

УДК 53.083:658.56

АНАЛІЗ МЕТОДІВ І ВИДІВ ВИМІРЮВАНЬ У КВАЛІМЕТРІЇ

Ї Мотало Андрій¹, Стадник Богдан², Мотало Василь², 2018

¹Газопромислове управління “Львівгазвидобування”, вул. Рубчака, 27, 79026, Львів, Україна

²Національний університет “Львівська політехніка”, кафедра інформаційно-вимірювальних технологій,
вул. С. Бандери, 12, 79013, Львів, Україна

Розглянуто й проаналізовано шляхи поєднання методології метрології та кваліметрії – наукової галузі, предметом вивчення якої є кількісне оцінювання якості продукції. З позиції сучасного розвитку світової метрології розглянуто види вимірюваних величин у кваліметрії та методи їх вимірювань. Розроблено концепцію вибору методів вимірювань величин у кваліметрії з урахуванням специфіки досліджуваних об'єктів та методу оцінювання точності отриманих результатів вимірювань, що істотно розширює можливості кваліметрії щодо забезпечення єдності вимірювань, підвищення точності та достовірності отриманих результатів вимірювань характеристик якості продукції.

Ключові слова: кваліметрія, метрологія, методи вимірювань, якість продукції, показник якості продукції, рівень якості продукції, оцінки точності результатів вимірювань

Рассмотрены и проанализированы пути сочетания методологии метрологии и кваліметрии – научной отрасли, предметом изучения которой является количественное оценивание качества продукции. С позиции современного развития мировой метрологии рассмотрены виды измеряемых величин в кваліметрии и методы их измерений. Разработана концепция выбора методов измерений величин в кваліметрии с учетом специфики исследуемых объектов и методика оценки точности полученных результатов измерений, что существенно расширяет возможности кваліметрии по обеспечению единства измерений, повышению точности и достоверности полученных результатов измерений характеристик качества продукции.

Ключевые слова: кваліметрия, метрология, методы измерений, качество продукции, показатель качества продукции, уровень качества продукции, оценки точности результатов измерений

In the framework of the Fourth Industrial Revolution Industry – “Industry 4.0”, metrology becomes an integral part of the production process, the characteristic feature of which is the development and merger of automated production, data exchange and manufacturing technology into a single self-regulated a system with the least or no human intervention in the production process. Measurement, testing and quality control will no longer be considered as a parallel procedure, but rather an integral part of the manufacturing process.

Accordingly, the functions of metrology and the scope of its study of metrology are substantially expanding. One of the new areas of research in modern metrology is qualimetry – the scientific field, the subject of study of which is the quantitative assessment of product quality. Today in qualimetry due to the specificity of the object of research – production – there are a number of unresolved theoretical and methodological problems. In particular, it is a problem of ensuring unity and metrological traceability of the results of product quality assessment and analyzing the accuracy and reliability of the product quality estimates obtained. Solving these problems, according to the authors, is possible only in a complex combination of the methodology of metrology and qualimetry. Metrology, the science of measurement and its application, has the strong scientific, practical and legal tools, which allows research in any field of knowledge. Analysis of the ways of solving these problems is the subject of this study.

First of all, the analysis of the difference between the key concepts of metrology and qualimetry – “measurement” and “evaluation” are developed. Measurements in their essence provide for a comparison of the measured value with the measure, as well as a description of the measured value in accordance with the intended use of the measurement result, measurement procedure and a calibrated measuring system functioning in accordance with the regulated measurement methodology and taking into account the measurement conditions. Consequently, the notion of “measurement” is directly related to such concepts as the result of measurement, measurement unity, accuracy of measurements,

metrological traceability of measurement results and other key concepts of metrology. That allows comparing the results of measurements of characteristics of identical objects obtained in different laboratories, different methods and means in different conditions, as well as to implement the condition of metrological traceability of measurement results.

