

## ОСОБЛИВОСТІ СПАЛЮВАННЯ СУМІШІ ГАЗІВ В ПРОМИСЛОВИХ ТЕПЛОГЕНЕРУЮЧИХ УСТАНОВКАХ

Вінницький національний технічний університет

### Анотація

Проаналізовано літературну інформацію по способах оцінки взаємозамінності горючих газів. Проведено числові дослідження впливу частки горючих газів (генераторного, біогазу, біометану, водню) у суміші з природним газом на число Воббе. Показано, що спалювання біогазу у суміші з природним газом без зміни конструкції газопальникового пристрою можливе при вмісті біогазу у суміші до 10%, водню та природного газу до 20%. Показано, що спалювання біометану у суміші з природним газом можливе у будь-яких пропорціях, при цьому витримується рівність  $W_{o1} = W_{o2} = \text{const} \pm 5\%$ , що означає що гази є взаємозамінними і не потрібна заміна пальника.

**Ключові слова:** біогаз, природний газ, генераторний газ, біометан, водень, спалювання, суміш газів, число Воббе.

### Abstract

Literary information on methods of assessing the interchangeability of combustible gases was analyzed. Numerical studies of the influence of the proportion of combustible gases (generator gas, biogas, biomethane, hydrogen) mixed with natural gas on the Wobbe number were carried out. It is shown that burning biogas in a mixture with natural gas without changing the design of the gas burner is possible with a biogas content in the mixture of up to 10%, hydrogen and natural gas up to 20%. It is shown that the combustion of biomethane in a mixture with natural gas is possible in any proportions, while maintaining the equality of  $W_{o1} = W_{o2} = \text{const} \pm 5\%$ , which means that the gases are interchangeable and no replacement of the burner is required.

**Keywords:** biogas, natural gas, generator gas, biomethane, hydrogen, combustion, mixture of gases, Wobbe number.

### Вступ

Однією з особливостей сучасного розвитку є підвищена увага світової спільноти до проблем раціональності та ефективності використання енергоресурсів, впровадження технологій енерго- і ресурсозбереження, пошуку поновлюваних джерел енергії. [1]. В цьому контексті актуальним і важливим є: ширше впровадження технологій газифікації біомаси з подальшим спалюванням генераторного газу (ГГ); виробництво і спалювання біогазу (БГ) та біометану; спалювання водню.

**Мета роботи** – обґрунтування можливості спалювання сумішей газів в пальниках без зміни конструкції.

### Основна частина

Для оцінки можливості спалювання суміші палив в існуючих пальниках необхідно оцінити взаємозамінність газів.

Під взаємозамінністю будемо розуміти можливість сталої, ефективної і безпечної роботи газоспалювального обладнання при заміні одного горючого газу іншим без внесення будь-яких змін в конструкцію пальника і іншого обладнання паливовикористовуючої установки (ПВУ), а також без зміни режиму роботи і налаштувань роботи такого обладнання [2].

У різних країнах діють різні критерії взаємозамінності (критерій Воббе, індекс Кноу, метод Вівера, критерій Даттона, метод Дельбурга) [2, 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 [4].

Гази вважаються взаємозамінними без внесення змін у роботу пальників за умови рівності для них чисел Воббе ( $W_o$ ), які характеризують теплову потужність і аеродинамічні параметри пальників при постійному тиску газу.

$$W_{O_1} = W_{O_2} = \text{const} \pm 5\% \quad (1)$$

де  $W_{O_1}$ ,  $W_{O_2}$  – числа Воббе для замінного газу і того, що заміняє.

$$W_o = \frac{Q_n^p}{\sqrt{\bar{\rho}}}, \text{ де } \bar{\rho} - \text{відносна густина газу, } Q_n^p - \text{нижча теплота згорання газу, кДж/м}^3.$$

В таблиці 1 наведено характеристики газів, що взято для числових досліджень.

Таблиця 1 – Характеристики горючих газів

Паливо	Склад палива, %									
	CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	CO	H <sub>2</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>
Природний газ	98,9	0,12	0,06	0,9	0	-	-	-	0,01	0,01
Біогаз ( міські очисні споруди [5])	67,75	-	31,75	0,48	0,425	-	-	-	-	-
Біогаз (спиртзавод) [5]	69,3	-	30,2	0,2	0,3	-	-	-	-	-
Біогаз (тваринницька ферма) [5]	69,44	-	30,36	0,09	-	0,11	-	-	-	-
Генераторний газ (ГГ)	1,4	-	10,1	57,7	1,3	-	20,4	9,1	-	-
Водень	-	-	-	-	-	-	-	100	-	-
Біометан [6]	94-99,9		0,1-4	<3	<1					

На рисунку 1 показано результати числових досліджень.

