

## ВИКОРИСТАННЯ БІОГАЗУ В ГАЗОВИХ ТУРБІНАХ

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

### *Анотація*

*В Україні потенціал виробництва біометану оцінюється в 7,8 млрд м<sup>3</sup>/рік, що складає 25% нинішнього споживання природного газу в країні. Інфраструктура України готова до транспортування і енергетичного використання біометану, оскільки біометан є повним аналогом природного газу.*

**Ключові слова:** біомаса, біогаз, паливо, газова турбіна, парова турбіна, когенераційна установка.

### *Abstract*

*In Ukraine, the biomethane production potential is estimated at 7.8 billion m<sup>3</sup>/year, which accounts for 25% of the current natural gas consumption in the country. The infrastructure of Ukraine is ready for transportation and energy use of biomethane, as biomethane is a complete analogue of natural gas.*

**Key words:** biomass, biogas, fuel, gas turbine, steam turbine, cogeneration plant.

### **Вступ**

Біомаса привернула значну увагу як потенційна заміна викопного палива у виробництві тепла та електроенергії, оскільки вона дозволяє диверсифікувати природний газ, зменшити вплив на навколишнє середовище, а також пропонує рішення щодо утилізації відходів.

Також актуальним є забезпечення перспективного джерела електроенергії і сприяє зниженню викидів CO<sub>2</sub>. Розвиток біогазових технологій в Україні дозволяє замінити від 2,6 до 8 млрд м<sup>3</sup>/рік природного газу.

Біометан, як близький аналог природного газу, може використовуватися для виробництва теплової і електричної енергії, як паливо для транспорту, а також як сировина для хімічної промисловості [1].

### **Результати дослідження**

Отриманий в результаті метанового бродіння біогаз, після відповідної технологічної сепарації (поглинання і використання на інші технологічні потреби наявного вуглекислого газу) перевершує природний газ за теплотворністю. Отримання промислового біогазу рослинного і тваринного походження можливе за рахунок їх зброджування (метанового бродіння) з отриманням метану і незаражених органічних добрив. Теплотворна здатність 1 м<sup>3</sup> біогазу, що складається з 50-80% метану і 20-50% вуглекислого газу, рівна 10-24 МДж і еквівалентна 0,7-0,8 кг умовного палива [2].

Склад біогазу: 55-75 % метану, 25-45 % CO<sub>2</sub>, незначні домішки водню (H<sub>2</sub>) і сірководню (H<sub>2</sub>S), азоту, ароматичних вуглеводнів, галогено-ароматичних вуглеводнів. Відпрацьована маса може бути використана як органічне добриво, при зв'язуванні сірки у відпрацьованій масі покращується якість добрив та зменшується корозійна здатність продуктів горіння газу через зменшення в їх складі кількості SO<sub>2</sub> [2].

У багатьох країнах Європейського Союзу й світу біогаз є суттєвою складовою їх енергобалансу. У Західній Європі близько половини птахоферм опалюються біогазом. Volvo і Scania виробляють автобуси з двигунами, що працюють на біогазі. У Китаї наприкінці 2006 р. діяло близько 18 млн біогазових установок, що дозволяє замінити 10,9 млн тон умовного палива. Україна, маючи потужний агропромисловий сектор, що продукує значні обсяги органічних відходів, має значний енергетичний ресурс для вироблення біогазу [3].

Можна відзначити такі напрями використання біогазу: спалювання в котельних агрегатах для нагрівання води та подачі її споживачам; підготовка біогазу й подача його в газорозподільні мережі місцевих споживачів природного газу (змішання з природним газом); очищення, осушення, стиснення і заправка біогазом газобалонних автомобілів, тракторів, вироблення електроенергії тощо. Теплотворна здатність біогазу, що містить 70 % метану, становить 25100 кДж/м<sup>3</sup>, або 5990 ккал/м<sup>3</sup> [4].

