

ЗАГАЛЬНІ ПИТАННЯ ТЕОРІЇ ВИМІРЮВАННЯ ТА ОПРАЦЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ

УДК 53.083: 389.659:658.56

МЕТРОЛОГІЯ, КВАЛІМЕТРІЯ ТА КВАЛІМЕТРИЧНІ ВИМІРЮВАННЯ: ТЕОРІЯ І ПРАКТИКА

Ї Мотало Василь¹, Мотало Андрій², Стадник Богдан¹, 2015

¹Національний університет “Львівська політехніка”, кафедра інформаційно-вимірних технологій,
вул. С. Бандери, 12, Львів, 79013, Україна

²Газопромислове управління “Львівгазвидобування”, вул. Рубчака, 27, Львів, 79026, Україна

Розглянуто й проаналізовані основні проблеми розвитку кваліметрії. Обґрунтовано використання в теорії та практиці кваліметрії концептуального поняття “кваліметричні вимірювання” як одного із видів вимірювань, що дозволяє поєднати методологію кваліметрії та метрології, істотно розширити можливості кваліметрії щодо достовірності й точності отриманих оцінок якості продукції. Розглянуто і проаналізовано основні завдання кваліметрії з оцінювання якості вуглеводневих газів.

Ключові слова: кваліметрія, метрологія, кваліметричні вимірювання, рівень якості продукції, профіль якості продукції, віртуальна міра якості продукції, багатовимірне шкалювання.

Рассмотрены и проанализированы основные проблемы развития квалиметрии. Обосновано использование в теории и практике квалиметрии концептуального понятия “квалиметрические измерения” как одного из видов измерений, что позволяет совместить методологию квалиметрии и метрологии и существенно расширить возможности квалиметрии в достоверности и точности полученных оценок качества продукции. Рассмотрены и проанализированы основные задачи квалиметрии в области оценивания качества углеводородных газов.

Ключевые слова: квалиметрия, метрология, квалиметрические измерения, уровень качества продукции, профиль качества продукции, виртуальная мера качества продукции, многомерное шкалирование.

In the article, the main issues of interrelation between qualimetry and metrology reviewed and analyzed. Qualimetry is a branch of science where research subject is product quality quantitative assessment and as an each new science it has some theoretical and methodological problems. Solving these problems, according to the authors, is possible only in a complex combination of quality control methodology and metrology. 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.

The authors propose to use the concept of “qualimetrical measurements” as one of the types of measurements in the theory and practice of quality control. That allows combine the methodology of qualimetry and metrology and significantly extend qualimetry opportunities in the reliability and accuracy of the product quality estimates. Qualimetrical measurements, by the authors definition, is indirect measurements of product quality level, the meaning of which can be obtained by the way of measurement results processing of its characteristics according to multidimensional scaling methodology. Product quality level is a relative characteristic of product quality grounding on the comparison of values of products quality assessed indexes and basic values of corresponding indexes.

Generally, qualimetrical measurements as any other one consists of two principal stages:

- carrying out the measuring experiment during which different characteristics (mechanical, dimensional, electric, magnetic, thermic and chemical composition etc.) of studied products are measured;*
- measuring experiment results processing during which the studied products quality Q is defined. This is the qualimetrical measurements results.*

Therefore, the mentioned above approach of qualimetric measurements essence and purpose enables to treat them as one of the indirect measurements types and to use the main principles of measuring theory for their analysis.

The procedure of qualimetric measurements for measuring of product quality level is developed and its practical implementation described in this article and such tasks of research to achieve the work goal solved:

- a synthesis of the product quality measure;
- developing of the procedure of qualimetric measurements;
- a synthesis of the one-dimensional qualimetric scale of product quality level;
- a practical implementation of the qualimetric measurements methodology on the example of the determining the quality level of natural gas as an energy source.

The basis of any measurement is the comparison of measured value and measure which reproduce and (or) keeps one or more known values of a given quantity. Qualimetric measurements specificity is absence of specific physical (material) quality measures of some products. Product quality virtual measure used for methodological providing of qualimetric measurements procedure realization and their accuracy and quality assessment. Virtual measure is the theoretical analog of corresponding physical (material) measure of studied product and it's the reflection of real physical (material) measure of current product quality is expressed by mathematical and program means. In this case, the product quality virtual measure is a weighted basic profile of product quality $\Pi_{K,bz}$, formed from single relative weighted basic quality indexes $K_{bz,i}$, $i = 1, 2, \dots, n$, where

n – number of product quality indexes, equal to the number of properties of the investigated product.

To measure the quality level of the investigated product Q , namely for full implementation of qualimetric measurements procedures, it is necessary to compare the weighted estimated profile of product quality $P_{K,oz}$, formed from single relative weighted estimated quality indexes $K_{oz,i}$, with weighted basic profile $P_{K,bz}$, namely with virtual quality measure. To compare profiles of quality $P_{K,oz}$ and $P_{K,bz}$ is used the methodology of multidimensional scaling – one of the sections of

mathematical statistics, the subject of research of which is data processing on pairwise similarities, connections and relationship between objects that are analyzed in order to present these objects in the form of points of some multidimensional space. In the case of statistic independent (non-correlated) single relative quality indexes for comparison profiles of quality $P_{K,oz}$ and $P_{K,bz}$ it should be used weighed Euclidean individual differences model. In the case of correlation between the single quality indexes to determine product quality level it should be used three-model multidimensional scaling model.

In both cases it should be defined the absolute difference or deviation function DII between profiles of quality $P_{K,oz}$ and $P_{K,bz}$. On the basis of obtained deviations DII the scale of product quality level Q determination can be build, and as result bigger numerical quality Q level value will correspond for higher product quality: $Q = 1 - DII$ or $Q = (1 - DII) \cdot 100\%$.

Thus, based on the methodology of qualimetric measurements, developed in the article, the complex evaluation of the Natural Gas quality as an energy source was realized, in which were taking into account a ratio of the most important gas characteristics, such as caloric content, humidity, density, composition, availability and quantity of non-flammable and harmful components.

Key words: qualimetry, metrology, qualimetric measurements, product quality level, product quality profile, virtual product quality measure, multidimensional scaling.

Вступ. У сучасних умовах насиченість ринків різноманітними видами продукції та 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 одним із визначальних напрямів соціально-економічного розвитку багатьох країн. Відповідно зросли вимоги до методів та методик оцінювання якості продукції.

Методологія та проблематика кількісного оцінювання якості продукції є предметом вивчення

кваліметрії – наукової галузі, яка 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 [1]. Підґрунтям для виникнення кваліметрії стала необхідність встановлення методологічної спільності способів кількісного оцінювання якості цілком різноманітних об'єктів та необхідність теоретичного узагальнення цих способів.

З самого початку розвитку кваліметрії серед спеціалістів виникли два різні погляди на неї як

наукову галузь, з двома цілком протилежними трактуваннями суті *кваліметрії*:

- ◆ кваліметрія є цілком самостійною наукою, з власною методологією досліджень [2];

- ◆ кваліметрія є частиною загальної метрології, предметом вивчення якої є кількісне оцінювання якості продукції, і нічим не суперечить суті метрології [3].

Така суперечність, яка певною мірою існує і сьогодні, про що свідчать роботи [4, 5], є некоректною і шкідливою насамперед для розвитку кваліметрії, оскільки через специфічність об'єкта дослідження – *продукції* – призводить до виникнення низки теоретичних і методологічних проблем та проблем нормативного забезпечення оцінювання якості продукції, а саме:

- ◆ *теоретичні проблеми*:

- а) проблеми забезпечення однакового (уніфікованого) підходу до оцінювання якості однотипної продукції, виготовленої різними виробниками і в різних умовах, з метою взаємного визнання отриманих оцінок якості продукції;

- б) проблеми забезпечення єдності та метрологічної простежуваності результатів оцінювання якості продукції;

- в) проблеми оцінювання точності та достовірності отриманих оцінок якості продукції;

- ◆ *методологічні проблеми* – проблеми реалізації процедури оцінювання якості продукції, зокрема, метрологічного забезпечення оцінювання якості продукції;

- ◆ *проблеми нормативного забезпечення оцінювання якості продукції* – розроблення і впровадження необхідних нормативних документів (НД) – стандартів, технічних регламентів та методичних вказівок для регламентації вимог щодо оцінювання якості продукції та гармонізація державних стандартів України із відповідними міжнародними стандартами.

Вирішення цих проблем можливе тільки за умови комплексного поєднання методології кваліметрії та метрології, яка володіє потужним науковим, практичним та законодавчим інструментарієм, що дає змогу здійснювати дослідження у будь-якій сфері пізнання. Аналіз способів вирішення вказаних проблем і є предметом дослідження цієї роботи.

1. Аналіз співвідношення між поняттями “кваліметрія” та “метрологія”. Термін “кваліметрія” утворений з двох слів – латинського “*qualis*” – який за

якістю і давньогрецького “*metreo*” – *вимірювати* і дослівно означає “*вимірювання якості*”. Однак на практиці дослівне значення цього терміна не використовується, оскільки безпосередньо *якість* неможливо виміряти, тобто відобразити числовим еквівалентом. Можна сказати “*висока якість*”, “*низька якість*”, “*гарна якість*”, “*погана якість*” тощо, тобто термін *якість* є суто якісною оцінкою продукції (вибачте за тавтологію), не має конкретного числового відображення і не може бути безпосередньо вимірюваною величиною. Підтвердженням сказаного є розмите означення поняття “*якість*”, наведене у чинних НД [6, 7]: **якість продукції** – ступінь, до якого сукупність власних характеристик продукції задовольняє вимоги.

