

## КРИТЕРІЇ ВЗАЄМОЗАМІННОСТІ ГОРЮЧИХ ГАЗІВ

Вінницький національний технічний університет

### Анотація

Проаналізовано літературну інформацію по способах оцінки взаємозамінності горючих газів. Досліджено взаємозамінність горючих газів (генераторного, біогазу, біометану, водню) у суміші з природним газом за критеріями Даттона. Показано, що за критерієм сажоутворення майже всі досліджувані суміші є взаємозамінними. Розрахунки за індексом неповного згорання показали, що у всьому досліджуваному діапазоні показники сумішей  $ICF < 0,48$ . За індексом відриву полум'я найбільш надійно працюватиме пальник на суміші біогазу і природного газу та біометану і природного газу. За вмісту генераторного газу в суміші з природним газом 50 % і більше ймовірно відривання полум'я від пальника.

**Ключові слова:** біогаз, природний газ, генераторний газ, біометан, водень, спалювання, суміш газів, число Воббе, індекс неповного згорання, індекс відриву полум'я, індекс сажоутворення.

### Abstract

Literary information on methods of assessing the interchangeability of combustible gases was analyzed. The interchangeability of combustible gases (generator gas, biogas, biomethane, hydrogen) in a mixture with natural gas according to Dutton's criteria was investigated. It is shown that according to the criterion of soot formation, almost all the investigated mixtures are interchangeable. Calculations based on the index of incomplete combustion showed that in the entire studied range, the indices of the ICF mixtures were  $< 0.48$ . According to the flame separation index, the burner will work most reliably on a mixture of biogas and natural gas and biomethane and natural gas. If the content of generator gas in a mixture with natural gas is 50% or more, the flame may break off from the burner.

**Keywords:** biogas, natural gas, generator gas, biomethane, hydrogen, combustion, mixture of gases, Wobbe number, incomplete combustion factor, lift index, soot index.

### Вступ

У різних країнах діють різні критерії взаємозамінності горючих газів (критерій Воббе, індекс Кноу, метод Вівера, критерій Даттона, метод Дельбурга, індекси АГА) [1-3]. У вітчизняній нормативній документації використовується критерій Воббе, що оцінює в основному можливість забезпечення сталої теплової потужності агрегату при переході з одного горючого газу на інший. В роботі [1] нами обґрунтовано на основі критерію Воббе можливість спалювання суміші природного газу і біогазу в різних пропорціях на ТЕЦ спиртзаводу. Слід зазначити, що вітчизняною нормативною документацією [4] встановлюється допустиме відхилення меж числа Воббе для замінного газу і того, що заміняє  $\pm 5\%$ , в той час як в США  $\pm 4\%$ , в Німеччині  $\pm 10\%$ , Франції  $\pm 7\%$ . В роботі [2] досліджено умови заміни природного газу сумішшю природного газу і водню у комунально-побутових і промислових паливоспалювальних установках з використанням комплексу критеріїв взаємозамінності.

Індекс Воббе став найбільш прийнятим параметром для опису взаємозамінності, проте варто комплексно підходити до оцінки взаємозамінності газів.

**Мета роботи** – обґрунтування можливості спалювання сумішей штучних газів з природним газом з врахуванням критеріїв взаємозамінності Даттона.

### Основна частина

В даній роботі розглянуто критерії взаємозамінності Даттона (індекс неповноти згорання, індекс відриву полум'я, індекс сажоутворення).

Індекс неповного згорання (Incomplete combustion factor)

$$ICF = (W_o - 50,73 + 0,03 \cdot PN) / 1,56$$

$W_o$  – критерій Воббе;  $PN$  – сума пропану і азоту в еквівалентній суміші, %. Індекс неповного згорання повинен бути меншим за 0,48.

Індекс відриву полум'я (Lift Index)

$$LI = 3,25 - 2,41 \cdot \arctan \left[ (0,122 + 0,0009 \cdot H_2) \cdot \left[ (W_0 - 36,8 - 0,0119 \cdot PN) + (0,775 - 0,118 \cdot PN^{1/3} \cdot H_2) \right] \right]$$

де  $H_2$  – вміст водню в газі, %.

Індекс сажоутворення (Soot Index)

$$SI = 0,896 \arctan (0,0255 \cdot C_3H_8 - 0,0233 \cdot N_2 + 0,617),$$

де  $C_3H_8$  – вміст пропану в газі, %. Індекс сажоутворення повинен бути меншим за 0,6.

Характеристики газів, що взято для числових досліджень наведено в роботі [5].

На рисунку 1 показано результати числових досліджень.

