

ВПЛИВ КОМПОНЕНТНОГО СКЛАДУ ПРИРОДНОГО ГАЗУ НА ЙОГО ЯКІСТЬ

І.І. Височанський, В.П. Гоцуляк

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15,
e-mail: snp@pung.edu.ua

Розглядаються аспекти проблеми оцінювання енергетичних характеристик природних газів. Показано, що для оцінки природного газу як палива найбільш доцільно використовувати його теплотворну здатність, яка фізично залежить від ряду факторів, зокрема компонентного складу, вологості, наявності негорючих та агресивних інгредієнтів. Виконано аналіз впливу фізичних факторів на величину нижчої теплотворної здатності вуглеводневих газів. Дано оцінку впливу кожного з факторів на енергоефективність природного газу як суміші вуглеводневих і негорючих компонентів. Запропоновано методика оцінювання енергоефективності природного газу, зроблено висновки і пропозиції щодо ефективного керування якістю природних газів.

Ключові слова: природний газ, компонентний склад, вологість, теплота згорання.

Рассматриваются аспекты проблемы оценки энергетических характеристик природных газов. Показано, что для оценки природного газа в качестве топлива наиболее целесообразно использовать его теплотворную способность, которая физически зависит от ряда факторов, в частности компонентного состава, влажности, наличия негорючих и агрессивных ингредиентов. Выполнен анализ влияния физических факторов на величину нижней теплотворной способности углеводородных газов. Дана оценка влияния каждого из факторов на энергоэффективность природного газа как смеси углеводородных и негорючих компонентов. Предложена методика оценки энергоэффективности природного газа, сделаны выводы и предложения по эффективному управлению качеством природных газов.

Ключевые слова: природный газ, компонентный состав, влажность, теплота сгорания.

The aspects of the problem of estimating the energetic characteristics of natural gas are considered. It is shown that in order to assess natural gas as a fuel, it is most appropriate to use its calorific value, which physically depends on a number of factors, in particular component composition, humidity, presence of non-combustible and aggressive ingredients. The analysis of the influence of physical factors on the value of the net calorific value of hydrocarbon gases has been made. The estimation of the influence of each of the factors on the energy efficiency of natural gas as a mixture of hydrocarbon and non-combustible components has been given. The methodology of estimation of energy efficiency of natural gas has been offered, conclusions and suggestions of effective management of quality of natural gas have been made.

Key words: natural gas, component composition, humidity, heat of combustion.

Вступ. За умов зростання дефіциту енергоносіїв якість природного газу являється одним з найважливіших критеріїв ефективності його використання. Адже кількість енергії, яку отримає споживач, пропорційна масі отриманого природного газу і його теплотворній здатності. В період великих обсягів видобутку і споживання газового пального дефіцит якості (тобто зниження теплотворної здатності) покривався за рахунок збільшення обсягів газоспоживання. В даний час при обмеженні об'ємів газоспоживання актуальним виявляється питання якості газового пального.

Найважливішою характеристикою вуглеводневих газів з точки зору їх енергоефективності є теплотворна здатність або теплота згорання.

Теплотою згорання називають кількість енергії, що виділяється при повному згоранні одиниці маси (об'єму чи молекулярної маси) за нормальних фізичних умов. Розрізняють вищу і нижчу теплоту згорання, які відрізняються енергозатратами на видалення вологи з пального. Стандартні значення вищої та нижчої теплоти згорання основних компонентів природного газу наведено у ГОСТ 30319.1-96 [3]. Однак, на величину теплоти згорання природного

газу має вплив ряд факторів, які необхідно враховувати при визначенні поняття «якість газу».

Слід зазначити, що поняття «якість» стосовно природного газу недостатньо чітко визначене в чинних сьогодні в Україні нормативно-технічних документах. В цивілізованих газових державах якісною характеристикою газу як енергоносія є його калорійність (теплотворна здатність), яку визначають за числом Воббе, яке визначається як відношення об'ємної теплоти згорання (вищої або нижчої) до квадратного кореня з відносної за повітрям густини природного газу і характеризує сталість теплового потоку при спалюванні газу. Згідно із стандартами ISO природні гази розділені за числом Воббе на дві групи: Н-газ і 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.

В Україні в чинних нормативно-технічних документах не передбачена диференціація вимог до якості газу, практично єдиним критерієм якості газу сьогодні є його вологість, яка характеризує його транспортну кондиційність та здатність газу забезпечувати безаварійне функціонування систем газопостачання.

