

УДК 658.562

ОТРИМАННЯ КОЕФІЦІЄНТІВ ВАГОМОСТІ ДЛЯ КІЛЬКІСНОГО ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ ЗА СКЛАДОВИМИ НЕПЕВНОСТІ ОЦІНЮВАННЯ

© Бойко Тарас, Гриневич Богдан, 2011

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра метрології, стандартизації та сертифікації, вул. С. Бандери, 12, 79013, Львів, Україна

Запропоновано спосіб визначення коефіцієнтів вагомості з урахуванням специфічної складової точності результатів оцінювання, кількісна оцінка якої відображає неоднорідність об'єкта досліджень та нестабільність його показників властивостей. Для цього використано поняття кваліметричної непевності, розмір якої встановлюють на основі розкиду результатів, пов'язаного з дослідженням різних вибірок зразків продукції або тієї самої вибірки різними лабораторіями.

Предложен способ определения коэффициентов весомости на основе учета специфической составляющей точности результатов оценивания, количественная оценка которой отображает неоднородность объекта исследованый и нестабильность его показателей свойств, для чего использовано понятие кваліметрической неопределенности, размер которой определяется на основе разброса результатов, связанного с исследованием разных выборок образцов продукции или той же выборки разными лабораториями.

The way of weight coefficient determination based on the considering the specific component of measurement result accuracy, whose quantitative estimation reflects the inhomogeneity of research object and instability of its index properties, is proposed. For this purpose the notion of qualimetric uncertainty whose scope could be determined on the basis of the result scattering related to the research of various selections of production samples or the same selection by the different laboratories is employed.

Вступ. Для більшості методів кваліметричного оцінювання продукції у межах окремого кваліметричного експерименту коефіцієнти вагомості (КВ) є сталими величинами, що не пов'язані з отриманими експериментальними значеннями показників властивостей [1]. Разом з тим, вагомість може мати вирішальне значення для кінцевої кваліметричної оцінки. Навіть якщо за окремим показником окремих виробів незначно переважає аналогічний, то за рахунок високого значення коефіцієнта вагомості їх синергійний внесок у значення комплексного показника якості буде істотним. Так відбувається навіть незважаючи на те, що ступінь довіри до результатів оцінки за цим показником властивостей (ПВ) може бути і невисоким.

Концепція отримання коефіцієнтів вагомості. Пропонуємо змінити класичне трактування щодо ранжування вимог і відповідно до встановлення значень КВ. Відомо, що в метрології мірою ступеня довіри до результату вимірювань є непевність (в інших першоджерелах – невизначеність). Непевність свідчить про якість процесу вимірювання, що залежить від

метрологічної досконалості засобів вимірювання і впливних факторів [2]. Однак непевність можна використовувати і як міру «досконалості» (якості) властивостей досліджуваного параметра, що стає для продукції ПВ. Причиною виникнення власне такої непевності є специфіка реалізації досліджень характеристик властивостей продукції в умовах сучасного серійного і масового виробництва. Оскільки контроль параметрів продукції може бути виключно вибірковою і здійснюватися на зразках, що відбиратимуться від об'єкта контролю за певними планами, то це в поєднанні з власною часовою нестабільністю зразків, очевидно, дає розкид значень їхніх ПВ. На думку автора, власне інформативнішими були б коефіцієнти вагомості, що враховували б непевність результатів оцінювання, пов'язану з неоднорідністю об'єкта досліджень чи нестабільністю його ПВ [3].

Звичайно, треба розмежовувати таку непевність і непевність, пов'язану із засобами і методиками оцінювання, як показано на рис. 1.

