

УДК 621.43.057.3

## МЕТОД УТИЛІЗАЦІЇ МОНООКСИДУ ВУГЛЕЦЮ В СИСТЕМІ ЕНЕРГЕТИЧНОГО КОМПЛЕКСУ З ВИКОРИСТАННЯМ ДОПОМІЖНОГО ГАЗОВОГО ДВИГУНА

Бганцев В.М.<sup>1</sup>, к.т.н., с.н.с.; Левтеров А.М.<sup>1</sup>, к.т.н., с.н.с.;  
Кондратенко О.М.<sup>2</sup>, д.т.н., доц.

<sup>1</sup>Інститут проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного Національної академії наук України, Харків, Україна;

<sup>2</sup>Національний університет цивільного захисту України, Харків, Україна

**Аналіз літератури та постановка проблеми.** Аналіз публікацій в галузі енергетики показує зростаючу актуальність питань екологічного моніторингу та підвищення ефективності роботи силових установок у відповідності до вимог офіційно прийнятих стандартів. Зниження собівартості електроенергії та утилізація енергії невикористаної теплоти можуть бути забезпечені у комбінованому енергетичному комплексі, що складається з енергоблоків, в яких використовуються різні енергоносії, доступні та економічно доцільні для даної місцевості. Побудова сучасних електростанцій великої потужності з використанням паливних елементів – відносно новий напрямок, який має суттєві переваги перед традиційними підлогами [1,2]. Енергетичні комплекси, у складі яких поряд з газовою або паровою турбіною у якості силового агрегату використовуються паливні елементи, мають більш високий ККД і можливість регулювання потужності у великому діапазоні за рахунок їх групового включення. Але є й недоліки, пов'язані з необхідністю дотримання особливих умов в період виведення паливного елемента на робочий режим. Здебільшого використовуються високотемпературні твердооксидні паливні елементи, для яких у якості палива використовують метан, а з нього за допомогою конверсійних технологій отримують водень з супутніми газами. Токсичним продуктом в процесі конверсії метану є монооксид вуглецю (СО) [2], його кількість максимальна перед початком прогрівання паливного елемента. Кількість викидів СО взагалі визначається потужністю енергетичного комплексу. Для розв'язання проблеми утилізації монооксиду вуглецю доцільно додати до структури комплексу допоміжний поршневий двигун та забезпечити його роботу на сумішевому паливі (СО + метан) змінного складу. Окрім того з'являється можливість отримати додаткове джерело енергії живлення конверсійних пристроїв та додаткове джерело теплоти для процесу пароплазмової конверсії метану [3–5].

**Мета дослідження.** Підвищення рівня екологічної безпеки експлуатації енергетичного комплексу потужністю 25 МВт з твердооксидними високотемпературними паливними елементами шляхом розробки методу утилізації монооксиду вуглецю в системі енергетичного комплексу з використанням допоміжного газового поршневого двигуна внутрішнього згорання.

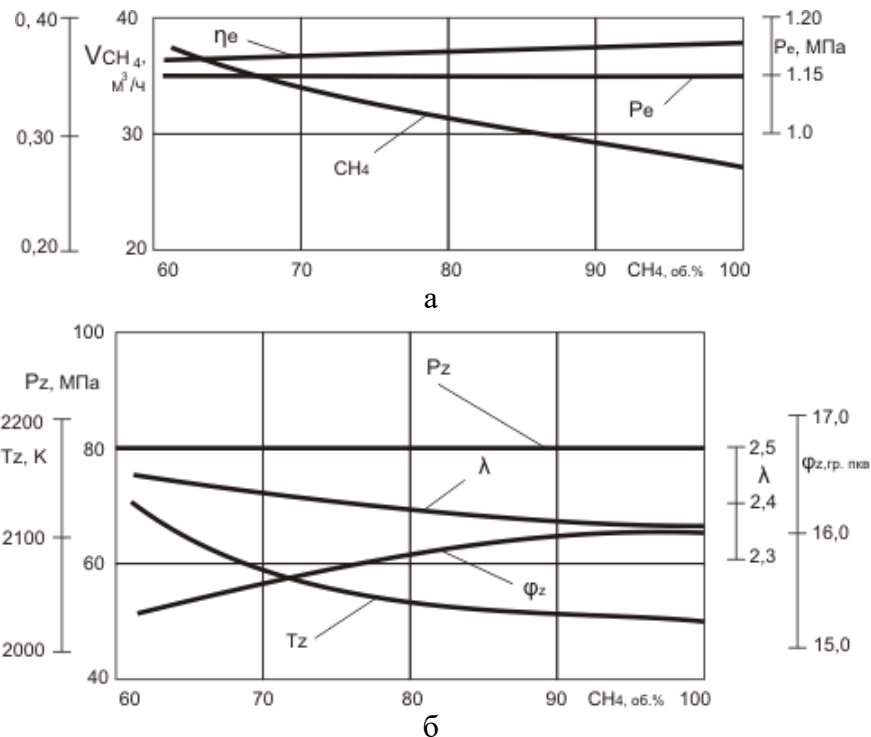
**Об'єкт дослідження.** Екологічна безпека експлуатації енергетичного комплексу потужністю 25 МВт з твердооксидними високотемпературними паливними елементами.

**Предмет дослідження.** Вплив на рівень об'єкту дослідження утилізації монооксиду вуглецю з використанням допоміжного газового поршневого двигуна внутрішнього згорання як технології захисту навколишнього середовища.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** При розробці у відділі водне-

вої енергетики ІПМаш НАН України схеми енергетичного комплексу потужністю 25 МВт орієнтувалися на використання твердооксидних високотемпературних паливних елементів. У зв'язку з цим виникла необхідність вибору допоміжного двигуна, його параметрів та визначення показників робочого циклу газового двигуна, пристосованого для роботи на сумішевому паливі монооксид вуглецю – метан в різних співвідношеннях.

