

МЕНЕДЖМЕНТ ЯКОСТІ ПРИРОДНОГО ГАЗУ НА ОСНОВІ КОНЦЕПЦІЇ “ШІСТЬ СИГМ”

© Мотало А.В., 2007

Описано і проаналізовано сучасний стан оцінювання якості природного газу як об'єкта управління. Запропонована систематизація показників якості природного газу. Сформульовані актуальні завдання менеджменту якості природного газу на основі інноваційної концепції “шість сигм”.

In the article the present-day state of evaluation of natural gas quality as an object to be controlled is described and analyzed. A systematization of natural gas quality parameters is proposed. The actual tasks of natural gas quality management based on Six Sigma innovation conception are formulated

Постановка проблеми. В умовах глобалізації світового ринку проблема якості продукції, зокрема, стратегічної, стає все актуальнішою, оскільки лише високоякісна продукція може бути конкурентоспроможною. Проблема якості багатогранна – вона має політичний, соціальний, економічний, науково-технічний та організаційний аспекти і вирішити її можливо тільки комплексним, системним методом, який можна реалізувати лише в межах менеджменту якості, основанийого на інноваційних методиках і концепціях [1–3].

Природний газ (ПГ), який є високоенергоємною та хімічно цінною сировиною, поза всяким сумнівом належить до стратегічних видів продукції. Це зумовило значне використання його як в побуті, так і в багатьох галузях промисловості, що призводить до постійного збільшення споживання газу та зростання цін на нього на світовому ринку.

Енергетична та хімічна цінність ПГ спричинила велику увагу спеціалістів різних профілів до нього як до об'єкта дослідження. Однак, необхідно зазначити, що питання вимірювання якості ПГ в теперішній час практично не досліджується, хоч воно є надзвичайно актуальним. У чинних в Україні стандартах та інших нормативно-технічних документах (НТД) [4;5] стосовно добування, транспортування та споживання ПГ нормовано багато його фізико-хімічних показників, однак комплексні показники якості ПГ відповідно до потреб споживачів різного профілю, наприклад, комунальників чи працівників хімічної промисловості, відсутні [6].

Отже, актуальність і проблемність таких питань, як нормування і вимірювання показників якості природного газу та розв'язання завдань менеджменту якості газу, і зумовили тематику цієї статті.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. *Аналіз сучасного стану нормування показників якості природного газу.* Відповідно до ДСТУ 2925-94 [7], *якість продукції* – це сукупність характеристик продукції, які стосуються її здатності задовольняти встановлені і передбачені потреби. Стосовно природного газу, зрештою, як і будь-якої іншої продукції, ці потреби загалом мають дуже широкий спектр: щодо споживання газу як сировини в паливно-енергетичній промисловості – одні, в хімічній промисловості – інші, щодо транспортування чи обліку газу – ще інші і т. д.

Для практичного оцінювання якості продукції користуються *показниками якості*, які є кількісними оцінками однієї чи декількох властивостей продукції, що характеризують її якість.

Щоб отримати необхідну інформацію про газ, споживач звертається до відповідних стандартів та інших нормативно-технічних документів (НТД), які чинні в Україні і регламентують його характеристики. Однак перелік десятка чи більше різномірних характеристик газу навіть за умови, що їх числові значення знаходяться в межах норми, не дає конкретному споживачеві повної інформації про якість ПГ, необхідної саме для нього. Тому для вирішення проблеми менеджменту

якості природного газу необхідно попередньо систематизувати показники якості газу за різними групами залежно від його функціонального призначення і потреб споживачів, а також визначити методи та засоби їх вимірювань. Це дає змогу переходу до комплексної системи оцінювання якості ПГ.

Система менеджменту якості на базі концепції “шість сигм”. Система якості – це частина системи менеджменту організації, спрямована на отримання результатів, необхідних для задоволення потреб та вимог зацікавлених сторін згідно із завданнями у сфері якості. Нормативно-технічною базою створення сучасних систем якості є міжнародні стандарти серії ISO 9000 [8]. В Україні чинними є стандарти серії ДСТУ ISO 9000, зокрема, стандарти ДСТУ ISO 9001-2001 [9].

Однією із найсучасніших систем якості є система менеджменту якості на базі концепції “шість сигм” [10], зокрема модель DMAIC, згідно з якою під час управління якістю передбачається реалізація таких етапів: Define (визначення), Measure (вимірювання), Analyze (аналіз), Improve (поліпшення), Control (управління).

На етапі “визначення” встановлюють контекст проекту створення системи якості, формулюють проблеми і задачі, визначають пріоритетні напрями дій для досягнення успіху.