The above signs of the notion of “measurement” are not at all inherent in the concept of “evaluation”, which is included in the definition of the essence of qualimetry. Applying the concept of “evaluation”. in the procedure of studying the quality of products can not objectively compare the results of research on the quality of identical products obtained in different laboratories, different methods and means, in different conditions and carry out metrological traceability of the results of product quality assessment, which, of course, significantly reduces the possibilities qualimetry regarding the objectivity and reliability of the obtained product quality assessments.

From the standpoint of modern development of world metrology, types of measurable quantities in qualimetry and methods of their measurement are considered. As can be seen from the analysis of current NDs] and literary sources, the numerical estimates of product quality are single absolute quality indices P_i that are equal to the corresponding properties of the products under study $p_i, i=1, 2, \dots, n$, single relative quality indexes K_i , as well as integrated indexes of product quality and product quality level. They are the main measurable values in qualimetry.

In order to effectively combine the methodology of qualimetry and metrology in the field of qualimetry, it is advisable to use the basic measurement methods and the main provisions of the representative theory of measurement. Method of measurement – a general description of the logical sequence of operations in the measurement. The basis of any measurement is the comparison of the measured value with the measure that stores and reproduces the unit of this value. Consequently, the measure of measurable value is always present in the measurement process, but its presence and methods of use are manifested differently, which underlies the classification of measurement methods. Therefore, it is advisable to classify the measurement methods according to the following features:

- by the way of using the measure;
- by the way of comparison with measure;
- by the completeness of comparison with the measure.

By the way of using the measure, all measurement methods are divided into two groups:

- measurement methods of time-consuming or implicit comparison with the measure;
- measurement methods of simultaneous or direct, explicit comparison with the measure.

Methods of time comparison with the measure or, as they are called, direct measurement methods are based on the use of measuring instruments whose scales are calibrated in units of measured values.

Methods of simultaneous or direct comparison with the measure are based on the use of the measure of the measured value directly in the process of measurement, that is, the comparison of the measured value with the magnitude reproduced by measure is carried out in each concrete measurement.

Comparison methods, in turn, are divided into the following types:

- by the way of comparison with measure: substitution method of measurement, opposition method of measurement, compensation method of measurement, complementary method of measurement, coincidence method of measurement, resonance method of measurement;
- by the completeness of comparison with the measure: null method of measurement, differential method of measurement.

According to the general classification of measurements in qualimetry, as well as in general in metrology, there is possible to use the following types of measurements:

- direct measurements;
- indirect measurements – mediated (indirect) measurements, aggregate (indirect) measurements, compatible measurements.

The model equations of the two main types of measurements in qualimetry and the corresponding systematic errors, which find the uncertainty (uncertainty) of the results of measurements of product quality characteristics, are given in the table below. (Note: The formulas given in the table correspond to measurements with one-time observations).

Effective using of all theoretical, practical, legislative and scientific foundations of modern metrology in the field of qualimetry, in particular, measurement methods, measurement methods and methods for measuring the

accuracy of measurement results taking into account the specificity of the research object – the product – requires further analysis and research.

Key words: *qualimetry, metrology, measurement methods, product quality, product quality index, product quality level, estimation of accuracy of measurement results*

Вступ. Унаслідок Четвертої промислової революції “Промисловість 4.0” (англ. – *The Fourth Industrial Revolution “Industry 4.0”*) метрологія стає невід’ємною інтегрованою частиною виробничого процесу, характерною рисою якого є розвиток і злиття автоматизованого виробництва, обміну даних і виробничих технологій в єдину саморегульовану систему, з якої найменшим або взагалі без втручання людини у виробничий процес [1]. Вимірювання, тестування та контроль якості більше не розглядають як паралельні процедури, а швидше як невід’ємні частини виробничого процесу. Відповідно істотно розширюються функції метрології та сфера її дослідження, зокрема, в таких сферах людської діяльності, як психологія, медицина, торгівля, промисловість, освіта, соціологія тощо, що відображено у рекомендаціях Міжнародного комітету мір і ваг щодо становлення нових завдань метрології [2].