Необхідний рівень останньої треба забезпечувати відповідно атестацією кожної з методик кваліметричного оцінювання і встановленням нормованих

значень характеристик точності випробувального кваліметричного експерименту [4]. Повинні бути вилучені фактори, які залежать від об'єкта випробувань. А вже під час дослідження об'єкта за допомогою атестованої методики за розподілом випадкових значень треба виділити складові непевності, що обґрунтовано можна приписати певному показнику властивостей об'єкта досліджень. Відповідно ті значення ПВ, під час розрахунку яких отримано меншу непевність, повинні мати вищі коефіцієнти вагомості, а показники властивостей, визначення яких супроводжується більшою непевністю, – нижчі КВ.

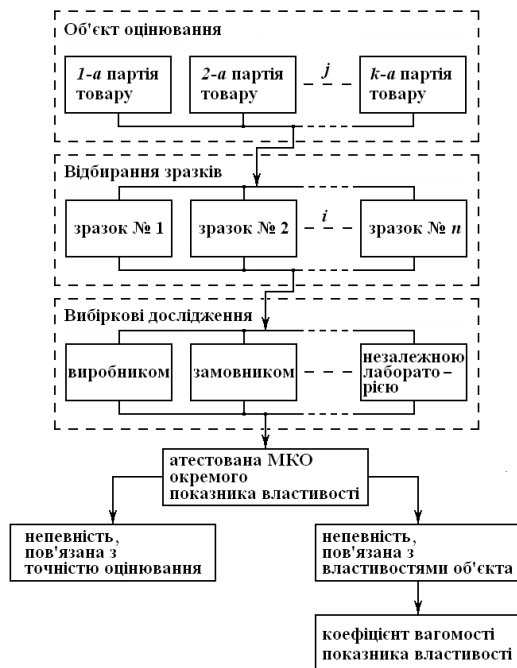


Рис. 1. Схема отримання коефіцієнта вагомості окремого показника за складовою непевністю, пов'язаною з властивостями об'єкта оцінювання

Аналіз переваг пропонованої концепції. Окрім варіативності, перевагою описаного способу визначення коефіцієнтів вагомості є те, що кожний об'єкт дослідження характеризувався б власним набором значень КВ, які до того ж враховували б реальні якісні властивості не одного зразка, а їх сукупності, тобто партії виробів.

Виникає закономірне запитання – чи застосування КВ, визначених за складовими непевністю оцінювання, не приведе до того, що точність вимірювання значень показників властивостей буде визначальною для формування комплексного показника якості, а отже,

окремі ПВ, які менше впливають на якісні властивості оцінюваного продукту, але обчислені точніше, більше впливатимуть на кінцевий результат оцінювання? Тобто можна припустити, що рівень якості визначатиметься точністю використовуваних засобів.

Таке твердження неправильно відображає суть пропонованої методики. Йдеться про те, що не точність засобів вимірювальної техніки, а розкид досліджуваних значень ПВ буде визначальним для оцінювання якості продукції. Тобто КВ, оцінений таким способом, доповнюватиме саме значення досліджуваної характеристики властивостей партії виробів і у разі малого розкиду значень «підсилуватиме», а у разі значного розкиду – «компенсуватиме» її вплив на кінцеву оцінку комплексного показника якості. Як міру такого розкиду зазвичай застосовують дисперсію або стандартне відхилення, на основі якого згідно з [2] формують непевність результату вимірювання.

Наступне застереженням може полягати в тому, що для практичних результатів така непевність формується доволі складно і може потребувати великих затрат. А це є недоліком порівняно зі сталими КВ, які формуються раз і назавжди на основі експертних оцінок, апріорних даних чи експериментальних досліджень та нескладних розрахунків.

Однак треба враховувати, що в будь-якому випадку вірогідний результат оцінювання може реалізуватися лише з використанням багаторазових спостережень (вимірювань, оцінювання, аналізів, діагностування) за характеристиками властивостей декількох виробів-зразків, відібраних від об'єкта дослідження, яким є партія виробів. У результаті формується масив статистичних даних про значення ПВ, що одночасно можна використати для оцінювання відповідних складових характеристик непевності. А це, своєю чергою, значить, що розрахунок на їх основі коефіцієнтів вагомості не потребуватиме спеціалізованих досліджень, а лише додаткового опрацювання результатів багаторазових спостережень з оцінюванням відповідної дисперсії та її істотності.