Природний газ, який видобувається з родовищ України, за складовими компонентами

розділяють на три категорії: газ із переважним вмістом легких вуглеводнів, газ із підвищеним вмістом фракцій важких вуглеводнів, газ із великим вмістом вуглекислого газу.

Тому для оцінювання якості газу в Україні доцільно використовувати такі характеристики: компонентний склад, теплотворна здатність, вологість, наявність та кількість негорючих компонентів.

Наданий час, опираючись на результати експериментальних досліджень, наведених в [6] природних газів з різних родовищ України та експортованого газу дають підстави зробити такі висновки:

- газ більшості родовищ України характеризується підвищеною вологістю – 0,2 ... 0,8 г/м³;
- природні гази родовищ України є висококалорійними - 50 ... 54 МДж/м³;
- наявність корозійно-активних компонентів, таких, як сірководень та вуглекислий газ, окрім негативного впливу на технологічне обладнання, ще й впливають на калорійність газу.

Таким чином, для оцінювання природного газу за його якістю повинне бути введена комплексна система, яка урахуватиме співвідношення наведених характеристик, а також передбачатиме заходи керування якістю природних газів як енергоносіїв.

Для цього насамперед необхідно ввести зміни до нормативної бази, зокрема, визначити нижню межу калорійності газу, який можна використовувати для промислових і комунально-побутових потреб.

Аналіз літературних джерел. На основі проведеного аналізу публікацій наукових досліджень зроблено висновок, що визначенню якості природного газу надається значна увага [1; 5–7], однак здебільшого йдеться про вдосконалення вимірювань окремих його фізико-хімічних характеристик (властивостей), зокрема, компонентного складу і вологості [8; 9], на основі яких теоретичними розрахунками визначають інші властивості газу – питому теплоту згоряння, відносну густину, число Воббе [10], тобто без комплексного аналізу функціональних чи кореляційних зв'язків між цими характеристиками. Теплотворну здатність газу неможливо точно визначити без врахування його вологості [11], тоді як чинна сьогодні методика, відображена в ГОСТ 22667-82 [10], оснований на суто теоретичному аналізі компонентного складу газу та характеристиках окремих його компонентів.

Однак перелік десяти чи більше різнорідних характеристик газу навіть за умови, що їхні числові значення лежать в межах норми, не дає конкретному споживачеві повної інформації про його якість, зокрема, про енергетичну цінність газу. Тому виникає необхідність на основі системного підходу до проблеми створення комплексної системи оцінювання якості природних газів і керування нею.

Формування мети і задач дослідження.

На основі результатів аналізу літературних джерел та зроблених висновків сформульовано мету дослідження: розробка наукових засад для створення методики комплексного оцінювання якості природного газу як енергоносія та керування його якістю. Поставлена мета реалізується через вирішення конкретних задач:

- застосування комплексного підходу до проблеми оцінювання якості природного газу як енергоносія;
- обґрунтування вибору фізико-хімічних властивостей природного газу, які найбільше впливають на його теплотворну здатність;
- встановлення функціональних залежностей між фізико-хімічними властивостями природного газу та його теплотворною здатністю;
- вироблення рекомендацій щодо розроблення методики оцінювання якості природного газу як енергоносія.

Виклад основного матеріалу. Ключовим питанням оцінки якості природного газу як енергоносія повинно бути питання про його енергетичну цінність в кінці процесу газопостачання. Споживача менше цікавлять питання про компонентний склад газу, його вологість, які також повинні регламентуватися відповідними нормативно-технічними документами. Однак, якщо споживач використовує природний газ в якості енергоносія, то його в першу чергу цікавить енергоємність продукту, яка оцінюється теплотворною здатністю.

Теплотворна здатність визначається кількістю енергії, отриманої при повному спалюванні одиниці маси (об'єму) природного газу, і поділяється на масову, об'ємну і молярну. Для вуглеводневих горючих газів теплотворна здатність характеризується відношенням мас горючого інгредієнту (водню Н) до негорючого інгредієнту (вуглецю С), яке прийнято позначати Н/С і яке для найлегшого вуглеводневого газу (метану) приймає максимальне значення Н/С=0,25 і зі збільшенням молекулярної маси газу зменшується. При цьому зменшується і масова теплотворна здатність пального, а об'ємна теплотворна здатність зростає, оскільки збільшується густина газу. Характер зміни співвідношення Н/С та відносних величин масової та об'ємної теплотворної здатності (взято по відношенню до теплотворної здатності метану) приведено на рисунку 1. Аналіз результатів показує, що теплотворна здатність етану на 6,82% нижча від теплотворної здатності метану, в сою чергу Відносна різниця теплотворних здатностей етану і пропану складає 2,79%, пропану і бутану – 1,59%, бутану і пентану – 1,35%. Отже, збільшення молекулярної маси вуглеводневого газу призводить до зменшення його теплотворної здатності, однак темп зменшення при цьому падає. Тому найбільш ефективними з енергетичної точки зору є природні гази з максимальним вмістом метану. Збільшення молекулярної маси природного газу призводить до зменшення теплотворної здатності у відповідності до співвідношення Н/С.