На етапі “вимірювання” вибирають одну чи декілька властивостей досліджуваного об’єкта, які найповніше визначають його якість, вибирають метод вимірювання та необхідні засоби вимірювальної техніки, здійснюють відповідні вимірювання та опрацювання результатів вимірювань.

На етапі “аналіз” на основі результатів проведених вимірювань встановлюють залежність *причина – ефект* в процесі чи системі, тобто визначають функціональну залежність між вихідним параметром системи Y , тобто вимірюваним показником якості об’єкта, і вхідними параметрами (факторами) $X_i, i = 1, \dots, n$, необхідними для одержання вихідного параметра Y :

$$Y = f(X_i) + \Delta, \quad (1)$$

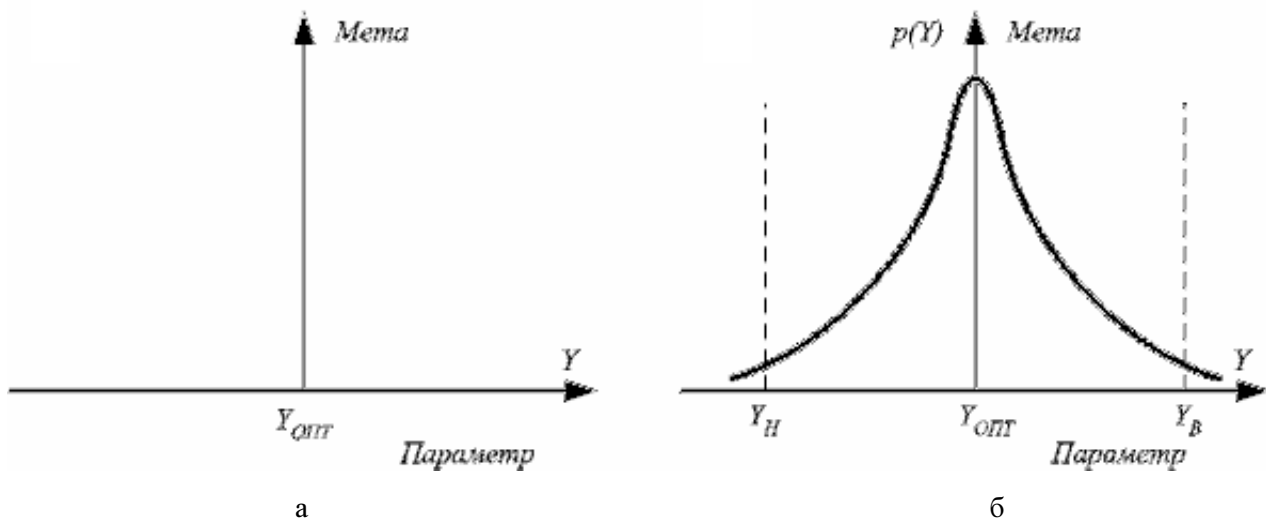
де Δ – похибка або невизначеність одержаного значення вихідного параметра системи Y .

На етапі “поліпшення” здійснюють поліпшення вхідних параметрів системи X_i для одержання очікуваного (бажаного) значення вихідного параметра Y , тобто поліпшують конкретні характеристики продукції. Потім ці характеристики діагностують, виявляють основні джерела змін і проводять ключові зміни в проекті системи якості.

На етапі “управління” документується остаточно розроблена система якості і здійснюється спостереження за нею за допомогою статистичних методів аналізу. Впроваджуються методи контролю системи якості і моніторинг виконання доказаних результатів. Залежно від отриманих результатів моніторингу системи якості можливе подальше її вдосконалення, тобто повернення до попередніх етапів процесу.

Досягнення мети в системі менеджменту якості на основі концепції “шість сигм” здійснюється за принципом СТQ – “critical – to – quality”, графічна інтерпретація якого зображена на рисунку. Теоретично мета системи менеджменту якості, тобто отримання оптимального значення показника якості Y чи його математичного сподівання, однозначно відповідає отриманому в бізнес-процесі значенню цього показника (рисунок, а). Однак реально значення будь-якого показника якості будь-якого бізнес-процесу (створення певних виробів, фінансових операцій чи надання послуг) є випадковою величиною, тобто його повторні значення $Y_j, j = 1, \dots, m$ завжди відрізняються між собою і завжди є певне розсіювання (дисперсія) реально отриманих значень показника якості Y_j навколо його математичного сподівання (рисунок, б).

Частота появи того чи іншого значення показника якості Y_j характеризується *густиною розподілу* його значень $p(Y)$ і на практиці відображається *нормальним законом розподілу* (розподілом Гаусса). Мірою розсіювання значень показника якості Y_j навколо його математичного сподівання є *стандартне відхилення* σ , причому чим менше значення σ , тим менше розсіювання і, відповідно, більша ймовірність отримання вищого значення показника якості.



