції; m_i – *нормалізований коефіцієнт вагомості* показника $K_{o,i}$, тобто $\sum_{i=1}^n m_i = 1$;

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

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

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

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

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

4.1. Концептуальні засади методології визначення рівня якості продукції із використанням віртуальної міри якості. Для визначення рівня якості досліджуваної продукції Q , тобто для повної реалізації процедури кваліметричного вимірювання, необхідно здійснити порівняння оцінюваного профілю якості досліджуваної продукції $\Pi_{K,o}$ із базовим профілем якості $\Pi_{K,b}$, тобто із *віртуальною мірою якості* [9].

Порівняння профілів якості $\Pi_{K,o}$ та $\Pi_{K,b}$ здійснюємо за *методикою багатовимірного шкалювання* [16]. Ця методика дає змогу порівнювати відповідні *одиночні зважені* *відносно оцінюваних* $K_{oz,i}$ і *базових* $K_{bz,i}$ показники якості із подальшим зведенням шкал, за якими встановлено значення цих показників, до *одновимірної шкали визначення рівня якості* досліджуваної продукції Q .

Модель реалізації методики багатовимірного шкалювання вибираємо, з'ясувавши, існує чи ні

статистичний зв'язок (кореляція) між одиничними показниками якості досліджуваної продукції.

У випадку статистично незалежних (некорельованих) одиничних відносних оцінюваних показників якості $K_{o,i}$ для порівняння оцінюваного профілю якості досліджуваної продукції $\Pi_{K,o}$ із базовим профілем якості $\Pi_{K,b}$, тобто із віртуальною мірою якості, використаємо зважену евклідову модель індивідуальних відмінностей [16], за якою визначаємо 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 знаходимо за формулою

$$\Delta\Pi = \sqrt{\sum_{i=1}^n (K_{oz,i} - K_{bz,i})^2} = \sqrt{\sum_{i=1}^n m_i^2 (K_{o,i} - K_{b,i})^2}. \quad (6)$$

Отже, як видно із формули (6), 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.

4.2. Методика визначення рівня якості продукції із урахуванням кореляції між відповідними одиничними відносними оцінюваними показниками. Оскільки одиничні оцінювані абсолютні показники якості продукції $P_{o,i}$, тобто відповідні властивості досліджуваної продукції, значення яких вимірюють у процесі дослідження, загалом є випадковими корельованими величинами, то, відповідно, випадковими корельованими величинами є і одиничні оцінювані відносні показники якості продукції $K_{o,i}$.

У такому разі для визначення рівня якості продукції використовуємо тримодальну модель багатовимірною шкалювання [16], яка дає змогу врахувати наявність кореляції між одиничними оцінюваними показниками якості продукції $K_{o,i}$ та $K_{o,j}$, тобто абсолютну відмінність або функцію відхилень ДП визначаємо за формулою:

$$\Delta\Pi = \sqrt{\sum_{i=1}^n m_i^2 (K_{o,i} - K_{b,i})^2 + 2 \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n m_i m_j (K_{o,i} - K_{b,i})(K_{o,j} - K_{b,j}) \cdot r_{K_{o,i}, K_{o,j}}}, \quad (7)$$

де m_i та m_j – відповідно коефіцієнти вагомості одиничних оцінюваних відносних показників якості продукції $K_{o,i}$ та $K_{o,j}$; $r_{K_{o,i}, K_{o,j}}$ – коефіцієнт кореляції між значеннями одиничних оцінюваних відносних показників якості продукції $K_{o,i}$ та $K_{o,j}$.