Власне, це відображено і у наведеному вище означенні кваліметрії як наукової дисципліни, предметом вивчення якої є методологія та проблематика кількісного оцінювання якості продукції. А поняття “*оцінювання*” та “*вимірювання*” зовсім не ідентичні, що впливає із аналізу чинних НД [8–11].

Термін “*метрологія*” утворений із двох давньогрецьких слів – “*μέτρον*” – *міра* та “*λόγος*” – *вчення, слово* і дослівно означає “*вчення про міри*”. В сучасному розумінні *метрологія* – наука про вимірювання та їх застосування [8, 9], або, повніше, *метрологія* – це наука про вимірювання, методи забезпечення їх єдності та способи досягнення необхідної точності. **Вимірювання** – процес експериментального визначення одного або декількох значень величини, які можуть бути обґрунтовано приписані величині [8, 9], або *вимірювання* – відображення вимірюваних величин їх значеннями шляхом експерименту та обчислень за допомогою спеціальних технічних засобів [10]. **Єдність вимірювань** – стан вимірювань, за якого їх результати виражаються в узаконених одиницях, а характеристики похибок або непевності (невизначеності) вимірювань відомі з певною ймовірністю і не виходять за встановлені границі [9]. Однією із умов забезпечення єдності вимірювань є встановлення **метрологічної простежуваності вимірювань**, коли отриманий результат вимірювання можна пов'язати зі значенням величини, яке відтворюється національними або міжнародними еталонами через неперервний ланцюг звірянь, для кожного з яких зазначено характеристики непевності (невизначеності) [11].

Отже, поняття “*вимірювання*” безпосередньо пов'язане з такими поняттями, як *результат вимірювання*,

єдність вимірювань, точність вимірювань, метрологічна простежуваність 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. Отже, застосовуючи поняття оцінювання, неможливо 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, що, природно, істотно звужує можливості кваліметрії щодо об'єктивності та достовірності отриманих оцінок якості продукції.

Одним зі шляхів поєднання методології кваліметрії та метрології, на думку авторів, є використання в теорії та практиці кваліметрії концептуального поняття “кваліметричні вимірювання” як одного із видів вимірювань, означення його суті та мети [12, 13].

2. Означення поняття “кваліметричні вимірювання”, мета роботи та основні завдання досліджень. За означенням авторів, *кваліметричні вимірювання* – непрямі вимірювання рівня якості продукції, значення якого знаходять, опрацьовуючи результати вимірювань її властивостей за методологією багатовимірної шкалювання [12, 13].

Рівень якості продукції – відносна характеристика якості продукції, яка ґрунтується на порівнянні значень оцінюваних показників якості продукції з базовими значеннями відповідних показників [6], і повністю відповідає поняттю “вимірювана величина” у сучасному трактуванні цього терміна відповідно до вимог VIM-3 [8].

Однак зауважимо, що значення рівня якості продукції, отримані експертним методом, не належать до сфери кваліметричних вимірювань, оскільки експертні оцінки не є результатами вимірювань, а лише суб'єктивними припущеннями окремих експертів.

Кваліметричні вимірювання, загалом, як і будь-які інші вимірювання, складаються з двох основних етапів:

- ♦ проведення вимірювального експерименту, під час якого вимірюють різні властивості досліджуваної

продукції – механічні, просторові, електричні, магнітні, теплові, хімічний склад тощо;

- ♦ опрацювання результатів вимірювального експерименту, під час якого встановлюють значення рівня якості досліджуваної продукції Q , що і є результатом кваліметричного вимірювання.

Кваліметричні вимірювання не можна безпосередньо зарахувати до якогось з видів вимірювань у сучасній класифікації [8, 10]: *по-перше*, вони не є *прямими*, а *по-друге*, не є ні *опосередкованими*, оскільки, загалом, нема відомої функціональної залежності між рівнем якості як вимірюваною величиною і безпосередньо вимірними властивостями досліджуваної продукції, ні *сукупними* або *сумісними*, оскільки йдеться про одну вимірювану величину – рівень якості досліджуваної продукції. За сутністю *кваліметричні вимірювання* – це *вимірювання у кваліметрії*, які дають змогу отримати числову оцінку якості досліджуваної продукції, а саме – рівень її якості.

Такий підхід до кваліметричних вимірювань дає можливість вважати їх одним із видів вимірювань і використати для їх аналізу основні положення репрезентативної теорії вимірювань [13, 14, 15].

Метою роботи є розроблення методики виконання процедури кваліметричних вимірювань для знаходження рівня якості продукції та практичної реалізації цієї методики.

Основні завдання досліджень для досягнення цієї мети такі:

- ♦ синтез міри якості продукції;
- ♦ розроблення процедури кваліметричних вимірювань для визначення рівня якості продукції;
- ♦ синтез одновимірної кваліметричної шкали рівня якості продукції;
- ♦ практична реалізація методології кваліметричних вимірювань на прикладі знаходження рівня якості природного газу як джерела енергії.

3. Методологія синтезу віртуальної міри якості продукції

3.1. Означення поняття “віртуальна міра якості продукції”. Основою будь-якого вимірювання є порівняння вимірюваної величини з мірою, яка зберігає і відтворює одиницю цієї величини. Специфікою кваліметричних вимірювань є відсутність у більшості випадків конкретних фізичних мір якості тієї чи іншої продукції, а наявні базові (стандартні) зразки не завжди відповідають метрологічним вимогам, які ставляться

до мір, і не завжди методологічно можна здійснити порівняння досліджуваної продукції із базовим зразком. Це, власне, і становить основну проблему реалізації кваліметричних вимірювань.

У цій роботі для методологічного забезпечення повної реалізації процедури кваліметричних вимірювань використано *віртуальну міру якості продукції*, яка є теоретичним аналогом відповідної фізичної міри якості продукції, тобто базового (еталонного) зразка досліджуваної продукції [13].

Для синтезу *віртуальної міри якості продукції* використано основні положення *технології віртуальних вимірювальних приладів* як однієї із найсучасніших високих інформаційних технологій [16, 17] і *теорії множин* як відповідного розділу математики [18]. Суть технології віртуальних вимірювальних приладів полягає у комп'ютерній програмній імітації реальних фізичних вимірювальних приладів, вимірювальних систем та систем управління. *Віртуальність* у цьому випадку виражається у сенсі віртуальної імітації певних функцій приладу математичними і програмними засобами. Отже, *віртуальна міра якості продукції* – це відображення реальної фізичної міри якості цієї продукції, виражене математичними і програмними засобами.

З іншого боку, оскільки якість продукції визначається сукупністю її властивостей різної природи, *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) у кваліметрії є *одиночні абсолютні* P_i та *відносні* K_i показники якості продукції, ($i = 1, 2, \dots, n$, де n – кількість одиничних показників, яка дорівнює кількості властивостей досліджуваної продукції p_i), що характеризують її якість під час розроблення, виготовлення, експлуатації та споживання [19].

Абсолютний показник якості продукції P_i характеризує окремі її властивості й числово дорівнює значенню i -ї властивості продукції p_i та виражається у її одиницях.

Відносний показник якості продукції K_i характеризує окремі її властивості у формі співвідношення між значеннями певної властивості, відображеними її абсолютними показниками, і є безрозмірною величиною.

Множини є предметом розгляду *теорії множин* – розділу математики, що вивчає множини, абстрагуючись від конкретної природи елементів множин

[18]. Зокрема, один із розділів теорії множин вивчає питання будови точкових множин у n -вимірному *евклідовому просторі* (де n – кількість координат), у якому, власне, і здійснюється оцінювання якості продукції, оскільки одиничні абсолютні показники якості продукції P_i ($i = 1, 2, \dots, n$, де n – кількість одиничних показників, яка дорівнює кількості координат багатовимірного евклідового простору) мають різну фізичну природу та різні розмірності та є точками на відповідних координатних осях багатовимірного простору. Також зазначимо, що масштаби по окремих i -х координатних осях різні й визначаються коефіцієнтами вагомості m_i відповідних одиничних абсолютних показників якості P_i .

У *кваліметрії* як розділі метрології, предметом вивчення якого є питання кількісного оцінювання якості продукції, розглянута вище *множина* деяких довільних об'єктів (елементів) має назву *профіль якості* Π , який являє собою сукупність кількісних одиничних показників якості продукції [13]. Профілі якості продукції Π можуть бути сформовані як із *абсолютних* одиничних показників якості продукції P_i , означуваних як Π_P , так і із *відносних* одиничних показників якості продукції K_i , означуваних як Π_K :

$\Pi_P = \{P_1; P_2; \dots; P_n\}$ та

$$\Pi_K = \{K_1; K_2; \dots; K_n\}, (i=1,2,\dots,n). \quad (1)$$

Зазначимо, що між окремими одиничними показниками якості продукції переважно відсутні функціональні зв'язки, що відрізняє *профіль якості* продукції від *математичної моделі* якості продукції, яка функціонально пов'язує рівень якості продукції з окремими її властивостями. Отже, *профіль якості продукції* Π є окремою комплексною характеристикою її якості та може бути використаний для побудови *віртуальної міри якості продукції*.

3.2. Аналіз, систематизація та вибір номенклатури показників якості продукції. У роботі виконано аналіз та систематизацію показників якості та профілів якості продукції із позиції синтезу віртуальної міри якості продукції та визначення рівня якості продукції за методологією кваліметричних вимірювань. За функцією показника під час оцінювання якості продукції показники якості поділяють на *оцінювані*, *базові*, *зважені оцінювані* та *зважені базові*. *Оцінюваний* показник якості продукції – показник якості продукції, значення якого знаходять експериментальним або розрахунковим способом під час порівняльного

оцінювання її якості. У процедурі кваліметричних вимірювань використано абсолютні $P_{o,i}$, відносні $K_{o,i}$ та зважені відносні $K_{oz,i}$ оцінювані показники якості продукції. Базовий показник якості продукції – показник якості продукції, значення якого прийнято за основу під час порівняльного оцінювання її якості. У процедурі кваліметричних вимірювань використано абсолютні $P_{b,i}$, відносні $K_{b,i}$ та зважені відносні $K_{bz,i}$ базові показники якості продукції.