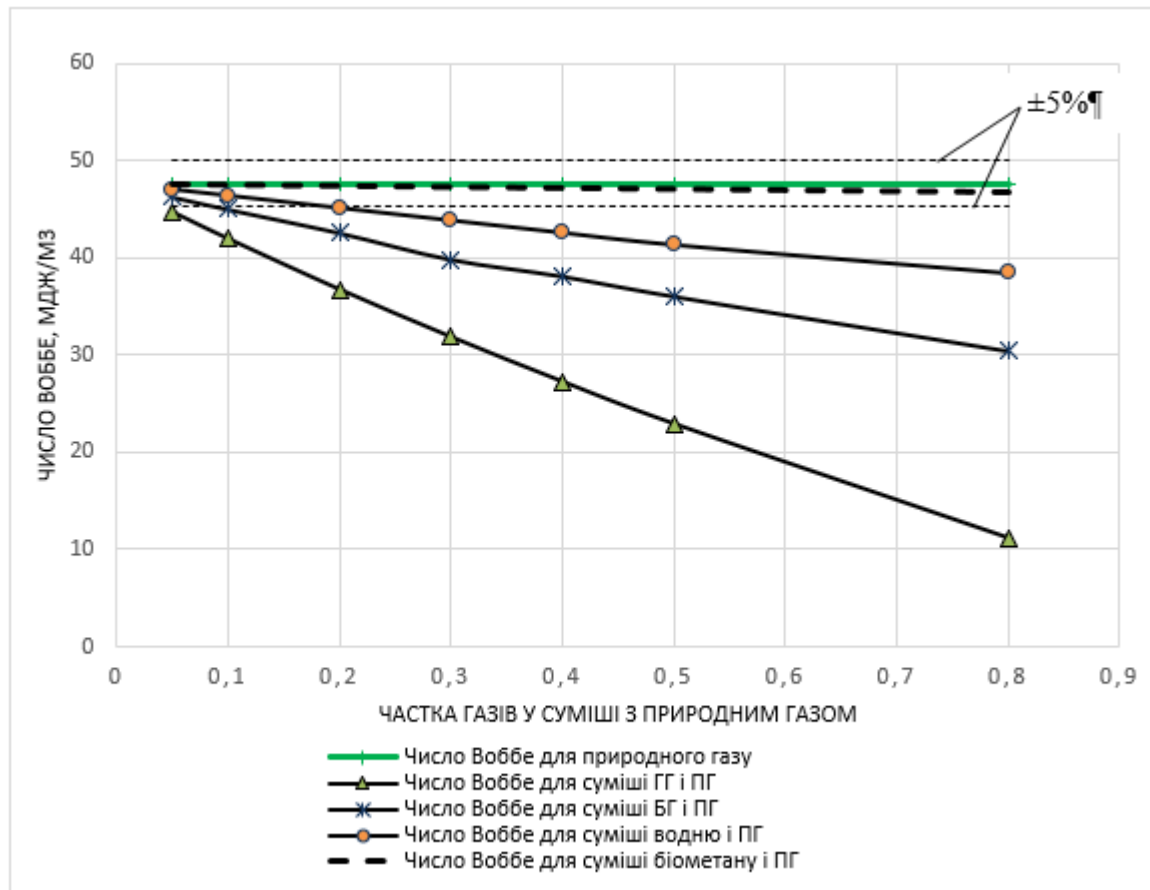


Рисунок 1 – Дослідження впливу частки газів у суміші з природним газом на число Воббе

Для розрахунку числа Воббе значення густин компонентів газів взято при температурі 0 °С, тиску 760 мм рт. ст. Як показали результати досліджень, 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>).

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

Проаналізовано літературну інформацію по способах оцінки взаємозамінності горючих газів. Проведено числові дослідження впливу частки горючих газів (генераторного, біогазу, біометану, водню) у суміші з природним газом на число Воббе. Показано, що спалювання біогазу у суміші з природним газом без зміни конструкції газопальникового пристрою можливе при вмісті біогазу у суміші до 10%, водню та природного газу до 20%. Показано, що спалювання біометану у суміші з природним газом можливе у будь-яких пропорціях, при цьому витримується рівність  $W_{O_1} = W_{O_2} = \text{const} \pm 5\%$ , що означає що гази є взаємозамінними і не потрібна заміна пальника. Досліджено, що генераторний газ і природний є не взаємозамінними.

## 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-prirodnogo-gazu-i-vodnyu-u-yakosti-palyva-chastyna-1/>
3. Жирнова О. В. Разработка автоматизированной системы диагностики и управления процессом сжигания биогаза. /Диссертация на соискание ученой степени доктора философии (PhD). – Республика Казахстан, Алматы. – 2017 г. – 212 с.
4. ДСТУ ISO 13686:2015 «Природний газ. Показники якості»
5. Сигал И. Я. Газогорелочные устройства для сжигания биогаза в котлах / И. Я. Сигал, А. В. Марасин, В. С. Бражник, А. В. Смихула, // Энерготехнологии и ресурсосбережение – 2014. - № 3. - С. 68 – 72.
6. Nurjehan Ezzaful Design of liquefaction process of biogas using aspen HYSYS Simulation /Journal of advanced research in biofuel and bioenergy 2, Issue 1. – 2018 . – pp 10-15 URL <https://www.researchgate.net/figure/Properties-of-natural-gas-raw-biogas-and-biomethane-4-tb11-327857990>

**Боднар Лілія Анатоліївна**, к.т.н., доцент кафедри теплоенергетики ВНТУ. e-mail: [Bodnar06@ukr.net](mailto:Bodnar06@ukr.net)  
**Куленко Олександр Олексійович**, студент

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

**Kylenko Olexandr**, student