Отже, в результаті може виявитися істотною як внутрішньогрупова, так і міжгрупова дисперсії, розмір яких вже сам по собі опосередковано свідчатиме про якісний рівень всієї оцінюваної партії виробів: що більша дисперсія, то гірша якість. Під поняттям “внутрішньогрупова дисперсія” розумітимемо характеристику розкиду випадкових значень у межах вибірки,

а міжгрупова дисперсія характеризуватиме розкид, пов'язаний з дослідженням різних вибірок або тієї самої вибірки різними лабораторіями [5]. Якщо аналітично пов'язати розмір сумарної дисперсії, отриманої за результатами спостережень характеристик властивостей зразків продукції, зі значеннями КВ для цих характеристик, то така оцінка буде повнішою і конкретнішою, бо стосуватиметься лише досліджуваної партії виробів. У цьому проявляється ще одна перевага запропонованого методу [6].

Окрім того, розроблена концепція може мати важливе практичне застосування, коли кваліметричне оцінювання виробів виконуватиметься із використанням показників властивостей, що не є безпосередніми характеристиками досліджуваної продукції, а лише опосередковано пов'язані з її реальними фізико-хімічними, мікробіологічними чи навіть органолептичними властивостями.

Непевність кваліметричного оцінювання продукції. Описана концепція визначення коефіцієнтів вагомості окремих показників властивостей добре узгоджується з висновками, зробленими в [7] щодо системи управління кваліметричним оцінюванням. Для того, щоб знайти такі коефіцієнти, необхідно мати однозначне трактування та кількісне вираження непевності, отримувати яку слід з вимогами, регламентованими згідно з [8].

Припустивши, що термін “кваліметрія” буквально відносить кваліметричне оцінювання до сфери вимірювань, одержання кількісної оцінки якості треба трактувати як складову практичної метрології. Відповідно кваліметричне оцінювання повинно мати свою систему управління [8, 9] або, застосовуючи пряму аналогію з вимірюваннями, своє метрологічне забезпечення. Очевидно, що управління процесом отримання кількісної оцінки якості необхідно формувати, зокрема, на розробленні та атестації відповідних методик. Потреба в методиках виконання кількісної оцінки якості (КОЯ) зумовлена необхідністю оцінювання і розмежування складових непевності, перша з яких характеризуватиме сам процес оцінювання і входить в результат оцінювання як показник його точності, що забезпечується застосованим методом виконання КОЯ, а друга, власне, характеризуватиме якісні властивості об'єкта кваліметричного оцінювання і буде основою для визначення коефіцієнтів вагомості, що вико-

ристовуватимуться для формування комплексного показника якості згідно з (1)

$$U = f(q_1 w_1, q_2 w_2, \dots, q_i w_i), \quad (1)$$

де $Q = \{q_1, q_2, \dots, q_i\}_{i=1, n}$ – множина ПВ; $W = \{w_1, w_2, \dots, w_i\}_{i=1, n}$ – множина КВ для кожного елемента q_i .

Доречно вказати, що основне призначення будь-якої атестованої методики полягає у забезпеченні характеристик точності експериментального дослідження, виконаного за цією методикою, не гіршою від нормованої, тобто визначеної під час атестації методики і вказаної в атестаті. Як вже зазначалося, оцінюючи якість виконання вимірювань, зокрема за певною методикою, застосовують такі характеристики, як правильність, відтворюваність, збіжність і узагальнене якісне поняття – точність вимірювань, мірою якого є зворотна характеристика – похибка.

На основі аналізу названих характеристик, зробленого в [10], а також висновку про коректність застосування метрологічних норм і правил щодо кількісного оцінювання якості продукції, можна припустити, що показниками якості методик виконання кваліметричного оцінювання також будуть аналогічні характеристики.