Залежно від характеру впливу на значення рівня якості продукції Q показники якості поділено на дві групи. У першій групі до підвищення рівня якості продукції

Q приводить збільшення одиничного оцінюваного абсолютного показника якості $P_{o,i,1}$ і, відповідно, збільшення одиничного відносного показника якості $K_{o,i,1}$, а у другій групі до підвищення якості продукції приводить зменшення одиничного оцінюваного абсолютного показника якості $P_{o,i,2}$ і, відповідно, зменшення одиничного відносного показника якості $K_{o,i,2}$.

Показники якості продукції, використані у процедурі кваліметричних вимірювань для визначення рівня якості продукції Q , наведено у табл. 1.

Таблиця 1

Види показників якості продукції, які використані у процедурі кваліметричних вимірювань

Table 1

Types of product quality indexes that are used in the process of qualimetric measurements

№ з/п	Назви показника якості продукції	Означення показника якості продукції
1	Оцінюваний абсолютний показник якості продукції першої групи $P_{o,i,1}$, ($i=1,2, \dots, l$)	$P_{o,i,1} \leq P_{b,i,1}$
2	Базовий абсолютний показник якості продукції першої групи $P_{b,i,1}$, ($i=1,2, \dots, l$)	$P_{b,i,1} = P_{\max,i,1}$
3	Оцінюваний відносний показник якості продукції першої групи $K_{o,i,1}$, ($i=1,2, \dots, l$)	$K_{o,i,1} = \frac{P_{o,i,1}}{P_{b,i,1}}, P_{o,i,1} \leq P_{b,i,1}$
4	Зважений оцінюваний відносний показник якості продукції першої групи $K_{oz,i,1}$, ($i=1,2,3, \dots, l$)	$K_{oz,i,1} = K_{o,i,1} \cdot m_{i,1}$
5	Оцінюваний абсолютний показник якості продукції другої групи $P_{o,i,2}$, ($i=l+1, l+2, \dots, n$)	$P_{o,i,2} > P_{b,i,2}$
6	Базовий абсолютний показник якості продукції другої групи $P_{b,i,2}$, ($i=l+1, l+2, \dots, n$)	$P_{b,i,2} = P_{\min,i,2}$
7	Оцінюваний відносний показник якості продукції другої групи $K_{o,i,2}$, ($i=l+1, l+2, \dots, n$)	$K_{o,i,2} = \frac{P_{o,i,2} - P_{b,i,2}}{P_{\text{дон},i} - P_{b,i,2}}, P_{o,i,2} > P_{b,i,2}$
8	Зважений оцінюваний відносний показник якості продукції другої групи $K_{oz,i,2}$, ($i=l+1, l+2, \dots, n$)	$K_{oz,i,2} = K_{o,i,2} \cdot m_{i,2}$
9	Нормалізовані коефіцієнти вагомості показників якості продукції $m_{i,1}$ першої і $m_{i,2}$ другої груп	$\sum_{i=1}^l m_{i,1} + \sum_{i=l+1}^n m_{i,2} = 1$
Примітки: l – кількість показників якості продукції першої групи; $n-l$ – кількість показників якості продукції другої групи; n – кількість всіх показників якості досліджуваної продукції.		

У першій групі показників якості продукції за умови, що $P_{o,i,1} < P_{\min,i,1}$, продукція вважається бракованою і непридатною до застосування, а максимальне значення абсолютного показника якості продукції $P_{\max,i,1}$ – максимально можливе значення цього показника, якого можна досягти за сьогоdnішнього

рівня технології виготовлення цієї продукції і яке відповідає найвищому значенню рівня її якості Q . Тому максимальне значення абсолютного показника якості продукції $P_{\max,i,1}$ прийнято за базове значення цього показника, тобто $P_{b,i,1} = P_{\max,i,1}$. Отже, у першій групі показників якості продукції значення одиничних

відносних оцінюваних показників якості $K_{o,i,1}$ обчислюємо за формулою:

$$K_{o,i,1} = \frac{P_{o,i,1}}{P_{\max,i,1}} = \frac{P_{o,i,1}}{P_{b,i,1}}, P_{o,i,1} \leq P_{b,i,1}, \quad (2)$$

а значення одиничних відносних базових показників якості $K_{b,i,1}$, як граничні значення одиничних відносних оцінюваних показників якості $K_{o,i,1}$, дорівнюють 1.

У другій групі показників якості мінімальне значення абсолютного показника $P_{\min,i,2}$ – це мінімально можливе значення показника $P_{o,i,2}$, якого можна досягти відповідно до сьогоденного рівня технології виготовлення цієї продукції і яке відповідає найвищому значенню рівня її якості продукції, (бажано, щоб $P_{\min,i,2} \Rightarrow 0$). Тому мінімальне значення абсолютного показника якості продукції $P_{\min,i,2}$ прийнято за базове значення цього показника, тобто $P_{b,i,2} = P_{\min,i,2}$. Отже, у другій групі показників якості продукції значення одиничних відносних оцінюваних показників якості $K_{o,i,2}$ обчислюємо за формулою:

$$K_{o,i,2} = \frac{P_{o,i,2} - P_{\min,i,2}}{P_{\text{dop},i,2} - P_{\min,i,2}} = \frac{P_{o,i,2} - P_{b,i,2}}{P_{\text{dop},i,2} - P_{b,i,2}}, P_{o,i,2} \geq P_{b,i,2} \quad (3)$$

де $P_{\text{dop},i,2}$ – гранично допустиме значення оцінюваного абсолютного показника, у разі перевищення якого, тобто за умови, що $P_{o,i,2} > P_{\text{dop},i,2}$, продукція

вважається бракованою, а значення одиничних відносних базових показників якості $K_{b,i,2}$, як граничні значення одиничних відносних оцінюваних показників якості $K_{o,i,2}$, дорівнюють 0.

Встановлюють номенклатуру показників якості продукції для визначення рівня її якості на підставі аналізу чинних НД, у яких регламентовано вимоги до властивостей продукції, довідкових літературних джерел та результатів експериментальних досліджень конкретної продукції.

Приклад 1. Під час оцінювання якості природного газу як джерела енергії встановлено вісім основних його властивостей, які найбільше впливають на теплотворну здатність газу і розділені на дві групи. До першої групи показників якості газу належать *питома теплота згоряння* H_H , МДж/м³; *число Воббе* B , МДж/м³ та *густина газу* ρ , кг/м³, а до другої групи – *вологість газу* W , г/м³; *вміст у газовій суміші негорючих (азоту C_{N_2} , % та вуглекислого газу C_{CO_2} , %) і шкідливих компонентів (сірководню C_{H_2S} , г/м³ та меркаптанової сірки C_{CH_4S} , г/м³)* [20].

3.3. Аналіз та систематизація профілів якості продукції для визначення рівня її якості. Профілі якості продукції, сформовані із різних видів показників якості продукції відповідно до (1) і використані у процедурі кваліметричних вимірювань для визначення рівня якості продукції Q , наведені у табл. 2.

Таблиця 2

Види профілів якості продукції, які використані у процедурі кваліметричних вимірювань

Table 2

Types of product quality profiles that are used in the process of qualimetric measurements

№ з/п	Вид профілю якості	Математична модель профілю якості
1	Оцінюваний профіль якості $П_{P,o}$, сформований із одиничних абсолютних оцінюваних показників якості $P_{o,i}$, ($i=1,2,3,\dots,n$)	$П_{P,o} = \{P_{o,1}; P_{o,2}; P_{o,3}; \dots; P_{o,n}\}$
2	Оцінюваний профіль якості $П_{K,o}$, сформований із одиничних відносних оцінюваних показників якості $K_{o,i}$, ($i=1,2,3,\dots,n$)	$П_{K,o} = \{K_{o,1}; K_{o,2}; K_{o,3}; \dots; K_{o,n}\}$
3	Зважений оцінюваний профіль якості $П_{K,oz}$, сформований із одиничних відносних зважених оцінюваних показників якості $K_{oz,i}$, ($i=1,2,3,\dots,n$)	$П_{K,oz} = \{K_{oz,1}; K_{oz,2}; K_{oz,3}; \dots; K_{oz,n}\}$
4	Базовий профіль якості $П_{P,b}$, сформований із одиничних абсолютних базових показників якості $P_{b,i}$, ($i=1,2,3,\dots,n$)	$П_{P,b} = \{P_{b,1}; P_{b,2}; P_{b,3}; \dots; P_{b,n}\}$
5	Базовий профіль якості $П_{K,b}$, сформований із одиничних відносних базових показників якості $K_{b,i}$, ($i=1,2,3,\dots,n$)	$П_{K,b} = \{K_{b,1}; K_{b,2}; K_{b,3}; \dots; K_{b,n}\}$
6	Зважений базовий профіль якості $П_{K,bz}$, сформований із одиничних відносних зважених базових показників якості $K_{bz,i}$, ($i=1,2,3,\dots,n$)	$П_{K,bz} = \{K_{bz,1}; K_{bz,2}; K_{bz,3}; \dots; K_{bz,n}\}$

3.4. Встановлення базового (еталонного) зразка продукції як фізичної (матеріальної) міри для визначення її якості та формування базового профілю якості продукції $P_{P,b}$ із одиничних абсолютних базових показників якості $P_{b,i}$. Як зазначено вище, сутністю будь-якого вимірювання є порівняння вимірюваної величини з мірою, яка відтворює і (або) зберігає певну фізичну величину заданого розміру. У *кваліметрії* таким засобом для процедури порівняння, тобто *мірою* якості продукції, може слугувати *базовий (еталонний, стандартний) зразок* цієї продукції. За означенням, *стандартний зразок* – міра у вигляді речовини або матеріалу із встановленими в результаті метрологічної атестації значеннями однієї або більше величин, що характеризують властивості або склад цієї речовини або матеріалу [10]. На практиці базовим вважають зразок продукції, що відповідає передовим науково-технічним досягненням в установленому періоді як у нашій країні, так і в інших промислово розвинених країнах.

