

# ЕНЕРГЕТИЧНІ ЕФЕКТИ БІОГАЗОВОЇ ТЕХНОЛОГІЇ

Вінницький національний технічний університет

## Анотація

Запропоновано узагальнену функціональну схему біогазової технології. Проаналізовано ефективність різних варіантів утилізації виробленого біогазу, в тому числі, використання теплогенераторів безпосереднього спалювання, двигунів внутрішнього згорання, паротурбінних, газотурбінних та мікротурбінних установок, систем тригенерації, а також технологій отримання біометану та додавання його в мережі газопостачання. За результатами досліджень виявлено раціональні варіанти утилізації біогазу для біогазових установок різних типорозмірів.

**Ключові слова:** біогазова установка, утилізація біогазу, теплогенератор, двигун внутрішнього згорання, газотурбінна установка, тригенераційна система, біометану, вуглекислота

## Abstract

A generalized functional diagram of biogas technology is proposed. The effectiveness of various options for utilization of biogas produced, including the use of direct heat generators, internal combustion engines, steam turbine, gas turbine and microturbine installations, trigeneration systems, as well as technologies for biomethane production and its addition to the gas network are analyzed. According to the results of the research, rational variants of biogas utilization for biogas plants of different sizes have been identified.

**Keywords:** biogas plant, biogas utilization, heat generator, internal combustion engine, gas turbine installation, triggering system, biomethane, carbon dioxide

## Вступ

Загальний потенціал України оцінюється в 52 млрд. м<sup>3</sup> біогазу на рік [1]. Враховуючи структуру підприємств та технічну і економічну доцільність обсяг біогазового виробництва в Україні оцінюється в 1600 установок з міні-ТЕЦ потужністю 100 кВт. Загальна встановлена потужність БГУ може сягати 820 МВт електроенергії [2]. На даний момент працюють великі БГУ на відходах птахофабрик «Чернобаївка» (в проекті 21 МВт), компанії МХП (в проекті 26 МВт) та ін.

За даними Біоенергетичної асоціації в 2010 році вся біоенергетика давала 1,1 млрд. м<sup>3</sup> біогазу, в 2014 – до 3 млрд. м<sup>3</sup>, до 2020 року очікується 5,4 млрд. м<sup>3</sup> на рік, а до 2030 року – 8,4 млрд. млрд.м<sup>3</sup> на рік. До 2030 року варто освоїти 51% економічно доцільного ринку БГУ, а загальне річне виробництво електричної енергії може становити 2,5 млрд. кВт·год.

Мета роботи – оцінка ефективних технологій утилізації біогазу, яка дозволить підвищити комплексний екологоенергоекономічний ефект біогазової технології переробки органічних відходів і надати їх більш широкого розповсюдження в Україні.

## Результати дослідження

Для дослідження ефективності утилізації біогазу розроблена узагальнена функціональна схема біогазової технології (рис. 1) на основі методології наведеної в [3].

Узагальнена функціональна схема біогазової технології включає всі можливі технологічні процеси та витрати ресурсів для їх здійснення. Під час підготовки субстрату до збродження використовується вода для зволоження, тепла енергія для підігріву та механічна енергія для подрібнення, перемішування і переміщення. В біогазовому реакторі відбуваються процеси анаеробного збродження при цьому використовується тепла та механічна енергія для перемішування та термостабілізації. При обробленні зброженого субстрату використовується тепла енергія для сушки субстрату та механічна енергія для відділення рідкої фази, брикетування та транспортування добрив. Оброблення біогазу включає процеси осушення та відділення сірководню і вуглекислоти з використанням холоду та реагентів. Крім того, ця підсистема включає

процеси стискання та акумулювання біогазу, біометану та вуглекислоти з використанням механічної енергії. Підсистема використання біогазу, біометану та вуглекислоти включає процеси спалювання біогазу та біометану для отримання теплової і електричної енергії та холоду, або заповнення балонів газами та подавання біометану в газову мережу.



Рисунок 1 – Узагальнена функціональна схема біогазової технології

Встановлення великих біогазових установок можуть бути малоефективні в зв'язку із складністю підвезення сировини. Тому найбільше розповсюдження в країнах Європи отримали невеликі та середні біогазові комплекси, завдяки яким забезпечуються тепловою та електроенергією сільськогосподарські комплекси та сусідні населені пункти. Така «децентралізація» дозволить підвищити ефективність та надійність всієї системи енергопостачання України.