Однією із нових сфер дослідження сучасної метрології є *кваліметрія* – наукова галузь, що виникла на рубежі 60–70-х років минулого століття як результат вимог науково-технічного прогресу та інноваційних технологій у сфері пізнання фізичних явищ і процесів [3]. За загальноприйнятим означенням, *кваліметрія* – наукова дисципліна, що вивчає методологію і проблематику кількісного оцінювання якості об’єктів будь-якої природи – абстрактних і конкретних, продуктів праці й продуктів природи, матеріальних та ідеальних, морського і неживих, товарів і послуг, предметів і процесів. Сьогодні у кваліметрії через специфічність об’єкта дослідження – *продукції* – є низка невирішених теоретичних і методологічних проблем. Зокрема, це проблеми *забезпечення єдності та метрологічної простежуваності* результатів оцінювання якості продукції та *аналізу точності й достовірності* отриманих оцінок якості продукції.

Вирішення цих проблем можливе тільки у комплексному поєднанні методології *кваліметрії* та *метрології*, яка володіє потужним науковим, практичним та законодавчим інструментарієм для досліджень у будь-якій сфері пізнання. Зокрема, йдеться про одиниці, шкали та еталони величин, методи і методики вимірювань величин та оцінювання точності отриманих результатів вимірювань, забезпечення метрологічної

простежуваності та взаємного визнання результатів вимірювань, що необхідно для забезпечення *єдності вимірювань* у сфері *кваліметрії* відповідно до вимог Закону України “Про метрологію та метрологічну діяльність” [4].

Потреба поєднання методології *метрології* та *кваліметрії* і зумовила тематику цієї роботи та її актуальність.

1. Аналіз відмінностей ключових понять метрології та кваліметрії – “вимірювання” та “оцінювання”. Це питання проаналізовано відповідно до Міжнародного словника з метрології VIM3 [5], який відображає розвиток поняттєво-термінологічного забезпечення сучасної метрології. Насамперед йдеться про розширене трактування ключового поняття метрології – “*вимірювання*” і пов’язаних з ним понять “*величина*” та “*вимірювана величина*”:

♦ *вимірювання* (англ. *measurement*) – процес експериментального визначення одного або декількох значень величини, які обґрунтовано можуть бути приписані величині;

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

♦ *величина* (англ. *quantity*) – властивість явища, тіла або речовини, що може бути виражена кількісно у вигляді числа із відмінною (відмінною) ознакою як основою для порівняння.

Основою для порівняння (англ. *reference*) може бути еталон, одиниця вимірювання (одиниця величини), методика вимірювання, стандартний зразок або їх комбінації.

Такий підхід до сфери дослідження сучасної метрології відображає відхід від звуженого трактування поняття вимірюваної величини лише як “*фізичної величини*” згідно з чинним ДСТУ 2681-94 [6], оскільки фізична величина є тільки однією із низки можливих вимірюваних величин – фізичних, хімічних, біологічних, психологічних, соціологічних, економічних, а також *оцінок якості продукції*, що особливо актуально у сфері *кваліметрії*.

Вимірювання за сутністю передбачають порівняння вимірюваної величини з мірою, а також опис

вимірюваної величини відповідно до передбачуваного використання результату вимірювання, методу вимірювання і калібровану вимірювальну систему, яка функціонує відповідно до регламентованої методики вимірювань та з урахуванням умов вимірювань. Детальний опис вимірюваної величини (специфікація) потребує знання роду величини, опису явища, тіла або речовини, яким властива ця величина, урахуваючи будь-які істотні складові, зокрема і хімічні.

Отже, поняття “вимірювання” безпосередньо пов’язане з такими поняттями, як *результат вимірювання*, *єдність вимірювань*, *точність вимірювань*, *метрологічна простежуваність* результатів вимірювань та іншими ключовими поняттями метрології, що дає змогу порівнювати результати вимірювань характеристик ідентичних об’єктів, отримані в різних лабораторіях, різними методами і засобами, в різних умовах, а також реалізувати умову метрологічної простежуваності результатів вимірювань.