Як вже було зазначено, у процедурі *кваліметричних вимірювань*, вимірюваною величиною яких є *рівень якості Q* досліджуваної продукції, для відображення якості продукції застосовують профіль якості продукції P , що являє собою сукупність кількісних одиничних показників якості продукції. Отже, *базовий (еталонний, стандартний) зразок* продукції у числовому вираженні можна означити як сукупність числових значень одиничних *базових абсолютних* показників якості продукції $P_{b,i}$ ($i = 1, 2, 3, \dots, n$, де n – кількість одиничних показників, що дорівнює кількості властивостей продукції p), які утворюють базовий профіль якості $P_{P,b}$

$$P_{P,b} = \{P_{b,1}; P_{b,2}; P_{b,3}; \dots; P_{b,n}\} = \\ = \{P_{b,1,1}; P_{b,2,1}; \dots; P_{b,l,1}\} + \{P_{b,l+1,2}; P_{b,l+2,2}; \dots; P_{b,n,2}\}, \quad (4)$$

де $P_{b,i,1}$ – одиничні абсолютні *базові* показники якості продукції *першої* групи, ($i = 1, 2, 3, \dots, l$); l – кількість одиничних показників якості продукції *першої* групи; $P_{b,i,2}$ – одиничні абсолютні *базові* показники якості продукції *другої* групи, ($i = l+1, l+2, l+3, \dots, n$); $n-l$ – кількість одиничних показників якості продукції *другої* групи; n – загальна кількість одиничних показників якості продукції.

Числове значення кожного з елементів $P_{b,i}$ базового профілю якості $P_{P,b}$, встановлюють згідно з ДСТУ ГОСТ ISO 5725-1:2005 [11] як прийняте

еталонне 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, визначене на підставі експериментальних даних деяких національних або міжнародних організацій;

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

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

Загалом, базовим значенням показника якості продукції $P_{b,i}$ може бути одне з *нормованих* значень – регламентоване, номінальне чи граничне, яке встановлюють залежно від групи показника на основі аналізу чинних НД, в яких регламентовані вимоги до властивостей продукції, довідкових літературних джерел та результатів експериментальних досліджень конкретної продукції [15].

Отже, базовий профіль якості $P_{P,b} = \{P_{b,1}; P_{b,2}; P_{b,3}; \dots; P_{b,n}\}$, числові значення кожного з елементів $P_{b,i}$ ($i = 1, 2, 3, \dots, n$) якого визначені за вказаними вище правилами і встановлені як еталонні, є числовою характеристикою фізичної (матеріальної) міри якості продукції, тобто базового (еталонного, стандартного) зразка цієї продукції.

Приклад 2. Базовий профіль якості природного газу як джерела енергії $P_{P,b}$, що є числовою характеристикою фізичної (матеріальної) міри якості газу, тобто базового (еталонного, стандартного) зразка досліджуваного газу, формуємо із одиничних *базових абсолютних* показників його якості $P_{b,i}$ ($i = 1, 2, \dots, n$; $n=8$), які відповідають восьми найважливішим властивостям газу, встановленим вище. Також для реалізації методики визначення рівня якості природного газу із урахуванням поділу його властивостей за їх впливом на рівень якості газу на дві групи, базовий профіль якості газу формуємо із двох частин:

$$P_{P,b} = \{P_{b,1}; P_{b,2}; P_{b,3}\} + \{P_{b,4}; P_{b,5}; P_{b,6}; P_{b,7}; P_{b,8}\} = \\ = \{P_{b,H_2}; P_{b,B}; P_{b,r}\} + \\ + \{P_{b,W}; P_{b,C_{N_2}}; P_{b,CO_2}; P_{b,C_{H_2S}}; P_{b,C_{CH_4S}}\},$$

де $P_{b,1} = P_{b,H_H}$ – абсолютний базовий одиничний показник якості ПГ, який дорівнює базовому значенню питомої об'ємної теплоти згоряння газу нижчої теплотворної здатності $H_{H,b}$, МДж/м³; $P_{b,2} = P_{b,B}$ – абсолютний базовий одиничний показник якості ПГ, який дорівнює базовому значенню числа Воббе B_b , МДж/м³; $P_{b,3} = P_{b,r}$ – абсолютний базовий одиничний показник якості ПГ, який дорівнює базовому значенню густини газу ρ_b , кг/м³; $P_{b,4} = P_{b,W}$ – абсолютний базовий одиничний показник якості ПГ, який дорівнює базовому значенню вологості газу W_b , г/м³; $P_{b,5} = P_{b,C_{N_2}}$ – абсолютний базовий одиничний показник якості ПГ, який дорівнює базовому значенню концентрації у газовій суміші азоту $C_{N_2,b}$, %; $P_{b,6} = P_{b,CO_2}$ – абсолютний базовий одиничний показник якості ПГ, який дорівнює базовому значенню концентрації у газовій суміші вуглекислого газу $C_{CO_2,b}$, %; $P_{b,7} = P_{b,C_{H_2S}}$ – абсолютний базовий одиничний показник якості ПГ, який дорівнює базовому значенню вмісту в газовій суміші сірководню $C_{H_2S,b}$, г/м³; $P_{b,8} = P_{b,C_{CH_4S}}$ – абсолютний базовий одиничний показник якості ПГ, який дорівнює базовому значенню вмісту в газовій суміші меркаптанової сірки $C_{CH_4S,b}$, г/м³.

Зокрема, зауважимо, що для реалізації процедури кваліметричних вимірювань необов'язково виготовляти фізичний (матеріальний) зразок досліджуваної продукції. Достатньо сформулювати базовий профіль якості $П_{P,b}$, на підставі якого формується базовий профіль якості $П_{K,b}$ та зважений базовий профіль якості $П_{K,bz}$ із відповідних відносних зважених базових показників якості $K_{bz,i}$, тобто віртуальна міра якості продукції, яка і використовується у процедурі визначення рівня якості досліджуваної продукції [21].

3.5. Формування оцінюваного профілю якості продукції $П_{P,o}$ із одиничних абсолютних оцінюваних показників якості $P_{o,i}$. Оцінюваний профіль якості $П_{P,o}$ досліджуваної продукції формуємо із одиничних оцінюваних абсолютних показників якості продукції $P_{o,i,1}$ першої та $P_{o,i,2}$ другої груп:

$$П_{P,o} = \{P_{o,1}; P_{o,2}; P_{o,3}; \dots; P_{b,n}\} = \{P_{o,1,1}; P_{o,2,1}; \dots; P_{o,l,1}\} + \{P_{o,l+1,2}; P_{o,l+2,2}; \dots; P_{o,n,2}\}, \quad (5)$$

Числові значення оцінюваних показників якості досліджуваної продукції $P_{o,i}$ ($i = 1, 2, 3, \dots, n$) знаходять експериментально, вимірюючи відповідні властивості продукції згідно з методиками, встановленими у чинних НД, в яких регламентовані вимоги до властивостей конкретної продукції та методів їх вимірювань.

Приклад 3. Оцінюваний профіль якості природного газу як джерела енергії $П_{P,o}$, сформований із абсолютних оцінюваних показників його якості $P_{o,i}$ ($i = 1, 2, 3, \dots, n$; $n = 8$), які відповідають восьми найважливішим його властивостям, як і базовий профіль якості $П_{P,b}$, сформований із двох частин:

$$П_{P,o} = \{P_{o,1}; P_{o,2}; P_{o,3}\} + \{P_{o,4}; P_{o,5}; P_{o,6}; P_{o,7}; P_{o,8}\} = \{P_{o,H_H}; P_{o,B}; P_{o,r}\} + \{P_{o,W}; P_{o,C_{N_2}}; P_{o,CO_2}; P_{o,C_{H_2S}}; P_{o,C_{CH_4S}}\},$$

де $P_{o,1} = P_{o,H_H}$ – абсолютний оцінюваний одиничний показник якості ПГ, який дорівнює вимірюваному значенню питомої об'ємної теплоти згоряння газу нижчої теплотворної здатності $H_{H,o}$, МДж/м³; $P_{o,2} = P_{o,B}$ – абсолютний оцінюваний одиничний показник якості ПГ, який дорівнює вимірюваному значенню числа Воббе B_o , МДж/м³; $P_{o,3} = P_{o,r}$ – абсолютний оцінюваний одиничний показник якості ПГ, який дорівнює вимірюваному значенню густини газу ρ_o , кг/м³; $P_{o,4} = P_{o,W}$ – абсолютний оцінюваний одиничний показник якості ПГ, який дорівнює вимірюваному значенню вологості газу W_o , г/м³; $P_{o,5} = P_{o,C_{N_2}}$ – абсолютний оцінюваний одиничний показник якості ПГ, який дорівнює вимірюваному значенню концентрації у газовій суміші азоту $C_{N_2,o}$, %; $P_{o,6} = P_{o,CO_2}$ – абсолютний оцінюваний одиничний показник якості ПГ, який дорівнює вимірюваному значенню концентрації у газовій суміші вуглекислого газу $C_{CO_2,o}$, %; $P_{o,7} = P_{o,C_{H_2S}}$ – абсолютний оцінюваний одиничний показник якості ПГ, який дорівнює вимірюваному значенню вмісту в газовій суміші сірководню $C_{H_2S,o}$, г/м³; $P_{o,8} = P_{o,C_{CH_4S}}$ – абсолютний оцінюваний одиничний показник якості ПГ, який дорівнює вимірюваному значенню вмісту в газовій суміші меркаптанової сірки $C_{CH_4S,o}$, г/м³.

