

МІНІСТЕРСТВО РОЗВИТКУ ГРОМАД,
ТЕРИТОРІЙ ТА ІНФРАСТРУКТУРИ УКРАЇНИ
МІНІСТЕРСТВО ЕНЕРГЕТИКИ УКРАЇНИ
МІНІСТЕРСТВО ЗАХИСТУ ДОВКІЛЛЯ
ТА ПРИРОДНИХ РЕСУРСІВ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ТЕХНІЧНОЇ ТЕПЛОФІЗИКИ
ІНСТИТУТ ПРОМИСЛОВОЇ ЕКОЛОГІЇ
ВСЕУКРАЇНСЬКА ЕНЕРГЕТИЧНА АСАМБЛЕЯ

ПРОБЛЕМИ ЕКОЛОГІЇ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ ОБ'ЄКТІВ ЕНЕРГЕТИКИ

Збірник праць

*За редакцією
кандидата технічних наук
О. І. Сігала*

КИЇВ
ІВЦ АЛКОН
2023

Сігал І. Я., Сміхула А. В., Марасін О. В., Горбунов О. В., Мігалін С. В. КОНЦЕПЦІЯ ЗНИЖЕННЯ ВИКИДІВ ОКСИДІВ АЗОТУ ІСНУЮЧИМИ ГАЗОВИМИ КОТЛАМИ УКРАЇНИ, ЩО ВХОДЯТЬ ДО СКЛАДУ LCP	51
Абдулін М. З., Сірий О. А., Куник А. А. ПІДВИЩЕННЯ РЕАКЦІЙНОЇ ЗДАТНОСТІ ПРИРОДНОГО ГАЗУ ТА ПРОПАН-БУТАНУ	57
Сігал І. Я., Сміхула А. В., Марасін О. В., Домбровська Е. П. ДОСВІД СПАЛЮВАННЯ БІОГАЗУ В ІСНУЮЧИХ ПАРОВИХ ТА ВОДОГРІЙНИХ КОТЛАХ	63
Vuinevicius K., Jancauskas A. COMBUSTION PERFORMANCE OF OAT HULLS PELLETS	67
Козлов І. Л., Ковальчук В. І., Сова К. О., Козлов О. І. НАПРЯМКИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТА ЗМЕНШЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ РЕГІОНАЛЬНОГО ПАЛИВНО-ЕНЕРГЕТИЧНОГО КОМПЛЕКСУ	70
Колієнко А. Г. ВЗАЄМОЗАМІННІСТЬ ГОРЮЧИХ ГАЗІВ ПРОМИСЛОВОГО І КОМУНАЛЬНО-ПОБУТОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ	76
Фіалко Н. М., Меранова Н. О., Юрчук В. Л., Рокитько К. В., Кліщ А. В., Малецька О. Є., Дашковська І. Л., Ольховська Н. М. ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ МІКРОФАКЕЛЬНИХ ПАЛЬНИКІВ ШЛЯХОМ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ ГОРІННЯ	80
Кравченко В. П., Оверченко А. О., Козлов І. Л., Ковальчук В. І., Головін М. О., Козлов О. І. ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ АТОМНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ В СИСТЕМАХ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ	84
Звягінцев В. Л., Івченко О. В. ТЕПЛОВИЙ БАЛАНС ВІДПУЩЕНОЇ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ ВІД ТЕЦ, КОТЕЛЬНІ ТА ТЕПЛОВІ ВТРАТИ ЗАКРИТИХ ТА ВІДКРИТИХ СИСТЕМАХ ЦЕНТРАЛЬНОГО ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ	88
Бикоріз Є. Й., Плашихін С. В., Магєра Ю. М., Ніжник Н. А., Селіванов В. І. ОСОБЛИВОСТІ ПАЛЬНИКА З НАДНИЗЬКОЮ ЕМІСІЄЮ ОКСИДІВ АЗОТУ	99

ВЗАЄМОЗАМІННІСТЬ ГОРЮЧИХ ГАЗІВ ПРОМИСЛОВОГО І КОМУНАЛЬНО-ПОБУТОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

При вивченні можливості використання горючих газів, відмінних від природного (наприклад водню) основним є питання про їх взаємозамінність. Вирішення цього питання є компромісом між намаганням з однієї сторони, збільшити частку газів-замінників природного, а з іншої – забезпечити основні принципи безпеки і ефективності використання палива, а також мінімізації інвестицій, котрі необхідні для переходу газоспалювальних і топкових пристроїв з чистого природного газу на інший газ. Питання взаємозамінності набуває актуальності, коли виникає реальна альтернатива використанню основного горючого газу, наприклад природного.