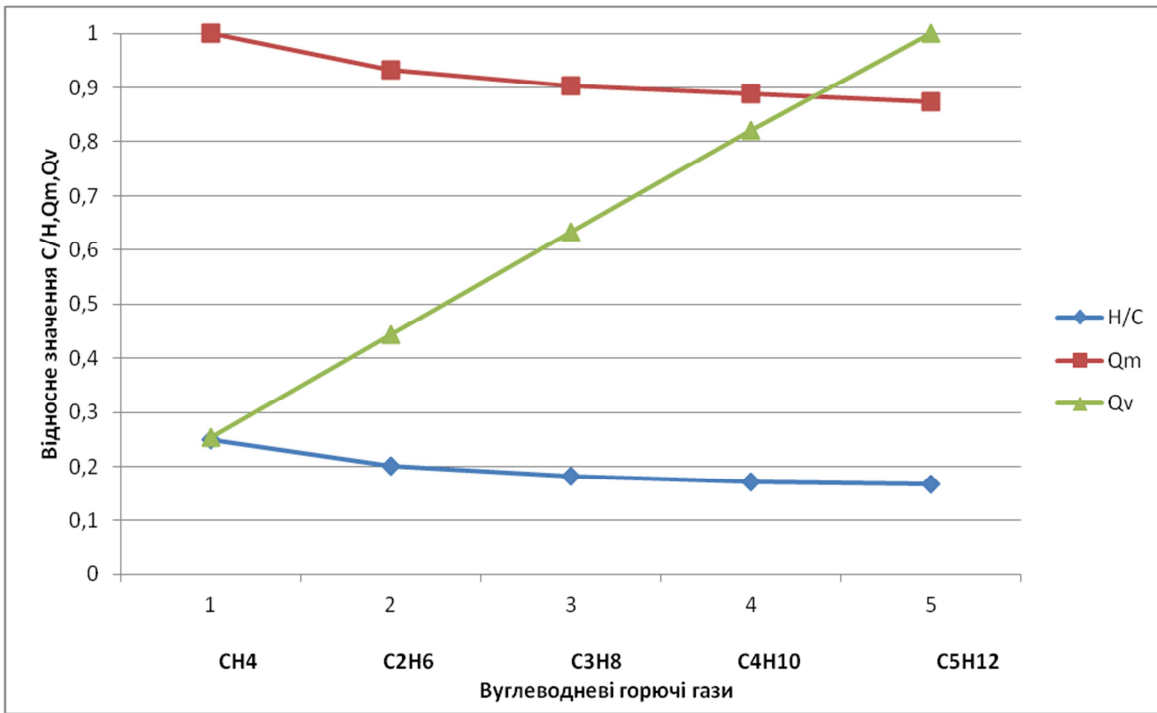


Рисунок 1 – Теплофізичні властивості вуглеводневих газів

Об’ємна теплотворна здатність вуглеводневих газів з збільшенням молекулярної маси зростає, що пояснюється зростанням густини газу за нормальних умов. Однак, це зростання створює ілюзію підвищення енергоефективності важких вуглеводневих газів, оскільки масовий баланс компонентів при цьому не витриманий.

Як правило, до складу природних газів входять перші 5 вуглеводневих горючих газів гомологічного ряду, причому найбільша частка серед інгредієнтів належить метану. Окрім того, до складу природних газів можуть входити негорючі гази, наприклад, вуглекислий газ, сірководень, азот. Наявність водяної пари в природному газі характеризує його вологість, яку розрізняють як абсолютну і відносну. Абсолютна вологість визначається масою водяної пари, що приходить на одиницю об’єму газу і вимірюється в г/м³. При збільшенні абсолютної вологості за фіксованих умов газ повністю насичується вологою, і така абсолютна вологість називається вологістю повного насичення. Відношення абсолютної вологості до вологості повного насичення називають відносною вологістю.