Графічна інтерпретація мети системи менеджменту якості:
а – теоретична; б – реальна.

Формулювання цілей статті. Обґрунтування доцільності використання концепції “шість сигм” для менеджменту якості природного газу. Метою статті є аналіз сучасного стану оцінювання та нормування показників якості ПГ, формулювання на його основі актуальних задач, пов’язаних з вимірюванням показників якості ПГ, тобто задач *кваліметрії природного газу*, і, врешті-решт, визначення шляхів вирішення проблеми *менеджменту якості природного газу*.

Для розв’язання задач, означених вище, необхідно насамперед визначити стратегію побудови системи менеджменту якості природного газу. Обґрунтуємо доцільність використання для цього концепції “шість сигм” як базової.

Концепція “шість сигм” ґрунтується на прямій кореляції між числом дефектів продукції, збільшенням виробничих витрат і досягненням необхідних значень показників якості продукції. Загальною оцінкою системи є число дефектів на одиницю продукції на всіх стадіях технологічного процесу – від поставки сировини до готової продукції. При розсіюванні $\pm 6\sigma$ число дефектів дорівнює 3,4 на мільйон деталей.

Однак специфікою концепції “шість сигм” є те, що її методологія спрямована не стільки на самих дефектах, як на процесах їх виникнення і вилучення, тобто на зменшенні розсіювання очікуваних значень показників якості продукції. Інакше кажучи, “шість сигм” – це стратегічний підхід до вдосконалення бізнес-процесів будь-якого типу (створення певних виробів, фінансових операцій чи надання послуг), спрямований на виявлення і вилучення причин помилок чи дефектів у бізнес-процесах за допомогою контролю тих вихідних параметрів процесу, які мають визначальний вплив на якість вихідного продукту системи – виробів, фінансів чи послуг.

Тому автор вважає доцільним використати концепцію “шість сигм” для створення системи менеджменту якості природного газу.

Однак вирішити всі проблеми щодо створення системи менеджменту якості газу в межах однієї статті практично неможливо. Тому автор розглядає перші два етапи реалізації концепції “шість сигм” – Define (визначення) та Measure (вимірювання), а аналіз інших етапів потребує додаткового розгляду.

Основні завдання досліджень. Як видно із наведеного в п. 2.2 аналізу, на перших етапах реалізації концепції “шість сигм” ключовими завданнями є визначення найважливіших властивостей продукції – *природного газу*, які є основними щодо впливу на його якість, вибір методів і засобів їх вимірювань та визначення методики оцінювання рівня якості ПГ.

Ефективне розв’язання задач кваліметрії ПГ, як і кваліметрії взагалі, доцільно здійснювати на трьох рівнях: теоретичному, практичному та законодавчому.

Основними *теоретичними задачами* кваліметрії ПГ доцільно вважати такі:

- встановлення взаємозалежностей між фізико-хімічними властивостями та показниками якості ПГ;
- обґрунтування вибору, встановлення складу та систематизація показників якості ПГ;
- встановлення вимог до точності вимірювання показників якості ПГ;
- розроблення методики визначення рівня якості ПГ.

До *практичних задач* кваліметрії ПГ належать:

- розроблення методів вимірювань показників якості ПГ відповідно до необхідної точності;
- вибір засобів вимірювальної техніки (ЗВТ), необхідних для реалізації розроблених методів вимірювань показників якості ПГ;
- проведення необхідних вимірювань та визначення кількісних оцінок показників якості ПГ;
- визначення комплексних показників якості ПГ залежно від групи показників та потреб споживачів;
- створення профілю якості ПГ і порівняння його з базовим.

На *законодавчому рівні* потрібно розв'язати такі задачі:

- розроблення та впровадження необхідних нормативно-технічних документів (НТД) і стандартів для регламентації визначених показників якості ПГ;
- гармонізацію Державних стандартів України, які регламентують розв'язання поставлених вище задач, з відповідними Міжнародними стандартами.

Виклад основного матеріалу. Принципи систематизації показників якості природного газу. Природний газ, як і будь-яка інша продукція, має певні властивості. *Властивістю продукції* називають її об'єктивну особливість, яка може проявлятися під час розроблення, виготовлення, експлуатації або споживання продукції [7]. Предметом нашого розгляду будуть *показники якості* ПГ, які є кількісними оцінками однієї чи декількох його властивостей у разі використання газу як сировини в паливно-енергетичній та хімічній галузях промисловості.