Під взаємозамінністю згідно вимог нормативів [1] розуміють можливість сталої, ефективної і безпечної роботи газоспалювального обладнання при заміні горючих газу без внесення будь яких змін в конструкцію пальника і іншого обладнання, а також без зміни режиму роботи і налаштувань його роботи.

Таким чином, лише для взаємозамінних газів існує можливість переходу з одного горючого газу на інший із збереженням наступних характеристик процесу горіння:

- заявленої паспортної номінальної теплової потужності паливоспалювального агрегату, N , кВт;
- ефективності або коефіцієнту корисної дії роботи агрегату, η , %;
- стабільної роботи газопальникового пристрою із запобіганням явищ проскоку або відриву полум'я;
- повноти згорання палива (забезпечення допустимої концентрації продуктів хімічного недопалу палива у продуктах згорання);
- запобігання виникнення жовтих проблісків полум'я, і утворення сажистих частинок в полум'ї.

Згідно [2, 3] на території України характерним є використання в основному природного газу другої категорії групи L або E. Індекс взаємозамінності Воббе за нижчою теплою згорання для газів групи L повинен мати значення від мінімального 39,1 МДж/м³ до максимального 44,8 МДж/м³.

Визначення індексу Воббе виконується згідно залежності:

$$W_i = \frac{H_i}{\sqrt{d}} = \frac{H_i}{\sqrt{\frac{\rho_{\Gamma}}{\rho_{\text{пов}}}}},$$

де H_i – нижча теплота згорання горючого газу¹, МДж/м³;

d – відносна щільність горючого газу;

$\rho_{\Gamma}, \rho_{\text{пов}}$ – щільність горючого газу і повітря на горіння за однакових умов, кг/м³.

Тотожність (точна або приблизна) індексу Воббе $W_1 = W_2 \pm 5\%$ для двох газів означає, що газові прилади будуть ефективно і безпечно працювати за сталої потужності без будь яких змін в конструкції газопальникових і топкових пристроїв і без коригування режимних параметрів роботи газоспалювальної техніки.

Крім того, згідно вимог [2, 3], обладнання, повинно пройти випробування на випробувальних газах (табл. 1), кожен із яких за своїм складом є критичним с точки зору забезпечення зазначених характеристик роботи обладнання. Отже індекс Воббе є не єдиним критерієм взаємозамінності газів. Тотожність індексу Воббе для двох газів є необхідною, але не достатньою умовою для забезпечення взаємозамінності газів.

Як видно із табл. 1 для випробування на наявність проскоку пропонується газова суміш з умістом водню до 23%. Таким чином, уміст водню у 23% у суміші з природним газом згідно з вимогами ДСТУ ГОСТ EN 437:2014 є критичним з точки зору втрати стабільності факелу і виникнення явища проскоку полум'я.

Водень, як горючий газ, має різко відмінні характеристики від природного газу.

Індекс Воббе для метану і водню відрізняються на 15%, що у 3 рази перевищує нормовану величину 5%. Забезпечити перехід роботи пальника з природного газу на водень без змін у конструкції пальника і без втрати теплової потужності установки неможливо.

¹ Можливим є також визначення індекса Воббе за величиною вищої теплоти згорання.

Тип, склад і характеристики випробувальних газів

Група мережного горючого газу	Назва випробувальної характеристики роботи газоспалювального обладнання		
	Проскок полум'я	Відрив полум'я	Повнота згорання палива і сажоутворення (жовті пробіски полум'я)
Друга категорія, група L	—	G27 Склад: CH ₄ – 82% об. C ₃ H ₈ – 18% об. W _i = 35,17 МДж/м ³ H _i = 27,89 МДж/м ³	G26 Склад: CH ₄ – 80% об. C ₃ H ₈ – 7% об. N ₂ – 13% об. W _i = 40,52 МДж/м ³ H _i = 33,36 МДж/м ³
Друга категорія, група E	G222 Склад: CH ₄ – 77% об. H ₂ – 23% об. W _i = 42,87 МДж/м ³ H _i = 28,53 МДж/м ³	G231 Склад: CH ₄ – 85% об. C ₃ H ₈ – 15% об. W _i = 36,82 МДж/м ³ H _i = 28,91 МДж/м ³	G21 Склад: CH ₄ – 87% об. C ₃ H ₈ – 13% об. W _i = 49,60 МДж/м ³ H _i = 41,01 МДж/м ³

Тому актуальності набуває питання про використання суміші водню і природного газу і про допустимий уміст водню у такій горючій суміші. Для суміші природного газу і водню було виконано розрахунки основних групових характеристик. Результати розрахунків подано у табл. 2.

Як видно із даних табл. 2 нормативна вимога про досягнення допустимих змін індексу Воббе не дотримується уже для суміші з об'ємним умістом водню 20%. Аналіз інших нормованих за [2, 3] критеріїв і індексів взаємозамінності – індексів Кноу, Даттона, Вівера, методів AGA і Дельбурга свідчить про факт відсутності взаємозамінності природного газу і його суміші з воднем за умови ще меншого об'ємного умісту водню – близько 15–20% об.

