



Національний університет
"Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка"

**XI Всеукраїнський
науково-практичний семінар**

НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ І ЗДОРОВ'Я ЛЮДИНИ

20 жовтня 2024 року

Збірник матеріалів



Полтава 2025

УДК 662.769:697.34

ІНТЕГРАЦІЯ ГАЗОВОДНЕВИХ СУМІШЕЙ У СИСТЕМУ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЖИТЛОВИХ БУДІВЕЛЬ

*Литвиненко Олександр
Полтава, Україна*

Сучасна енергетична система України характеризується суттєвим дефіцитом природного газу, що обумовлює необхідність пошуку альтернативних рішень у сфері теплогазопостачання. Використання водню у складі паливних сумішей розглядається як стратегічний напрям декарбонізації енергетики та підвищення енергетичної незалежності держави. Додавання водню до природного газу знижує питомі викиди CO₂ та забезпечує екологічні переваги без істотних змін у наявній інфраструктурі.

Метою дослідження є обґрунтування максимально допустимої частки водню у складі газової суміші для використання в побутових системах газопостачання без втрати ефективності та безпеки. Основні завдання: аналіз фізико-хімічних властивостей сумішей; дослідження критеріїв взаємозамінності; моделювання роботи приладів; розробка рекомендацій.

Методологічною основою дослідження є аналіз теплофізичних параметрів паливних сумішей (теплота згоряння, густина, число Воббе), а також розрахункове моделювання режимів роботи побутових газоспалювальних приладів. У дослідженні використано положення класичної теорії згоряння газів, нормативні документи (ДСТУ EN 437:2014, Постанова №2493 від 30.09.2015 Про затвердження Кодексу газотранспортної системи та Постановою №2494 від 30.09.2015 Про затвердження Кодексу газорозподільних систем.

Для оцінки можливості заміни природного газу газоводневою сумішшю було проведено розрахунки основних характеристик.

У класичній теорії і практиці спалювання горючих газів питання взаємозамінності двох різних газів не є новим. У різних країнах приходили до нього тоді, як виникала альтернатива використанню основного горючого газу, зокрема природного. Таким альтернативним газом міг бути біогаз, нафтозаводський газ, генераторний газ, скраплений природний газ (LNG), скраплений пропан-бутан, інші горючі гази, а також їх суміші.

В Україні для комунально-побутових споживачів природний газ був і донині є основним та безальтернативним видом палива. Саме тому в чинному вітчизняному законодавстві нормування взаємозамінності різних газів регламентується не на належному рівні.

Таблиця 1 – Основні характеристики палива

Види палива	Характеристики палива					
	Теплота згорання, $\frac{кДж}{нм^3}$		Густина, $\frac{кг}{нм^3}$	Критерій Воббе, Wo	Розширений критерій Воббе, Wo'	Об'єм продуктів згорання, $\frac{нм^3}{нм^3}$
	нижча	вища				$\alpha = 1.25$
Природний газ	35894,9	39808,1	0,715	48224,1	1718565,1	12,9
Газ із умістом водню 10%	33383,4	37102,3	0,652	46952,3	1673242,0	11,96
Газ з умістом водню 20%	30871,9	34396,4	0,589	45666,0	1627401,9	11,01
Газ із умістом водню 30%	28360,4	31690,7	0,527	44371,6	1581272,9	10,07
Газ із умістом водню 40%	25848,9	28984,9	0,464	45795,13	1632003,7	9,13
Газ із умістом водню 19%	31123,0	34667,0	0,059	45795,1	1632003,7	11,11

Звернемось до вимог чинної в Україні нормативної документації з питання щодо якості горючого газу та можливості його взаємозамінності.

Будемо розуміти під взаємозамінністю можливість сталої, безпечної та ефективної роботи газоспалювального обладнання при заміні одного горючого газу на інший без внесення в конструкцію пальника й іншого обладнання паливовикористовуючої установки без будь-яких змін обладнання, а також без зміни налаштувань роботи і режиму роботи такого обладнання.

Тому можливість безперешкодного та неодноразового переходу у часі з одного горючого газу або суміші газів на інший горючий газ із збереженням (або незначними допустимими змінами) основних характеристик процесу горіння є тільки для категорії взаємозамінних газів.