3.6. Формування базового профілю якості $\Pi_{K,b}$ та оцінюваного профілю якості продукції $\Pi_{K,o}$ із відповідних одиничних відносних базових $K_{b,i}$ та оцінюваних $K_{o,i}$ показників якості. На основі базового $\Pi_{P,b}$ й оцінюваного $\Pi_{P,o}$ профілів якості продукції, сформованих відповідно до (4) і (5), визначаємо базовий $\Pi_{K,b}$ і оцінюваний $\Pi_{K,o}$ профілі якості продукції із відповідних відносних базових $K_{b,i,1}$ та $K_{b,i,2}$ і оцінюваних $K_{o,i,1}$ та $K_{o,i,2}$ показників якості першої та другої груп:

$$\begin{aligned}\Pi_{K,b} &= \{K_{b,1,1}; K_{b,2,1}; K_{b,3,1}; \dots; K_{b,n,1}\} = \\ &= \{K_{b,1,1}; K_{b,2,1}; \dots; K_{b,l,1}\} + \\ &+ \{K_{b,l+1,2}; K_{b,l+2,2}; \dots; K_{b,n,2}\},\end{aligned}\quad (6)$$

$$\begin{aligned}\Pi_{K,o} &= \{K_{o,1,1}; K_{o,2,1}; K_{o,3,1}; \dots; K_{o,n,1}\} = \\ &= \{K_{o,1,1}; K_{o,2,1}; \dots; K_{o,l,1}\} + \\ &+ \{K_{o,l+1,2}; K_{o,l+2,2}; \dots; K_{o,n,2}\}.\end{aligned}\quad (7)$$

Числові значення одиничних відносних базових показників якості у першій групі показників $K_{b,i,1} \Rightarrow 1$, ($i=1,2,\dots,l$), загалом, $K_{b,i,1} \leq 1$, а в граничному варіанті $K_{b,i,1} = 1$, а у другій групі – $K_{b,i,2} \Rightarrow 0$, ($i = l+1, l+2, \dots, n$), загалом, $K_{b,i,2} \geq 0$, а в граничному варіанті $K_{b,i,2} = 0$. Числові значення одиничних відносних оцінюваних показників якості першої $K_{o,i,1}$ і другої $K_{o,i,2}$ груп обчислюємо відповідно за формулами (2) і (3).

3.7. Формування зваженого базового профілю якості продукції $\Pi_{K,bz}$, тобто віртуальної міри якості природного газу, та зваженого оцінюваного профілю якості продукції $\Pi_{K,oz}$. З урахуванням базового $\Pi_{K,b}$ і оцінюваного $\Pi_{K,o}$ профілів якості продукції, сформованих у відповідно до (6) і (7), формуємо зважений базовий $\Pi_{K,bz}$ і зважений оцінюваний $\Pi_{K,oz}$ профілі якості продукції із відповідних зважених відносних базових $K_{bz,i,1}$ та $K_{bz,i,2}$ і оцінюваних $K_{oz,i,1}$ та $K_{oz,i,2}$ показників якості першої та другої груп, які є основними елементами у процедурі кваліметричних вимірювань:

$$\begin{aligned}\Pi_{K,bz} &= \{K_{bz,1,1}; K_{bz,2,1}; \dots; K_{bz,l,1}\} + \\ &+ \{K_{bz,l+1,2}; K_{bz,l+2,2}; \dots; K_{bz,n,2}\},\end{aligned}\quad (8)$$

$$K_{bz,i,1} = K_{b,i,1} \cdot m_{i,1}, \quad K_{bz,i,2} = K_{b,i,2} \cdot m_{i,2}; \quad (9)$$

$$\begin{aligned}\Pi_{K,oz} &= \{K_{oz,1,1}; K_{oz,2,1}; \dots; K_{oz,l,1}\} + \\ &+ \{K_{oz,l+1,2}; K_{oz,l+2,2}; \dots; K_{oz,n,2}\},\end{aligned}\quad (10)$$

$$K_{oz,i,1} = K_{o,i,1} \cdot m_{i,1}, \quad K_{oz,i,2} = K_{o,i,2} \cdot m_{i,2}, \quad (11)$$

де $m_{i,1}$ і $m_{i,2}$ – нормалізовані коефіцієнти вагомості одиничних показників якості продукції першої та другої груп.

Зважений базовий профіль якості продукції $\Pi_{K,bz}$, сформований із одиничних відносних зважених базових показників якості $K_{bz,i}$, ($i=1,2,3,\dots,n$), і є віртуальною мірою якості продукції, яка використовується у процедурі кваліметричних вимірювань для визначення рівня якості досліджуваної продукції Q .

Нормалізовані коефіцієнти вагомості показників якості продукції $m_{i,1}$ першої і $m_{i,2}$ другої груп повинні задовольняти умову їх нормалізації:

$$\sum_{i=1}^l m_{i,1} + \sum_{i=l+1}^n m_{i,2} = 1. \quad (12)$$

3.8. Визначення коефіцієнтів вагомості m_i одиничних показників якості продукції. Вибір методу визначення коефіцієнтів вагомості m_i одиничних показників якості досліджуваної продукції залежить від конкретного виду продукції та наявної інформації про її властивості. Для реалізації процедури кваліметричних вимірювань можна використати один із відомих у кваліметрії методів [19]: вартісний метод, метод граничних і номінальних значень, метод регресивних залежностей, метод еквівалентних співвідношень, експертний метод, а також змішані або комбіновані методи.

Наприклад, значення коефіцієнтів вагомості m_i одиничних показників якості природного газу доцільно визначати методом граничних і номінальних значень, оскільки із чинних НД, в яких регламентовані вимоги до властивостей газу та методик їх вимірювань, можна встановити нормовані значення одиничних абсолютних показників якості газу, зокрема, номінальні $P_{ном,i}$ та допустимі $P_{дон,i}$ значення.

4. Визначення рівня якості продукції за методологією багатовимірного шкалювання

4.1. Означення суті методології багатовимірного шкалювання. Для вимірювання рівня якості досліджуваної продукції Q , тобто для повної реалізації процедури кваліметричних вимірювань, необхідно

здійснити порівняння *зваженого оцінюваного* профілю якості продукції $П_{K,oz}$ зі *зваженим базовим* профілем якості $П_{K,bz}$, тобто з *віртуальною мірою якості* продукції. Для порівняння профілів якості $П_{K,oz}$ та $П_{K,bz}$ застосовуємо методику *багатовимірного шкалювання* (англ. – *multidimensional scaling*) – одного із розділів математичної статистики, предметом дослідження якого є опрацювання даних про попарну подібність, зв'язки та відношення між об'єктами, що аналізуються, з метою представлення цих об'єктів у вигляді точок деякого багатовимірного простору [22]. Ця методика уможливиле порівняння відповідних одиничних зважених відносних оцінюваних $K_{oz,i}$ і базових $K_{bz,i}$ показників якості з подальшим зведенням шкал, за якими знайдено значення цих показників, до одновимірної шкали визначення рівня якості досліджуваної продукції Q .

У разі багатовимірного шкалювання (БВШ) кожна характеристика (властивість, ознака) об'єктів має свою шкалу, яка розміщена на відповідній осі багатовимірного простору. *Вхідною інформацією* для задачі БВШ є відомості про попарну близькість (подібність чи відмінність) між характеристиками аналізованих об'єктів, а *вихідною* – присвоєні кожній із цих характеристик числові значення на відповідних координатних осях у деякій допоміжній багатовимірній системі координат, знайдені в процесі розв'язування задачі.

Отже, в основу БВШ покладено ідею геометричного зображення об'єктів у вигляді сукупності точок у багатовимірному просторі, а мірою відмінності між об'єктами є віддаль між цими точками. Для вимірювання віддалі між точками необхідно використати *метрику* $d(x, y)$, що являє собою невід'ємну, однозначну, дійсну функцію на множині D , визначену для будь-якої пари точок x та y із множини D ($x, y \in D$), і яка задовольняє певні умови (аксіоми) [22]:

- ♦ $d(x, y) \geq 0$ – аксіома близькості;
- ♦ $d(x, y) = 0 \Leftrightarrow x = y$ – аксіома тотожності;
- ♦ $d(x, y) = d(y, x)$ – аксіома симетрії;
- ♦ $d(x, y) + d(y, z) \geq d(x, z)$ – аксіома трикутника (нерівність трикутника).

Стосовно аналізу *відмінності* між об'єктами, то *перша аксіома* означає, що два об'єкти або ідентичні й відмінність між ними дорівнює 0, або вони чимось відрізняються один від одного і відмінність між ними більша від 0. *Друга аксіома* означає, що досліджуваний об'єкт ідентичний сам собі. Згідно з *третьою аксіомою* об'єкт x настільки відрізняється від об'єкта y , наскільки об'єкт y відрізняється від об'єкта x . Оскільки точки x та y із множини D ($x, y \in D$) розміщені на одній із осей багатовимірного простору і є дійсними числами, а множина дійсних чисел, віддаль між якими $d(x, y) = |x - y|$, утворює метричний простір, то *четверта аксіома* у БВШ виконується у формі $d(x, y) + d(y, z) = d(x, z)$.