У цьому аналізі коректніше визначати кореляцію між різницями $\Delta K_{z,i} = K_{oz,i} - K_{bz,i} = m_i K_{o,i} - m_i K_{b,i}$ та $\Delta K_{z,j} = K_{oz,j} - K_{bz,j} = m_j K_{o,j} - m_j K_{b,j}$, $i \neq j$, але оскільки базові коефіцієнти $K_{b,i}$ та $K_{b,j}$ є детермінованими і некорельованими величинами ($K_{b,i}=1$ або $K_{b,i}=0$), то практично аналізуємо кореляцію між значеннями одиничних оцінюваних відносних показників якості продукції $K_{o,i}$ та $K_{o,j}$. Методику визначення коефіцієнта кореляції $r_{K_{o,i}, K_{o,j}}$ між значеннями одиничних оцінюваних відносних показників якості продукції $K_{o,i}$ та $K_{o,j}$ детально розглянуто у п.5.4.

На основі отриманих за формулами (6) та (7) значень функції відхилень ДП побудуємо шкалу визначення рівня якості продукції Q , за якою вищий рівень якості продукції відповідає більше числове значення рівня якості Q .

$$Q = 1 - \text{ДП} \text{ або } Q = (1 - \text{ДП}) \cdot 100\%. \quad (8)$$

Отже, значення рівня якості продукції Q , знайдене за розробленою методикою, змінюється від 0 до 1 або від 0 до 100 %, що є зручним і методологічно обґрунтованим для використання у практиці оцінювання якості продукції. Крім оцінювання якості продукції, за запропонованою методикою на основі отриманих значень функції відхилень ДП та рівня якості продукції Q можна здійснювати її сортування за рівнем якості і, відповідно, встановлювати різну ціну на неї.

5. Методологія оцінювання точності визначення рівня якості продукції із використанням віртуальної міри якості

5.1. Концептуальні засади методології оцінювання точності визначення рівня якості продукції із використанням віртуальної міри якості. Точність визначення рівня якості продукції із використанням віртуальної міри якості оцінюємо, визначивши непевність (невизначеність) отриманого результату вимірювання, тобто рівня якості досліджуваної продукції. Як впливає із нормативних документів [17] та літературних джерел [18], первинною оцінкою точності результату будь-якого вимірювання x є його стандартна непевність (невизначеність) $u(x)$.

Аналіз методики знаходження непевності (невизначеності) $u(Q)$ отриманого значення рівня якості продукції Q здійснюємо на підставі міркувань:

- результат вимірювання рівня якості продукції Q у випадку вимірювань із багаторазовими спосте-

реженнями за умови нормального розподілу результатів спостережень знаходимо як середнє значення \bar{Q} вибірки із отриманих значень окремих вимірювань рівня якості Q_c ($c = 1, 2, \dots, h$; де h – кількість окремих вимірювань), обчислених за формулою (8):

$$Q = \bar{Q} = \frac{1}{h} \sum_{c=1}^h Q_c = \frac{1}{h} \sum_{c=1}^h (1 - \Delta P_c), \quad (9)$$

де $\Delta P_c = \sqrt{\sum_{i=1}^n \sum_{c=1}^h m_i^2 (K_{o,i_c} - K_{b,i})^2}$ – c -те значення

функції відмінностей DP , обчислене згідно з формулами (6) або (7) із урахуванням c -х значень K_{o,i_c} одиничних оцінюваних відносних показників якості продукції $K_{o,i}$;

- значення функції відхилень ΔP_c і, відповідно, значення рівня якості продукції Q_c , загалом є випадковими, але статистично незалежними (некорельованими) величинами;

- нормалізовані коефіцієнти вагомості m_i загалом є детермінованими і некорельованими величинами, але їх значення відомі із деякою стандартною непевністю за типом **B** $u_B(m_i)$;

- одиничні базові відносні показники якості продукції $K_{b,i}$, тобто елементи віртуальної міри якості продукції, є детермінованими і некорельованими величинами ($K_{b,i} = 1$ або $K_{b,i} = 0$);

- одиничні оцінювані відносні показники якості продукції $K_{o,i}$ є випадковими корельованими величинами, а їх значення залежать від значень одиничних оцінюваних абсолютних показників якості продукції $P_{o,i}$, виміряних під час проведення експерименту (див. формули (2) та (3));

- значення різниць одиничних оцінюваних і базових показників якості продукції $\Delta K_i = K_{o,i} - K_{b,i}$ є випадковими корельованими величинами.