Відповідно треба відповісти на запитання – як практично оцінити точність отримання КОЯ, і яке ввести поняття для кількісної міри точності такої оцінки. З урахуванням вищевикладеного, а також щоби уникнути суперечності із загальноживаними для традиційних вимірювань поняттями точності як якісної характеристики та похибки як кількісної характеристики, вважатимемо за доцільне щодо кваліметричного оцінювання взяти поняття “непевність” кількісної оцінки якості продукції, або коротше – *кваліметрична непевність* як характеристику розкиду значень, які обґрунтовано можна приписати КОЯ. Очевидно, що її результуючу оцінку слід шукати на основі законів розподілу густини імовірності випадкових відхилень окремих спостережень за значеннями показників властивостей.

Підсумовування m складових випадкових відхилень (похибок) вимірювань за умови $m \geq 3$ та незалежності їхніх причин загалом є однією з фундаментальних метрологічних проблем, широко відображено в спеціальній літературі [11] і виконується зазвичай арифметичним або геометричним підсуму-

ванням. За аналогією, в першому наближенні, кваліметричну непевність слід шукати на основі композиції законів розподілу систематичних та випадкових відхилень окремих спостережень за значеннями кожного з показників властивостей. Однак, якщо врахувати, що кількість окремих показників властивостей, за якими знаходять КОЯ, є доволі істотною (містить приблизно від 7 до 20 значень), а відносні значення їх невизначеностей можуть становити кілька процентів, то сумарна відносна кваліметрична непевність кваліметричного оцінювання досягатиме значення, близького до 100 %. Очевидно, що оцінювання такої точності позбавлене сенсу.

Наступна гіпотеза ґрунтується на припущенні: оскільки під час встановлення КОЯ кінцеву оцінку як комплексний показник якості отримують з використанням декількох простих одиничних показників властивостей та їх коефіцієнтів ваги, а також арифметичних операцій, що пов'язують ці показники, то, фактично, її можна вважати сумою нормалізованих за певними шкалами значень цих окремих ПВ. Для того, щоби об'єднати і значення показників властивостей, і характеристики непевності їх оцінювання, застосуємо базові положення теоретичної метрології. Зокрема, з урахуванням зробленого раніше припущення, за яким трактуватимемо визначення КОЯ як різновид вимірювань, можна використати відносно нього типовий поділ за видами вимірювань. Розташування кваліметричного оцінювання продукції у вказаній класифікації дає можливість застосувати базове метрологічне правило, згідно з яким вид вимірювань і вираз, за яким знаходять оцінку результату вимірювання (у кваліметрії – КОЯ), визначають форму підсумовування складових похибок вимірювання значення окремих значень фізичних величин (у кваліметрії – форму підсумовування характеристик невизначеностей, отриманих під час оцінювання окремих показників властивостей).

Очевидно, що серед кількісних методів у кваліметрії для наших досліджень придатний лише спосіб одержання комплексного показника якості, як такий, що має формалізоване математичну форму зведення в єдине окремих значень ПВ у вигляді виразу (1). Провівши аналогію між певним видом вимірювань (прямі, непрямі – опосередковані, сумісні, сукупні) та отриманням КОЯ у вигляді комплексного показника якості, ми зробили припущення, що знаходження КОЯ можна прирівняти до опосередкованих вимірювань,

коли значення шуканої фізичної величини встановлюють за функціональною залежністю, що має певний фізичний зміст і пов'язує кілька інших різнойменних фізичних величин. Тоді сумарну непевність без урахування кореляційних зв'язків шукатимемо як

$$u_S^2(Q) = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial f(q_i)}{\partial q_i} \right)^2 u^2(q_i), \quad (2)$$

де $u(q_i)$ – стандартні непевності окремих значень ПВ, що приводить нас до попередньо описаної ситуації, коли зроблено висновок про недоцільність знаходження непевності на основі композиції законів розподілу систематичних та випадкових відхилень складових окремих показників властивостей.