Негорючі інгредієнти (в т.ч. водяна пара), що знаходяться в природному газі, призводять до зниження його теплотворної здатності, оскільки при спалюванні забирають частину енергії на їх підігрів до температури згоряння.

Природний газ, який ще називають вуглеводневим, майже на 90% складається з вуглеводнів, переважно, метану CH₄. Він містить і важчі вуглеводні - етан, пропан, бутан та пентан, а також меркаптани і сірководень, які є шкідливими складовими, азот і вуглекислий газ, які загалом не є шкідливими, але й не теплотворними, водяну пару, домішки гелію та

інших інертних газів і механічні домішки [17]. Всі ці компоненти природного газу по-різному впливають на його теплотворну здатність. Розглянемо цей вплив, проаналізувавши горіння газу.

Горінням називають хімічний процес з’єднання палива та окиснювача, який проходить з інтенсивним виділенням тепла і супроводжується різким стрибкоподібним підвищенням температури та концентрації продуктів реакції і відповідним падінням концентрації первинних реагуючих речовин [18; 19]. Відповідно до закону збереження енергії реакцію горіння природного газу описують рівнянням:

$$Q_r m_r N_r + Q_o m_o N_o = \sum Q_m m_m N_m + Q_{3m} \quad (1)$$

де Q_r і Q_o - теплоти утворення газу і окислювача, Дж/кг;

m_r і m_o - маси молекул газу і окиснювача, кг;

N_r і N_o - кількість молекул газу і окиснювача;

$\sum Q_m m_m N_m$ - сума добутоків теплот утворення, молекулярних мас і чисел молекул утворених продуктів згоряння (підсумовування здійснюють за всіма N_m молекулами, які беруть участь у реакції, $N_m = N_r + N_o$);

Q_{3m} - вільне тепло, що виділилося під час горіння газу, яке називають теплотою згоряння.

На рисунку 2 наведено залежності питомої масової витрати кисню для повного згоряння компонентів вуглеводневого природного газу і утвореної при цьому маси продуктів згоряння.

Для практичного оцінювання енергетичної цінності газу теплоту згоряння визначають як

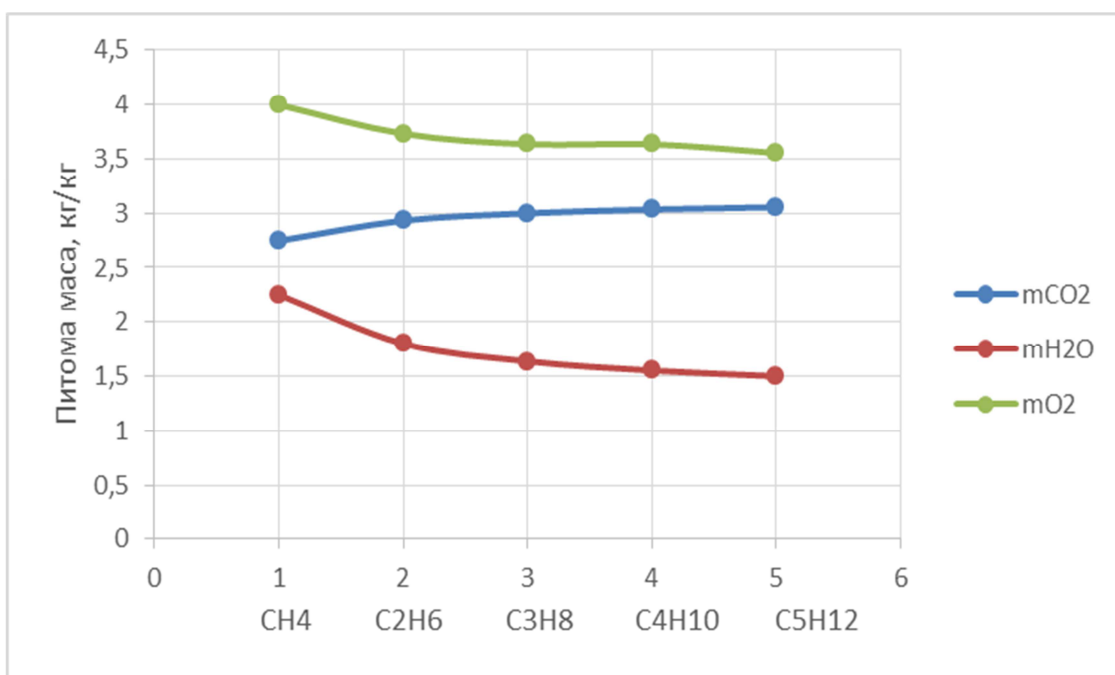


Рисунок 2 – Масова витрата кисню і маса продуктів згорання компонентів природного газу

кількість тепла, що виділяється при згорянні 1 кг або 1 м³ газу, тобто в МДж/кг або МДж/м³.