Досягти можливості роботи установок, що призначені для природного газу, на сумішах його з воднем у кількості більше 20–25% можна лише за умови зміни конструкції пальника. Для інжекційних пальників низького тиску побутових газових приладів для цього необхідно змінити як діаметр сопла, так і тиск газу у газопроводах розподільних мереж. У разі використання дуттьових пальників – необхідна заміна кон-

струкції пальників і їх стабілізаторів. При цьому доцільно використання існуючого досвіду такого спалювання, що існує в Україні при спалюванні газів високо- і середньотемпературної перегонки твердого і рідкого палива, а також біогазу [4].

Таблиця 2

Горючі характеристики суміші природного газу і водню

Найменування характеристики суміші	Од. вим.	Уміст Н ₂ у суміші, % об.		
		10	30	50
Щільність	кг/м ³	0,65	0,52	0,40
Теплота згорання нижча	МДж/м ³	33,38	28,36	23,33
Індекс Воббе за нижчою теплоотою згорання	МДж/м ³	46,95	44,37	41,81
Відмінність індексу Воббе суміші від індексу Воббе природного газу (48,22)	%	2,6	8,0	13,2
Межі спалахування:				
– нижня	% об.	4,9	4,6	4,4
– верхня		16,3	19,7	25,0
Коефіцієнт надлишку повітря на межах спалахування:				
– на нижній межі спалахування	–	2,20	2,70	3,62
– на верхній межі спалахування		0,58	0,55	0,50
Швидкість проскоку полум'я	м/с	0,19	0,26	0,37
Граничний коефіцієнт надлишку повітря на межі утворення жовтих проблесків полум'я	–	0,21	0,19	0,17
Теоретична потреба у повітрі для повного згорання (стехіометрична кількість повітря)	м ³ /м ³	8,8	7,4	5,9
Об'єм продуктів згорання ($\alpha = 1,15$)	м ³ /м ³	11,1	9,3	7,6

Висновок. Заміна одного горючого газу іншим на існуючому газоспалювальному обладнанні є складним інженерним процесом, який потребує детального розгляду. Питання зводиться до безпеки і ефективності використання горючого газу. Виходячи із нормативних індексів взаємозамінності граничним умістом водню у горючій суміші з природним газом є його уміст, що не перевищує 15–20% об.

Список використаної літератури

1. Halchuk-Harrington R. and Wilson R. AGA Bulletin#36 and Weaver Interchangeability Methods: Yesterday's Research and Today's Challenges, AGA Gas Operations Conference, May 2–4, 2006.
2. ДСТУ ГОСТ EN 437:2018. Випробувальні гази. Випробувальний тиск. Категорії приладів. ДП «Український науково-дослідний і навчальний центр проблем стандартизації, сертифікації та якості» (ДП «УкрНДНЦ»). – К., 2018.
3. ДСТУ ISO 13686:2015. Природний газ. Показники якості. (ISO 13686:2013, IDT). ДП «УкрНДНЦ»), 2016.
4. Сигал И. Я. Особенности горения и опыт сжигания биогаза в промышленных котлах [Электронный ресурс] / Сигал И. Я., Марасин А. В. // 10-а міжнародна конференція «Енергія біомаси», Київ, 23–24 вересня 2014 р. – К., 2014.

УДК 662.61:621

**Н. М. Фіалко, Н. О. Меранова, В. Л. Юрчук, К. В. Рокитько,
А. В. Кліщ, О. Є. Малецька, І. Л. Дашковська, Н. М. Ольховська**

Інститут технічної теплофізики НАН України, м. Київ

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ МІКРОФАКЕЛЬНИХ ПАЛЬНИКІВ ШЛЯХОМ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ ГОРІННЯ

Один із способів підвищення ефективності робочого процесу горіння полягає у застосуванні різних засобів його інтенсифікації.

Необхідність інтенсифікації горіння стосується, насамперед, вогнетехнічних об'єктів малої та середньої потужності, які вимагають короткого факелу полум'я з огляду на їх порівняно невеликі розміри. Інтенсифікація процесу горіння полягає у підвищенні швидкості перебігу і більшій завершеності його основних стадій – стадії сумішоутворення палива і окиснювача, запалювання і власне процесу горіння. Вказані основні стадії процесу горіння визначають перебіг інших елементів робочого процесу, а саме, стабілізацію факела, стійкість горіння на різних режимах роботи, зовнішній і внутрішній теплообмін, утворення токсичних складових в продуктах згорання тощо. Отже, підвищення інтенсивності спалювання палива є комплексною пробле-