

УДК 533.1:662.76:658.56

Нач. відділу А.В. Мотало¹, канд. техн. наук;
проф. Б.І. Стадник², д-р техн. наук; доц. В.П. Мотало², д-р техн. наук

АНАЛІЗ ОСНОВНИХ ПРОБЛЕМ МЕТОДОЛОГІЇ ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ ВУГЛЕВОДНЕВИХ ГАЗІВ

Розглянуто і проаналізовано проблематику розвитку сучасної газової кваліметрії. Проаналізовано та означено теоретичні, практичні і нормативно-методологічні задачі оцінювання якості різних видів вуглеводневих газів – природних, зріджених та скраплених (нафтових) газів. Розроблено методику визначення рівня якості природного газу як джерела енергії, яка ґрунтується на методології кваліметричних вимірювань з урахуванням компонентного складу газу і всіх його фізико-хімічних властивостей, що впливають на теплотворну здатність газу і зміст енергії в ньому.

Ключові слова: вуглеводневі гази, властивості вуглеводневих газів, теплотворна здатність природного газу, компоненти природного газу, кваліметричні вимірювання, рівень якості природного газу.

Вступ. Вуглеводневі гази (ВГ) – це суміші природних аліфатичних вуглеводнів різної будови, які знаходяться у порях і пустотах гірських порід, розчинені у нафті і пластових водах або розсіяні у ґрунті. Завдяки своїй енергетичній та хімічній цінності ВГ, поза всяким сумнівом, належать до стратегічних видів сировини, що зумовило їх широке використання як у комунально-побутовій сфері, так і в багатьох галузях промисловості, а також привернуло велику увагу спеціалістів різного профілю до газів як до об'єкта дослідження [1-4]. Важливість газового аналізу сьогодні підкреслюється тим, що такі питання, як об'єми використання ВГ, ціна та можливості постачання газу від джерел добування до споживачів стали елементами міжнародної політики. Одними із ключових і актуальних питань у цьому аналізі є вимоги до якості ВГ та потреба встановлення ціни на газ залежно від його енергетичної цінності, що, водночас, потребує досконалих і достовірних методик визначення якості ВГ [2]. Однак незважаючи на велику увагу дослідників до питання оцінювання якості ВГ у сучасної газової кваліметрії, є низка як теоретичних проблем, так і проблем метрологічного та нормативно-технічного забезпечення оцінювання якості газу. Зокрема, під час встановлення ціни на газ його якість не враховують зовсім. Це зумовлене низкою причин, аналіз і шляхи вирішення яких є предметом розгляду цієї роботи.

Мета роботи та основні завдання досліджень. Методика оцінювання якості ВГ повинна бути комплексною і враховувати співвідношення таких найважливіших його характеристик, як калорійність (теплотворна здатність), вологість, густина, компонентний склад, наявність і кількість негорючих та шкідливих компонентів. Також доцільно здійснювати сортування газу за якістю і встановлювати відповідну ціну на газ залежно від його енергетичної цінності. Для цього потрібно, насамперед, розробити методику об'єктивного оцінювання якості ВГ як джерела енергії і ввести відповідні зміни до нормативних документів (НД) щодо якості газу.

Мета роботи – проаналізувати проблематику газової кваліметрії та розробити методику комплексного оцінювання якості газу як джерела енергії.

Основними завданнями досліджень є:

- вибір концепції оцінювання якості природного газу як джерела енергії;
- аналіз впливу фізико-хімічних властивостей природного газу на його енергетичну цінність і вибір номенклатури показників для визначення рівня якості газу як джерела енергії;
- розроблення методики визначення рівня якості природного газу як джерела енергії.