Все тепло, яке виділяється під час горіння природного газу, називають вищою теплотою згорання газу Q_v. Однак, як вже було зазначено вище, навіть після осушування газ не є повністю вільний від вологи і частина тепла під час горіння газу витрачається на її випаровування. Тому енергетичну цінність природного газу характеризують не всім теплом, яке виділяється під час його горіння, а тільки частиною – без тепла, яке міститься в утвореній водяній парі у формі прихованої теплоти пароутворення Q_w.

Кількість тепла, яке виділяється під час горіння газу за вирахуванням тепла пароутворення, називають нижчою теплотою згорання газу Q_n, тобто

$$Q_n = Q_v - Q_w \quad (2)$$

Загальнішою характеристикою енергетичної цінності природного газу є його питома об'ємна або масова теплота згорання. У чинних в Україні НТД [4;5] нормується питома об'ємна теплота згорання або теплотворна здатність газу, зокрема, як було зазначено вище, відповідно, нижча та вища питома об'ємна теплота згорання.

Визначення теплотворної здатності природного газу доцільно здійснювати на підставі аналізу рівняння теплового балансу реакції горіння [18]:

$$\eta Q_H + (C_r + C_n + C_0)(\Theta_r + \Theta_0) = C_{ps}(\Theta_{3r} - \Theta), \quad (3)$$

де η - коефіцієнт повноти горіння;

Q_H - теплотворна здатність газу;

C ; C_0 ; C_{ps} - теплоємності відповідно газу, окиснювача і продуктів згорання;

Θ_r ; Θ_0 ; Θ_{3r} - температури газу, окиснювача і продуктів згорання;

Θ - деяка задана початкова температура вхідних і вихідних продуктів реакції горіння, стосовно якої здійснюються обчислення.

Повне згорання газу спостерігається тоді, коли в продуктах його згорання нема горючих газових компонентів або компонентів неповного окиснення. Зазвичай у продуктах згорання газу міститься водяна пара, маса якої складається з трьох частин: пари, утвореної з вологи, яка міститься в складі самого газу; пари, яка утворюється в результаті окиснення компонентів газу; пари, яка вноситься з повітрям, використаним для горіння газу.

Все тепло, яке виділилося під час горіння газу, сприймається продуктами згорання і може бути відібране від них та повністю використане тільки за умови охолодження їх до температури Θ , нижчої від так званої температури точки роси газу за вологою (або просто "точки роси") Θ_P , °C, за якої відбувається конденсація водяної пари [16]. Однак на практиці таке глибоке охолодження продуктів згорання газу зазвичай не здійснюється і прихована теплота пароутворення водяної пари, яка міститься в продуктах згорання природного газу, не використовується. Отже, з урахуванням вищесказаного, нижчу теплоту згорання Q_n природного газу можна визначити за формулою

$$Q_n = Q_v - Q_{H_2O} (M_H + M_{H_2O}), \quad (4)$$

де M_H - маса водню у складі газу;

M_{H_2O} - маса води у складі газу;

Q_{H_2O} - кількість тепла, необхідного для нагрівання 1 кг води до кипіння та випаровування.