Зазначені вище ознаки поняття “вимірювання” зовсім не притаманні поняттю “оцінювання”, що входить до означення сутності кваліметрії. *Оцінювання якості продукції* – процедура знаходження значень показників якості та рівня якості продукції, які є її кількісними (числовими) характеристиками, причому, як зазначено у [7], “... у кваліметрії вимірювання відносних показників завжди здійснюються тільки на основі аналітичних, соціологічних та експертних методів без використання яких би то не було технічних засобів. Тобто методи вимірювання в метрології і кваліметрії – якісно різні”. Отже, застосовуючи поняття “оцінювання”, у процедурі дослідження якості продукції неможливо об’єктивно порівняти результати дослідження якості ідентичної продукції, отримані в різних лабораторіях, різними методами і засобами, в різних умовах, та забезпечити метрологічну простежуваність результатів оцінювання якості продукції. Це, природно, істотно звужує можливості кваліметрії щодо об’єктивності та достовірності отриманих оцінок якості продукції.

Однак із наведеного вище аналізу основних термінів метрології видно, що сьогодні є змога використати методологію метрології у сфері кваліметрії й, тим самим, суттєво підвищити її ефективність.

2. Мета роботи та основні завдання досліджень.

Метою цієї роботи є аналіз шляхів поєднання методології кваліметрії та метрології, зокрема, аналіз

методів вимірювань у кваліметрії та вироблення рекомендацій щодо їх оптимального використання.

Основні завдання досліджень для досягнення цієї мети такі:

- ♦ аналіз вимірюваних величин у кваліметрії та специфіки їх вимірювань;
- ♦ аналіз та систематизація методів і видів вимірювань у кваліметрії;
- ♦ аналіз питань оцінювання точності результатів вимірювань у кваліметрії.

3. Вимірювані величини у кваліметрії. Згідно із ДСТУ ISO 9000:2015 [8] *продукція* (англ. *product*) – це результат процесу, тобто сукупності взаємопов’язаних або взаємодіючих видів діяльності, продуктами якого є матеріальні чи нематеріальні блага, що виготовляються, здійснюються чи надаються для задоволення суспільних потреб. Загалом, є чотири узагальнені *категорії продукції*: послуги; інтелектуальна продукція; технічні засоби; перероблені матеріали.

Узагальненою характеристикою продукції є її *якість* (англ. *product quality*) – сукупність характеристик продукції (процесу, послуги), які стосуються її здатності задовольняти встановлені й передбачені потреби (вимоги) [9]. Однак поняття “*якість продукції*” не відповідає означенню поняття “*величина*” згідно з [5] і, відповідно, не є вимірюваною величиною. Термін “*якість*” можна вживати з такими прикметниками, як низька, хороша або висока [8].

Як видно із аналізу чинних НД [8, 9] та літературних джерел [3, 10], числовими оцінками якості продукції є *одиничні абсолютні показники якості* P_i , які дорівнюють відповідним властивостям досліджуваної продукції $p_i, i=1,2,\dots,n$, де n – кількість показників, *відносні показники якості* K_i , а також *комплексні показники якості продукції та рівень якості продукції*, які і є основними *вимірюваними величинами* у кваліметрії.

4. Класифікація методів вимірювань у кваліметрії. Для ефективного поєднання методології кваліметрії та метрології у сфері кваліметрії доцільно використати основні методи вимірювань та основні положення репрезентативної теорії вимірювання. *Метод вимірювання* (англ. *method of measurement*) – загальний опис логічної послідовності операцій під час вимірювання [5, 11]. Основою будь-якого вимірювання

є порівняння вимірюваної величини з мірою, яка зберігає і відтворює одиницю цієї величини. Отже, міра вимірюваної величини завжди наявна у вимірюванні, однак її наявність та методика використання проявляються по-різному, що покладено в основу класифікації методів вимірювань. Отже, методи вимірювань доцільно класифікувати за такими ознаками:

♦ за способом використання міри (англ. *by the way of using the measure*);

♦ за способом порівняння з мірою (англ. *by the way of comparison the measure*);

♦ за повнотою порівняння з мірою (англ. *by the completeness of comparison with the measure*).