Аналіз сучасного стану та основних проблем оцінювання якості вуглеводневих газів. Найперше варто зазначити, що саме поняття "якість" стосовно ВГ не є чітко означене в чинних сьогодні в Україні нормативних документах (НД). В більшості європейських країн основною якісною характеристикою природного газу є число Воббе, яке є функцією калорійності і відносної густини газу. Згідно із чинним стандартом ISO 13686:1998 [5], природні гази розділені за числом Воббе на дві групи (два сорти): Н-газ та L-газ. Для Н-газу межі числа Воббе становлять 48,36...57,87 МДж/м³, а для L-газу – 41,28... 47,38 МДж/м³. Водночас, зазначені групи поділяють на підгрупи, залежно від яких встановлюють ціну на газ для побутових споживачів. Наприклад, у Німеччині природний газ групи Н поділяють на підгрупи E та E_s, а газ групи L – на підгрупи E₁ та LL, у Франції таких підгруп є вісім – E₁, ..., E₄ та L₁, ..., L₄.

В Україні практично єдиним критерієм якості природного газу сьогодні є його вологість, яка у чинних НД [6, 7] відображена температурою точки роси газу за вологою (або просто "точкою роси") Θ_p , °C і характеризує транспортну кондиційність газу та його здатність забезпечувати безаварійне функціонування систем газопостачання. Також у чинних в Україні НД не передбачено диференціації вимог до якості газу.

За результатами аналізу літературних джерел та чинних НД [8-12] з'ясовано, що вуглеводневі гази, що сьогодні використовуються у національному господарстві України, залежно від їх агрегатного стану та умов використання, можна поділити на такі види: природні вуглеводневі гази; зріджені вуглеводневі гази; скраплені вуглеводневі гази.

Природні вуглеводневі гази або природні гази (ПГ) (англ. – *natural gas* або *NG*) – це, власне, природна суміш різних газових компонентів, які перебувають у газоподібному агрегатному стані. ПГ, залежно від компонентного складу, поділяють на *сухі*, які складаються переважно із метану (від 90 % і більше), та *жирні*, в яких хоч метан також є основним компонентом, але, крім нього, є багато важких вуглеводнів, зокрема, етан, пропан, бутан і пентан. Сухі ПГ, водночас, поділяють на гази із чисто газових родовищ і гази із вугільних родовищ, які відрізняються від перших відсутністю в них важких вуглеводнів і підвищеним вмістом азоту та вуглекислого газу. ПГ широко використовують як у побуті, так і в багатьох галузях промисловості.

Зріджений вуглеводневий газ (ЗВГ) (англ. – *liquefied natural gas* або *LNG*) – це природний вуглеводневий газ, який за нормальних значень тиску і температури навколишнього середовища ($p_c = 0,101325$ МПа, $t_c = 20$ °C) перебу-

¹ ГПУ "Львівгазвидобування";

² НУ "Львівська політехніка"

ває в газоподібному стані, але в разі пониження температури до $t = -160\text{ }^{\circ}\text{C}$ і підвищення тиску переходить у рідинний стан, що полегшує його зберігання й перевезення. Під час зрідження об'єм природного газу зменшується у 600 разів. У сучасних умовах дослідження у сфері газометрії ЗВГ є особливо актуальними, оскільки транспортування ЗВГ не потребує стаціонарних газопроводів.

Скrapлений вуглеводневий газ (СВГ) (англ. – *liquefied petroleum gas* або *LPG*) – пропан-бутанова газова суміш, яка за нормальних значень тиску і температури навколишнього середовища ($p_c = 0,101325\text{ МПа}$, $t_c = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$) перебуває в газоподібному стані, але за певної зміни умов: незначному збільшенні тиску і сталій температурі або незначному зниженні температури і сталому тиску переходить у рідинний стан. Сировиною для виготовлення СВГ є попутні нафтові гази та гази процесів стабілізації нафти і конденсату, а також, невеликою мірою, природні гази, а основними компонентами СВГ є пропан і бутан. СВГ має широку сферу використання – у комунально-побутовому споживанні, як паливо для двигунів внутрішнього згоряння, як сировина хімічної промисловості тощо.

