

УДК 662.767.2

## СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ ВІДХОДИ І ПОЛІТИКА КОГЕНЕРАЦІЇ: ДОСВІД УКРАЇНИ ТА ЄВРОПИ

Скляр О.Г., к.т.н., професор; Скляр Р.В., к.т.н., доцент;  
Болтянський Б.В., к.т.н., доцент

*Таврійський державний агротехнологічний університет  
імені Дмитра Моторного*

*Анотація. У статті проаналізовано сучасний стан використання сільськогосподарських відходів у когенераційних технологіях, порівняно політику підтримки біоенергетики в Європейському Союзі та Україні. Розглянуто ключові інституційні, економічні та технологічні чинники, що визначають ефективність залучення агробіомаси для комбінованого виробництва теплової та електричної енергії. Показано перспективи формування інтегрованої політики когенерації в Україні відповідно до європейських стандартів циркулярної економіки та енергетичної безпеки.*

Сільськогосподарські відходи, які утворюються внаслідок діяльності рослинницьких, тваринницьких та переробних підприємств, становлять один із найбільш вагомих ресурсних потоків сучасної біоекономіки. У Європейському Союзі та Україні саме аграрна сфера генерує найбільший обсяг біомаси, придатної для енергетичного використання, однак рівень її фактичного залучення значною мірою залежить від політики держави щодо когенерації та стимулювання відновлюваної енергетики [1]. В умовах глобального переходу до низьковуглецевих систем, зростання вимог до управління відходами та підвищення енергоефективності аграрного виробництва біоенергетичні технології, особливо когенераційні установки на основі аграрних відходів, стають фундаментальним елементом екологічної та енергетичної стратегії.

Когенерація, тобто комбіноване виробництво теплової та електричної енергії, забезпечує суттєво вищий коефіцієнт корисного використання енергії порівняно з роздільними системами [2]. Для аграрних підприємств це означає можливість одночасно вирішувати питання утилізації відходів, забезпечення власних енергетичних потреб та створення доданої вартості. Європейський досвід демонструє, що поєднання біогазових реакторів з когенераційними установками дозволяє досягти ефективності понад 80–90% при переробці тваринницьких та рослинних відходів, що значно перевищує ефективність традиційного спалювання.

У країнах Європейського Союзу політика когенерації формувалася поступово, ґрунтуючись на кліматичних зобов'язаннях, економічних стимулах та довгострокових інвестиційних програмах. Німеччина стала одним із лідерів завдяки запровадженню закону Erneuerbare-Energien-Gesetz, який установив пільгові тарифи для біогазових електростанцій і бонуси за використання відходів замість енергетичних культур. Данія досягла високої частки біогазу в теплогенерації завдяки загальнонаціональній політиці централізованого

теплопостачання та обов'язковому змішуванню гною з іншими органічними відходами. Польща, Чехія та Австрія розвинули децентралізовану систему малих когенераційних модулів, які інтегровані в фермерські господарства.

У цих країнах наголос робиться на циркулярному підході: аграрні відходи перетворюються на енергію, живильні елементи повертаються на поля у вигляді органо-мінеральних добрив, а підприємства отримують джерело додаткових прибутків. Такий підхід підтримується не лише фінансовими інструментами, а й нормативними вимогами до зменшення викидів аміаку, метану та парникових газів, що стимулює фермерів інвестувати в сучасні біогазові та когенераційні установки [3].

В Україні політика щодо використання аграрних відходів для енергетики розвивається більш повільно, хоча потенціал надзвичайно високий. Країна має потужний тваринницький та рослинницький сектор, що створює величезні обсяги гною, посліду та пожнивних решток [4]. Стимулюючим інструментом у 2015–2022 роках був «зелений тариф», який забезпечив розвиток біогазових станцій, однак він охоплював переважно великі проекти та не створював достатніх стимулів для середніх і малих господарств. Натомість розвиток політики виробництва біометану, можливість його подачі до газорозподільної системи та намір інтегруватися до європейського ринку біометанів стали новими векторами. Проте все ще бракує системної державної політики, орієнтованої саме на когенераційні рішення для аграрного сектору.

Одним із ключових викликів для України є недосконала система поводження з відходами. Значна частина пожнивних матеріалів спалюється, а гній та послід зберігаються у відкритих гноєсховищах, що спричиняє викиди метану та аміаку. Запровадження європейських стандартів, зокрема директиви щодо промислових викидів, вимагатиме переходу до контрольованих систем утилізації органічних залишків [5]. Когенераційні та біогазові комплекси є найефективнішим інструментом для реалізації такого переходу.

Перспективи розвитку політики когенерації в Україні пов'язані з гармонізацією законодавства з нормами ЄС, впровадженням ринку вуглецевих квот і стимулюванням відновлюваної енергетики в аграрному секторі. Важливим є також забезпечення доступу до фінансування, зокрема через програми ЄС, національні фонди та механізми «зелених» інвестицій. Значний потенціал мають кооперативні моделі, коли сільські громади або групи дрібних виробників об'єднують свої ресурси для створення спільних біоенергетичних об'єктів [6]. Це знижує бар'єр входу та підвищує економічну доцільність когенераційних технологій.

