

# ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ВЛОВЛЮВАННЯ І ЗБЕРІГАННЯ ВУГЛЕЦЮ В БІОЕНЕРГЕТИЦІ

Вінницький національний технічний університет

## Анотація

*Україна володіє значним потенціалом біомаси, доступної для виробництва енергії. В процесі перетворення біомаси в біопаливо викидається значна кількість вуглекислого газу. Проаналізовано методи перетворення біомаси в біопаливо. Проведено оцінювання викидів вуглекислого газу в процесах очищення біогазу. Проведено огляд літературної інформації по використанню технологій вловлювання вуглекислого газу в біоенергетиці.*

**Ключові слова:** біоенергетика, біомаса, вуглекислий газ, технології вловлювання і зберігання вуглецю.

## Abstract

*Ukraine has a significant potential of biomass available for energy production. In the process of converting biomass into biofuels, a significant amount of carbon dioxide is emitted. Methods of converting biomass into biofuels are analyzed. Carbon dioxide emissions in biogas purification processes are estimated. A review of literature on the use of carbon dioxide capture technologies in bioenergy is conducted.*

**Keywords:** bioenergy, biomass, carbon dioxide, carbon capture and storage technologies.

## Вступ

Біоенергетика – галузь енергетики, яка передбачає використання біомаси як палива [1]. Існує дві основні категорії методів перетворення біомаси в біопаливо [2]:

- термохімічне перетворення (газифікація, піроліз, спалювання, гідротермічне зрідження);
- біохімічне перетворення: анаеробне збродження біомаси (з виробництвом біогазу); ферментація біомаси.

Побічними продуктами зазначених вище процесів є вуглекислий газ.

Під час газифікації біомаси, залежно від технології і способу дуття (повітряне, кисневе, парове, комбіноване) утворюється генераторний газ, що містить такі компоненти: CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>). В повітряному генераторному газі може міститися до 15 % CO<sub>2</sub>. У біогазі міститься до 40 % CO<sub>2</sub> [3]. Крім того, в процесі виробництва біоводню також утворюється CO<sub>2</sub>. Повна екологічна чистота біоенергетики може бути забезпечена за допомогою технологій вловлювання і зберігання вуглекислого газу.

**Мета роботи** – огляд літературної інформації по використанню технологій вловлювання і зберігання вуглецю в біоенергетиці; оцінка викидів вуглекислого газу в технологіях виробництва палива з біомаси.

## Основна частина

Для вловлювання CO<sub>2</sub>, використовують технології вловлювання та зберігання вуглецю (за кордоном carbon capture and storage, CCS). Ці технології вважаються перспективними з точки зору позитивного впливу на зміну клімату. Це найрадикальніший і дорогий шлях боротьби з потеплінням клімату. Суть технології полягає в такому: діоксид вуглецю спочатку необхідно уловити і відокремити від точкового джерела за допомогою використання різних хімічних або механічних процесів. Бездомішковий потік CO<sub>2</sub> потім стискається до стану рідини високого тиску, для зручності транспортування, як правило, в трубопроводах. Потім CO<sub>2</sub> доставляється до відповідного місця зберігання, де він, вловлений і іммобілізований (позбавлений рухливості), вводиться на відстань, більше ніж кілометр нижче поверхні землі, у шари гірських порід [4].

Біоенергетика з використанням технології уловлювання та зберігання вуглецю (BECCS) або як ще називають Біо-CCS є біоенергетичною технологією пом'якшення впливу викидів парникових газів на зміну клімату, завдяки комбінуванню виробництва біопалива з біомаси, разом з уловлюванням і зберіганням вуглецю.

Огляд літературної інформації показав [5], що виходячи з проєктів, що наразі перебувають на ранніх та просунутих стадіях розгортання, уловлювання з біогенних джерел може досягти близько 60 млн тонн CO<sub>2</sub> / рік до 2030 року, що значно менше, ніж потрібно для досягнення нульових викидів до 2050 року (NZE). Сьогодні в експлуатації знаходиться [6] 18 великих установок CCS, 6 перебувають на стадії будівництва та 20 на різних етапах розробки. Лише 5 об'єктів у всьому світі активно використовують технології BECCS. У сукупності ці об'єкти захоплюють приблизно 1,5 млн. т/рік CO<sub>2</sub>. Найбільші установки розташовані в США.

В ЄС в Швеції ведеться будівництво установки BECCS Stockholm [7]. Ця установка вловлюватиме і зберігатиме CO<sub>2</sub> в обсязі 800 тис. тон /рік. Установка вловлюватиме CO<sub>2</sub> з димових газів, стискатиме та охолоджуватиме його до рідкого стану, після чого транспортуватиме для постійного зберігання глибоко під Північним морем. Введення в експлуатацію заплановано на 2028 рік.

Огляд літературної інформації показав, що вартість вловлювання CO<sub>2</sub> є досить значною. Зокрема в процесах спалювання біомаси, вартість вловлювання становить від 88 до 288 \$/т CO<sub>2</sub>, в процесах виробництва етанолу 20...175 \$/т CO<sub>2</sub>, в процесах газифікації біомаси 30...76 \$/т CO<sub>2</sub> [8]. Тобто наразі це досить дорога технологія і в Україні не використовується.

Біоенергетична асоціація України (БАУ) оцінює український потенціал виробництва біометану/біогазу у 21,8 млрд куб. м на рік [9]. Сьогодні в Україні побудовано 5 біометанових заводів, які здатні виробляти 20 млн. м<sup>3</sup> біометану на рік. В процесі збагачення біогазу, виділяється значна кількість вуглекислого газу. Таким чином, якщо прийняти, що в біогазі міститься приблизно 35 % CO<sub>2</sub>, то у разі виробництва 21,8 млрд куб. м на рік біогазу і його подальшого очищення, обсяг викидів CO<sub>2</sub> може сягнути 7,63 млрд. м<sup>3</sup>. Отже, в майбутньому для України впровадження CCS є перспективним.