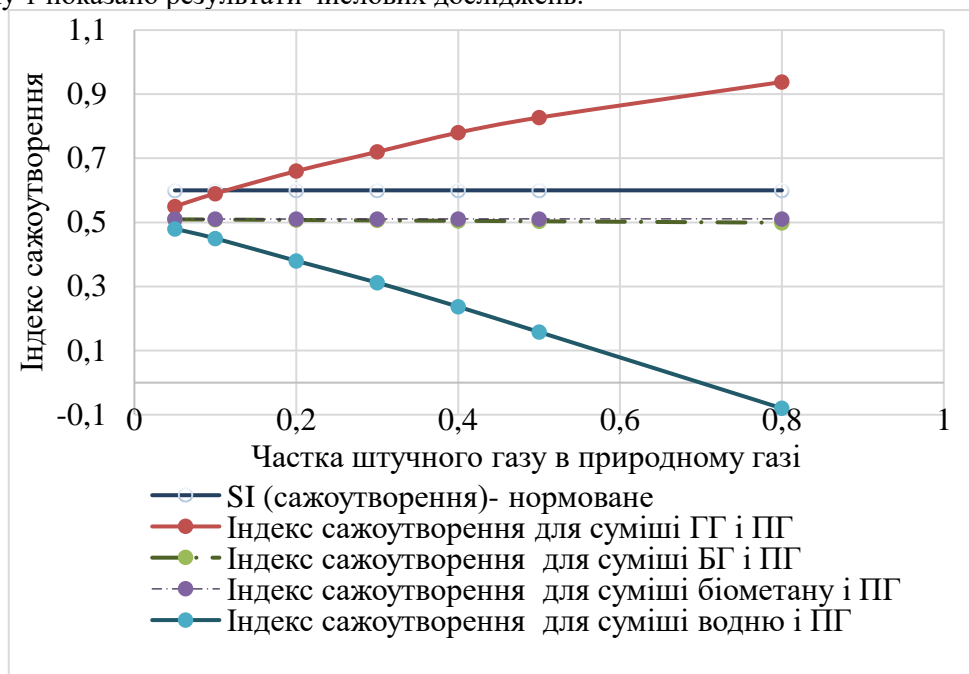


Рисунок 1 – Дослідження впливу частки газів у суміші з природним газом на індекс сажоутворення

За критерієм сажоутворення майже всі досліджувані суміші є взаємозамінними. Вийняток є суміш природного і генераторного газів. При вмісті ГГ в суміші більше 10 % можливе утворення сажистих частинок.

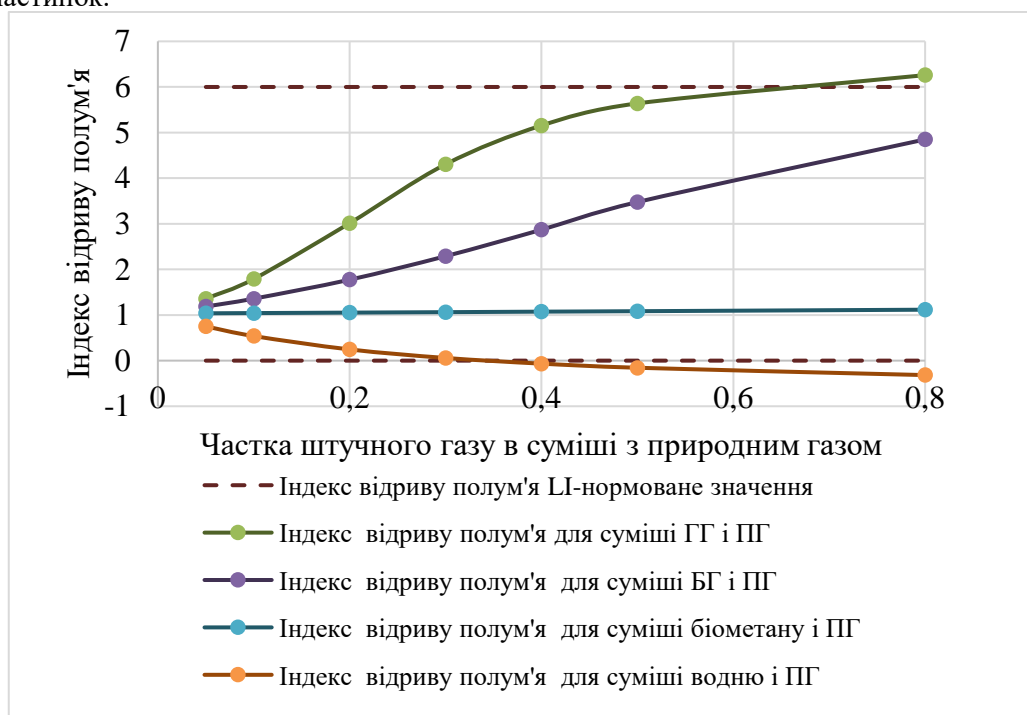


Рисунок 2 – Дослідження впливу частки газів у суміші з природним газом на індекс відриву полум'я LI