Подальший розвиток технологій також відіграє ключову роль. Сучасні когенераційні установки із гнучким навантаженням, можливістю роботи на біометані, цифровими системами контролю, автоматизованим управлінням процесом ферментації та комбінованим очищенням біогазу значно покращують ефективність переробки аграрних відходів [7]. У перспективі очікується поширення малих модульних когенераційних систем потужністю 50–300 кВт, які

можуть бути інтегровані безпосередньо на фермах і працювати на місцевому біогазі або сирій агробіомасі.

Перспективний розвиток когенераційних технологій у сфері переробки сільськогосподарських відходів в Україні тісно пов'язаний із загальноєвропейськими тенденціями переходу до низьковуглецевої економіки, інтеграції сектору відновлюваної енергетики й підвищення ефективності управління агробіомасою [8]. Аналіз практик ЄС показує, що саме політичні й нормативні механізми стали ключовими чинниками активного розвитку біоенергетичних когенераційних установок, тоді як технологічна готовність уже давно не є обмежувальним фактором. Для України актуальним є поєднання технологічних можливостей із адаптацією політики до стандартів ЄС, оскільки власні обсяги придатної біомаси (солома, кукурудзяні рештки, лушпиння, гній, послід) є одними з найбільших у Європі.

У короткостроковій перспективі найбільш імовірним напрямом розвитку енергетичної утилізації агровідходів є розширення сегмента біогазово-когенераційних установок середньої потужності. Їхнє технологічне та економічне обґрунтування ґрунтується на високій доступності відходів тваринництва та рослинництва, низькій вартості сировини та можливості повної утилізації тепла на внутрішні потреби фермерських комплексів [7,8]. Аналітичні розрахунки показують, що для ферм із поголів'ям 300–2000 голів ВРХ чи свиней, когенерація на біогазі забезпечує скорочення витрат на електроенергію до 60% і повністю покриває теплові потреби господарства. Водночас технології мембранного очищення біогазу роблять можливим продаж надлишків у вигляді біометану, що істотно підвищує комерційну привабливість таких систем.

У середньостроковій перспективі ключовим драйвером змін стане інтеграція України до європейського ринку біометану та механізмів торгівлі вуглецевими квотами. Це означатиме перехід від фрагментарних когенераційних проєктів до стратегічно інтегрованих кластерів біоенергетики, що працюють на місцевій біомасі та забезпечують децентралізоване виробництво енергії. Аналіз досвіду Данії, Німеччини та Нідерландів показує, що кластери, які поєднують агропідприємства, біогазові станції, теплові мережі та системи очищення біогазу до біометану, здатні забезпечувати 25–40% потреб регіону в теплі та частково – в електроенергії. Україна має потенціал створення не менше 150 таких кластерів завдяки концентрації сільськогосподарського виробництва та наявності значних залишків агробіомаси, що наразі не використовуються.

Довгострокові перспективи розвитку когенерації мають стратегічне значення для кліматичної політики. Сільськогосподарські відходи є одним із найбільших неконтрольованих джерел викидів метану, і їх переробка в біогазові когенераційні системи дозволяє знизити ці викиди на 70–90%. Це відповідає європейському курсу на скорочення метанових викидів у секторі АПК. Україна, інтегруючись у Green Deal, може отримувати фінансові інструменти для компенсації скорочення викидів та впровадження біоенергетичних проєктів. У такому контексті когенерація на основі агровідходів перестає бути лише технологічною опцією, а стає складовою кліматичної стратегії держави.

Аналітичний прогноз також свідчить про зростання ролі малих модульних когенераційних систем потужністю 50–500 кВт, які працюють безпосередньо на фермах. Такі установки можуть функціонувати на гної та посліді без складних транспортних логістичних схем, що підвищує економічну ефективність.

Окрему роль відіграватиме розвиток технологій утилізації тепла та бічних продуктів когенерації. Дігестат, що залишається після біогазового зброджування, може бути перероблений у концентровані органо-мінеральні добрива, що вирішує питання дефіциту мінеральних добрив та зменшує залежність від імпорту. Тепло когенераційних систем може використовуватися у теплицях, сушарках зерна, виробництві біопродуктів або для низькотемпературних технологічних процесів, що створює замкнуті енергетично-технологічні цикли.

### **Висновки**

Узагальнюючи аналітичні тенденції, можна стверджувати, що розвиток когенерації на основі сільськогосподарських відходів в Україні має значний потенціал за умови синергії технологічних інновацій, державної політики та інтеграції в європейські ринки. Перехід до циркулярної моделі управління біомасою дозволить ефективно утилізувати аграрні відходи, зменшити екологічні ризики, зміцнити енергетичну незалежність і створити економічно привабливе середовище для аграрного виробника.