Незважаючи на певні відмінності між різними видами ВГ, оцінювання їх якості доцільно здійснювати на основі узагальненої методології. Методика визначення якості ВГ має бути комплексною і враховувати співвідношення таких найважливіших його характеристик, як калорійність (теплотворна здатність), вологість, густина, компонентний склад, наявність і кількість негорючих і шкідливих компонентів тощо. Також доцільно здійснювати сортування газу за рівнем якості та встановлювати відповідну ціну на газ залежно від його енергетичної цінності.

На основі аналізу чинних стандартів і інших НД, в яких регламентовано вимоги до фізико-хімічних властивостей ВГ та до методик їх визначення [6, 11-12], а також інших літературних джерел щодо властивостей ВГ встановлено структуру проблематики теоретичних засад і нормативно-технічного забезпечення визначення якості ВГ і розроблено методологію їх розв'язання, тобто сформульовано основні завдання сучасної кваліметрії вуглеводневих газів. Ефективне вирішення задач кваліметрії ВГ, як і кваліметрії загалом, доцільно здійснювати на трьох рівнях: теоретичному, практичному та законодавчому.

Основними *теоретичними задачами* кваліметрії ВГ вважаються такі:

- удосконалення поняттєво-термінологічного забезпечення у галузі газової кваліметрії з метою однозначного розуміння й трактування задач щодо визначення якості ВГ;
- обґрунтування вибору, встановлення складу та систематизація показників якості ВГ;
- розроблення теоретичних основ методології комплексного оцінювання якості ВГ та розроблення методики визначення рівня якості досліджуваного ВГ;
- розроблення методики оцінювання точності отриманих оцінок рівня якості досліджуваного ВГ з метою забезпечення єдності кваліметричних вимірювань у газометрії;

До *практичних задач* кваліметрії ВГ відносять:

- розроблення методів вимірювань показників якості ВГ відповідно до необхідної точності;
- вибір засобів вимірювальної техніки (ЗВТ), потрібних для реалізації розроблених методів вимірювань показників якості ВГ;
- розроблення програмного забезпечення для автоматизації проведення досліджень щодо визначення рівня якості досліджуваного ВГ.

На *законодавчому рівні* потрібно вирішити такі задачі:

- розроблення й впровадження потрібних НД (стандартів, технічних регламентів, методик тощо) для регламентації вимог щодо показників якості ВГ та методик їх визначення;
- гармонізацію Державних стандартів України, які регламентують вирішення поставлених вище задач, з відповідними Міжнародними стандартами.

Аналіз та систематизація показників якості природного газу як джерела енергії і вибір номенклатури показників для визначення рівня якості природного газу як джерела енергії. Із проведеного аналізу літературних джерел [1-4, 8-10] і НД [5-7, 11, 12] та з урахуванням аналізу, проведеного в [13], встановлено основні фізико-хімічні властивості газу, які характеризують його якість як джерела енергії. За характером впливу на теплотворну здатність газу показники поділено на дві групи.

До *першої групи* увійшли показники газу, що позитивно впливають на його теплотворну здатність, тобто на рівень якості газу Q як джерела енергії: питома теплота згоряння нижча H_H , МДж/м³; число Воббе B , МДж/м³; густина ρ , кг/м³. До *другої групи* увійшли показники газу, збільшення значень яких призводить до зниження рівня якості газу Q як джерела енергії: абсолютна вологість W , г/м³; концентрація азоту C_{N_2} , %; концентрація вуглекислого газу C_{CO_2} , %; масова концентрація сірководню C_{H_2S} , г/м³; масова концентрація меркаптанової сірки C_{CH_4S} , г/м³. Сірководень C_{H_2S} хоч і є горючим, але отруйним і корозійно-активним компонентом, віднесено до другої групи показників якості газу.