Для дослідження обрано газовий серійний, та такий, що добре себе зарекомендував в експлуатації при роботі на метані двигун, Caterpillar DG100-2S з номінальною потужністю 100 кВт. В розрахунках об'ємна частка CO в сумішевому паливі приймалась рівною: 0; 5; 10; 20; 30 і 40 %. Розрахунки робочого циклу виконувались за спрощеною методикою. Аналізувались значення наступних показників робочого циклу, отримані при роботі двигуна на сумішевому паливі різного складу: ефективний ККД ( $\eta_e$ ); середній ефективний тиск циклу ( $p_e$ ); витрата сумішевого палива ( $V_{CH_4}$ ); максимальний тиск циклу ( $P_z$ ); кут максимального тиску на індикаторній діаграмі ( $\varphi_z$ ); максимальна температура циклу ( $T_z$ ); ступінь підвищення тиску при згорянні ( $\lambda$ ). Характер змінення зазначених показників двигуна Caterpillar DG100-2S та параметрів його робочого циклу наведені на рис. 1.



**Рисунок 1 – Залежності витрати метану, середнього ефективного тиску та ефективного ККД (а) та максимального тиску і температури циклу, ступеня підвищення тиску при згорянні та кута максимального тиску (б) двигуна Caterpillar DG-100-2S від частки метану в сумішевому паливі**

Ефективний ККД у всьому діапазоні зміни складу палива змінюється відносно мало, від 0,369 до 0,380, з тенденцією зростання при підвищенні концентрації CH<sub>4</sub> в сумішевому паливі. Середній ефективний тиск циклу практично не змінюється, тому що при несуттєвих змінах ефективного ККД величина механічного ККД залишається майже на одному й тому ж рівні.

За умови підтримання потужності двигуна незмінною, витрата газового палива підвищується зі збільшенням у суміші частки монооксиду вуглецю через

менше значення його питомої об'ємної теплоти згоряння ( $12630 \text{ кДж/м}^3$ ) проти ( $33520 \text{ кДж/м}^3$ ) у метана.

Розрахункові дослідження показників робочого процесу допоміжного газового двигуна потужністю 100 кВт на сумішевому паливі змінного складу (монооксид вуглецю – метан) показують його стабільну роботу при відповідній корекції системи регулювання паливободачі. Величина ефективного коефіцієнту корисної дії у всьому діапазоні змін складу газової суміші мало змінюється (від 0,369 до 0,380). Його зростання спостерігається зі збільшенням частки метану в сумішевому паливі. Середній ефективний тиск циклу практично не змінюється, а максимальний тиск циклу при роботі двигуна в усьому діапазоні змін складу суміші становить на рівні 8,0 МПа. Збільшення кута максимального тиску на індикаторній діаграмі та зниження максимальної температури циклу можна пояснити особливостями роботи системи регулювання кута випередження запалювання, якою оснащено двигун. Спостерігається невелика зміна величини максимальної температури зі збільшенням частки метану в паливній суміші – від 2117 К до 2048 К. Дослідження засвідчили про ефективність запропонованого способу покращення екологічних та економічних характеристик енергетичного комплексу з паливними елементами, шляхом включення в його структуру допоміжного газового двигуна з мінімально витратною адаптацією для роботи на сумішевому паливі змінного складу.

**Висновки.** Таким чином, використання допоміжного газового ДВЗ у складі енергетичного комплексу великої потужності з паливними елементами в період їх прогрівання і, як наслідок, зміни кількості викидів монооксиду вуглецю, дозволяє шляхом спалювання їх суміші з метаном в камері згоряння ДВЗ суттєво зменшити рівень потрапляння цих викидів в довкілля. Використання допоміжного ДВЗ у якості приводу електрогенератора (крім основного призначення – утилізації викидів монооксиду вуглецю, тобто як виконавчого пристрою технології захисту навколишнього середовища) забезпечує додаткове джерело живлення та додаткове джерело теплоти в схемі пароплазмової конверсії метану для отримання водню.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Fridman A., Kelledy L.A. Plasma physics and engineering. 3<sup>rd</sup> Edition. NY: CRC Press, 2021. 150 p.
2. Бганцев В.М., Левтеров А.М. Газові двигуни внутрішнього згоряння в системах підвищення ефективності паливних елементів об'єктів великої енергетики. *Двигуни внутрішнього згоряння*. 2022. № 2. С. 18–23. DOI: <https://doi.org/10.20998/0419-8719.2022.2.03>.
3. Integration of solid oxide fuel cell and internal combustion engine for maritime applications / Sapra H.H., Stam J., Reurings J., van Biert L., van Sluijs W., de Vos P., Visser K., Vellayani A.P., Hopman H. *Applied Energy*. 2021. Vol. 281. Pp. 110–115. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.115854>.
4. Kirillov V.A., Shigarov A.B., Kuzin N.A., Kireenkov V.V., Amosov Yu.I., Samoilov A.V., Burtsev V.A. Thermochemical conversion of fuels into hydrogen-containing gas using recuperative heat of internal combustion engines. *Theoretical Foundations of Chemical Engineering*. 2013. Vol. 47. № 5. Pp. 524–537.
5. Ot'yshchyn D., Harim N.F., Tucker D., Bryden K. M., Shadle L. Fuel Utilization Effects on system Efficiency in Solid Oxide Fuel Cell Gas Turbine Hybrid Systems. *Applied Energy*. 2018. Vol. 228. Pp. 1953–1965. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.07.004>.