За способом використання міри всі методи вимірювань розділяють на дві групи:

♦ методи різночасного або неявного порівняння з мірою;

♦ методи одночасного або безпосереднього, явного порівняння з мірою.

Методи **різночасного, неявного порівняння** з мірою або, як їх ще називають, методи **безпосереднього вимірювання** ґрунтуються на використанні вимірювальних приладів, шкали яких градуйовані в одиницях вимірюваних величин. Тобто в цьому випадку міра вимірюваної величини присутня явно під час градування вимірювального приладу, а коли здійснюють вимірювання цим приладом, міра фізично відсутня, тобто присутня неявно. Звідси і походить назва методів – різночасного порівняння з мірою. Методи різночасного порівняння реалізують аналоговими та цифровими вимірювальними приладами, шкали яких градуйовані в одиницях вимірюваної величини.

Методи **одночасного або безпосереднього, явного порівняння** з мірою (надалі – **методи порівняння**) ґрунтуються на використанні міри вимірюваної величини безпосередньо під час вимірювання, тобто порівняння вимірюваної величини з величиною, що відтворюється мірою, здійснюється у кожному конкретному вимірюванні.

Методи порівняння, своєю чергою, поділяються на такі види:

♦ за способом порівняння з мірою:

– метод вимірювання заміщенням, метод заміщення (англ. *substitution method of measurement*);

– метод вимірювання протиставленням, метод протиставлення (англ. *opposition method of measurement*);

– компенсаційний метод вимірювання, компенсаційний метод (англ. *compensation method of measurement*);

– метод вимірювання доповненням, метод доповнення (англ. *complementary method of measurement*);

– метод збігу (англ. *coincidence method of measurement*);

– резонансний метод вимірювання, резонансний метод (англ. *resonance method of measurement*);

♦ за повнотою порівняння з мірою:

– нульовий метод вимірювання, нульовий метод (англ. *null method of measurement*);

– диференціальний метод вимірювання, диференціальний метод (англ. *differential method of measurement*).

5. Аналіз основних видів вимірювань у кваліметрії. Відповідно до загальної класифікації вимірювань згідно із ДСТУ 2681-94 [6] та означенням вимірювання згідно із VIM3 [5] у кваліметрії, як і загалом у метрології, є змога використати такі види вимірювань:

♦ прямі вимірювання (англ. *direct measurements*);

♦ непрямі вимірювання (англ. *indirect measurements*):

– опосередковані вимірювання (англ. *mediated (indirect) measurements*);

– сукупні вимірювання (англ. *aggregate (indirect) measurements*);

– сумісні вимірювання (англ. *compatible (indirect) measurements*).

Ця класифікація видів вимірювань, а також методика вимірювання та методика оцінювання точності результатів вимірювань ґрунтуються на аналізі понять “*модель вимірювання*” та “*функція вимірювання*”.

Модель вимірювання (англ. *measurement model, model of measurement, model*) – математичний зв’язок між усіма величинами, про які відомо, що вони беруть участь у вимірюванні.

У загальному вигляді модель вимірювання – це рівняння $h(Y, X_1, \dots, X_n) = 0$, де Y – вихідна величина в моделі вимірювання є *вимірюваною величиною*, значення якої має бути отримано на підставі інформації про вхідні величини в моделі вимірювань $X_1, \dots, X_n$.

У складніших випадках, коли є дві або більше вихідні величини, як у разі сукупних та сумісних

вимірювань, модель вимірювань складається із більше ніж одного рівняння.

Функція вимірювань (англ. *measurement function*) – функція величин, значення якої, обчислене з використанням відомих значень вхідних величин у моделі вимірювань, є вимірним значенням вихідної величини в цій моделі вимірювань.

Якщо модель вимірювань $h(Y, X_1, \dots, X_n) = 0$ можна записати в явному вигляді як $Y = f(X_1, \dots, X_n)$, де Y – вихідна величина в моделі вимірювань, то функція f є функцією вимірювань. У загальному випадку f може позначати алгоритм, за яким для значень вхідних величин $x_1, \dots, x_n$ отримують відповідне єдине значення вихідної величини $y = f(x_1, \dots, x_n)$.