Систематизуючи показники якості ПГ відповідно до концепції кваліметрії [11], розв'язали такі задачі:

- обґрунтовано вибір і встановлена номенклатура показників якості ПГ;
- встановлені залежності між показниками якості та властивостями ПГ, що характеризуються;
- зроблена класифікація показників якості ПГ, тобто встановлені групи показників якості та їх склад залежно від характеру розв'язуваних задач.

Поставлені задачі розв'язані на основі аналізу газу (газової суміші) як термодинамічної системи, термодинамічний стан якої визначається взаємодією всіх її властивостей – термічних та калориметричних [12]. До аналізу прийняті, насамперед, основні *термічні властивості* газу, до яких належать тиск, температура, об'єм, а також ізотермічний фактор стиснення. Також аналізували *калориметричні властивості* газу, які безпосередньо впливають на його енергоємність.

У разі встановлення номенклатури показників якості ПГ насамперед було проаналізовані ті його властивості, які входять до складу якості газу і забезпечують можливість оцінювання рівня його якості, зокрема, під час *транспортування, обліку та використання (споживання)* газу. Під час проведеного аналізу враховано призначення та умови використання ПГ, потреби споживачів та вимоги до показників якості, внаслідок чого було встановлено такі *групи показників якості* ПГ:

- показники призначення;
- показники технологічності;
- показники транспортабельності;
- екологічні показники;
- показники безпеки.

Здійснимо детальніший аналіз кожної групи показників якості ПГ, які наведені в таблиці.

Класифікація показників якості природних газів

№ з/п	Групи показників якості	Назва показників якості	Умовне позначення та розмірність
1	Показники призначення	<p><i>a) показники функціональної і технічної ефективності ПГ:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • питома об'ємна теплота згоряння вища • питома об'ємна теплота згоряння нижча • число Воббе • густина • відносна густина • відносна вологість • концентрація вуглекислого газу • концентрація азоту <p><i>a) показники складу і структури ПГ:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • молярна маса газу • компонентний склад газової суміші • об'ємна доля і-го компонента газової суміші • молярна доля і-го компонента газової суміші 	$H_B, \text{МДж/м}^3 \text{ (ккал/м}^3)$ $H_H, \text{МДж/м}^3 \text{ (ккал/м}^3)$ $W, \text{МДж/м}^3 \text{ (ккал/м}^3)$ $\rho, \text{кг/м}^3$ d $\varphi, \%$ $C_{CO_2}, \%$ $C_{N_2}, \%$ $M, \text{кг/моль}$ - $v_i, \%$ κ_i
2	Показники технологічності	<ul style="list-style-type: none"> • коефіцієнт стисливості • фактор стисливості • показник адіабати • концентрація вуглекислого газу • концентрація азоту • динамічна в'язкість • густина • відносна густина • маса механічних домішок в 1 м^3 • швидкість поширення ультразвуку 	K Z χ $C_{CO_2}, \%$ $C_{N_2}, \%$ $\mu, \text{мкПа} \cdot \text{с}$ $\rho, \text{кг/м}^3$ d $m_{ом}, \text{г}$ $u, \text{м/с}$
3	Показники транспортабельності	<ul style="list-style-type: none"> • фактор стисливості • масова концентрація сірководню • масова концентрація меркаптанової сірки • точка роси газу за вологою (вологість газу) • точка роси газу за вуглеводнями • маса механічних домішок в 1 м^3 	Z $n_{св}, \text{г/м}^3$ $n_{мс}, \text{г/м}^3$ $t_p, ^\circ\text{C}$ $t_b, ^\circ\text{C}$ $m_{ом}, \text{г}$
4	Екологічні показники	<ul style="list-style-type: none"> • число Воббе • масова концентрація сірководню • масова концентрація меркаптанової сірки 	$W, \text{МДж/м}^3 \text{ (ккал/м}^3)$ $n_{св}, \text{г/м}^3$ $n_{мс}, \text{г/м}^3$
5	Показники безпеки	<ul style="list-style-type: none"> • об'ємна частка кисню • інтенсивність запаху • маса механічних домішок в 1 м^3 	$v_k, \%$ $\zeta, \text{бал.}$ $m_{ом}, \text{г}$

Аналіз показників якості природного газу в системах менеджменту якості. Показники призначення. До цієї групи зараховані показники якості, які визначають призначення ПГ і зумовлюють галузь його використання. Показники призначення розділені на дві підгрупи: показники функціональної і технічної ефективності ПГ та показники складу і структури ПГ.