Множину D разом із метрикою d називають *метричним простором* (D, d) . У БВШ найчастіше використовують *евклідову метрику*, оскільки в ній віддалі не залежать від напрямів координатних осей, що дає змогу здійснювати будь-які повороти системи координат, а багатовимірний простір, в якому порівнюють два об'єкти, тобто знаходять міру близькості чи відмінності між цими об'єктами, – є *евклідовим простором*.

4.2. Вибір моделі багатовимірного шкалювання для визначення рівня якості продукції. Одиничні оцінювані *абсолютні* показники якості продукції $P_{o,i}$, тобто відповідні властивості досліджуваної продукції, значення яких вимірюють у процесі дослідження, загалом є *випадковими* величинами, і, відповідно, *випадковими* величинами є одиничні оцінювані *відносні* показники якості продукції $K_{o,i}$. Отже, для підвищення точності й достовірності результатів вимірювання рівня якості досліджуваної продукції потрібно брати до уваги статистичний зв'язок (кореляцію) між окремими її властивостями, враховуючи *коефіцієнт кореляції* $r_{K_{o,i}, K_{o,j}}$ між одиничними оцінюваними відносними показниками якості продукції $K_{o,i}$ та $K_{o,j}$ ($i \neq j$).

Моделі реалізації методики багатовимірного шкалювання вибираємо на підставі аналізу наявності чи відсутності *статистичного зв'язку (кореляції)* між одиничними *абсолютними* оцінюваними показниками якості досліджуваної продукції $P_{o,i}$ і, відповідно, між одиничними *відносними* оцінюваними показниками якості продукції $K_{o,i}$.

У разі статистично незалежних (некорельованих) одиничних показників якості продукції для порівняння зваженого оцінюваного профілю якості досліджуваної продукції $P_{K,oz}$ зі зваженим базовим профілем якості $P_{K,bz}$, тобто із віртуальною мірою якості досліджуваної продукції, використовуємо зважену евклідову модель індивідуальних відмінностей, за якою функцію відмінностей ДП між профілями $P_{K,oz}$ і $P_{K,bz}$ знаходимо за формулою:

$$\Delta\P = \sqrt{\sum_{i=1}^l (K_{oz,i,1} - K_{bz,i,1})^2 + \sum_{i=l+1}^n (K_{oz,i,2} - K_{bz,i,2})^2} = \sqrt{\sum_{i=1}^l m_{i,1}^2 \cdot (K_{o,i,1} - K_{b,i,1})^2 + \sum_{i=l+1}^n m_{i,2}^2 \cdot (K_{o,i,2} - K_{b,i,2})^2} \quad (13)$$

У разі наявності кореляції між одиничними показниками якості досліджуваного газу для визначення рівня його якості використовуємо тримодальну модель багатовимірної шкалювання, яка дає змогу врахувати наявність кореляції між одиничними оцінюваними показниками якості газу $K_{o,i}$ та $K_{o,j}$, $i \neq j$, ($i=1,2,3,\dots,n$), а функцію відмінностей ДП між профілями $P_{K,oz}$ і $P_{K,bz}$ знаходимо за формулою:

$$\Delta\P = \sqrt{\sum_{i=1}^l (K_{oz,i,1} - K_{bz,i,1})^2 + \sum_{i=l+1}^n (K_{oz,i,2} - K_{bz,i,2})^2 + 2 \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n m_i m_j (K_{o,i} - K_{b,i}) \cdot (K_{o,j} - K_{b,j}) \cdot r_{K_{o,i}, K_{o,j}}} = \sqrt{\sum_{i=1}^l m_{i,1}^2 (K_{o,i,1} - K_{b,i,1})^2 + \sum_{i=l+1}^n m_{i,2}^2 (K_{o,i,2} - K_{b,i,2})^2 + 2 \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n m_i m_j (K_{o,i} - K_{b,i}) \cdot (K_{o,j} - K_{b,j}) \cdot r_{K_{o,i}, K_{o,j}}} \quad (14)$$

де m_i та m_j – відповідно коефіцієнти вагомості одиничних оцінюваних відносних показників якості продукції $K_{o,i}$ та $K_{o,j}$, $i \neq j$, ($i=1,2,3,\dots,n$); $r_{K_{o,i}, K_{o,j}}$ – коефіцієнт кореляції між одиничними оцінюваними відносними показниками якості продукції $K_{o,i}$ та $K_{o,j}$, $i \neq j$.

4.3. Визначення коефіцієнтів кореляції $r_{K_{o,i}, K_{o,j}}$ між одиничними оцінюваними відносними показниками якості природного газу $K_{o,i}$ та $K_{o,j}$. Значення коефіцієнтів кореляції $r_{K_{o,i}, K_{o,j}}$ між одиничними оцінюваними відносними показниками якості продукції

$K_{o,i}$ та $K_{o,j}$, $i \neq j$ знаходимо як відношення коваріації (коваріаційного моменту) $R_{K_{o,i}, K_{o,j}}$ показників $K_{o,i}$ та $K_{o,j}$ ($i \neq j$) до добутку оцінок їх стандартних відхилень $s_{K_{o,i}}$ та $s_{K_{o,j}}$ [23]:

$$r_{K_{o,i}, K_{o,j}} = \frac{R_{K_{o,i}, K_{o,j}}}{s_{K_{o,i}} \cdot s_{K_{o,j}}} = \frac{\sum_{c=1}^h (K_{o,i,c} - \bar{K}_{o,i}) \cdot (K_{o,j,c} - \bar{K}_{o,j})}{\sqrt{\sum_{c=1}^h (K_{o,i,c} - \bar{K}_{o,i})^2} \cdot \sqrt{\sum_{c=1}^h (K_{o,j,c} - \bar{K}_{o,j})^2}} \quad (15)$$

де $\bar{K}_{o,i}$ та $\bar{K}_{o,j}$ – результати вимірювань показників $K_{o,i}$ та $K_{o,j}$ ($i \neq j$), 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:

$$\bar{K}_{o,i} = \frac{1}{h} \sum_{c=1}^h K_{o,i,c} \quad \text{та} \quad \bar{K}_{o,j} = \frac{1}{h} \sum_{c=1}^h K_{o,j,c} \quad (16)$$

4.4. Синтез шкали рівня якості продукції Q за методологією кваліметричних вимірювань. Для визначення рівня якості досліджуваної продукції за методологією кваліметричних вимірювань необхідно побудувати одновимірну кваліметричну шкалу рівня якості продукції. Згідно із загальноприйнятим міжнародним означенням – шкала вимірювання (англ. – *measurement scale*) – упорядкований набір значень величини певного роду, що використовується для їх ранжування відповідно до розміру величини цього роду [8].

На основі отриманих за формулами (13) або (14) значень функції відхилень ДП між зваженими профілями якості $P_{K,oz}$ і $P_{K,bz}$ будемо шкалу вимірювання рівня якості продукції Q , за якою вищий якості продукції відповідає більше числове значення рівня її якості Q :

$$Q = 1 - DP \quad \text{або} \quad Q = (1 - DP) \cdot 100 \% \quad (17)$$

Побудована шкала вимірювання рівня якості продукції Q за класифікацією шкал вимірювань [8] є шкалою інтервалів, тобто метричною шкалою, і дає змогу знаходити різницю $DQ = Q_1 - Q_2$ між рівнями продукції Q_1 та Q_2 . Також для опрацювання результатів кваліметричних вимірювань, крім моди та медіани,

можна використовувати такі *статистики*, як математичне сподівання, дисперсію та стандартне відхилення.

Отже, значення рівня якості продукції Q , визначеного за розробленою методикою, змінюється від 0 до 1 або від 0 до 100 %, що зручно і методологічно обґрунтовано для використання у практиці оцінювання якості продукції і цілком відповідає наведеному вище означенню шкали вимірювання. Крім оцінювання якості продукції, запропонована методика на основі отриманих значень функції відхилень $DП$ та рівня якості продукції Q дає змогу здійснювати сортування продукції за рівнем її якості і, відповідно, встановлювати різну ціну на продукцію.

4.5. Методика вимірювання рівня якості продукції Q із багаторазовими спостереженнями. Результат вимірювання рівня якості продукції Q у випадку вимірювань із багаторазовими спостереженнями за умови нормального розподілу результатів спостережень знаходимо як середнє значення $\bar{Q}$ вибірки із отриманих значень окремих результатів вимірювань рівня якості Q_c ($c=1,2,\dots,h$, де h – кількість окремих вимірювань), обчислених за формулою $Q_c = 1 - DП_c$:

$$Q = \bar{Q} = \frac{1}{h} \sum_{c=1}^h Q_c = \frac{1}{h} \sum_{c=1}^h (1 - DП_c), \quad (18)$$

де $DП_c$ – c -те значення функції відмінностей $DП$.