Нормоване значення індексу LI знаходиться в межах від 0 до 6. Значення LI ближче до 0 свідчить про відсутність видимого відокремлення основ полум'я від пальника. Значення індексу близькі до 6 свідчать про відрив 50...100 % полум'я. Коли індекс менше нуля, то можливий проскок полум'я в корпус пальника. Як бачимо з рисунку 2, найбільш надійно працюватиме пальник на суміші біогазу і природного газу та біометану і природного газу. За вмісту генераторного газу в суміші з природним газом 50 % і більше ймовірно відривання полум'я від пальника. За вмісту водню в суміші більше 30 % можливий проскок полум'я в пальник. Розрахунки за індексом неповного згорання показали, що у всьому досліджуваному діапазоні показники сумішей  $ICF < 0,48$ .

Як показали результати досліджень [5], взаємозамінними є суміш біометану і природного газу (ПГ), оскільки у всьому діапазоні зміни частки біометану у суміші витримується рівність (1). Для суміші водню (до 20 %) і ПГ рівність (1) дотримується. Спалювання біогазу у суміші з природним газом без зміни конструкції пальника можливе за вмісту БГ у суміші до 10 %. Дослідження також показали, що генераторний газ (ГГ) в суміші з ПГ неможливо спалювати в існуючому пальнику, оскільки в досліджуваному діапазоні частки ГГ в суміші 5 % до 80 % критерій Воббе становить від 44,7 до 11 МДж/м<sup>3</sup>, що суттєво менше від такого показника для природного газу (47,56 МДж/м<sup>3</sup>).

Проведені дослідження показали ряд проблем, що виникають на етапі оцінки взаємозамінності газів, оскільки одні й ті ж суміші за різними критеріями можуть бути взаємозамінними і навпаки.

Огляд літературної інформації показав, що практичних рекомендацій по переведенню промислових котлів на спалювання сумішей газів з різною теплою згорання вкрай обмаль. Разом з тим цей напрямок досліджень є надзвичайно актуальним, оскільки спалювання альтернативних газів (біогазу, біометану, генераторного газу, водню) дозволить частково вирішити проблему дефіциту традиційних енергетичних палив.

## ВИСНОВКИ

Проведено числові дослідження впливу частки горючих газів (генераторного, біогазу, біометану, водню) у суміші з природним газом на індекси Даттона. Показано, що за критерієм сажоутворення майже всі досліджувані суміші є взаємозамінними. Винятком є суміш природного і генераторного газів. При вмісті ГГ в суміші більше 10 % можливе утворення сажистих частинок. Розрахунки за індексом неповного згорання показали, що у всьому досліджуваному діапазоні показники сумішей  $ICF < 0,48$ . За індексом відриву полум'я найбільш надійно працюватиме пальник на суміші біогазу і природного газу та біометану і природного газу. За вмісту генераторного газу в суміші з природним газом 50 % і більше ймовірно відривання полум'я від пальника. За вмісту водню в суміші більше 30 % можливий проскок полум'я в пальник.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Боднар Л. А. Особливості синтезу системи виробництва і спалювання біогазу на спиртзаводі /Л. А. Боднар, Д. І. Денесяк, А. С. Лук'янець// Науково-технічний збірник "Сучасні технології матеріали і конструкції в будівництві". – 2018. – №2. – С. 112– 117.
2. Колієнко А. Г. Умови заміни природного газу сумішшю природного газу і водню у комунально-побутових і промислових паливоспалювальних установках [Електронний ресурс]. URL <https://epg-kolvi.com/statti/sumish-pryrodnogo-gazu-i-vodnyu-u-yakosti-palyva-chastyna-1/>
3. Guidebook to gas interchangeability and gas quality URL <https://www.igu.org/resources/guidebook-to-gas-interchangeability-and-gas-quality-august-2011/>
4. ДСТУ ISO 13686:2015 «Природний газ. Показники якості»
5. Боднар Л. А. Особливості спалювання суміші газів в промислових теплогенеруючих установках / Л. А. Боднар, О. Куленко // Електронне наукове видання матеріалів ЛІІ Науково-технічної конференції підрозділів Вінницького національного технічного університету, 21-23 червня 2023 р. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2023/schedConf/presentations>

*Боднар Лілія Анатоліївна*, к.т.н., доцент кафедри теплоенергетики ВНТУ, <https://orcid.org/0000-0001-9497-214X>, e-mail: [Bodnar06@ukr.net](mailto:Bodnar06@ukr.net)

*Куленко Олександр Олексійович*, студент, e-mail: [sasha.kulenko@gmail.com](mailto:sasha.kulenko@gmail.com)

*Bodnar Lilia*, Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor of power engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [Bodnar06@ukr.net](mailto:Bodnar06@ukr.net).

*Kulenko Olexandr*, student, e-mail: [sasha.kulenko@gmail.com](mailto:sasha.kulenko@gmail.com)