На прикладі тваринницької ферми, що налічує 1500 голів худоби (650 дійних корів, 400 биків, 450 шт. молодняку) проведено розрахунок біогазової установки та визначено: кількість виробленого біогазу, кількість біогазу, необхідного для реалізації технологічного процесу, кількість товарного біогазу, проведено розрахунок матеріального балансу очищення біогазу до біометану. В розрахунках прийнято такий склад біогазу: CH<sub>4</sub>=55%, CO<sub>2</sub>=55%, H<sub>2</sub>O=1%, N<sub>2</sub>=1%. Склад біометану: CH<sub>4</sub>=97%, CO<sub>2</sub>=1,5%, N<sub>2</sub>=1,5%. Ступінь вилучення води взято 100 %, азоту – 50 %, втрати метану в системі очищення 2%. Визначено масові частки компонентів біогазу та біометану, масову та об'ємну витрату компонентів біогазу, біометану, відхідних газів процесу очищення.

Отже, в середньому з біогазової установки можна отримати 33880...40939 м<sup>3</sup>/місяць товарного біогазу, а після його збагачення 19217...23221 м<sup>3</sup>/місяць біометану. При цьому в процесі очищення викидається 14000...17000 м<sup>3</sup>/місяць вуглекислого газу.

Отже, повна екологічна чистота біоенергетики та теплової енергетики може бути забезпечена шляхом уловлювання та зберігання вуглекислого газу. BECCS енергетика є необхідною і перспективною з точки збереження навколишнього середовища та зменшення парникового ефекту [10].

## ВИСНОВКИ

Біоенергетика відіграє важливу роль в енергетичному переході. Біоенергетика з уловлюванням та зберіганням вуглецю (BECCS) відіграє важливу роль у Сценарії NZE та компенсує викиди в секторах, де повної декарбонізації надзвичайно важко досягти. Проаналізовано літературну інформацію по стану BECCS енергетики. Виявлено, що в світі досить мало діючих установок по вловлюванню і зберігання вуглецю. Крім того, вартість вловлювання CO<sub>2</sub> є досить значною. Зокрема в процесах спалювання біомаси, вартість вловлювання становить від 88 до 288 \$/т CO<sub>2</sub>, в процесах виробництва етанолу 20...175 \$/т CO<sub>2</sub>, в процесах газифікації біомаси 30...76 \$/т CO<sub>2</sub>. Проведено оцінку викидів вуглекислого газу в технологіях виробництва палива з біомаси. Проведено дослідження кількості викидів вуглекислого газу в процесі збагачення біогазу. Показано, що для ферми, що налічує 1500 голів худоби, в процесі очищення біогазу до біометану, утворюється 14000...17000 м<sup>3</sup>/місяць вуглекислого газу. З огляду на значний потенціал України по виробництву біогазу, в майбутньому впровадження CCS є перспективним.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Біоенергетика в Україні. URL: <https://uabio.org/bioenergy-in-ukraine/>
2. Біоенергетичні технології. URL: <http://energetika.in.ua/ua/books/book-5/part-1/section-2/2-3/2-3-2>
3. Біогаз. URL: <https://biteco-energy.com/ua/info/biogas/>

4. Bellona. Уловлювання та зберігання вуглецю: українські перспективи для промисловості та забезпечення енергетичної безпеки [Електронний ресурс] URL [https://network.bellona.org/content/uploads/sites/3/UKRAINE\\_CCS\\_Energy\\_Security\\_Industry\\_Ukrainian.pdf](https://network.bellona.org/content/uploads/sites/3/UKRAINE_CCS_Energy_Security_Industry_Ukrainian.pdf)
5. Bioenergy with Carbon Capture and Storage. URL: <https://www.iea.org/energy-system/carbon-capture-utilisation-and-storage/bioenergy-with-carbon-capture-and-storage>  
Bioenergy with Carbon Capture and Storage (BECCS) WBA Factsheet URL: [https://www.worldbioenergy.org/uploads/WBA\\_BECCS%20factsheet.pdf](https://www.worldbioenergy.org/uploads/WBA_BECCS%20factsheet.pdf)
6. Farooq Sher, Saman Hameed. Bioenergy with carbon capture and storage technology to achieve net zero emissions. Renewable and Sustainable Energy Reviews 210 (2025). URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032124009559>
7. Stockholm world's first city to start capture and remove biogenic CO2 from the atmosphere. URL: <https://www.ieabioenergy.com/blog/publications/stockholm-worlds-first-city-to-start-capture-and-remove-biogenic-co2-from-the-atmosphere/>
8. Bioenergy and Carbon Capture and Storage URL: <https://jp.globalccsinstitute.com/resources/publications-reports-research/bioenergy-and-carbon-capture-and-storage/>
9. Українська енергетика. URL: <https://ua-energy.org/uk/posts/bioenerhetyky-otsiniuiut-potentsial-vyrobnystva-biohazu-u-218-mlrd-kub-mrik>.
10. Роль біоенергетики в енергетичному переході та вплив на глобальне використання біомаси. URL: <https://saf.org.ua/news/2273/>

**Боднар Лілія Анатоліївна**, к.т.н., доцент кафедри теплоенергетики ВНТУ. e-mail: [Bodnar06@ukr.net](mailto:Bodnar06@ukr.net)  
**Швець Максим Олексійович**, студент групи ТЕ-22 б, [maximgodness@gmail.com](mailto:maximgodness@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).

**Shvets Maksym**, student, [maximgodness@gmail.com](mailto:maximgodness@gmail.com)