Функція вимірювань також використовується у процедурі аналізу точності вимірювання для обчислення *непевності* (*невизначеності*, англ. *uncertainty* [12]) вимірювань $u(y_{\text{вим}})_{1_y}$, пов'язаної з вимірним значенням $y_{\text{вим}, 1_y}$ величини Y .

Основою для порівняння (англ. *reference*) відповідно до VIM3 [5] чи *мірою* величини у процедурі вимірювань у кваліметрії є *стандартний* (*базовий, еталонний*) зразок із характеристиками, встановленими у процедурі його метрологічної атестації. Числові значення характеристик еталонного зразка встановлюють згідно із ДСТУ ГОСТ ISO 5725-1:2005 [13] як прийняті *еталонні значення* (англ. *accepted reference value*) – значення, що використовують як узгоджений еталон для порівняння і визначають як:

а) теоретичне або встановлене значення, основане на наукових принципах;

б) приписане або сертифіковане значення, що ґрунтується на експериментальних даних деяких національних або міжнародних організацій;

с) узгоджене (на основі консенсусу) або атестоване значення, основане на спільній експериментальній роботі, що виконує науковий чи інженерний колектив;

д) математичне сподівання вимірюваної величини, тобто середнє значення сукупності результатів вимірювань – лише у випадку, коли а, б і с недоступні.

Отже, як видно із наведеного вище аналізу, у сфері кваліметрії є змога використати всі теоретичні, практичні, законодавчі та наукові засади сучасної

метрології, зокрема, методи вимірювань, методики вимірювань та методики оцінювання точності результатів вимірювань.

6. Аналіз методики вимірювань у кваліметрії та аналіз точності результатів вимірювань характеристик якості продукції. *Методика вимірювання, процедура вимірювання* (англ. *standard operating procedure – SOP*) – сукупність процедур і правил, виконання яких забезпечує одержання результату вимірювання з потрібною точністю [5]. *Вимірювальна задача* у практичній метрології, загалом, складається із трьох етапів [14]:

- ♦ підготування вимірювального експерименту;
- ♦ проведення вимірювального експерименту;
- ♦ опрацювання результатів вимірювального експерименту.

На етапі *підготування вимірювального експерименту* основними вимірювальними операціями у процедурі вимірювання є:

- ♦ аналіз і опис вимірюваної величини X з урахуванням роду величини, опису явища, тіла або речовини, яким властива ця величина;
- ♦ вибір методу вимірювання та необхідних засобів вимірювальної техніки (ЗВТ) для його реалізації;
- ♦ аналіз умов проведення вимірювального експерименту і формування модельного рівняння вимірювання для знаходження результату вимірювання $x_{\text{вим}, 1_x}$;
- ♦ формування модельного рівняння систематичної похибки результату вимірювання $\Delta x_{\text{вим}, 1_x}$ з урахуванням усіх чинників (інструментальних похибок ЗВТ $\Delta x_{\text{інст}, 1_x}$ та методичних похибок $\Delta x_{\text{мет}, 1_x}$), що впливають на точність результату вимірювання;
- ♦ розроблення методики вилучення всіх методичних похибок ($\Delta x_{\text{мет}, 1_x}$);
- ♦ знаходження непевності результату вимірювання $u(x_{\text{вим}})_{1_x}$ з урахуванням випадкових похибок.

Модельні рівняння двох основних видів вимірювань у кваліметрії та відповідних систематичних похибок, за якими знаходять непевність $u(x_{\text{вим}})_{1_x}$ отриманих результатів вимірювань характеристик якості продукції, наведено нижче у таблиці.