Енергія виробленого в БГУ біогазу може бути використана з отриманням одного, двох чи трьох енергетичних продуктів: теплової енергії (в теплогенераторах); електричної та теплової енергії (когенераційні установки – паротурбінні ПТУ, газотурбінні ГТУ, газопоршневі ГПУ, мікротурбінні МТУ); електричної, теплової енергії та холоду (тригенераційні установки – когенерація + холодильна установка, частіше з абсорбційною холодильною машиною АБХМ).

Теплогенератори для спалювання біогазу мають широкий діапазон потужності і можуть бути

встановлені в схемі БГУ з будь-яким об'ємом реактора. Конструкція біогазових теплогенераторів не відрізняється від котлів на природному газі. Відмінністю є невеликі конструктивні особливості пальників для спалювання біогазу. Роботи по реконструкції газових пальників для ефективного спалювання біогазу виконані на одній з перших БГУ в Україні [4].

Паротурбінні установки комплектуються паровими котлоагрегатами та паровими турбінами. Діапазон електричних потужностей парових турбін 75 кВт...1900 МВт. Таким потужностям відповідають БГУ з об'ємом реактора від 800 м<sup>3</sup> і більше.

Газотурбінні установки мають переважно великі одиничні електричні потужності (3...25 МВт), а також чутливі до складу паливного газу. Для ефективної їх роботи бажано збагачувати біогаз до біометану [5].

Мікротурбінні установки мають потужність 30...250 кВт менш чутливі до складу паливного газу і можуть працювати на біогазі з тваринницьких відходів та на звалищному газі.

Найбільш розповсюдженими та найбільш раціональними когенераційними установками для утилізації біогазу є газопоршневі двигуни внутрішнього згорання. Вони мають достатньо високий ККД по виробництву електроенергії, простіші в експлуатації та менш вибагливі до складу біогазу. Одинична потужність когенераційних газопоршневих установок ГПУ складає від 5 кВт до 9 МВт. Це дозволяє утилізувати біогаз від установок з реактором від 50 м<sup>3</sup> до 85 000 м<sup>3</sup> і більше при встановленні групи КГПУ. Таким чином, когенераційними ГПУ можуть бути забезпечені всі можливі типорозміри БГУ, крім малих (до 50 м<sup>3</sup> реактора). Електричний ККД малих КГПУ складає 33-35% і збільшується для великих КГПУ до 40-42%.

Абсорбційні холодильні машини використовують теплоту для виробництва холоду. Розроблено ряд типорозмірів АБХМ (70...4850 кВт холоду), що працюють на гарячій воді в комбінації з КГПУ. За умов температури грійної води 90/85°C і температури холодної води 7/12°C холодильний коефіцієнт таких машин складає 0,65...0,8, зростаючи із збільшенням холодильної потужності. Таким чином, така АБХМ може використовувати теплоту від КГПУ з електричною потужністю від 65 кВт, що відповідає об'єму реактора БГУ від 700 м<sup>3</sup>.

Біометан додають в мережі газопостачання, спалюють в когенераційних установках, використовують як моторне паливо.

Збагачення біогазу до біометану в Німеччині, Австрії використовується за умов витрат біометану 250...10000 м<sup>3</sup>/год [6]. Це відповідає тваринницьким біогазовим установкам з об'ємом реактора від 9000 м<sup>3</sup> і вище.

Під час збагачення біогазу можна отримати додатковий продукт – вуглекислий газ CO<sub>2</sub>. Способи використання CO<sub>2</sub> :

- харчова промисловість – консервант E290, розпушувач, ;
- в сільському господарстві – добавка в повітря для удобрення;
- в пожежній справі – заповнювач вогнегасників;
- в холодильній технології – холодоагент в холодильних установках, сухий лід;
- в хімічній технології, металургії, вироблення паперу.

Вуглекислота CO<sub>2</sub> є альтернативним природним холодильним агентом R744. Вуглекислота на відміну від інших холодоагентів нетоксична, негорюча, має високу холодовидатність, інертна до матеріалів, безпечна у використанні, дешева, доступна, і в замкненому циклі спричиняє невеликий вплив на атмосферу. Відносними недоліками R744 є можливість утворення кислоти при контакті з вологою та високі робочі тиски у випарнику (35...50 бар) та конденсаторі (60...120 бар), що підвищує вимоги до відповідного обладнання.

Провідними виробниками холодильного обладнання (Danfoss, Alfa Laval) розробляються установки, що працюють на R744. Переважно R744 використовується в нижніх ступенях каскадних машин, в теплових насосах, допоміжних холодильних системах та як проміжний холодоносії.