У разі використання *зв'язаної евклідової моделі індивідуальних відмінностей* для визначення рівня якості продукції Q , значення функції відмінностей $DП_c$ з урахуванням (13) обчислюємо за формулою:

$$\Delta П_c = \sqrt{\sum_{i=1}^l m_{i,1}^2 (K_{o,i,1} - K_{b,i,1})^2 + \sum_{i=l+1}^n m_{i,2}^2 (K_{o,i,2} - K_{b,i,2})^2}, \quad (19)$$

$$\chi = 1, 2, \dots, \eta,$$

а у разі використання *тримодальної моделі багатовимірного шкалювання*: для знаходження рівня якості продукції Q , значення функції відмінностей $DП_c$ з урахуванням (14) обчислюємо за формулою:

$$\Delta П_c = \sqrt{\sum_{i=1}^l m_{i,1}^2 (K_{o,i,1} - K_{b,i,1})^2 + \sum_{i=l+1}^n m_{i,2}^2 (K_{o,i,2} - K_{b,i,2})^2 + 2 \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n m_i m_j (K_{o,i,c} - K_{b,i,c})(K_{o,j,c} - K_{b,j,c}) \cdot r_{K_{o,i}, K_{o,j}}}, \quad (20)$$

$$c = 1, 2, \dots, h,$$

де $K_{o,i,1}$ – c -те значення ($c=1,2,\dots,h$) i -го одиничного оцінюваного відносного показника якості продукції

першої групи $K_{o,i,1}$, ($i = 1, 2, \dots, l$, де l – кількість показників *першої* групи); $K_{o,i,2}$ – c -те значення ($c=1,2,\dots,h$) i -го одиничного оцінюваного відносного показника якості продукції *другої* групи $K_{o,i,2}$, ($i=l+1,\dots,n$, тут $n-l$ – кількість показників *другої* групи, n – кількість всіх показників досліджуваної продукції); $K_{o,i,c}$ – c -те значення ($c=1,2,\dots,h$) i -го одиничного оцінюваного відносного показника якості продукції $K_{o,i}$, ($i=1,2,\dots,n$) із всієї сукупності показників; $K_{o,j,c}$ – c -те значення ($c=1,2,\dots,h$) j -го одиничного оцінюваного відносного показника якості продукції $K_{o,j}$, ($i=1,2,\dots,n$, $i \neq j$) із всієї сукупності показників.

Кількість одиничних показників якості продукції n , прийнятих для оцінювання його якості, залежить від виду досліджуваної продукції. Загалом, розроблену методику визначення рівня якості продукції за методологією кваліметричних вимірювань можна застосовувати, якщо $n \geq 2$, але потрібно зробити застереження, що за $n = 2$ цю методику можна застосовувати за умови співмірності добутків різниць показників якості

$$(K_{o,i,1} - K_{b,i,1}) \approx (K_{o,i,2} - K_{b,i,2}) \quad (21)$$

та коефіцієнтів їхньої вагомості $m_{i,1} \approx m_{i,2}$, тобто за умови, що

$$m_{i,1} \cdot (K_{o,i,1} - K_{b,i,1}) \approx m_{i,2} \cdot (K_{o,i,2} - K_{b,i,2}). \quad (22)$$

Якщо ж вказана умова не виконується, наприклад, якщо

$$m_{i,1} \cdot (K_{o,i,1} - K_{b,i,1}) < \frac{1}{3} m_{i,2} \cdot (K_{o,i,2} - K_{b,i,2}), \quad (23)$$

то перший член у формулі (13) для знаходження функції відмінностей $DП$ стає нехтовно малим порівняно із другим членом і в такому випадку якість продукції доцільно оцінювати за визначальним показником якості, яким буде $K_{o,i,2}$ [19].

Необхідну метрологічну достовірність результатів вимірювання окремих показників якості досліджуваного продукції за невеликих об'ємів вибірки для знаходження значень цих показників у кожному конкретному випадку потрібно забезпечувати, вибираючи таку методику вимірювання і такі засоби вимірювальної техніки, які би забезпечували відповідні характеристики точності отриманого результату вимірювання рівня якості продукції Q , зокрема, його

непевність [24], що, своєю чергою, забезпечило би достовірність результатів вимірювання показників якості навіть під час вимірювань із одноразовими спостереженнями.

5. Структура методики визначення рівня продукції Q за методологією кваліметричних вимірювань

Для комплексного оцінювання якості продукції, тобто визначення рівня продукції Q за методологією кваліметричних вимірювань, необхідно виконати такі операції:

1) аналіз, систематизація та вибір номенклатури показників якості продукції для визначення рівня її якості;

2) встановлення базового (еталонного) зразка продукції як фізичної (матеріальної) міри для визначення її якості;

3) формування базового профілю якості продукції $P_{p,b}$ із одиничних абсолютних базових показників її якості $P_{b,i}$;

4) формування оцінюваного профілю якості продукції $P_{p,o}$ із одиничних абсолютних оцінюваних показників якості $P_{o,i}$;

5) визначення одиничних відносних базових $K_{b,i}$ та оцінюваних $K_{o,i}$ показників якості продукції;

6) визначення коефіцієнтів вагомості m_i одиничних показників якості продукції;

7) формування зваженого базового профілю якості продукції $P_{K,bz}$, тобто віртуальної міри якості продукції, та зваженого оцінюваного профілю якості продукції $P_{K,oz}$;

8) визначення коефіцієнтів кореляції $r_{K_{o,i},K_{o,j}}$ між одиничними оцінюваними відносними показниками якості продукції $K_{o,i}$ та $K_{o,j}$ ($i \neq j$);

9) вибір моделі багатовимірного шкалювання для визначення рівня продукції Q та обчислення значення Q ;

10) аналіз точності визначення рівня якості продукції Q за методологією багатовимірного шкалювання зі знаходженням непевності отриманого результату вимірювання Q [24].

6. Експериментальні дослідження якості природного газу за методологією кваліметричних вимірювань

Вихідною інформацією для обчислення рівня якості природного газу як джерела енергії за

методологією кваліметричних вимірювань були результати експериментального дослідження проб природного газу одного із родовищ Львівської області, проведеного у лабораторії Газопромислового управління “Львівгазвидобування” НАК “Нафтогаз України”. Номенклатура показників для визначення рівня якості природного газу як джерела енергії встановлена відповідно до наведеного вище теоретичного аналізу. Компонентний склад газу визначено хроматографом типу “Кристал-2000М”. Вимірювання та опрацювання експериментальних даних здійснювалися за методикою згідно із вимогами, регламентованими у ДСТУ ISO 6974-2:2007 [25] та ДСТУ ISO 6976:2009 [26]. Температура точки роси газу за вологою Q_p , °C виміряна гігрометром типу “Харків-2”, а абсолютна вологість газу W , г/м³ залежно від виміряної точки роси газу за вологою Q_p , °C знайдена відповідно до ГОСТ 20060-83 [27]. Обчислення питомої об’ємної теплоти згоряння H_H , МДж/м³, густини ρ , кг/м³ і числа Воббе B , МДж/м³ проведено відповідно до ДСТУ ISO 6976:2009 [26] на основі компонентного складу газу, а масові концентрації сірководню C_{H_2S} , г/м³ і меркаптанової сірки C_{CH_4S} , г/м³ у газовій суміші знайдені згідно з ГОСТ 22387.2-97 [28].

Рівень якості природного газу як джерела енергії Q визначено за описаною вище методикою двома етапами. Спочатку за формулою (13) знайдено значення функції відхилень $ДП$, яке дорівнює $ДП = 0,187$, а потім за формулою (17) знайдено рівень якості Q природного газу як джерела енергії: $Q = 0,813$ або $Q = 81,3$ %. Як видно зі знайденого значення Q , рівень якості природного газу цього родовища високий. Це пояснюється близькістю значень одиничних абсолютних оцінюваних показників якості газу $P_{o,i}$ і одиничних відносних оцінюваних показників якості газу $K_{o,i}$ до базових значень цих показників – відповідно $P_{b,i}$ та $K_{b,i}$.

Підвищити рівень якості газу можна, застосувавши такі технологічні операції, як осушення газу та очищення газової суміші від негорючих і шкідливих компонентів. В такому разі теоретично значення п’яти останніх одиничних абсолютних оцінюваних показників якості газу $P_{o,i}$, тобто показників другої групи, і, відповідно, п’яти останніх

одиничних відносних оцінюваних показників якості газу $K_{o,i}$, можна звести до нуля. Тоді значення функції відхилень $DIP @ 0,05$, а рівень якості газу $Q = 0,95$, тобто близький до базового (еталонного значення).

Але таке поліпшення якості газу призведе до суттєвого підвищення ціни на газ.

Результати проведеного аналізу проб природного газу наведено в табл. 3.

Таблиця 3

**Результати експериментального визначення якості природного газу
як джерела енергії за методологією кваліметричних вимірювань**

Table 3

**Results of the experimental defining of natural gas quality as an energy source
of qualimetric measurement methodology**

№ з/п	Назва показника	Абсолютні показники				Відносні показники		Коеф. ваго-мості	Відносні зважені показники	
		$P_{max,i};$ $P_{don,i}$	$P_{min,i}$	$P_{b,i}$	$P_{o,i}$	$K_{b,i}$	$K_{o,i}$	m_i	$K_{bz,i}$	$K_{oz,i}$
Перша група показників										
1	Питома теплота згоряння нижча H_{Hb} МДж/м ³	45,00	—	45,00	39,65	1	0,881	0,235	0,235	0,207
2	Число Воббе B , МДж/м ³	54,50	—	54,50	48,35	1	0,877	0,224	0,224	0,191
3	Густина ρ , кг/м ³	0,960	-	0,960	0,820	1	0,854	0,122	0,122	0,104
Друга група показників										
4	Абсолютна вологість W , г/м ³ , не більше ніж	0,110	0	0	0,085	0	0,773	0,218	0	0,169
5	Концентрація азоту C_{N_2} , %, не більше за	1,400	0	0	1,134	0	0,810	0,071	0	0,058
6	Концентрація вуглекислого газу C_{CO_2} , %, не більше за	0,450	0	0	0,272	0	0,604	0,051	0	0,031
7	Концентрація маси сірководню C_{H_2S} , г/м ³ , не більше за	0,020	0	0	0,002	0	0,100	0,039	0	0,004
8	Концентрація маси меркаптанової сірки C_{CH_4S} , г/м ³ , не більше за	0,036	0	0	0,005	0	0,139	0,040	0	0,006
Примітки: 1. Всі умовні позначення абсолютних і відносних показників, наведені у таблиці, відповідають позначенням цих показників у тексті статті. 2. Значення всіх величин, наведених у таблиці, зведені до стандартних умов, тобто до тиску $p_c = 0,101325$ МПа і температури $T_c = 293,15$ К.										