Продовжуючи пошук за вказаним напрямом, зосередимо увагу на вигляді функції, що описується виразом (1), який в ідеальному випадку повинен бути об'єктивним і відомим. Однак для більшості практичних ситуацій застосовують суб'єктивний спосіб утворення комплексного показника якості за принципом середнього зваженого арифметичного, геометричного, гармонічного, квадратичного або медіани [12, 13]. Зауважимо, що поняття середнього є одним з центральних у математичній статистиці, яке нероздільно пов'язане з поняттями генеральної сукупності та вибірки. Наголосимо, що суб'єктивним тут залишається лише вибір логіки усереднення, і найважливішим питанням є питання найдоцільнішого виду середнього, але не ставиться під сумнів сам принцип знаходження комплексного показника якості, який отримують усередненням.

Найчастіше застосовується кількісна оцінка якості адитивного характеру, що формується простим підсумовуванням відносних значень фізичних величин та/або відносних значень показників властивостей, які у виразі (1) втрачають первісний фізичний зміст і стають так званими одиничними показниками властивостей, тобто однойменними, оскільки додавати можна лише однойменні величини.

Можна припустити, що для n одиничних показників властивостей значення коефіцієнтів вагомості є однаковими і дорівнюють $1/n$. Тоді в найпростішому випадку арифметичного підсумовування дія над окремими ПВ полягає в знаходженні середньоарифметичного значення вибірки з n елементів. Справді, якщо прийняти, що генеральна сукупність всіх можливих значень ПВ є N і визначений на їхній основі комплексний показник якості є математичним

сподіванням (істинним значенням) КОЯ, позбавленим випадкового відхилення, то результат підсумування скінченної вибірки n є лише оцінкою математичного сподівання кількісної оцінки якості. Але якщо припустити, що викладені міркування правильні, то всі n вибіркових значень одиничних показників властивостей є не чим іншим, як окремими результатами спостереження – оцінками того самого істинного значення кількісної оцінки якості.

Окрім того, специфікою отримання КОЯ є виконання окремих досліджень в різних умовах, за різними методиками, різними засобами та операторами (метрологічним аналогом є прямі нерівноточні вимірювання з багаторазовими спостереженнями [6, 14]). Тому можна припустити, що знаходження комплексного показника якості є аналогом нерівноточних вимірювань з багаторазовими спостереженнями за тією самою величиною, якою є якість одного зразка продукції, кількох зразків продукції або об'єкта дослідження – партії продукції, за умови різного ступеня ваги або довіри до оцінки за окремим показником властивостей.

Цей висновок можна використати лише як робочу гіпотезу, що потребує строгого обґрунтування або спростування. У будь-якому випадку її застосування для знаходження КВ окремих ПВ не матиме практичного застосування, оскільки значення складових кваліметричної непевності кожного окремого ПВ можуть сильно відрізнятися за розміром через значну відмінність у точності методів, використовуваних для оцінювання тих чи інших ПВ різної фізичної природи. Однак, коли б КОЯ можна було знаходити за показниками властивостей, що лише опосередковано характеризують реальні фізико-хімічні, мікробіологічні, органолептичні та інші властивості, і за фізичною природою є однотипними величинами, наприклад, як запропоновано в [15], то в цьому випадку описану методологію знаходження сумарної кваліметричної непевності можна було б практично застосовувати.

Отримання коефіцієнта вагомості за кваліметричною невизначеністю. Аналіз способів формалізації кваліметричної непевності дав підстави відмовитись від пошуку спільної оцінки, що характеризувала б точність кваліметричного оцінювання продукції за всією сукупністю ПВ. Натомість, запропоновано інший підхід до визначення коефіцієнтів

вагомості за складовими кваліметричної непевності, пов'язаної з властивостями досліджуваного об'єкта, суть якого пояснює рис. 2.