Методика визначення рівня якості газу як джерела енергії. Вирішення зазначених вище завдань газової кваліметрії доцільно здійснити за методологією кваліметричних вимірювань [13]. Вибір цієї концепції створення методики визначення якості ВГ зумовлений такими міркуваннями. Кваліметричні вимірювання – непрямі вимірювання рівня якості продукції, значення якого знаходять шляхом опрацювання результатів вимірювань її властивостей за методологією багатовимірної шкалювання. Рівень якості продукції – відносна характеристика якості продукції, яка ґрунтується на порівнянні значень *оцінюваних* показників якості продукції з *базовими* значеннями відповідних показників. *Оцінювані* показники якості продукції знаходять експериментальним або розрахунковим способом під час порівняльного оцінювання її якості. Числові значення *базових* показників якості встановлюють згідно з ДСТУ ГОСТ ISO 5725-1:2005 "Точність (правильність) і прецизійність методів і результатів вимірювання. Частина 1. Основні положення та визначення" як прийняте *еталонне значення* (англ. – *accepted reference value*) – значення, яке використовують як узгоджений еталон для порівняння.

Рівень якості досліджуваного газу Q визначаємо за формулою

$$Q = 1 - \Delta P \text{ або } Q = (1 - \Delta P) \cdot 100 \%, \quad (1)$$

де ΔP – значення функції відхилення, яке, відповідно до методології кваліметричних вимірювань [13], обчислюємо за формулою

$$\Delta P = \sqrt{\sum_{i=1}^n (K_{oz,i} - K_{bz,i})^2} = \sqrt{\sum_{i=1}^n m_i^2 (K_{oz,i} - K_{bz,i})^2}, \quad (2)$$

де: $K_{oz,i}$ і $K_{bz,i}$ – одиничні відносні оцінювані та базові показники якості досліджуваного газу ($i = 1, 2, \dots, n$, де $n = 8$ – кількість показників якості); $K_{oz,i}$ і $K_{bz,i}$ – зважені одиничні відносні оцінювані та базові показники якості досліджуваного газу; m_i – нормалізовані коефіцієнти вагомості одиничних показників якості досліджуваного газу, тобто $\sum_{i=1}^n m_i = 1$.

Отже, значення рівня якості досліджуваного газу Q , визначеного за розробленою методикою, змінюється від 0 до 1 або від 0 до 100 %, що є зручним і методологічно обґрунтованим для практичного використання. Крім оцінювання якості газу, запропонована методика дає змогу здійснювати сортування газу за рівнем його якості і, відповідно, встановлювати різну ціну на нього.

Отже, методологія кваліметричних вимірювань дає змогу визначити рівень якості ВГ, що є комплексною оцінкою його якості, з урахуванням усіх чинників, що впливають на якість газу, тобто всіх його фізико-хімічних властивостей газу та компонентного складу. За методологією кваліметричних вимірювань вирішено одну з актуальних задач газової кваліметрії, а саме визначення рівня якості ПГ як джерела енергії.

Висновки:

1. Неухильне зростання світових цін на природний газ ставить підвищені вимоги до його якості та до методики оцінювання якості газу, однак незважаючи на високу енергетичну та хімічну цінність газу, в Україні не вироблено систематизованого підходу до оцінювання його якості.
2. Розв'язування задач сучасної газової кваліметрії доцільно здійснювати комплексно на трьох рівнях: теоретичному, практичному та нормативно-методологічному.
3. Розроблена методика визначення рівня якості природного газу як джерела енергії, яка ґрунтується на методології кваліметричних вимірювань з урахуванням компонентного складу газу і всіх його фізико-хімічних властивостей, що впливають на теплотворну здатність газу і зміст енергії в ньому, може бути використана у газовій промисловості України.

Література

1. Гордієнко А.І. До питання переходу на облік природного газу як енергоносія / А.І. Гордієнко, І.Г. Богомолець, М.В. Чуб // Нафтова і газова промисловість : зб. наук. праць. – 2001. – № 3. – С. 42–43.
2. Стадник Б.І. Теоретичні та практичні задачі кваліметрії природного газу / Б.І. Стадник, А.В. Мотало, В.П. Мотало, І.С. Петровська // Вимірювальна техніка та метрологія : зб. наук. праць. – 2005. – Вип. 65. – С. 81–86.