Показники функціональної і технічної ефективності ПГ характеризують, насамперед, його теплотворну здатність і вартість в паливно-енергетичному комплексі. Найважливішими з них є *питома об'ємна теплота згоряння, число Воббе, густина і вологість газу, а також вміст в газовій суміші вуглекислого газу та азоту.*

Питома об'ємна теплота згоряння H або теплотворна здатність газу – це кількість тепла, яке виділяється під час повного згоряння газу в повітрі за сталого тиску $p_{зг}$ і сталої температури

$T_{зг}$, зарахованого до об'єму сухого газу, визначеного за стандартних умов, тобто при тиску $p_C = 0,101325$ МПа і температури $T_C = 293,15$ К [13]. Розрізняють нижчу та вищу питому теплоту згорання. *Нижчу питому об'ємну теплоту згорання H_H* визначають за наявності водяної пари в продуктах згорання газу за температури $T_{зг}$, а *вищу об'ємну питому теплоту згорання H_B* – після повної конденсації водяної пари, яка міститься в продуктах згорання газу за температури $T_{зг}$.

Цей показник якості є особливо важливим для комунально-побутової сфери споживання ПГ. Зокрема, оцінюючи ПГ як енергоносії, визначають таку його характеристику, як *вміст енергії E* як добуток об'єму газу V на його нижчу питому об'ємну теплоту згорання H_H [14]:

$$E = VH_H. \quad (2)$$

Однак при цьому не враховується те, що навіть після осушування газ не є повністю вільний від вологи [6], тобто визначений за (2) вміст енергії газу E не є його реальним показником.

Число Воббе є основним показником якості ПГ, який характеризує процес згорання газу в побутових газових приладах. Значення числа Воббе визначає повноту згорання газу, тобто згорання без утворення сажі, смол, з мінімальним виділенням оксиду вуглецю, стабільність горіння без зриву і блисків полум'я.

Показники складу і структури ПГ характеризують компонентний склад газової суміші, об'ємну та молярну частку кожного компонента і є важливими у разі використання ПГ як сировини в хімічній промисловості.

Показники технологічності. Показники цієї групи характеризують ті властивості ПГ, які впливають на умови його обліку, використання та зберігання. Такими показниками є *фактор стисливості, коефіцієнт стисливості, показник адіабати, динамічна в'язкість та густина* газу, а також *швидкість поширення звуку* в ньому.

Фактор стисливості Z , який визначають як

$$Z = p\vartheta/R_T T, \quad (3)$$

де p – тиск, Па; $\vartheta = V/m$ – питомий об'єм, м³/кг; V – об'єм, м³; m – маса, кг; $R_T = R/M$ – індивідуальна газова стала цього газу, Дж/(кг·К); R – універсальна газова стала ($R = 8,31441 \pm 0,00026$ Дж/(моль·К)); M – молярна маса газу, кг/моль; T – абсолютна температура, К. Фактор стисливості Z є термодинамічною характеристикою газового середовища. Зміну фактора стисливості газу залежно від його температури і тиску визначають за допомогою рівняння стану неідеального газу [12], обмежившись першими двома членами розкладу:

$$Z = 1 + \frac{B(T)}{R_T T} p. \quad (4)$$

де $B(T)$ – перший віріальний коефіцієнт, м³/кг.

Для ідеального газу $Z=1$. Фактор стисливості газу Z враховують під час проектування та експлуатації газо-транспортних магістралей, зокрема, при розрахунках розподілу тиску газу по довжині похилого газопроводу. *Коефіцієнт стисливості K* газу (або суміші газів) – це відношення фактора стисливості Z цього газу в робочих умовах до його фактора стисливості Z_C за стандартних умов, тобто за тиску p_C і температури T_C :

$$K = Z / Z_C. \quad (5)$$

Коефіцієнт стисливості газу K , а також вміст в газовій суміші вуглекислого газу та азоту, враховують в системах вимірювання витрати ПГ [3].

Показник адіабати (ізоентропи), який дорівнює $\chi = C_p/C_v$ (тут C_p та C_v – молярні теплоємності газу відповідно за сталого тиску та сталого об'єму), є термодинамічною характеристикою газового середовища (газу чи суміші газів), яка відображає процес без теплообміну газового середовища із довкіллям. Показник адіабати також враховують у системах вимірювання витрати газу методом змінного перепаду тиску під час визначення поправного множника ε на зміну густини ПГ за рахунок його розширення на пристрої звуження потоку.

Динамічна в'язкість μ є реологічною характеристикою газового середовища, яка відображає його опір протіканню під дією зовнішніх сил, тобто характеризує внутрішнє тертя в газовому середовищі. Кількісно динамічну в'язкість визначають як дотичну силу, яку потрібно прикласти до одиниці площі шару газу, що зсувається, необхідну для підтримання в цьому шарі процесу протікання зі сталою швидкістю відносного зсуву, яка дорівнює одиниці.