Отже, в загальному випадку вимірювань із багатовимірними спостереженнями комбіновану стандартну непевність $u_c(Q)$ отриманого значення рівня якості продукції Q обчислюємо за формулою [18]:

$$u_c(Q) = \sqrt{u_{cA}^2(Q) + u_{cB}^2(Q)}, \quad (10)$$

де $u_{cA}(Q)$ – комбінована стандартна непевність за типом **A** значення рівня якості продукції Q ; $u_{cB}(Q)$ –

комбінована стандартна непевність за типом **B** значення рівня якості продукції Q .

5.2. Знаходження непевності (невизначеності) отриманого результату вимірювання рівня якості досліджуваної продукції Q за типом **A.** Зважаючи на взаємну статистичну незалежність (некорельованість) результатів окремих вимірювань Q_c ($c = 1, 2, \dots, h$), комбінована непевність (невизначеність) отриманого результату вимірювання рівня якості досліджуваної продукції Q за типом **A** $u_{cA}(Q)$ має одну складову, яку обчислюємо за формулою:

$$u_{cA}(Q) = u_A(Q) = \sqrt{\frac{1}{h(h-1)} \sum_{c=1}^h (Q_c - \bar{Q})^2}. \quad (11)$$

5.3. Знаходження непевності (невизначеності) отриманого результату вимірювання рівня якості досліджуваної продукції Q за типом **B.** Як видно із (8), стандартна непевність $u(Q)$ отриманого значення рівня якості продукції Q визначається непевністю $u(DP)$ значень функції відхилень DP , тобто $u(Q) = u(DP)$, тому для оцінювання точності визначення рівня якості продукції розглянемо методику знаходження непевності $u(DP)$ значень функції відхилень DP .

Для зручності аналізу формулу (6) функції відхилень DP запишемо у такому вигляді:

$$P = (\Delta P)^2 = \sum_{i=1}^n m_i^2 \cdot \Delta K_i^2, \quad (12)$$

де P – допоміжний проміжний параметр; $\Delta K_i = K_{o,i} - K_{b,i}$ – різниця одиничних відносних оцінюваних і базових показників якості продукції.

З огляду на вищесказане, комбіновану стандартну непевність за типом **B** $u_{cB}(P)$ значення параметра P за умови відсутності кореляції між значеннями нормалізованих коефіцієнтів вагомості m_i та значеннями різниць одиничних відносних оцінюваних і базових показників якості продукції ΔK_i знаходимо за формулою:

$$u_{cB}(P) = \sqrt{\sum_{i=1}^n C_{m_i}^2 \cdot u_B^2(m_i) + \sum_{i=1}^n C_{\Delta K_i}^2 \cdot u_{cB}^2(\Delta K_i)}, \quad (13)$$

де $C_{m_i} = \frac{\partial P}{\partial m_i} = 2m_i \cdot \Delta K_i^2$ – коефіцієнт впливу непевності $u_B(m_i)$ значення нормалізованого коефіцієнта вагомості m_i на непевність $u_{cB}(P)$ значення параметра P ; $u_B(m_i)$ – стандартна непевність за типом **B**

значення нормалізованого коефіцієнта вагомості m_i ;

$$C_{\Delta K_i} = \frac{\partial \Pi}{\partial \Delta K_i} = 2m_i^2 \cdot \Delta K_i$$

– коефіцієнт впливу непевності $u_B(\Delta K_i)$ значення різниці одиничних відносних оцінюваних і базових показників якості продукції ΔK_i на непевність $u_{cB}(\Pi)$ значення параметра Π ; $u_{cB}(\Delta K_i)$ – комбінована стандартна непевність за типом **B** значення різниць $\Delta K_i = K_{o,i} - K_{b,i}$ оцінюваних і базових показників якості продукції.