Висновки. 1. Використання у теорії та практиці кваліметрії концептуального поняття “кваліметричні вимірювання”, що означає один із видів вимірювань, дає змогу поєднати методологію кваліметрії та метрології, що істотно розширює можливості кваліметрії в об’єктивності отриманих оцінок якості продукції.

2. Використання для аналізу кваліметричних вимірювань основних положень репрезентативної теорії вимірювань дає змогу реалізувати умову єдності кваліметричних вимірювань, що, своєю чергою, дає можливість 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 кваліметричних вимірювань.

3. Основні проблеми розвитку методології кваліметричних вимірювань доцільно вирішувати комплексно на основі теорії віртуальної міри якості продукції та теорії багатовимірного шкалювання із використанням зваженої евклідової моделі індивідуальних відмінностей та тримодальної моделі багатовимірного шкалювання.

4. Практичне використання методології кваліметричних вимірювань для комплексного оцінювання якості природного газу як джерела енергії повністю підтверджує справедливість і достовірність результатів теоретичних досліджень цієї роботи та доцільність їх використання у практичній кваліметрії.

1. Азгальдов Г. Г. *Кваліметрія – наука об измерении качества* / Г. Г. Азгальдов, А. В. Гличев, З. Н. Крапивенский // *Стандарты и качество*. – 1968. – № 1. – С. 34–40. 2. Райхман Э. П. *Взаимосвязи метрологии и кваліметрии* / Э. П. Райхман, Г. Г. Азгальдов // *Измерительная техника*. – 1970. – № 1. – С. 92–94. 3. Шишкин И. Ф. *Теоретическая метрология: учебник для вузов* / И. Ф. Шишкин – М. : Изд-во стандартов, 1991. – 492 с. 4. Азгальдов Г. Г. *Метрология и кваліметрія: вопросы идентификации* / Г. Г. Азгальдов, А. В. Костин // *Мир измерений*, 2010. – № 1. – С. 4–7. 5. Кириллов А. И. *Метрология и кваліметрія: простые отношения* // *Капитал страны* [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <http://www.kapital-rus.ru/articles/article/176138> (дата обращения 17. 06. 2015 г.). 6. *Якість продукції. Оцінювання якості. Терміни та визначення: ДСТУ 2925-94*. – [Чинний від 1996-01-01]. – К. : Держстандарт України, 1995. – 27 с. – (Державний стандарт України). 7. *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). 8. *International vocabulary of metrology: Basic and general concepts and associated terms (VIM-3). JCGM 200:2008 (E/F)*. – 90 р. 9. *Закон України про метрологію та метрологічну діяльність, №1314-VII від 05. 06. 2014р.* / Верховна Рада України. – Офіц. вид. – К. : Парлам. вид-во, 2014. – 28 с. – (Бібліотека офіційних видань). – (Закон України). 10. *Метрологія. Терміни та визначення: ДСТУ 2681-94*. – [Чинний від 1996-01-01]. – К. : Держстандарт

України, 1994. – 68 с. – (Державний стандарт України). 11. *Точність (правильність) і прецизійність методів і результатів вимірювання. Частина 1. Основні положення та визначення: ДСТУ ГОСТ ISO 5725-1:2005*. – [Чинний від 2005-30-12]. – К. : Держспоживстандарт України, 2006. – 21 с. – (Національний стандарт України). 12. Мотало В. П. *Проблеми метрологічного забезпечення кваліметричних вимірювань* / В. П. Мотало // *Вимірювальна техніка та метрологія*. – 2008. – Вип. 68. – С. 190–195. 13. Мотало А. В. *Аналіз основних проблем теорії кваліметричних вимірювань* / А. В. Мотало, В. П. Мотало // *Стандартизація, сертифікація, якість*. – 2011. – № 1. – С. 60–64. 14. Берка К. *Измерения. Понятия, теории, проблемы* / К. Берка. – М. : Прогресс, 1987. – 320 с. 15. Пфанцгль И. *Теория измерений* / И. Пфанцгль. – М. : Мир, 1976. – 166 с. 16. Трэвис Дж. *LabVIEW для всех*. Дж. Трэвис. – Третье изд., перераб. и дополн. – М. : ДМК Пресс, 2008. – 880 с. 17. Евдокимов Ю. К. *LabVIEW для радиоинженеров: от виртуальной модели до реального прибора: Практическое руководство для работы в программной среде LabVIEW* / Ю. К. Евдокимов – М. : ДМК Пресс, 2007. – 400 с. 18. Колмогоров А. Н. *Элементы теории функций и функционального анализа* / А. Н. Колмогоров. – М. : Наука, 1981. – 543 с. 19. Азгальдов Г. Г. *О кваліметрии* / Г. Г. Азгальдов, Э. П. Райхман. – М. : Издательство стандартов, 1973. – 172 с. 20. Стадник Б. І. *Методика оцінювання якості природного газу як джерела енергії* / Б. І. Стадник, В. П. Мотало, А. В. Мотало // *Стандартизація, сертифікація, якість*. – 2009. – № 4. – С. 56–61. 21. Мотало В. П. *Використання методології багатовимірного шкалювання у кваліметричних вимірюваннях* / В. П. Мотало // *Метрологія та прилади*. – 2012. – № 3. – С. 61–66. 22. Davison Mark L. *Multidimensional scaling* / Mark L. Davison. – Minnesota: University of Minnesota, 1987. – 254 р. 23. Пустыльник Е. И. *Статистические методы анализа и обработки наблюдений* / Е. И. Пустыльник. – М. : Наука, 1968. – 288 с. 24. Мотало В. П. *Аналіз точності визначення рівня якості продукції з використанням віртуальної міри якості продукції* / В. П. Мотало // *Вимірювальна техніка та метрологія*. – 2012. – Вип. 73. – С. 100–110. 25. *Природний газ. Визначення складу із заданою невизначеністю методом газової хроматографії. Частина 2. Характеристики вимірювальної системи і статистичне*

оброблення даних: ДСТУ ISO 6974-2:2007. – [Чинний від 2008-10-01]. – К. : Держспоживстандарт України, 2008. – 21 с. – (Національний стандарт України). 26. Природний газ. Обчислення теплоти згоряння, густини, відносної густини і числа Воббе на основі компонентного складу: ДСТУ ISO 6976:2009. – [Чинний від 01-01-2011]. – К. : Держспоживстандарт України, 2010. – 48 с. – (Національний стандарт України). 27. ГОСТ 20060-83. Газы горючие природные. Методы определения содержания водяных паров и точки росы влаги. – М. : Издательство стандартов, 1983. – 16 с. 28. Газы горючие природные. Методы определения сероводорода и меркаптановой серы: ГОСТ 22387. 2-97. – [Дата введения 01. 01. 88]. – М. : Издательство стандартов, 1987. – 14 с. – (Государственный стандарт Союза ССР).

УДК 53.08:621.2.08

АНАЛІЗ ШКАЛ ВИМІРЮВАНЬ

Ї Мотало Василь, 2015

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

Розглянуто й проаналізовані основні питання теорії та принципи систематизації типів шкал вимірювань.

Розглянуто види властивостей емпіричних об'єктів та особливості їх прояву і відповідні їм шкали вимірювань. Вибір і використання тієї чи іншої шкали і, відповідно, методики вимірювання залежить від виду вимірюваної величини та способу отримання вимірювальної інформації, тобто способу порівняння розмірів величин.

Ключові слова: метрологія, вимірювання, шкала величини, шкали вимірювань, шкали найменувань, шкали порядку, шкали інтервалів, шкали відношень, абсолютні шкали.

Рассмотрены и проанализированы основные вопросы теории и принципы систематизации типов шкал измерений. Рассмотрены виды свойств эмпирических объектов, особенности их проявления и соответствующие им шкалы измерений. Выбор и использование той или иной шкалы и, соответственно, методики измерения зависят от вида измеряемой величины и от способа получения измерительной информации, т. е. способа сравнения размеров величин.

Ключевые слова: метрология, измерения, шкала величины, шкалы измерений, шкалы наименований, шкалы порядка, шкалы интервалов, шкалы отношений.

The basic principles of systematization of measurement scales types are describes and analyses in this article. Properties types of the empirical objects and corresponding measurement scales are considered. According to VIM3 (“International vocabulary of metrology: Basic and general concepts and associated terms”), measurement scale (quantity-value scale) is an ordered set of quantity values of quantities of a given kind of quantity used in ranking, according to magnitude, quantities of that kind, for example, Celsius temperature scale, time scale, Rockwell C hardness scale etc.

According to the metric determination, depending on the type of the investigated empirical object, in particular, of its properties, and therefore the type of measured value, measurement scales are divided into the following types: non-metric scales: nominal scales and ordinal scales; metric scales: intervals scales, ratios scales and absolute scales. Metric scales – these are scales, which have the units of measurement (for eg., meter, ampere, m/s). Non-metric scales – these are scales, which do not have units of measurement.

According to the form of empirical data obtaining, measurement scales are divided into verbal, numerical and graphic.

According to the number of the displayed properties of empirical objects, measurement scales are divided into one-dimensional and multidimensional.