3. Козій В.М. Якість газу родовищ України / В.М. Козій, А.І. Лур'є, І.А. Рубанова // Питання розвитку газової промисловості України : зб. наук. праць УкрНДІгаз. – 2000. – Вип. 28. – С. 66–68.
4. Лур'є А.І. Перспективи переходу газової галузі України на облік природного газу за його енергетичною цінністю / А.І. Лур'є, О.В. Хвостова, Я.Б. Наконечний // Питання розвитку газової промисловості України : зб. наук. праць УкрНДІгаз. – 2008. – Вип. 36. – С. 173–177.
5. International standard Natural gas – Quality designation: ISO 13686:1998. – [Введений 01.01.83]. – Женева : Вид-во "Міжнар. організація зі стандартизації", 1983. – 49 с.
6. Газы горючие для промышленного и коммунально-бытового назначения. Технические условия: ГОСТ 5542-87. – [Дата введения 01.01.88]. – М. : Изд-во стандартов, 1987. – 4 с. – (Государственный стандарт Союза ССР).
7. Газы горючие природные, що подаються в магістральні газопроводи. Технічні умови: ТУ У 11.1 20077720-001:2010 – [Чинні від 07-06-2010]. – К. : Вид-во "Держспоживстандарт України", 2010. – 11 с. – (Технічні умови).
8. Стаскевич Н.І. Справочник по сжиженным углеводородным газам / Н.І. Стаскевич, Д.Я. Вигдорчик. – Л. : Изд-во "Недра", 1986. – 543 с.
9. Рябцев Н.И. Сжиженные углеводородные газы / Н.И. Рябцев, Б.Г. Кряжев. – М. : Изд-во "Недра", 1977. – 280 с.
10. Рачевский Б.С. Сжиженные углеводородные газы / Б.С. Рачевский. – М. : Изд-во "Нефть и газ", 2009. – 640 с.
11. Газы углеводневі скраплені паливні для комунально-побутового споживання. Технічні умови: ДСТУ 4047-2001. – [Чинний від 2002-01-01]. – К. : Вид-во "Держстандарт України", 2001. – 12 с. – (Державний стандарт України).
12. Газы углеводородные сжиженные. Метод определения углеводородного состава: ГОСТ 10689-76. – [Дата введения 01.01.77]. – М. : Изд-во стандартов, 1976. – 15 с. – (Государственный стандарт Союза ССР).
13. Мотало А.В. Определение качества природного газа как источника энергии по методологии кваліметрических измерений / А.В. Мотало, В.П. Мотало // Мир измерений : сб. науч. тр. – 2014. – № 5. – С. 37–44.

Мотало А.В., Стадник Б.І., Мотало В.П. Анализ основных проблем методологии оценивания качества углеводородных газов

Рассмотрена и проанализирована проблематика развития современной газовой кваліметрии. Проанализированы и обозначены теоретические, практические и нормативно-методологические задачи оценивания качества различных видов углеводородных газов – природных, сжиженных и сжиженных (нефтяных) газов. Разработана методика определения уровня качества природного газа как источника энергии, которая базируется на методологии кваліметрических измерений с учетом компонентного состава газа и всех его физико-химических свойств, влияющих на теплотворную способность газа и содержание энергии в нем.

Ключевые слова: углеводородные газы, свойства углеводородных газов, теплотворная способность природного газа, компоненты природного газа, кваліметрические измерения, уровень качества природного газа.

Motalo A.V., Stadnyk B.I., Motalo V.P. The Analysis of the Main Problems of the Methodology of Evaluation of the Hydrocarbon Gases Quality

Some main problems of modern gas quality control are reviewed and analyzed. Theoretical, practical and also regulatory and methodological problems of evaluation of different types of hydrocarbon gases such as natural, liquefied and petroleum gases are highlighted. The method of determining of the natural gas quality level as an energy source is developed. The method is based on qualimetric measurements methodology and considers all components of gas composition and its physical and chemical properties that influence the calorific value of its gas and energy content.

Keywords: hydrocarbon gases, properties of hydrocarbon gases, calorific value of natural gas, natural gas components, qualimetric measurements, natural gas quality level.