

УДК 620.92

ДО ПИТАННЯ ПРО ЯКІСТЬ ГОРЮЧОГО ГАЗУ

А. Г. Колієнко, О. В. Шеліманова, В. А. Колієнко, кандидати технічних наук

e-mail: shelemanova@ukr.net

Анотація. Показано, що якість природного газу і стабільність його фізико-хімічних параметрів є одним із найголовніших чинників ефективної і безпечної експлуатації паливоспалюючого обладнання. Особливу увагу при цьому необхідно звертати на величину зміни теплоти згоряння газу, щільності і критеріїв взаємозамінності.

Ключові слова: *взаємозамінність, штучні гази, число Воббе.*

Змінні в часі фізико-хімічні властивості природного газу, а також його диверсифікація за рахунок використання популярних сьогодні біогазу, синтетичних і штучних газів призводять до необхідності вирішення питання про якість горючих газів, можливість їх взаємозамінності і підвищення ефективності використання.

Частими є також нарікання на низьку якість горючих газів, що відображається на процесах горіння. Особливу вагу ці питання набувають в умовах збільшення тарифів на природний газ.

Мета досліджень – визначення основних критеріїв якості горючих газів, які свідчили б про можливість спалювання їх у пальникових пристроях замість природного газу.

Матеріали та методика досліджень. Під взаємозамінністю газів будемо розуміти можливість спалювання їх у пальниках без порушень паспортних характеристик, зниження показників енергоефективності та без зміни конструкції як пальників, так і паливоспалювального обладнання.

При переході з одного на інший вид газового палива або при зміні складу та фізико-хімічних властивостей одного й того ж горючого газу не повинні

змінюватися основні характеристики процесу горіння і параметри роботи газовикористовуючого обладнання.

До них відноситься:

1. Теплова потужність пальника, яка визначається за добутком теплоти згоряння палива Q_H^p на його витрати B_G за залежністю:

$$N = B_G \cdot Q_H^p = \text{const}, \text{ кВт}.$$

Об'єм витрат газу B_G встановлюється на основі паспортних даних або режимно-налагоджувальних випробувань агрегату. Основний вплив на обсяг теплової потужності має теплота згоряння палива, яка змінюється залежно від складу горючого газу. Величина теплоти згоряння Q_H^p для газу, що використовується як паливо для промислових і комунально-побутових споживачів установлюється сертифікатом якості газу, який повинен одержуватись споживачем газу та відповідати вимогам нормативної документації [1,2].

2. Кількість дуттьового повітря. При зміні складу, вологості та теплоти згоряння газу кількість повітря, необхідного для повного згоряння газу, також необхідно змінити. Так, за збільшення нижчої теплоти згоряння газу від $Q_{H_1}^p = 35,7 \text{ МДж/нм}^3$ до $Q_{H_2}^p = 36,54 \text{ МДж/нм}^3$ теоретично необхідна кількість повітря для повного згоряння газу зростає від 9,5 до 9,7 нм³ на 1 нм³ горючого газу [5,6]. Але згідно з режимною картою паливоспалювального обладнання тиск повітря перед пальником повинен залишатися незмінним, і як наслідок, кількість повітря, що надходить на горіння, також не змінюється. Зміна ж теплоти згоряння газу вимагає змін і у величині витрат дуттьового повітря. Спалювання палива в умовах неадекватної кількості повітря супроводжується хімічним недопалом і зменшенням ККД агрегату, погіршення екологічних характеристик продуктів згоряння.

3. Сталими повинні залишатися тиск газу та тиск повітря перед пальником, за яких відбувається порушення роботи факела, тобто явища відриву і проскоку полум'я. Виникнення цих небезпечних процесів повністю залежить від

величини нормальної швидкості розповсюдження полум'я U_H , а вона, у свою чергу, від складу палива та його фізико-хімічних властивостей. У разі зміни характеристик газу необхідно змінити параметри, на які повинні налаштовуватись датчики тиску газу та повітря системи автоматики безпеки пальників, параметри спрацьовування автоматики безпеки. Інакше експлуатація паливоспалювального обладнання стає небезпечною.

4. Сталими мають залишатися екологічні характеристики продуктів згоряння, концентрації шкідливих речовин у них. Забезпечити незмінність указаних характеристик за умов зміни складу горючих газів неможливо.

У промислових паливовикористовуючих агрегатах сталими повинні, крім того, підтримуватися такі параметри, як температура горіння, випромінювання полум'я, температура попереднього нагрівання повітря. Зміна складу палива також призводить до неможливості утримання вказаних характеристик на постійному рівні без внесення змін у конструкції пальників або у параметри їх роботи.