**Модельні рівняння результатів вимірювання, систематичної похибки та непевності (невизначеності)
результатів вимірювання характеристик якості продукції**

**Model equations of the result of measurement, systematic error and uncertainty
of the result of measurement of product quality characteristics**

Види вимірювання	Модельні рівняння:	
	а) результату вимірювання	б) систематичної похибки вимірювання
Прямі вимірювання (англ. – <i>direct measurement</i>)	$x_{вим} = x_n, 1_x$	$\Delta x_{вим} = \Delta x_{n,o} + \Delta x_{n,кв} + \sum_{j=1}^m \Delta x_{п,д,j} + \Delta x_{мет}, 1_x$
	$x_{вим}$ – результат вимірювання величини $X, 1_x$; x_n – показ вимірювального приладу; $\Delta x_{вим}$ – похибка результату вимірювання величини $X, 1_x$; $\Delta x_{n,o}$ – основна інструментальна похибка вимірювального приладу, 1_x ; $\Delta x_{n,кв}$ – похибка квантування вимірювального приладу, 1_x ; $\Delta x_{п,д,j}$ – j -та додаткова інструментальна похибка вимірювального приладу (m – кількість додаткових похибок), 1_x ; $\Delta x_{мет}$ – методична похибка вимірювання величини $X, 1_x$.	
	Комбінована стандартна непевність результату <i>прямого вимірювання</i> за типом В: $u_{сВ}(x_{вим}) = \sqrt{u_B^2(x_{вим})_{\Delta x_{n,o}} + u_B^2(x_{вим})_{\Delta x_{n,кв}} + \sum_{j=1}^m u_B^2(x_{вим})_{\Delta x_{п,д,j}} + u_B^2(x_{вим})_{\Delta x_{мет,зал}}}, 1_x,$ де $u_B(x_{вим})_{\Delta x_{n,o}}$ – стандартна непевність результату вимірювання за типом В, спричинена невилученою систематичною похибкою (НСП) $\Delta x_{n,o}, 1_x$; $u_B(x_{вим})_{\Delta x_{n,кв}}$ – стандартна непевність результату вимірювання за типом В, спричинена НСП $\Delta x_{n,кв}, 1_x$; $u_B(x_{вим})_{\Delta x_{п,д,j}}$ – стандартна непевність результату вимірювання за типом В, спричинена НСП $\Delta x_{п,д,j}, 1_x$; $u_B(x_{вим})_{\Delta x_{мет,зал}}$ – стандартна непевність результату вимірювання за типом В, спричинена неповною корекцією методичної похибки $\Delta x_{мет}, 1_x$.	
Непрямі вимірювання (англ. – <i>indirect measurement</i>)	$y_{вим} = f(x_1, \dots, x_n), 1_y$	$\Delta y_{вим} = \sum_{i=1}^n \frac{\partial Y}{\partial x_i} \cdot \Delta x_{вим,i} + \Delta y_{мет}, 1_y$
	$y_{вим}$ – результат вимірювання величини $Y, 1_y$; $\Delta y_{вим}$ – похибка результату вимірювання величини $Y, 1_y$; $\Delta x_{вим,i}$ – сумарна похибка результату вимірювання величини $x_i, 1_{x,i}$; $\Delta y_{мет}$ – методична похибка вимірювання величини $Y, 1_y$.	
	Комбінована стандартна непевність результату <i>непрямого вимірювання</i> за типом В: $u_{сВ}(y_{вим}) = \sqrt{\sum_{i=1}^n C_i^2 u_{сВ}^2(x_{вим,i}) + u_B^2(y_{вим})_{\Delta y_{мет,зал}}}, 1_y,$ де $u_{сВ}(x_{вим,i})$ – комбінована стандартна непевність за типом В результату вимірювання величини x_i ; $C_i = \frac{\partial Y}{\partial x_i}$ – коефіцієнти вагомості складових $u_{сВ}(x_{вим,i})$; $u_B(y_{вим})_{\Delta y_{мет,зал}}$ – стандартна непевність результату вимірювання за типом В, спричинена неповною корекцією методичної похибки $\Delta y_{мет}, 1_y$.	

Примітки: 1. Наведені у таблиці формули відповідають вимірюванням із одноразовими спостереженнями без урахування випадкових похибок.

2. Формули для знаходження комбінованої стандартної непевності результату вимірювання за типом В наведено за умови відсутності кореляції між складовими.