Встановлення електростанції на біомасі для спалювання відходів на місці, які утворюються як побічний продукт промислових процесів, наприклад целюлозно-паперові та цукрові заводи або тваринна біомаса, закривають заводський вхідний цикл. Це також усуває необхідність утилізації відходів, знижує витрати на електроенергію та забезпечує високу доступність джерела живлення. Таким чином, спалювання відновлюваних джерел енергії є ще одним кроком до стійкості та економії замкнутого циклу. Ці побічні продукти не потребують додаткової обробки та додатково зміцнюють фінансову доцільність заводу з виробництва біомаси [5].

Підвищений інтерес до розвитку технологій відновлюваної енергетики був стимульований запровадженням законодавчих заходів у Європі щодо скорочення викидів  $\text{CO}_2$  від виробництва електроенергії у відповідь на потенційну загрозу глобального потепління. Серед цих технологій спалювання біомаси має високу пріоритетність через помірний ризик і доступність відходів біомаси в багатьох країнах. Варіанти на основі вирощеної біомаси також знаходяться в стадії розробки [6].

Існує розбіжність у думках щодо відносних переваг газових турбін, які використовують паливо з біомаси. Деякі інженери вважають, що газова турбіна внутрішнього згорання, з'єднана з газифікатором, забезпечить вищу ефективність, ніж газова турбіна із зовнішнім спалюванням, яка використовує попередньо оброблену біомасу, яка не газифікована. Інші вважають навпаки [7].

Парові турбіни для електростанцій на біомасі характеризуються високим ККД, відповідають останнім європейським вимогам щодо ефективності циклу та високої робочої гнучкості. Щоб відповідати цим вимогам, виробники газових турбін використовують широкий спектр уніфікованих компонентів, попередньо розроблених для цієї мети [8].

Незалежно від розміру електростанції, використовуються турбіни з функцією повторного підігріву парою або без неї. В Європі створюються або високошвидкісні турбіни (підключені до генератора через редуктор), або повно швидкісні турбіни (напрямку з'єднані з генератором) для частот мережі 50 Гц і 60 Гц. Більш просунутою альтернативою є комбінація частин турбіни, що працюють на різних швидкостях обертання (рис. 1), тобто високошвидкісна частина високого тиску, з'єднана через коробку передач з повно швидкісною частиною низького тиску та генератором [8].

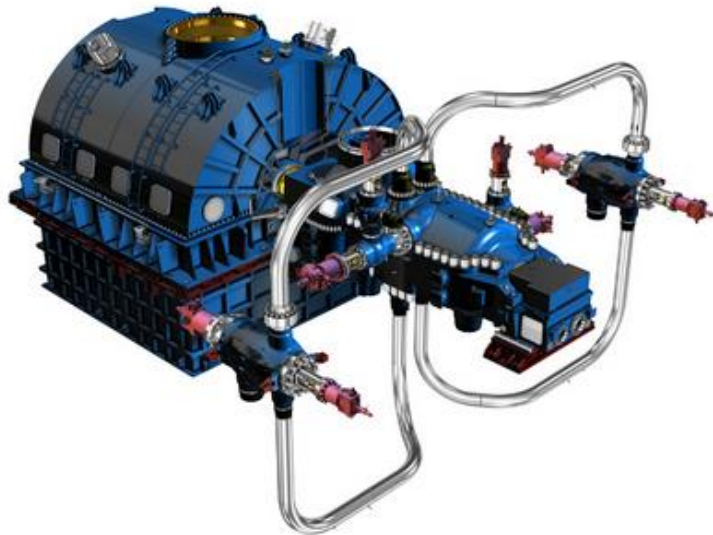


Рис. 1. Комбінація частин турбіни, що працюють на різних швидкостях обертання

Енергія, отримана з біомаси скорочує викиди вуглекислого газу, який є суттєвим фактором глобального потепління. Перетворення енергії може відбуватися шляхом прямого спалювання або газифікації. У процесі спалювання біомаса спалюється для отримання пари, а електроенергія генерується за допомогою простого циклу Ренкіна. Сьогодні близько 70% електроенергії з біомаси виробляється спільно з технологічним теплом [9].