Оскільки одиничні оцінювані відносні показники якості продукції $K_{o,i}$ є випадковими корельованими величинами, і, відповідно, випадковими корельованими величинами є значення різниць оцінюваних і базових показників якості продукції $\Delta K_i = K_{o,i} - K_{b,i}$, стандартну непевність за типом **B** $u_{cB}(\Delta K_i)$ значення різниць ΔK_i знаходимо за формулою:

$$u_{cB}(\Delta K_i) = \sqrt{\sum_{i=1}^n u_c^2(K_{o,i}) + 2 \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n u_c(K_{o,i}) \cdot u_c(K_{o,j}) \cdot r_{K_{o,i}, K_{o,j}}}, \quad (14)$$

де $u_c(K_{o,i})$, $u_c(K_{o,j})$ – комбіновані стандартні непевності значень одиничних оцінюваних відносних показників якості продукції $K_{o,i}$ ($i = 1, 2, \dots, n-1$), $K_{o,j}$ ($j = i+1, i+2, \dots, n$); $r_{K_{o,i}, K_{o,j}}$ – коефіцієнт кореляції між значеннями одиничних оцінюваних відносних показників якості продукції $K_{o,i}$ та $K_{o,j}$.

Зауваження (авт.). Комбіновані стандартні непевності $u_c(K_{o,i})$, $u_c(K_{o,j})$ значень одиничних оцінюваних відносних показників якості продукції $K_{o,i}$ та $K_{o,j}$ знаходимо, проаналізувавши формули (2) і (3), за якими, власне, і обчислюємо значення цих показників. Отже, у цьому аналізі необхідно врахувати комбіновані стандартні непевності $u_c(P_{o,i})$ та $u_c(P_{o,j})$ одиничних оцінюваних абсолютних показників якості продукції $P_{o,i}$ та $P_{o,j}$, тобто результатів вимірювань відповідних властивостей досліджуваної продукції, та стандартні непевності типу **B** $u_B(P_{b,i})$ та $u_B(P_{b,j})$ одиничних базових абсолютних показників якості продукції $P_{b,i}$ та $P_{b,j}$. Однак зазначимо, що через обмежений обсяг статті детально це питання у роботі не аналізуватимемо.

Оскільки функція відхилень DP згідно з (11) пов'язана з допоміжним параметром Π залежністю $\Delta \Pi = \sqrt{\Pi}$, то комбіновану непевність за типом **B** $u_{cB}(\Delta \Pi)$ і, відповідно, комбіновану непевність за типом **B** $u_{cB}(Q)$ значення рівня якості досліджуваної продукції Q визначаємо за формулою:

$$u_{cB}(Q) = u_{cB}(\Delta \Pi) = \frac{\partial(\Delta \Pi)}{\partial \Pi} \cdot u_{cB}(\Pi) = \frac{1}{2\sqrt{\Pi}} \cdot u_{cB}(\Pi), \quad (15)$$

де $u_{cB}(\Pi)$ – комбінована стандартна непевність за типом **B** значення параметра Π , знайдена за формулою (13) згідно з викладеною вище методикою.

5.4. Знаходження коефіцієнта кореляції $r_{K_{o,i}, K_{o,j}}$

між значеннями одиничних оцінюваних відносних показників якості продукції $K_{o,i}$ та $K_{o,j}$. Для визначення коефіцієнта кореляції $r_{K_{o,i}, K_{o,j}}$ між значеннями одиничних оцінюваних відносних показників якості продукції $K_{o,i}$ та $K_{o,j}$ необхідно здійснити статистичне опрацювання серії із h вимірювань їх значень $K_{o,i,c}$ та $K_{o,j,c}$, $c = 1, 2, \dots, h$ (див. п.5.1), попередньо обчисливши їх значення за формулами (2) і (3) на основі результатів вимірювань одиничних оцінюваних абсолютних показників якості продукції $P_{o,i,c}$ та $P_{o,j,c}$, $c = 1, 2, \dots, h$, тобто результатів вимірювань відповідних властивостей досліджуваної продукції.