Показники транспортабельності. До цієї групи зараховані показники якості ПГ, які характеризують його пристосованість до транспортування, зокрема, вплив газу на магістралі, якими він передається до споживачів. Важливість показників цієї групи визначається тим, що витрати на транспортування газу істотно перевищують витрати на його видобування. Такими показниками є *масова концентрація сірководню та меркаптанової сірки, точка роси газу за вологою (вологість газу), точка роси газу за вуглеводнями і наявність механічних домішок.* Наявність в газовій суміші сірководню та меркаптанової сірки сприяє розвитку процесів корозії внутрішньої поверхні газопроводів, арматури та апаратів, що призводить до їх зношування. *Наявність вологи* в газі спричиняє утворення кристалогідратів та сприяє розвитку процесів корозії газопроводів, порушує роботу автоматики, особливо в зимовий період. *Наявність в газі крапельної вологи та вуглеводнів не допускається.* *Механічні домішки,* зокрема, мінеральні частинки смоли, продукти корозії, металеві частинки тощо, також призводять до передчасного зношування газопроводів та компресорних агрегатів, засмічування контрольно-вимірювальних приладів і, відповідно, зниження надійності роботи газотранспортних систем.

Екологічні показники. Показники цієї групи характеризують шкідливий вплив ПГ на довкілля, який проявляється, зокрема, у шкідливих викидах в атмосферу при його транспортуванні, зберіганні та споживанні. Такими показниками є *число Воббе,* яке, як зазначено в п. 4.2.1, визначає повноту згоряння газу, тобто згоряння без утворення сажі і смол та з мінімальним виділенням оксиду вуглецю, та *масова концентрація сірководню і меркаптанової сірки,* наявність яких у газовій суміші призводить до забруднення приміщень токсичними продуктами під час її спалювання.

Показники безпеки. До цієї групи зараховані показники якості ПГ, які характеризують безпеку споживачів та обслуговуючого персоналу під час добування, транспортування, зберігання і споживання газу. Такими показниками є *об'ємна частка кисню, наявність механічних домішок та інтенсивність запаху.* *Кисень* в газових родовищах зазвичай відсутній, однак його можна внести в газопровід із атмосфери у разі недостатнього продування газопроводів, вводу їх у дію після будівництва або ремонтно-відновлювальних робіт, що становить небезпеку, оскільки наявність кисню в горючому газі призводить до створення пожежо- та вибухонебезпечних сумішей. *Інтенсивність запаху газу* є важливою умовою під час використання його для комунально-побутових потреб. Небезпека зумовлюється можливістю утворення вибухо-небезпечних сумішей у разі попадання газу в повітряне середовище приміщень. Для своєчасного виявлення газу в атмосфері йому надається специфічний запах одоризацією меркаптановими сполуками.

Методика вимірювання показників якості природного газу. Згідно з ДСТУ 2681-94 [15], *вимірювання* – це відображення вимірюваних величин їх значеннями за допомогою експерименту та обчислень спеціальними технічними засобами.

Отриману за допомогою вимірювання числову оцінку розміру вимірюваної величини X називають *результатом вимірювання x ,* а різницю між ними – *абсолютною похибкою Δx ,* тобто

$$\Delta x = x - X \quad (6)$$

Отже, на практиці між результатом вимірювання x та істинним значенням вимірюваної величини X завжди існує різниця, яку намагаються мінімізувати, тобто добитися виконання умови, що $x = X$.

Цю задачу розв'язують так. Під час вимірювання вимірювану величину X порівнюють із зразковою величиною x_N , яка відтворюється багатозначною мірою або вимірювальним приладом. Змінюючи зразкову величину x_N , добиваються того, щоб різниця між x_N та X $\Delta x_N = x_N - X = 0$, тобто виконання умови $X = x_N$. Тоді за результат вимірювання приймають значення x_N , відтворене мірою.

Для аналізу цього процесу вибирають деяку функцію $\rho(X, x_N)$, яка дорівнює нулю за умови $X = x_N$, тобто

$$\rho(X, x_N) = 0 \Rightarrow x_N = X \quad (7)$$

Функція $\rho(X, x_N)$ є невід'ємною функцією різниці $|\Delta x_N|$, тобто

$$\rho(X, x_N) = \rho(|\Delta x_N|) \geq 0, \quad (8)$$

причому вона є симетричною стосовно аргументів X та x_N .

Функція $\rho(X, x_N)$ є також монотонною функцією аргументу $|\Delta x_N|$, тобто вона має лише один екстремум (мінімум) при $X = x_N$, причому її значення в точці мінімуму дорівнює нулю.

Отже, для діапазону вимірювання D процес вимірювання можна описати рівнянням

$$x = \underset{x_N \in D}{\operatorname{arg\,min}} \rho(|x_N - X|), \quad (9)$$

Рівняння (9) означає, що результат вимірювання x визначають як таке значення аргументу x_N (позначення arg) функції $\rho(|X - x_N|)$, яке відповідає мінімуму цієї функції.