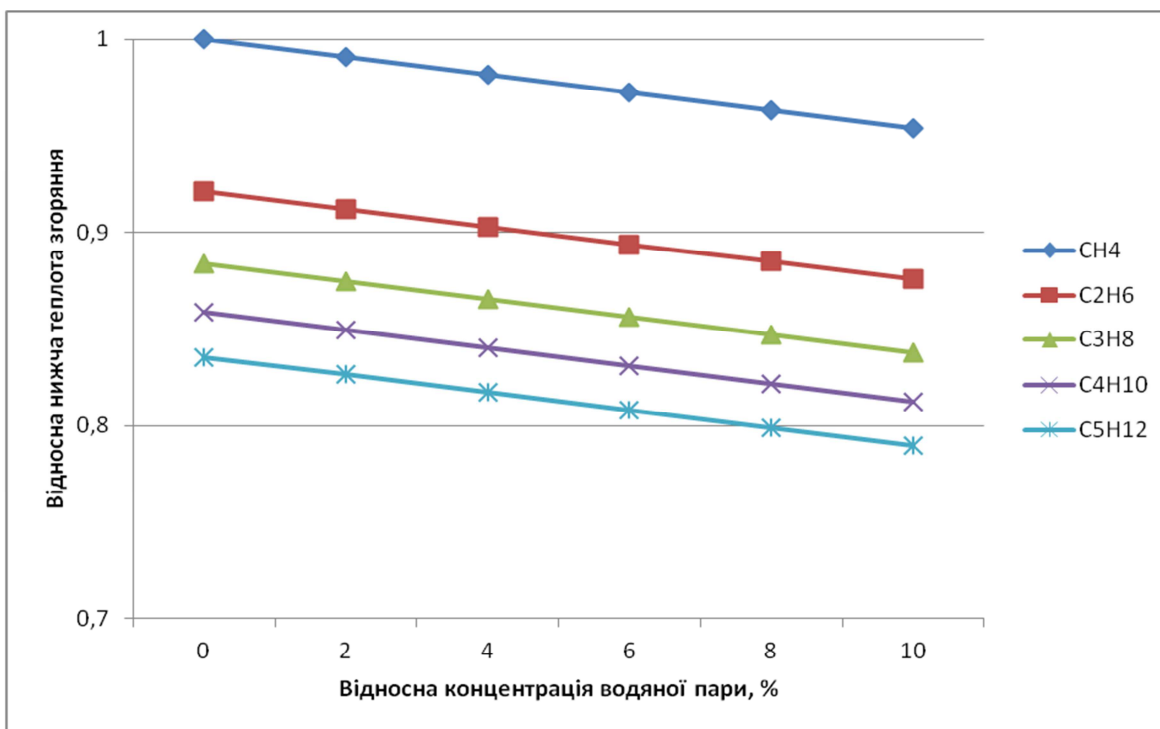


Рисунок 3 – Вплив вологості на теплотворну здатність вуглеводневих газів

Розглянемо величини, які входять у (4), для її практичного використання. Вищу теплоту згоряння газу Q_B доцільно визначити розрахунково за відомою методикою, викладеною в [17]. За умови нагрівання 1 кг води від 273K до 373K за тиску $P_a = 0,101325$ МПа $Q_{H_2O} = 2,51$ МДж/кг. Масу води у складі газу визначаємо залежно від його вологості.

На рисунку 3 наведено залежність зміни нижчої теплоти згоряння вуглеводневого природного газу при різних значеннях його вологості.

Аналіз результатів показує, що наявність вологи призводить до зниження теплотворної здатності вуглеводневих газів. При збільшенні вологості газу на величину 10% теплотворна здатність знижується в середньому на 4,7%. Збільшення молекулярної маси вуглеводневого газу також веде до зниження теплотворної здатності, причому для етану в порівнянні з метаном це зниження складає в середньому 7,9%, для бутану в порівнянні з етаном – 3,7%, для пропану в порівнянні з бутаном - 2,6%, для пентану в порівнянні з пропаном - 2,3%.

Важливим компонентом природного газу є в багатьох випадках азот, який як хімічний елемент вважається нейтральним і в процесах горіння участі не бере. Однак, при спалюванні природного газу частина виділеного в хімічній реакції тепла витрачається на підігрів азоту, що міститься в повітрі, до температури горіння також витрачається частка енергії, що призводить до зниження теплотворної здатності пального та пониження температури горіння. Зауважимо, що азот може знаходитися в природному газі як його компонент в невеликих кількостях. Проте в ряді країн (наприклад, в Польщі) вико-

ристовують азотований природний газ як пальне з метою його економії (у випадках, коли теплотворна здатність азотованого газу є достатньою для споживача). Тому нижчу теплотворну здатність природного газу з домішками азоту і при врахуванні підігріву азоту, що міститься в повітрі можна визначити з рівняння

$$Q_H = Q_B - C_{pN}(M_N + 0,79L_0)(\Theta_{3r} - \Theta), \quad (5)$$

де M_N – маса азоту у складі газу;
 L_0 – теоретично необхідна маса повітря для згоряння газу;
 C_{pN} – питома масова теплоємність азоту;
 Θ_{3r} – температура продуктів згоряння;

Θ – деяка задана початкова температура вхідних і вихідних продуктів реакції горіння, стосовно якої здійснюються обчислення.