У зв'язку із значною залежністю основних характеристик роботи пальників паливовикористовуючого обладнання від складу та фізико-хімічних властивостей горючого палива постає питання про такі граничні зміни характеристик палива, при яких параметри роботи обладнання змінюються у допустимих межах без внесення будь-яких змін у конструкцію пальників і режимні фактори їх роботи.

Результати досліджень. За ГОСТ 5542-87 критерієм взаємозамінності горючих газів є число Воббе, що являє собою відношення теплоти згоряння (нижчої чи вищої) до кореня квадратного з відносної (за повітрям) густини газу. Для кожної газорозподільної системи за погодженням між постачальником та споживачем газу повинна бути встановлена номінальна величина числа Воббе з допустимим відхиленням від неї не більше $\pm 5 \%$. Уміст вологи, кількість якої є в горючому газі і визначається згідно [1,8] взагалі виключається. Точка роси вологи при отриманні газу споживачем повинна бути меншою за температуру газу [2].

Таким чином, гази вважаються взаємозамінним без внесення змін у роботу пальників за умови рівності для них чисел Воббе, які характеризують теплову потужність і аеродинамічні параметри пальників при постійному тиску газу.

$$\begin{aligned} Wo_{n_1} &= Wo_{n_2} = \text{const} \pm 5\%; \\ Wo_{e_1} &= Wo_{e_2} = \text{const} \pm 5\%; \\ \frac{Q_{H_1}^p}{\sqrt{\rho_{r1}}} &= \frac{Q_{H_2}^p}{\sqrt{\rho_{r2}}} = \text{const} \pm 5\%; \\ \frac{Q_{B_1}^p}{\sqrt{\rho_{r1}}} &= \frac{Q_{B_2}^p}{\sqrt{\rho_{r2}}} = \text{const} \pm 5\%; \end{aligned}$$

де Wo_{n_1}, Wo_{n_2} – нижче число Воббе для першого і другого газів; Wo_{e_1}, Wo_{e_2} – вище число Воббе для першого та другого газів; $Q_{H_1}^p, Q_{H_2}^p$ – нижча теплота згорання для першого і другого газів; $Q_{B_1}^p, Q_{B_2}^p$ – вища теплота згорання для першого та другого газів; $\bar{\rho}_{r1}, \bar{\rho}_{r2}$ – відносна густина для першого і другого газів, відповідно; ρ_{Π} – густина повітря за нормальних умов, кг/м³.

При цьому необхідно, щоб взаємозамінні гази відрізнялися максимальною швидкістю розповсюдження полум'я не більше, ніж на 15 – 20 %.

Забезпечення постійної теплової потужності $N=\text{const}$ для невзаємозамінних газів за умови відмінності для них чисел Воббе більше за 5 % може здійснюватись тільки за рахунок зміни витрат газу. Для цього потрібно змінити площу перетину газового сопла інжекційного пальника або площу перетину вогневих отворів дуттьового пальника. Перерахунок указаної площі необхідно виконувати за залежностями:

– за умови збереження сталого тиску перед пальником $P_{r1} = P_{r2} = \text{const}$

$$f_2 = f_1 \frac{Q_{H_1}^p}{Q_{H_2}^p} \sqrt{\frac{\rho_{r2}}{\rho_{r1}}};$$

– за умови зміни тиску перед пальником $P_{r1} \neq P_{r2}$

$$f_2 = f_1 \frac{Q_{H_1}^p}{Q_{H_2}^p} \sqrt{\frac{P_{r1} \rho_{r1}}{P_{r2} \rho_{r2}}},$$

де f_1, f_2 – площа перетину газових отворів для першого і другого газів відповідно, м^2 ; $P_{Г1}, P_{Г2}$ – номінальний тиск газу перед пальником для першого та другого газів відповідно, кПа .

Діаметр газового сопла пальника за переходу з одного на другий невзаємозамінні гази за сталого тиску газу $P_{Г1} = P_{Г2}$ може бути визначеним за такою залежністю:

$$d_2 = d_1 \sqrt{\frac{Wo_{n1}}{Wo_{n2}}}, \text{ м,}$$

де d_1, d_2 – діаметри для першого і другого сопел відповідно, мм .

Підтримання сталої теплової потужності пальника за переходу на інший газ можливий за умови збереження площі вогневих отворів і незмінної конструкції пальника $d_1 = d_2, f_1 = f_2$, для цього необхідно перейти на інший тиск горючого газу перед пальником та порушити встановлені режимні параметри його роботи.