У математиці такою функцією є *метрика*, яка являє собою невід'ємну, однозначну, дійсну функцію ρ на множині D , визначену для будь-якої пари точок x та y з D ($x, y \in D$), і яка задовольняє певні умови (аксіоми).

Методика визначення рівня якості природного газу. Відповідно до ДСТУ 2925-94 [7], *рівень якості продукції* – це відносна характеристика якості продукції, яка ґрунтується на порівнянні значень оцінюваних показників якості продукції з базовими значеннями відповідних показників. Безпосереднє оцінювання рівня якості продукції в кваліметрії зазвичай здійснюють *комплексним методом* за одним із двох узагальнених показників якості – комплексним показником якості або профілем якості [11].

Оцінювання рівня якості природного газу доцільно здійснювати за *профілем якості*. Це обумовлено прийнятим в п. 4.1. принципом систематизації показників якості природного газу, за яким всі показники якості поділені за групами призначення (див. таблицю) і який забезпечує повне врахування потреб споживачів газу різного профілю.

Профіль якості газу Π формуємо як сукупність комплексних показників якості P_j , $j = 1, 2, \dots, n$, визначених для кожної із n груп одиничних показників (в нашому випадку $n = 5$):

$$\Pi = \{P_1, P_2, P_3, P_4, P_5\}. \quad (10)$$

Комплексний показник якості P_j в кожній із груп визначаємо як середнє зважене із одиничних показників якості за формулою

$$P_j = \sum_{i=1}^m P_{ji} \mathcal{G}_i, \quad (11)$$

де P_{ji} – значення i -го одиничного абсолютного показника якості j -ї групи показників; m – число одиничних показників j -ї групи; \mathcal{G}_i – параметр вагомості показника P_{ji} .

Числові значення одиничних показників якості P_{ji} визначаємо експериментально вимірюванням відповідних фізико-хімічних показників газу за шкалами інтервалів чи відношень [16], а параметрів їх вагомості \mathcal{G}_i – методом граничних і номінальних значень [11], який оснований на нормуванні гранично-допустимих значень відповідних показників якості газу. Розмірність параметрів вагомості \mathcal{G}_i є оберненою до розмірності відповідних одиничних показників якості P_{ji} .

Визначення рівня якості ПГ здійснюємо порівнянням профілю якості Π досліджуваного газу, отриманого за описаною вище методикою, з різними базовими профілями якості

газу P_{Bk} . Базові профілі якості P_{Bk} формуємо теоретичними розрахунками з врахуванням відповідних потреб k -го споживача ПГ.

Вибір методики реалізації процедури порівняння профілів якості P і P_{Bk} , тобто порівняння відповідних комплексних показників якості P_j з подальшим аналізом отриманих даних, здійснюємо з таких міркувань. Оскільки метою роботи є розроблення засад побудови системи менеджменту якості природного газу, то визначення рівня його якості не є кінцевою задачею процесу, а лише проміжною ланкою, на якій отримуємо необхідну інформацію для подальшої реалізації концепції “шість сигм”, тобто після процедури “вимірювання” необхідно виконати процедуру “оптимізація”. Процедуру “вимірювання” реалізуємо за схемою: сталий (фіксований) емпіричний об’єкт – змінна (керована) модель, а процедуру “оптимізація” – за схемою: змінний (керований) емпіричний об’єкт – стала (фіксована) модель.

Враховуючи ці міркування для порівняння профілів якості P і P_{Bk} використовуємо метрику порівняння, яка являє собою функцію $\rho(x, y)$ двох точок (елементів) x, y , які незалежно одна від одної перебігають деяку множину D евклідового простору, і така, що задана відстань між точками x, y [17]. Точками “ x ” в нашому випадку є параметри профілю якості P досліджуваного газу, а точками “ y ” – параметри відповідного базового профілю якості P_{Bk} .

Метрика $\rho(x, y)$ узагальнює поняття відстані між точками евклідового простору в тому розумінні, що, як і в евклідовому випадку, має (за значенням) такі властивості:

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

Інформація, отримана за результатами цього порівняння, є вхідною інформацією етапу Analyze (аналіз) концепції “шість сигм”, однак розгляд цього питання виходить за межі цієї статті.