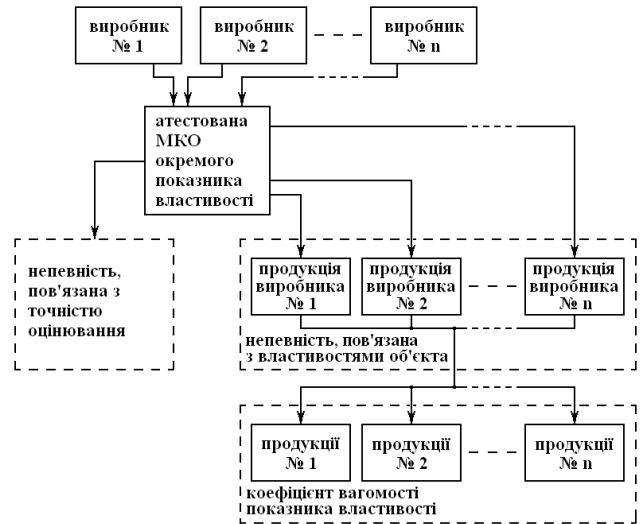


Рис. 2. Отримання коефіцієнта вагомості окремого показника за складовою непевністю, для сукупності n виробників однотипної продукції

Оскільки учасниками процесу кваліметричного оцінювання є різні виробники однотипної продукції, яку характеризує єдина номенклатура ПВ і яку досліджували за єдиними методиками кваліметричного оцінювання, то не викликає сумніву, що можна порівнювати результати визначення кількісних оцінок якості продукції різних виробників та оцінок кваліметричної непевності, що супроводжує кожну окрему КОЯ. У такому випадку розмір кожної оцінки непевності, що стосуватиметься окремого об'єкта в загальній сукупності порівнюваної продукції, можна використати як критерій для оцінювання якості цього об'єкта.

Викладені міркування ведуть до застосування спільного опрацювання окремих результатів кваліметричного оцінювання та їхніх характеристик непевності. Зокрема, такий спосіб застосовують під час рандомізованих вимірювань того самого значення шуканої величини, які виконують, наприклад, різні вимірвальні лабораторії [16].

Висновки. Під час кваліметричного оцінювання продукції доцільно враховувати неоднорідність об'єкта досліджень, яким переважно є одна або навіть декілька партій виробів, та нестабільність його показників

властивостей, пов'язані з специфікою реалізації досліджень характеристик продукції в умовах сучасного серійного і масового виробництва. Як міру «досконалості» продукції за аналізованим показником, що враховує сукупні властивості всього об'єкта досліджень, запропоновано використати оцінку міжгрупового розкиду характеристик вибірково досліджуваних виробів, для означення якої введено поняття кваліметричної непевності.

Розмежування складових непевності, пов'язаних з точністю засобів і методів оцінювання, та складових, що враховують властивості об'єкта, а саме неоднорідність окремих партій, зразків для досліджень, часову та об'єктну нестабільність показників властивостей, можна забезпечити лише розробленням та використанням атестованих методик кваліметричного оцінювання.

Оцінювати коефіцієнти вагомості на основі кваліметричної непевності запропоновано за допомогою кількісної оцінки якості однотипної продукції різних виробників за окремим ПВ. Відповідно до цього, результати кваліметричного оцінювання певним виробником власних, однотипних з продукцією інших виробників, об'єктів дослідження, слід вважати окремою сукупністю спостережень, що підлягають спільному опрацюванню з результатами оцінювання інших виробників.