До основних характеристик процесу горіння відносять:

- теплову потужності паливоспалювального агрегату, N , кВт;
- ефективність або ККД роботи агрегату, η , %;
- умови порушення стабільної роботи газопальникового пристрою, що виявляється вигляді відриву полум'я від зрізу пальника і, відповідно, його погасання, $X_{в.}$, % об. горючого у суміші з окиснювачем (повітрям);
- умови порушення стабільної роботи газопальникового пристрою, що виявляється у вигляді явища проскоку полум'я у корпус пальника, $X_{пр.}$, % об. горючого у суміші з окиснювачем (повітрям);
- повнота згорання палива (забезпечення певної концентрації продуктів хімічного недопалювання палива у продуктах згорання), мг/м^3 , або % об. продуктів хімічного недопалу;

– умови виникнення жовтих пробісків полум'я. Це свідчить про процес утворення сажистих частинок у полум'ї через недостатню кількість повітря на потреби горіння (первинного або загального повітря).

Таким чином, при аналізі питання щодо можливості процесу взаємозамінності основного газу, для якого була запроектована робота пальника та паливоспалювальної установки, на альтернативний, котрий має замінити основний, необхідно та важливо забезпечити стійку та ефективну роботу пальника та установки не тільки без змін конструкції та режиму роботи, а й з дотриманням паспортної (проектної) величини коефіцієнта регулювання пальника. Високоєфективна й стабільна робота пальника таким чином має бути забезпечена в усьому діапазоні регулювання потужності пальника – від мінімальної до максимальної, які зазначені у паспортних характеристиках.

Згідно з чинним EN 437: 2003. «Test gases.-Test pressures.-Appliance categories» (в Україні – ДСТУ EN 437:2014, «Випробувальні гази. Випробувальний тиск. Категорії приладів») всі види горючих мережних газів, що подаються споживачам, класифікуються за різними категоріями – Gas family: першою другою і третьою; а також за різними групами, наприклад: H, L, E. Кожна категорія, включає гази, що об'єднані в групи – вони мають аналогічні характеристики горіння і об'єднані по принципу тотожності у певному діапазоні величини (числа), що називають індексом Воббе.

Такий усталений діапазон індекса Воббе для різних газів, об'єднаних в одну групу, означає, що газові прилади, котрі використовують різні горючі гази у межах однієї групи (наприклад групи H) будуть ефективно і безпечно працювати за сталої потужності при спалюванні цих газів без будь яких змін у конструкції газопальникових і топкових пристроїв і без коригування режимних параметрів роботи газоспалювальної техніки.

На території України характерним є використання в основному горючого (природного газу) другої категорії групи L або E. Згідно вимог ДСТУ EN 437:2014, діапазон значень для індекса Воббе за нижчою теплою згорання для газів групи L лежить від мінімального 39,1 МДж/м³ до максимального 44,8 МДж/м³, що приведених до умов: температура 15°C , тиск 1013,25 мбар.

Виходячи з аналітичного виразу для визначення індексу Воббе теплота згорання такого газу повинна приблизно бути у межах від 34 до 54,6 МДж/м³. Газове обладнання на території України випускається, постачається і експлуатується саме для такої категорії газів.

Згідно із Постановою №2493 та Постанова №2494 критерієм взаємозамінності горючих газів є число Воббе, що являє собою відношення теплоти згорання (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 $\pm 5\%$.

Тотожність (точна або приблизна) одного із індексів взаємозамінності – індексу Воббе для двох газів свідчить про те, що теплова потужність паливоспалювальної установки при переході з одного виду газу на інший не буде суттєво змінюватись. Це гарантує отримання однакової кількості енергії від установки при переході з одного горючого газу на інший.