Основні результати проведених досліджень. Внаслідок проведених досліджень встановлено, що існуюча система оцінювання якості ПГ не забезпечує повністю потреб споживачів газу різного профілю, наприклад, комунальників чи працівників хімічної промисловості, не дає можливості визначення комплексних показників якості природного газу залежно від сфер його використання і не відповідає сучасним вимогам до контролю якості продукції, зокрема вимогам ДСТУ ISO 9001-2001 [9]. В існуючих стандартах та інших НТД, які регламентують вимоги до нормування основних фізико-хімічних показників природного газу, не охоплені всі показники якості ПГ, які відображені в таблиці, а також недостатньо регламентовані вимоги до методів визначення цих показників та необхідної точності вимірювань, тобто вимоги до метрологічного забезпечення вимірювання якості ПГ.

Очевидно, що такий стан кваліметрії ПГ не дає змогу створення комплексних систем менеджменту якості газу на сучасному рівні.

Запропонована автором систематизація показників якості ПГ за групами залежно від розв’язуваних задач дає можливість комплексного оцінювання якості газу, а також відкриває шляхи до розв’язання теоретичних і практичних задач кваліметрії природного газу, сформульованих в п. 3.2, зокрема, до встановлення вимог щодо точності визначення показників якості ПГ та вибору методів і необхідних засобів вимірювальної техніки для їх вимірювання. Фактично, це надає можливість не лише точніше вимірювати показники якості природного газу, але й впливати на їх значення, тобто створення системи менеджменту якості газу на сучасному рівні.

Висновки та перспективи подальших досліджень. 1. Впровадження системи менеджменту якості природного газу на основі концепції “шість сигм” за принципом СТQ – “critical – to – quality” потребує насамперед визначення основних характеристик метрики СТQ, тобто встановлення

найважливіших властивостей природного газу, які є основними щодо впливу на його якість, та вибір методів і засобів їх вимірювань, тобто фактично розв'язання задач кваліметрії природного газу.

2. Запропонована систематизація показників якості природного газу дає можливість визначення комплексних показників якості в окремих групах та розроблення єдиних принципів оцінювання якості і менеджменту якості газу і, тим самим, повніше враховувати потреби споживачів газу різного профілю.

3. Перехід до комплексної системи оцінювання і менеджменту якості природного газу потребує створення нової законодавчої бази для регламентації вимог до показників якості природного газу.

4. Ефективне впровадження комплексної системи оцінювання якості і менеджменту якості природного газу потребує відповідного вдосконалення метрологічного забезпечення вимірювань показників якості газу та створення нових нормативно-технічних документів, які регламентують точність вимірювань показників якості природного газу.

1. Швец В.Е. Менеджмент качества в системе современного менеджмента // Стандарты и качество. – 1997. – № 6. – С. 48–50. 2. Иванова Г.Н. Использование процессного подхода в системе менеджмента качества // Методы менеджмента качества. – 2001. – № 9. – С. 14–17. 3. Стадник В.В., Йохна М.А. Інноваційний менеджмент: Навч. посібник. – К.: Академвидав, 2006. – 464 с. 4. ГОСТ 5542-87. Газы горючие для промышленного и коммунально-бытового назначения. Технические условия. 5. ТУ У 320.00158764.007-95. Газы горючі природні, що подаються в магістральні газопроводи. Технічні умови. 6. Стадник В., Мотало А., Мотало В., Петровська І. Теоретичні та практичні задачі кваліметрії природного газу // Метрологія та вимірювальна техніка. – 2005. – Вип. 65. – С. 81–86. 7. ДСТУ 2925-94. Якість продукції. Оцінювання якості. Терміни та визначення. 8. Свиркин М.З. От семейства стандартов ISO 9000 к всеобщему менеджменту качества // Стандарты и качество. – 1997. – № 9. – С. 43–47. 9. ДСТУ ISO 9001-2001. Системи управління якістю. Вимоги. 10. Сомов А. Шість сигм – стратегія прориву // Стандартизація, сертифікація, якість. – 2001. – № 4. – С. 36–38. 11. Азгальдов Г.Г., Райхман Э.П. О кваліметрії. – М.: Изд-во стандартов, 1973. – 172 с. 12. Шпильрайн Э.Э., Кессельман П.М. Основы теории теплофизических свойств веществ. – М.: Энергия, 1977. – 248 с. 13. ГОСТ 30319.0-96. Газ природный. Методы расчета физических свойств. Общие положения. 14. Гордієнко А.І., Богомолець., Чуб М.В. До питання переходу на облік природного газу як енергоносія // Нафтова і газова промисловість. – 2001. – № 3. – С. 42–43. 15. ДСТУ 2681-94. Метрологія. Терміни та визначення. 16. Хованов Н.В. Математические основы теории шкал измерения качества. – Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1982. – 186 с. 17. Дэйвисон М. Многомерное шкалирование: Методы наглядного представления представления данных / Пер. с англ. В.С. Каменского. – М.: Финансы и статистика, 1988. – 254 с.