Основним тепловим навантаженням є виробництво теплової енергії когенераційною установкою (рис. 2), яка працює на біопаливі з місцевої сировини в суміші з біологічною частиною

відсортованого сміття. Це додатково дозволяє отримувати додатковий дохід від продажу відсортованих відходів у вигляді металу, пластику тощо [9].

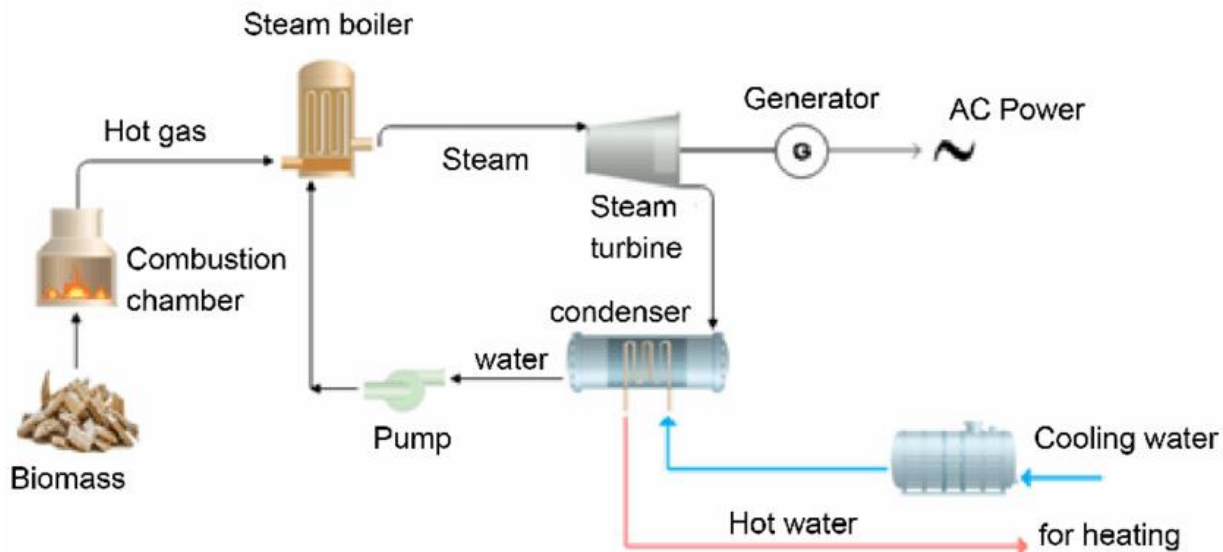


Рис. 2. Принцип роботи паротурбінної когенераційної установки на біомасі 2.

Інфраструктура України вже на 100% готова до транспортування біометану і енергетичного використання, оскільки біометан є повним аналогом природного газу. Залишаються незмінними газопроводи, газові котли, газові двигуни, газові електростанції, інше енергетичне обладнання, спроектоване для використання природного газу [10].

Наша країна має розвинену мережу газорозподільчих мереж і потужну газотранспортну мережу, що дає можливість виробникам біометану підключитися до газових мереж в більшості місць України.

Транспортування біометану газовими мережами і використання біометану в газовому обладнанні (газові пальники, двигуни, турбіни) не потребує витрат для їх модернізації.

Використання біогазу в якості палива зумовлено наступним:

- висока вартість природного газу;
- великий об'єм відходів агропромислового комплексу, а також проблема очистки стічних вод;
- потреба у зменшенні викидів вуглекислих та парникових газів.



Рис. 3. Парова турбіна для установок на біомасі

Біомаса є звичайним локальним джерелом енергії для галузей промисловості. Встановлення електростанції на біомасі для спалювання цих відходів є найкращим рішенням для закриття вхідного циклу заводу, при цьому одночасно скорочуються витрати на енергію та підтримуючи високу

доступність електроенергії. Відходи біомаси є ефективним паливом і зазвичай характеризуються природним низьким рівнем викидів. Використання високоефективної турбіни (рис.3) також може призвести до збільшення економії на експлуатації, оскільки політика щодо навколишнього середовища та парникових газів стає все більш поширеною як на національному, так і на міжнародному рівнях [11].