На рисунку 4 наведено залежність зміни нижчої теплоти згоряння вуглеводневого природного газу при різних значеннях вмісту азоту.

Таким чином, запропонована методика може використовуватися для визначення нижчої теплоти згоряння природного газу з урахуванням його вологості.

До складу природних газів можуть входити в якості компонентів вуглекислий газ і сірководень як правило з незначними концентраціями. Врахування впливу цих компонентів на теплотворну здатність газу як пального може бути оцінено за запропонованою методикою. Але, в зв'язку з тим, що вміст даних компонентів несуттєвий, таку процедуру можна опустити. Однак, вказані компоненти сприяють утворенню агресивного середовища в трубопроводі, в зв'язку з чим їх присутність в складі природних газів повинна бути строго лімітованою.

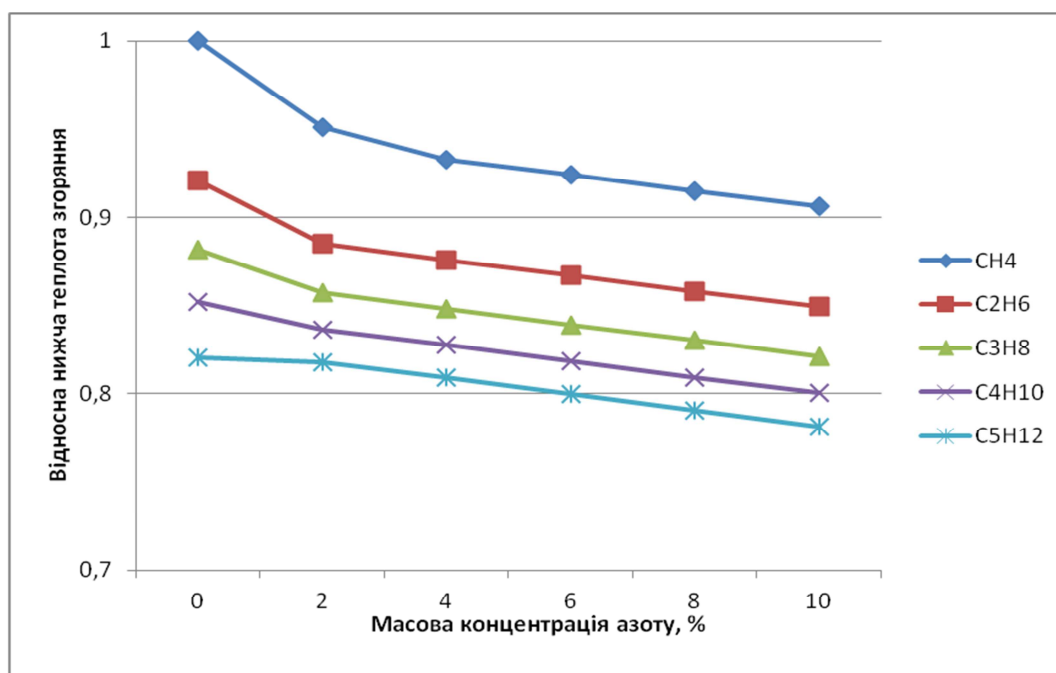


Рисунок 4 – Вплив вмісту азоту на теплотворну здатність вуглеводневих газів

Висновки

Основним критерієм якості природного газу необхідно вважати нижчу його теплотворну здатність, яка є функцією ряду параметрів, зокрема компонентного складу, вологості, наявності негорючих інгредієнтів (азоту, сірководню, вуглекислого газу). В кожному конкретному випадку з метою визначення якості природних вуглеводневих газів як пального необхідно проводити перерахунок нижчої теплотворної здатності на основі запропонованих моделей.

Керування якістю природних газів повинно здійснюватися газовидобувними підприємствами при підготовці газу до транспортування. До заходів підвищення якості природних газів слід віднести глибоке осушення від вологи і газового конденсату з вилученням важких вуглеводневих газів (низькотемпературна сепарація), а також вилучення агресивних компонентів (сірководню та вуглекислого газу), які породжують корозійні процеси внутрішньої поверхні стінок трубопроводу, що призводить до появи в газовому потоці продуктів корозії з одного боку і виникнення аварійних витоків газу з трубопроводів з іншого.

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. – 2001. – №3. – С. 42–43.

2 Стадник Б. Теоретичні та практичні задачі кваліметрії природного газу / Стадник Б., Мотало А., Мотало В., Петровська І. // Метрологія та вимірвальна техніка. – 2005. – Вип. 65. – С. 81–86.