Тиск газу, який необхідно встановити для підтримання сталої теплової потужності за зміни характеристик палива, обчислюється за залежністю:

$$P_{Г2} = P_{Г1} \frac{\rho_{Г2}}{\rho_{Г1}} \left(\frac{Q_{H1}^p}{Q_{H2}^p} \right)^2,$$

де $P_{Г1}, \rho_{Г1}, Q_{H1}^p$ – тиск, густина і теплота згоряння відповідно для першого горючого газу, для якого були встановлені режимні паспортні характеристики роботи пальника та визначені паспортні розміри вогневих отворів; $P_{Г2}, \rho_{Г2}, Q_{H2}^p$ – тиск, густина і теплота згоряння горючого газу, використання якого не було передбачено паспортними й режимними характеристиками, але подача такого газу на пальник здійснюється з тих чи інших причин.

Можливість взаємозамінності газу за зміни його тиску перед пальником перевіряється за рівністю розширених чисел Воббе, які встановлюються за залежностями:

$$Wo'_{n_1} = Q_{H_1}^P \sqrt{\frac{P_1}{\rho_{\Gamma_1}}}; \quad Wo'_{n_2} = Q_{H_2}^P \sqrt{\frac{P_2}{\rho_{\Gamma_2}}}$$

Гази вважаються взаємозамінними за умови:

$$Wo'_{n_1} = Wo'_{n_2} = const \pm 5\%$$

за $f_1 = f_2, P_{\Gamma_1} \neq P_{\Gamma_2}$,

де Wo'_{n_1}, Wo'_{n_2} – розширені числа Воббе для замінного газу і того, що заміняє.

Таким чином, критерій Воббе дає змогу універсального оцінювання взаємозамінності горючих газів.

Аналіз сертифікатів якості природного газу показує, що фізико-хімічні властивості природного газу, який подається споживачам із розподільчих газопроводів можуть змінюватися в часі в значних межах. При цьому, природно, відбувається зміна і теплоти згоряння газу і критерію взаємозамінності Воббе. У зв'язку з цим надзвичайно важливо встановити і контролювати граничні межі зміни теплотворної здатності палива і критерію Воббе, при виході за які безпечна і ефективна робота газоспалюючого обладнання не гарантується.

Таким чином, ми приходимо до розгляду питання про якість природного газу.

Так, згідно п.1.1 [2] допустиме відхилення числа Воббе від номінального значення становить $\pm 5\%$, а згідно п.4.1.1 [3] номінальна теплова потужність газових пальників повинна відповідати паспортній величині потужності з відхиленням не більше $+10\% \div -5\%$.

У таблиці представлено результати експериментальних досліджень виявлення впливу на основні характеристики роботи паливоспалювального обладнання навіть незначних (у межах нормативних відхилень) змін параметрів горючого газу та дуттьового повітря від значень, установлених під час проведення режимного налагоджування обладнання або паспортних характеристик пальників.

**Характеристика відхилень параметрів роботи
паливоспалювального обладнання за зміни фізико-хімічних
властивостей горючого газу і дуттьового повітря***

Характеристика змін у роботі	Найменування змінних властивостей газу і повітря. Характеристика величини зміни			
	Теплота згоряння Q_n^p , $\Delta Q_n^p = \pm 5\%$	Температура дуттьового повітря t_n , $\Delta t_n = \pm 10$	Бараметричний тиск $p_{бар}$, $\Delta p_{бар} = \pm 6\%$	Критерій Воббе W_o , $\Delta W_o = \pm 5\%$
Зміна теплової потужності, %	± 5	-	-	$\pm 3,5$
Зміна теоретично необхідного об'єму повітря, яке необхідне для повного згоряння палива, %	± 5	-	-	$\pm 3,5$
Зміна дійсних витрат повітря, що надходить для згоряння палива, %	-	$\mp 3,6$	± 6	-
Зміна коефіцієнта надлишку повітря, %	± 5	$\mp 3,6$	± 6	$\pm 3,5$
Зміна втрат теплоти з відхідними газами, %	за умови зменшення Q_n^p – (3...4)	за умови зменшення t_n – (8...10)	за умови збільшення $p_{бар}$ – (3...4)	за умови зменшення W_o – (2...3)
Зміна втрат теплоти з хімічним недопалом, %	за умови збільшення Q_n^p – неповне згоряння палива	за умови збільшення t_n – неповне згоряння палива	за умови зменшення $p_{бар}$ – неповне згоряння палива	за умови збільшення W_o – неповне згоряння палива
Зміна коефіцієнта використання палива, %	за умови зменшення Q_n^p – (0,3...0,8)	за умови зменшення t_n – (0,6...1,0)	за умови зменшення $p_{бар}$ – (3...4)	за умови зменшення W_o – (0,2...0,5)
	за умови збільшення Q_n^p – (3...4)	за умови збільшення t_n – (3...4)	за умови збільшення $p_{бар}$ – (0,6...1,0)	за умови збільшення W_o – (2...3)

* Значення, наведені в таблиці, одержані для пальника, який за паспортних умов до зміни характеристик палива та повітря працював із коефіцієнтом надлишку повітря $\alpha = 1,05$ за температури дуттьового повітря $t_n = +20^\circ\text{C}$ і температури відхідних газів 130°C .