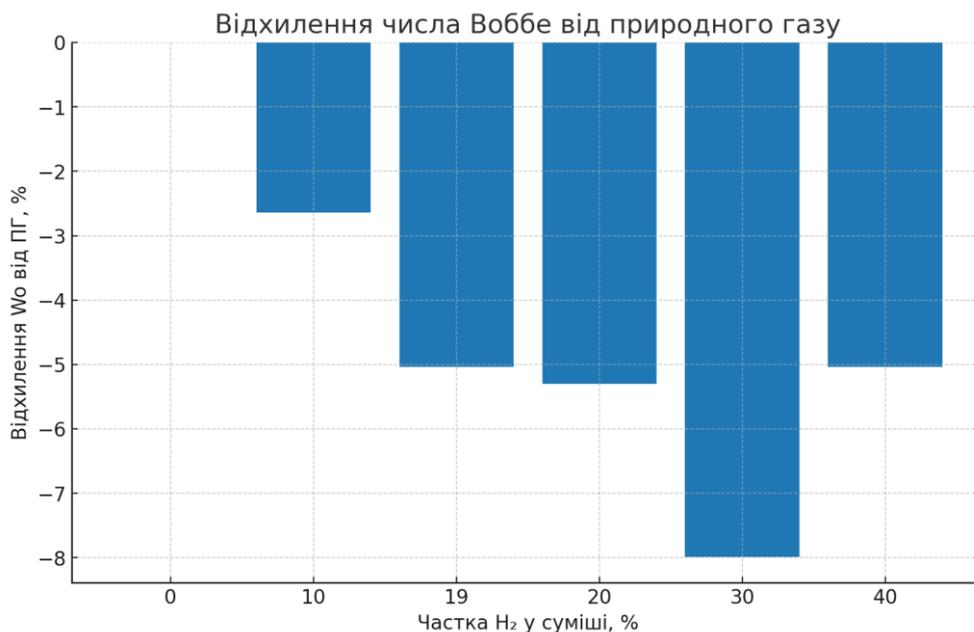


Рисунок 1 – Відхилення числа Воббе від природного газу

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.

Якщо критерій Воббе для двох газів відрізняється більше ніж на 5%, то гази вважаються невзаємозамінними й перехід роботи газового обладнання з одного газу на інших без додаткових заходів неможливий. Аналіз показує що максимально допустимий уміст водню у суміші для виконання умови взаємозамінності природного газу має становити 19%. Відмінність критерію Воббе становить 5%, що свідчить про можливість їх взаємозаміни.

За результатами проведеного дослідження сформульовано такі висновки:

1. Використання газоводневих сумішей є перспективним напрямом розвитку систем енергозабезпечення житлових будинків.

2. Оптимальною концентрацією водню в суміші з природним газом, що забезпечує безпечну та ефективну експлуатацію обладнання без його модифікації, є 19%.

3. Перевищення цієї концентрації потребує конструктивних змін у пальникових пристроях і регулювання режимних параметрів системи газопостачання.

4. Використання водню сприяє зниженню вуглецевих викидів і відповідає світовим тенденціям декарбонізації.

Використані інформаційні джерела:

1. ДСТУ EN 437:2014. Випробувальні гази. Випробувальний тиск. Категорії приладів.
2. Постанова №2493 від 30.09.2015 Про затвердження Кодексу газотранспортної системи.
3. Постанова №2494 від 30.09.2015 Про затвердження Кодексу газорозподільних систем.
4. Литвиненко О. О. Енергозабезпечення житлового будинку з використанням водню : Дипломний проєкт. Полтава : НУ «Полтавська політехніка ім. Ю. Кондратюка», 2022 (рукопис).
5. Ferguson DH. Fuel interchangeability considerations for gas turbine combustion. In: Fall 2007 east states sect meet combust inst, Charlottesville, Virginia. Pittsburgh (PA): Combustion Institute; 2007. P. 1–10.

УДК 622.93.074:546.262.3-31-044.57]:001.891.5

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ЗІ ЗМЕНШЕННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ СО В ДИМОВИХ ГАЗАХ ТВЕРДОПАЛИВНОГО КОТЛА

*Нестеренко Богдан, Кутний Богдан,
Полтава, Україна*

Монооксид вуглецю (СО) є безбарвним та без запаху газом, який утворюється в результаті неповного згоряння вуглеводнів. Він має високу токсичність і становить загрозу як для людини, так і для довкілля. У закритих просторах або приміщеннях із поганою вентиляцією рівень СО може перевищувати норму в кілька разів, що призводить до отруєнь. СО має високу спорідненість із гемоглобіном, утворюючи карбоксигемоглобін і блокуючи транспортування кисню [1-4].

Найбільш поширеними джерелами СО є:

- спалювання твердого палива в котельних установках;
- використання генераторів та опалювальних печей без належної вентиляції;
- несправне обладнання для горіння;
- робота двигунів внутрішнього згорання.

Неповне згоряння палива, низька температура в топковій камері та нестача кисню – головні чинники підвищення концентрації СО [5-7].

Для зниження концентрації монооксиду вуглецю доцільно застосовувати комплексні технічні та організаційні заходи, зокрема:

1. Забезпечення повного згоряння палива. Надлишок кисню у топці сприяє повному окисненню СО до СО₂. Контроль і регулювання співвідношення «паливо-повітря» дозволяють уникнути дефіциту кисню.