Системи метантенків використовуються здебільшого на підприємствах, які мають доступ до великої кількості вихідної сировини, яка виділяє метан під час свого розкладання. Однією з унікальних особливостей цього типу газоподібної біомаси є те, що її можна використовувати як для виробництва пари, так і як паливо для газових турбін. Ця гнучкість робить систему варіння дуже привабливою для багатьох підприємств з переробки харчових продуктів і напоїв, сільськогосподарських і міських твердих відходів [11].

### Висновки

Підвищений інтерес до розвитку технологій відновлюваної енергетики був стимульований запровадженням законодавчих заходів у Європі щодо скорочення викидів CO<sub>2</sub> від виробництва електроенергії у відповідь на потенційну загрозу глобального потепління.

Використання високоефективної турбіни також може призвести до збільшення економії на експлуатації, оскільки політика щодо навколишнього середовища та парникових газів стає все більш поширеною як на національному, так і на міжнародному рівнях

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Біометан – майбутнє біогазу [Online]. Режим доступу: <https://www.epravda.com.ua/columns/2021/04/15/673050/>
- [2] Біогаз [Online]. Режим доступу: <https://biteco-energy.com/ua/info/biogas/>
- [3] Біогазові заводи: Практика застосування [Online]. Режим доступу: <https://utc.bio/biogazovi-kompleksy/napryamky-vykorystannya-biogazu/>
- [4] Біогазова станція з ТЕЦ – AgroBiogas [Online]. Режим доступу: <https://agrobiogas.com.ua/biogas-plant-with-chp/>
- [5] Біогазові станції [Online]. Режим доступу: [https://tedom-nkm.com.ua/ua/biogazovie\\_stancii](https://tedom-nkm.com.ua/ua/biogazovie_stancii)
- [6] Turning biomass into value [Online]. Режим доступу: [https://assets.siemens-energy.com/siemens/assets/api/uuid:129bf11b-5986-415b-aabd-707c608a0c7d/broschure-biomasse-en-se.pdf?ste\\_sid=512bc31795ba7de2bcc7dede9ca3d9a6](https://assets.siemens-energy.com/siemens/assets/api/uuid:129bf11b-5986-415b-aabd-707c608a0c7d/broschure-biomasse-en-se.pdf?ste_sid=512bc31795ba7de2bcc7dede9ca3d9a6)
- [7] Researchgate [Online]. Режим доступу: [https://www.researchgate.net/figure/Principle-of-operation-of-a-steam-turbine-biomass-cogeneration-plant\\_fig1\\_336103944](https://www.researchgate.net/figure/Principle-of-operation-of-a-steam-turbine-biomass-cogeneration-plant_fig1_336103944)
- [8] Steam Turbines For Biomass Power Plants [Online]. Режим доступу: <https://www.doosankodapower.com/en/power-generation/power-generation/steam-turbines-for-biomass-power-plants/>
- [9] Biomass IPP [Online]. Режим доступу: <https://www.triveniturbines.com/biomass-ipp.html>
- [10] Біометан – відновлюваний газ, що збереже планету [Online]. Режим доступу: <https://interfax.com.ua/news/blog/742598.html>
- [11] Siemens-energy[Online]. Режим доступу: <https://www.siemens-energy.com/global/en.html>

**Черноусенко Ольга Юрївна**, доктор технічних наук, професор, завідувачка кафедри теплової та альтернативної енергетики, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, e-mail: [chernousenko20a@gmail.com](mailto:chernousenko20a@gmail.com).

**Власенко Ольга Володимирівна**, доктор філософії, кафедра теплової та альтернативної енергетики, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, e-mail: [olgakysak7@gmail.com](mailto:olgakysak7@gmail.com).

**Chernousenko Olha Yu.**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Thermal and Alternative Energy, National Technical University of Ukraine "Ihor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, e-mail: [chernousenko20a@gmail.com](mailto:chernousenko20a@gmail.com)

**Vlasenko Olha V.**, Doctor of Philosophy, Department of Thermal and Alternative Energy, National Technical University of Ukraine "Ihor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, e-mail: [olgakysak7@gmail.com](mailto:olgakysak7@gmail.com).