1. Бойко Т.Г. *Огляд методів визначення вагових коефіцієнтів показників властивостей продукції* / Т.Г. Бойко // *Методи та прилади контролю якості*. – 2010. – № 24. – С. 84–89. 2. *Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement: First edition*. – ISO, Switzerland, – 1993. – 101 р. 3. Бойко Т. *Концепція встановлення вагових коефіцієнтів для кваліметричної моделі програмних продуктів* / Т.Г. Бойко // *Сучасні комп'ютерні системи та мережі: розробка та використання (ACSN-2009): 4-та Міжнар. наук.-техн. конф. 9–11 листопада 2009 р.: тези доповіді*. – Львів, 2009. – С. 138–139. 4. Бойко Т.Г. *Вимоги для нормування методик кваліметричного оцінювання* / Т.Г. Бойко // *Вимірювальна техніка і метрологія*. – 2010. – № 71. – С. 125–132. 5. Бойко Т.Г. *Оцінювання якісного рівня як імовірнісна задача* / Т.Г. Бойко, Т.З. Бубела, П.Г. Столярчук // *Методи та прилади контролю якості*. – 2006. – № 16. – С. 73–76. 6. Бойко Т.Г. *Кількісна оцінка якості з врахуванням*

невизначеності оцінювання / Т.Г. Бойко // *Стратегія якості в промисловості і освіті: VI Міжн. конф. 4–11 червня 2010 р.: тези доповіді*. – Дніпропетровськ–Варна (Болгарія), 2010. – Т.1, ч.2, секція 4. – С. 501–504. 7. Бойко Т. *Методики – необхідна умова єдності і точності кваліметричного оцінювання* / Т.Г. Бойко // *Україна у європейському просторі. Проблеми бізнесу, політики, права: VI Міжнар. наук.-практ. конф. 29–30 квітня 2010 р.: тези доповіді*. – Львів, 2010. – С. 86–88. 8. *Системи управління вимірюваннями. Вимоги до процесів вимірювання та вимірювального обладнання (ISO 10012:2003, IDT): ДСТУ ISO 10012:2005*. – [Чинний від 2007-07-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2007. – 26 с. – (Національний стандарт України). 9. Бойко Т.Г. *Формування нормативної бази управління якістю вимірювань в Україні (новий стандарт ДСТУ ISO 10012)* / Т.Г. Бойко, Т.З. Бубела, М.М. Микійчук // *Стандартизація, сертифікація, якість*. – 2005. – № 2. – С. 30–33. 10. Бойко Т.Г. *Забезпечення єдності і точності кваліметричного оцінювання продукції* / Т.Г. Бойко // *Вісник НУ “Львівська політехніка” “Автоматика, вимірювання та керування”*. – 2009. – № 639. – С. 175–179. 11. *Засоби та методи вимірювань неелектричних величин: підруч.* / [Є.С. Поліщук, М.М. Дорожовець, Б.І. Стадник, О.В. Івахів, Т.Г. Бойко, А. Ковальчик]; за ред. проф. Є.С. Поліщука. – Львів: Бескид Біт, 2008. – 618 с. 12. *Азгальдов Г. Г. Теория и практика оценки качества товаров (основы квалитетрии): моногр.* / Г. Г. Азгальдов. – М.: Экономика, 1982. – 256 с. 13. *Варжапетян А.Г. Квалитетрия: учеб. пособие* / А.Г. Варжапетян. – СПб.: СПбГУАП, 2005. – 176 с. 14. *Метрологія та вимірювальна техніка: підруч. [для студ. вузів електротехнічних спец.]* / [Є.С. Поліщук, М.М. Дорожовець, В.О. Яцук, В.М. Ванько, Т.Г. Бойко]; за ред. проф. Є.С. Поліщука. – Львів: Бескид Біт, 2003. – 544 с. 15. *Походило Є.В. Розвиток теорії та принципів побудови засобів вимірювання імітансу об'єктів квалитетрії: автореф. дис. док-ра. техн. наук: 05.11.05* / Є.В. Походило; [Національний університет “Львівська політехніка”]. – Львів, 2004. – 40 с. 16. *Обозовський С.С. Теоретичні основи інформаційно-вимірювальної техніки. Загальні питання і теорія похибок: навч. посіб.* / С.С. Обозовський. – К.: НМК ВО, 1991. – 223 с