Значення коефіцієнта кореляції $r_{K_{o,i}, K_{o,j}}$ визначаємо як відношення коваріації (коваріаційного моменту) $R_{K_{o,i}, K_{o,j}}$ показників $K_{o,i}$ та $K_{o,j}$ до добутку оцінок їх стандартних відхилень $s_{K_{o,i}}$ та $s_{K_{o,j}}$:

$$r_{K_{o,i}, K_{o,j}} = \frac{R_{K_{o,i}, K_{o,j}}}{s_{K_{o,i}} \cdot s_{K_{o,j}}} = \frac{\sum_{c=1}^h (K_{o,i,c} - \bar{K}_{o,i}) \cdot (K_{o,j,c} - \bar{K}_{o,j})}{\sqrt{\sum_{c=1}^h (K_{o,i,c} - \bar{K}_{o,i})^2} \cdot \sqrt{\sum_{c=1}^h (K_{o,j,c} - \bar{K}_{o,j})^2}}, \quad (16)$$

де $\bar{K}_{o,i}$ та $\bar{K}_{o,j}$ – результати вимірювань показників $K_{o,i}$ та $K_{o,j}$, які за умови нормального розподілу результатів вимірювальних експериментів $K_{o,i,c}$ та $K_{o,j,c}$ ($c = 1, 2, \dots, h$) обчислюємо як середні арифметичні значення відповідних вибірок:

$$\bar{K}_{o,i} = \frac{1}{h} \sum_{c=1}^h K_{o,i,c} \quad \text{та} \quad \bar{K}_{o,j} = \frac{1}{h} \sum_{c=1}^h K_{o,j,c}, \quad (17)$$

5.5. Знаходження розширеної непевності (невизначеності) отриманого результату вимірювання рівня якості досліджуваної продукції Q . Розширену непевність $U_p(Q)$ значення рівня якості досліджуваної продукції Q визначаємо за формулою:

$$U_p(Q) = k_p \cdot u_c(Q), \quad (18)$$

де k_p – коефіцієнт розширення (охоплення), значення якого залежить від рівня довіри p та густини розподілу можливих значень рівня якості досліджуваної продукції Q ; $u_c(Q)$ – комбінована стандартна непевність отриманого значення рівня якості продукції Q , обчислена за формулою (10) на основі знайдених вище значень $u_{cA}(Q)$ та $u_{cB}(Q)$.

Значення коефіцієнта розширення (охоплення) k_p в загальному випадку знаходять зі співвідношення $k_p = t_p(v_{eff})$, де $t_p(v_{eff})$ – квантиль розподілу Стюдента (t -розподілу), визначений за відповідною ефективною кількістю ступенів свободи v_{eff} та рівнем довіри p [17;18].

Ефективну кількість ступенів свободи n_{eff} комбінованої стандартної непевності $u_c(Q)$ отриманого значення рівня якості продукції Q , яка містить складові за типом А $u_{cA}(Q)$ і за типом В $u_{cB}(Q)$, за умови, що всі складові непевності за типом В обчислені за точними розподілами, тобто $n_{eff,B} = \infty$, знаходять за формулою [18]:

$$v_{eff} = v_{eff,A} \left(1 + \frac{u_{cB}^2(Q)}{u_{cA}^2(Q)} \right), \quad (19)$$

де $n_{eff,A}$ – ефективна кількість ступенів свободи складової непевності, знайденої за типом А, яка у випадку однієї складової за типом А дорівнює $n_{eff,A} = h - 1$, де h – кількість проведених експериментів.