### **Список використаних джерел**

1. Енергетичне використання агровідходів. Що варто знати про організаційні і технічні рішення/ Г.Г. Гелетука та інш. *Аналітична записка УАВІО. № 24. 2020. 49 с.*
2. Акулов В. Д. Шляхи підвищення енергетичної ефективності біогазової установки. *Праці ТДАТУ: наукове фахове видання. Запоріжжя : ТДАТУ, 2024. Вип. 24. Т. 2. С. 27–36. DOI: 10.32782/2078-0877-2024-24-2-3.*
3. Болтянський Б. В. Аспекти вдосконалення технології виробництва біогазу. *Праці ТДАТУ: наукове фахове видання. Запоріжжя : ТДАТУ, 2024. Вип. 24. Т. 1. С. 89–100. DOI: 10.32782/2078-0877-2024-24-1-6.*
4. Komar A. S. Methodological approaches to the optimization of machine technologies of animal waste disposal. *Scientific research in the modern world: Proceedings of the 8th International scientific and practical conference. Perfect Publishing. Toronto, Canada. 2023. P. 194–198.*
5. Комар А. С. Шляхи підвищення якості виробництва біодобрив. *Науковий вісник ТДАТУ, 2024, 14(2). <https://doi.org/10.32782/2220-8674-2024-24-2-2>.*
6. Скляр О. Г., Скляр Р. В., Комар А. С. Огляд методів дослідження та оптимізації машинних технологій утилізації відходів тваринництва. *Науковий вісник ТДАТУ. 2023. Вип. 13, т. 2. <https://doi.org/10.31388/2220-8674-2023-2-9>.*
7. Скляр О.Г., Скляр Р.В. Аспекти удосконалення конструкцій біогазових установок. *Молодь і технічний прогрес в АПК: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції. ДБТУ. Харків, 2023. С. 81–84.*

8. Комар А. С. Теоретичні аспекти моделювання машинної технології утилізації органічних відходів. *Праці ТДАТУ: наукове фахове видання*. Запоріжжя: ТДАТУ, 2023. Вип. 23, т. 1. С. 104 – 114. DOI: 10.31388/2078-0877-2023-23-1-104-115.

УДК 628.477: 658.567.1

## ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ БІОКОНВЕРСІЇ ОРГАНІЧНИХ ВІДХОДІВ ТВАРИННИЦТВА ТА ПТАХІВНИЦТВА

Скляр О.Г., к.т.н., професор; Скляр Р.В., к.т.н., доцент;  
Акулов В.Д., аспірант

*Таврійський державний агротехнологічний університет  
імені Дмитра Моторного*

*Анотація. У статті досліджуються інноваційні технології біоконверсії органічних відходів тваринництва та птахівництва, включаючи гній великої рогатої худоби, свиней, пташиний послід, глибоку та комбіновану підстилку, залишки кормів, стічні осади тваринницьких комплексів і побічні продукти життєдіяльності тварин. Проаналізовано сучасні інженерні підходи до підготовки та стабілізації сировини, включно з попереднім гідролізом, подрібненням, гомогенізацією та оптимізацією вологісного режиму. Охарактеризовано сучасні способи очищення біогазу та переробки дигестату, який у випадку відходів тваринництва є висококонцентрованим джерелом азоту, калію та мікроелементів та наведено інженерні рекомендації щодо проектування, автоматизації та енергоефективності біогазових комплексів, адаптованих до умов великих і середніх тваринницьких господарств України.*

Органічні відходи, що утворюються у тваринництві та птахівництві, становлять один із найбільш масових та екологічно значущих потоків агровиробництва. До них належать гній великої рогатої худоби, свиней, коней та овець, пташиний послід, відходи глибокої й комбінованої підстилки, залишки кормів, промивні води, осади тваринницьких стоків, а також побічні продукти мікробіологічного розпаду у тваринницьких приміщеннях [1]. Сучасні інноваційні підходи у сфері біоконверсії дають змогу перетворити ці відходи на цінні енергетичні та агрохімічні ресурси, забезпечуючи санітарну безпечність виробництва, зменшення викидів аміаку, метану та парникових газів, а також економічну вигоду для господарств. В умовах інтенсифікації аграрного сектору України розробка та впровадження технологій високоефективної біоконверсії тваринницьких відходів набувають особливого значення.

Біологічна конверсія відходів тваринництва ґрунтується на принципах анаеробної ферментації, яка забезпечує перетворення органічної речовини в метан та діоксид вуглецю завдяки послідовним мікробіологічним стадіям гідролізу, ацидогенезу, ацетогенезу та метаногенезу [2]. У типових умовах тваринницькі відходи характеризуються високою вологістю (75–92%), низьким співвідношенням вуглецю до азоту (C:N від 6:1 до 15:1) та значною часткою