Біогаз в отриманому стані зберігати в значних об'ємах неможливо через дороговизну такого рішення. Біогаз неможливо стиснути до значного тиску без попереднього очищення до метану, оскільки вуглекислий газ в біогазі не дає можливості стиснути його до 200 атм. А при стисненні всього лише до декількох атмосфер об'єм, який займає біогаз, зменшиться незначно. Очищення біогазу від вуглекислого газу – складний.

Отже, очищення біогазу, отримання і стиснення біометану доступне лише на крупних біогазових установках. Біометан відправляють в загальну газову мережу, яка в даному випадку слугує накопичувачем, куди можна направляти газ влітку і відбирають взимку.

Похідні від спалювання біогазу – теплова і електрична енергія. Теплову енергію взагалі неможливо накопичувати і зберігати довгий час, а електричну енергію накопичувати можна в акумуляторах. Для великих біогазових установок застосовувати акумулятори неможливо. Для малих БГУ акумулятори можуть накопичувати енергію лише на декілька діб. Отже електроенергію має сенс продавати в загальній електромережі (за зеленим тарифом).

Енергетичні продукти біогазової установки зберігати довгий час самостійно неможливо і не вигідно, але можна використовувати суспільні (державні) засоби для зберігання таких видів енергії.

### Висновки

Аналіз ситуації в аграрному секторі та в енергетиці показав, що Україна має значний потенціал виробництва біогазу і заміщення ним викопних палив.

В роботі розроблено узагальнену функціональну схему біогазової технології, яка дозволяє врахувати можливі варіанти утилізації отриманих в реакторі продуктів, і головне, біогазу. Проаналізовані варіанти утилізації біогазу за допомогою різного енергетичного обладнання, а саме використання теплогенераторів безпосереднього спалювання, когенераційних установок на базі двигунів внутрішнього згорання, паротурбінних, газотурбінних та мікротурбінних установок, тригенераційного обладнання на основі ДВЗ та абсорбційних холодильних машин. Крім того оцінено технологію отримання біометану з подальшим додаванням його в мережі газопостачання та вуглекислоти.

Виявлено, що отримання біометану доцільне для біогазових комплексів з об'ємом реактора понад 9000 м<sup>3</sup>. Тригенерація може бути ефективно використана для біогазових установок з об'ємом реактора понад 700 м<sup>3</sup>. А для когенерації мінімальний об'єм біореактора 50 м<sup>3</sup>. Використання теплогенераторів з безпосереднім спалюванням в них біогазу може використовуватись для біогазової установки будь-якого типорозміру.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Стан та перспективи виробництва біогазу в Україні. Електронний ресурс. Режим доступу: <https://uabio.org/img/files/news/pdf/min-agro.pdf>
2. Гелетуха Г.Г. Перспективи біогазу в Україні. Електронний ресурс. Режим доступу: <https://www.epravda.com.ua/rus/columns/2013/07/3/383399/>
3. Степанов Д.В. Метод формування функціональних та апаратурно-схемних ланцюгів систем виробництва енергоносіїв з органічних відходів / Д. В. Степанов, С. Й. Ткаченко // Вісник ВПП, 2013. – №1. – С. 80 – 84.
4. Біогазові технології. Енергетичні та екологічні аспекти [Текст] : монографія / Куріс Ю. В., Червоний І. Ф. ; Запоріж. держ. інж. акад. - Запоріжжя : ЗДІА, 2010. - 487 с.
5. Ясиніцький Е.П. Газотурбінний двигун на біогазі / Е.П. Ясиніцький, Р.Й. Гупало // Вісник НАУ. – 2011. – № 4. – С. 167-170.
6. Технічний звіт з оцінки потенціалу відновлюваної енергетики в Україні: Біогаз. Режим доступу: [http://www.uself.com.ua/fileadmin/documents/U-Biogas\\_Technical\\_Report.pdf](http://www.uself.com.ua/fileadmin/documents/U-Biogas_Technical_Report.pdf)

*Степанов Дмитро Вікторович* — канд. техн. наук, доцент кафедри теплоенергетики, Вінницький національний технічний університет, [Stepanovdv@ukr.net](mailto:Stepanovdv@ukr.net)

*Stepanov Dmytro V.* — Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor of Thermal Power Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, [Stepanovdv@ukr.net](mailto:Stepanovdv@ukr.net)