Висновки. 1. Поєднання методології кваліметрії та метрології істотно розширює можливості кваліметрії щодо забезпечення єдності вимірювань, підвищення точності та достовірності отриманих результатів вимірювань характеристик якості продукції.

2. Ефективне використання всіх теоретичних, практичних, законодавчих та наукових засад сучасної метрології у сфері кваліметрії, зокрема, методів вимірювань, методики вимірювань та методики оцінювання точності результатів вимірювань з урахуванням специфічності об'єкта дослідження – продукції – потребує подальшого аналізу та дослідження.

1. *Metrology and Quality Assurance in Industry 4.0: Jody Muelaner. An Introduction to Metrology and Quality in Manufacturing [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.engineering.com / Advanced Manufacturing/ArticleID/14896/An-Introduction-to-Metrology-and-Quality-in-Manufacturing.aspx>. – Posted 10.05.2017.* 2. *Evolving Needs for Metrology in Trade, Industry and Society and the Role of the BIPM. A report prepared by the CIPM for the governments of the Member States of the Metre Convention. – Intergovernmental Organization of the Metre Convention, 2007. – 164 p.* 3. Куць В. Р. *Кваліметрія: [навч. посіб.] / В. Р. Куць, П. Г. Столярчук, В. М. Дружок. – Львів: Вид-во Львівської політехніки, 2012. – 256 с.* 4. *Закон України про метрологію та метрологічну діяльність, № 1314-VII від 05.06.2014 р./ Верховна Рада України. – Офіц. вид. – К.: Парлам. вид-во, 2014. – 28 с. – (Бібліотека офіційних видань). – (Закон України).* 5. *International vocabulary of metrology: Basic and general concepts and associated terms (3rd edition – VIM3). – JCGM 200:2008 (E/F). – 90 p.* 6. *Метрологія. Терміни та визначення: ДСТУ 2681-94. – [Чинний від 1996-01-01]. – К.: Держстандарт України, 1994. – 68 с. – (Дер-*

жавний стандарт України). 7. *Азгальдов Г. Г. Метрология и квалиметрия: вопросы идентификации / Г. Г. Азгальдов, А. В. Костин // Мир измерений. – 2010. – № 1. – С. 4–7.* 8. *Системи управління якістю. Основні положення та словник термінів: ДСТУ ISO 9000:2015 (ISO 9000:2015, IDT). – [Чинний від 2016-07-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2015. – 35 с. – (Національний стандарт України).* 9. *Якість продукції. Оцінювання якості. Терміни та визначення: ДСТУ 2925-94. – [Чинний від 1996-01-01]. – К.: Держстандарт України, 1995. – 27 с. – (Державний стандарт України).* 10. *Методи та засоби визначення показників якості продукції: [навч. посіб.] / [Т. З. Бубела, П. Г. Столярчук, Є. В. Походило та ін.]. – Львів: Вид-во Львівської політехніки, 2012. – 292 с.* 11. *International Electrotechnical Vocabulary. Electrical and electronic measurements and measuring instruments. Part 311. General terms relating to measurements: IEC 60050-300:2001. – [Execute Date: 2001-07-31]. – Publisher: International Electrotechnical Commission (IEC). – Publication Date: 2001-07-01. – 257 p. – (International standard).* 12. *Uncertainty of measurement – Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995). – ISO/IEC Guide 98-3:2008. – 120 p.* 13. *Точність (правильність) і прецизійність методів і результатів вимірювання. Частина 1. Основні положення та визначення: ДСТУ ГОСТ ISO 5725-1:2005 (ГОСТ ISO 5725-1:2003, IDT). – [Чинний від 2005-30-12]. – К.: Держспоживстандарт України, 2006. – 29 с. – (Національний стандарт України).* 14. *Основи метрології та вимірювальної техніки: [підруч. для вузів в 2-х т.] / [М. Дорожовець, В. Мотало, Б. Стадник та ін.]; за ред. професора Б. І. Стадника. – Львів: Вид-во Національного університету “Львівська політехніка”, 2005. – Т. 2: Вимірювальна техніка. – 656 с.*