На практиці часто користуються спрощеною методикою знаходження коефіцієнта розширення (охоплення) k_p . Згідно із рекомендацією настанови ДСТУ-Н РМГ 43:2006 [17] для нормального розподілу можливих значень вимірюваної величини приймають, що $k_p = 1,65$ при $p = 0,9$; $k_p = 1,96$ при $p = 0,95$; $k_p = 2,58$ при $p = 0,99$, це спрощення справедливе у разі достатньо великої кількості h проведених експери-

ментів ($h > 30$) і точно відомих розподілів всіх складових непевності за типом В, тобто коли ефективна кількість ступенів свободи $n_{eff} \Rightarrow \infty$. За цих умов розподіл Стюдента наближається до стандартного нормального розподілу із нульовим математичним сподіванням $m_x = 0$ та одиничним стандартним відхиленням $s_x = 1$.

Висновки

1. Одними із основних проблем розвитку теорії кваліметричних вимірювань 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 віртуальної міри якості продукції та теорії багатовимірного шкалювання із використанням зваженої евклідової моделі індивідуальних відмінностей та тримодальної моделі багатовимірного шкалювання.

3. Використання віртуальної міри якості продукції, сформованої на основі базового профілю якості, дає змогу повністю реалізувати процедуру кваліметричних вимірювань.

4. Використовуючи тримодальну модель багатовимірного шкалювання, можна врахувати наявність статистичної залежності (кореляції) між одиничними оцінюваними показниками якості досліджуваної продукції та оцінити її вплив на рівень якості продукції.

5. Оцінювати точність результатів кваліметричних вимірювань доцільно, оцінюючи непевність (невизначеність) отриманих значень рівня якості продукції із урахуванням кореляції між одиничними показниками якості досліджуваної продукції.

1. 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). 2. Мотало В.П. Актуальні проблеми розвитку теорії кваліметрії / Мотало В.П., Мотало А.В. // Вісник Національного університету "Львівська політехніка", 2011. – № 695. – С. 115–121. 3. Шишкин И.Ф. Теоретическая метрология: учебник для вузов / Шишкин И.Ф. – С.-Петербург: Питер, 2010. – 485 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. Закон України про метрологію та

- метрологічну діяльність, №1765-IV від 15.06.2004 р. / Верховна Рада України. – Офіц. вид.– К.: Парлам. вид-во, 2004. – 22 с. – (Бібліотека офіційних видань).
7. Мотало В.П. Проблеми метрологічного забезпечення кваліметричних вимірювань / Мотало В.П. // Вимірювальна техніка та метрологія, 2008. – Вип. 68. – С. 190–195.
8. Метрологія. Терміни та визначення: ДСТУ 2681-94. — [Чинний від 1996-01-01]. — К.: Держстандарт України, 1994. — 68 с. — (Державний стандарт України).
9. 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.
10. Трэвис Дж. LabVIEW для всех. – Третье изд. перер. и доп. / Трэвис Дж., Кринг Дж. – М.: ДМК Пресс, 2008. – 880 с.
11. Евдокимов Ю.К. LabVIEW для радиоинженеров: от виртуальной модели до реального прибора / Евдокимов Ю.К., Линдваль В.Р., Щербаков Г.И. Практическое руководство для работы в программной среде LabVIEW. – М.: ДМК Пресс, 2007. – 400 с.
12. Колмогоров А.Н. Элементы теории функций и функционального анализа / Колмогоров А.Н., Фомин С.В. – 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 / Дэйвисон М.; пер. с англ. В.С. Каменского. – М.: Финансы и статистика, 1988. – 254 с.
15. Азгальдов Г.Г. О кваліметрии / Азгальдов Г.Г., Райхман Э.П. – М.: Издательство стандартов, 1973. – 172 с.
16. Мотало В.П. Використання методології багатовимірного шкалювання у кваліметричних вимірюваннях / Мотало В.П. // Метрологія та прилади, 2012. – № 3. – С. 61–66.
17. Метрологія. Застосування “Руководства по выражению неопределенности измерений”: ДСТУ-Н РМГ 43:2006. – [Чинна від 2007-01-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2006. – 20 с. – (Настанова).
18. Дорожовець М.М. Опрацювання результатів вимірювань: навч. посіб./ Дорожовець М.М. – Львів: Видавництво Національного університету “Львівська політехніка”, 2007. – 624 с.