3 ГОСТ 5542-87. Газы горючие для промышленного и коммунально-бытового назначения. Технические условия.

4 ТУ У 320.001.58764.007-95. Газы горючі природні, що подаються в магістральні газопроводи. Технічні умови.

5 Козій В.М. Якість газу родовищ України / Козій В.М., Лур'є А.І., Рубанова І.А. // Питання розвитку газової промисловості України. Збірник наукових праць УкрНДІгаз. – 2000. – Вип. 28. – С. 66-68.

6 Лур'є А.І. Дослідження метрологічних характеристик вологомівів природного газу різних типів в умовах експлуатації на об'єктах ДК "Укртрансгаз" / А.І. Лур'є, Л.П. Кудінов, А.Г. Іванов, В.М. Козій, О.В. Хвостова // Збірник наукових праць УкрНДІгаз. – 2006. – Вип. 34. – С.187–195.

7 Кудінов Л.П. До питання вимірювання густини природного газу об'ємно-гравіметричним методом / Кудінов Л.П., Лур'є А.І. // Збірник наукових праць УкрНДІгаз. – 2004. – Вип. 32. – С. 220–224.

8 ГОСТ 23781-87. Газы горючие природные. Хроматографический метод определения компонентного состава.

9 ГОСТ 20060-83. Газы горючие природные. Методы определения содержания водяных паров и точки росы влаги.

10 ГОСТ 22667-82. Газы горючие природные. Расчетный метод определения теплоты сгорания, относительной плотности и числа Вообе

11 Мотало А. Оцінювання якості природного газу за його теплотворною здатністю // Метрологія та вимірвальна техніка. – 2007. – Вип. 67. – С. 92–100.

12 ГОСТ 30319.0-96. Газ природний горючий. Методи расчета физических свойств. Общие положения.

13 Ціделко В. Систематизація критеріїв, метрик і шкал для оцінки якості програмних засобів / Ціделко В., Яремчук Н., Шульгіна А. // Метрологія та вимірювальна техніка. – 2003. – Вип. 62. – С. 81–88.

14 Дэйвисон М. Многомерное шкалирование: Методы наглядного представления данных / Пер. с англ. В.С. Каменского. – М.: Финансы и статистика, 1988. – 254 с.

15 ДСТУ 2925-94. Якість продукції. Оцінювання якості. Терміни та визначення.

16 Стадник Б. Методологія побудови системи оцінювання відповідності природного газу / Стадник Б., Мотало В., Мотало А. // Стандартизація, сертифікація, якість. – 2008. – №2. – С. 51–59.

17 Куць В.Р. Визначення коефіцієнтів важливості при комплексній оцінці якості за номінальними і гранично допустимими значеннями показників / Куць В.Р., Столярчук П.Г. // Вісник НУ “Львівська політехніка”. – 2001. – №420. – С. 72–77.

18 ГОСТ 17310-86. Газы. Пикнометрический метод определения плотности.

19 Мотало А. Методи і засоби гігрометрії природного газу / Мотало А., Мотало В. // Метрологія та вимірювальна техніка. – 2006. – Вип. 66. – С. 310–219.

20 ГОСТ 20060 -83. Газы горючие природные. Методы определения содержания водяных паров и точки росы влаги.

21 ДСТУ 2681-94. Метрологія. Терміни та визначення.

22 Пфанцагль И. Теория измерений / Пер. с англ. В.Б. Кузьмина. – М.: Мир, 1976. – 166 с.

23 Азгальдов Г.Г., Райхман Э.П. О квалиметрии. – М.: Издательство стандартов, 1973. – 172 с.

24 Ціделко В. Систематизація критеріїв, метрик і шкал для оцінки якості програмних засобів / Ціделко В., Яремчук Н., Шульгіна А. // Метрологія та вимірювальна техніка. – 2003. – Вип. 62. – С. 81-88.

25 Хованов Н.В. Математические основы теории шкал измерения качества. – Л.: Издательство Ленинградского ун-та, 1982. – 186 с.

26 Дэйвисон М. Многомерное шкалирование: Методы наглядного представления данных / Пер. с англ. В.С.Каменского. – М.: Финансы и статистика, 1988. – 254 с.

Стаття надійшла до редакційної колегії

08.06.17

Рекомендована до друку

професором Грудзом В.Я.

(ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ)

д-ром техн. наук Говдяком Р.М.

(Інжинірингова компанія «Машекспорт»,

м. Київ)