Розрахунки, які наведені у таблиці показують, що більш жорстка регламентація граничних змін властивостей природного газу встановлюється вимогами саме ГОСТ 21204-97. Можна стверджувати, що за додержання вимог щодо зміни теплотворної здатності палива в межах не більше $+10 \div -5 \%$ від паспортних величин Q_H^P , вимоги ГОСТ 5542-87 щодо граничних змін числа Воббе витримуються самі собою.

Висновки

Нехтування зміною фізико-хімічних характеристик і складу горючих газів, що подаються споживачам, призводить до зміни теплової потужності агрегатів, відхилення температури продуктів згоряння від нормованих технологічних параметрів, зміни умов роботи газоповітряного тракту та тягодуттєвих машин, розмірів факела й умов тепловіддачі у топковому просторі.

Зміна складу палива призводить до зниження повноти згоряння палива, зміни коефіцієнта надлишку повітря в продуктах згоряння і погіршення ККД паливоспалювальних агрегатів. Спалювання невзаємозамінних горючих газів без належних змін у конструкції пальників та коригування режимних параметрів роботи агрегату може спричинити зменшення діапазону регулювання і порушення стабільності полум'япальників; зниження ефективності використання газу.

Якість природного газу і стабільність його фізико-хімічних параметрів є одним із найголовніших чинників ефективною і безпечною експлуатації паливоспалюючого обладнання. Контроль за стабільністю фізико-хімічних параметрів газу необхідно здійснювати постійно як експлуатаційним, так і контролюючим організаціям. Особливу увагу при цьому необхідно звертати на величину зміни теплоти згоряння газу, яка не повинна виходити за межі $+10 \div -5\%$ від величин, встановлених паспортними даними, або результатами режимно-налагоджувальних робіт. Критерій Воббе для газу, який постачається, у часі не повинен змінюватись більше 5% від номінальної величини,

встановленої для кожної із газорозподільних систем за погодженням між постачальником та споживачем газу[2].

Список літератури

1. Газы горючие природные. Методы определения содержания водяных паров и точки росы влаги: ГОСТ 20060-83. – [Чинний від 1984-06-30]. – М.: Изд-во стандартов, 1983. – 11 с.
2. Газы горючие природные для промышленного и коммунально-бытового назначения: ГОСТ 5542-87. – [Чинний від 1984-06-30]. – М.: Изд-во стандартов, 1987. – 4 с.
3. Горелки промышленные. Общие технические требования: ГОСТ 21204-97. – [Чинний від 1998-07-01]. – М.: Изд-во стандартов, 2002. – 35 с.
4. Інженерне обладнання будинків і споруд. Зовнішні мережі та споруди. Газопостачання: ДБН В.2.5- 20-2001. – К., 2001. – 207 с.
5. Колієнко А.Г. Якість природного газу / А.Г. Колієнко // Нова тема. – 2008. – № 4. – С.28–33.
6. Колієнко А.Г. Вологість природного газу як чинник енергоощадності / А.Г. Колієнко // Ринок інсталяцій. – 2003. – № 4. – С.12–13.
7. Колієнко В.А. Особливості спалювання горючих газів із змінними характеристиками процесу горіння / В.А. Колієнко О.В. Шеліманова, // Науковий вісник НУБіП України. – 2015. – №. 209/2. – С.181 – 188.
8. А.В.Нестеренко Основы термодинамических расчетов вентиляции и кондиционирования воздуха /А.В.Нестеренко. – М.: «Высшая школа», 1971. – 460 с.

К ВОПРОСУ О КАЧЕСТВЕ ГОРЮЧЕГО ГАЗА

А.Г. Колиенко, Е.В. Шелиманова, В.А. Колиенко

Аннотация. *Установлено, что качество природного газа и стабильность его физико-химических параметров является одним из главных факторов эффективной и безопасной эксплуатации топливосжигающего оборудования.*

Особое внимание при этом не обходимо обращать на величину изменения теплоты сгорания газа, плотности и критериев взаимозаменяемости.

Ключевые слова: *взаимозаменяемость, искусственные газы, число Воббе*

REVISITING THE QUALITY OF GAS FUEL

A. Koliyenko, O. Shelimanova, V. Koliyenko

Annotation. *It is noted that the quality of natural gas and the stability of the physical and chemical parameters is a fundamental component of an effective and safe operation palyvospalyuyuchoho equipment. Particular attention should be paid to the change in the heat of the combustion gas density and criteria for interchangeability.*

Keywords: *interchangeability, artificial gas, the Vobbe index.*