

ДОСЛІДЖЕННЯ І РОЗРОБКА ЗАМКНЕНИХ ЕКОЛОГО-БІОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ У ТВАРИННИЦТВІ

А. І. Чміль, доктор технічних наук
e-mail: nni.elektrik@gmail.com

Анотація. Розроблено енергозберігаючу та природоохоронну технологію обробки й утилізації тваринницьких відходів із максимальним коефіцієнтом переносу енергії на тваринницьку продукцію.

Ключові слова: енергозбереження, електрифіковані технології, екологія, утилізація тваринницьких відходів

Взаємовідносини людини з природою в процесі виробництва різко ускладнюються. Безперервно зростаючий обмін речовин та енергії, що виявляється в розширеному використанні природних ресурсів і збільшенні тваринницьких та інших видів відходів, які повертаються в навколишнє середовище, значно підсилює загальну дію сільськогосподарського виробництва на природу. Здатність же природи до природного відтворення інтенсивно використовуваних ресурсів та самоочищення від забруднення є обмеженою. Тому проблема запобігання забрудненню природного середовища тваринницькими відходами визначає необхідність створення ЗЕБС, як екологічно замкнених виробничих структур, здатних "вписуватись" у рівноважну систему природного середовища з мінімальними збитками для неї.

Виходячи з екологічних, енергетичних та санітарно-ветеринарних вимог, розроблено інтегровану енергозберігаючу й природоохоронну технологію утилізації органічної маси тваринницьких комплексів і птахофабрик [1].

Мета досліджень – розробка енергозберігаючої та екологічнобезпечної технології обробки й утилізації тваринницьких відходів.

Матеріали та методика досліджень. Суть інтегрованої системи полягає в комбінованій біоконверсії органічних відходів у три етапи, шляхом передачі відходів одного технологічного модуля іншому, для якого відходи є сировиною, з метою отримання добрив, кормів і палива, інтенсифікації процесу біодеградації, повної утилізації мінеральних речовин, що знаходяться у відходах, захисту навколишнього природного середовища та запобігання поширенню епідемій.

Результати досліджень. На першому етапі обробка органічних відходів здійснюється за анаеробних умов у біоенергетичній установці (БЕУ). Це дає змогу отримати біогаз, який на 2/3 складається з метану, калорійністю 20–24 МДж/м³, і може бути використаний не тільки для задоволення власних

енергетичних потреб, але і як паливо для теплоенергетичних потреб тваринницького підприємства. Крім того, знижується загальна мікробна забрудненість, гинуть яйця гельмінтів, втрачає схожість насіння бур'янів, а втрати азоту при цьому не перевищують 5 %.

Для нормального протікання процесу анаеробного розкладання тваринницьких відходів необхідно створити оптимальні умови життєдіяльності бактерій, на які впливають такі фактори: властивість сировини, температура субстрату, концентрація живильних речовин, рН-середовища, анаеробні умови, тривалість зброджування, спосіб та ефективність перемішування субстрату.

Як відомо, метан утворюється в результаті життєдіяльності двох основних груп мікроорганізмів: кислотоутворюючих і метаноутворюючих. На першій стадії кислотоутворюючі (гідролітичні) бактерії перетворюють складні органічні сполуки (білки, ліпіди, полісахариди тощо) у жирні кислоти з виділенням гідролізного газу, який складається переважно з вуглекислого газу й сірководню.

Таким чином, для того щоб зробити процес більш ефективним і економічним, ферментацію в БЕУ бажано здійснювати у дві стадії. Це уможливить підтримання оптимальних умов для кожної групи мікроорганізмів, а також отримання біогазу, який складається на 80% з метану (порівняно з 70 % в одностадійній БЕУ).

Одним із важливих факторів процесу ферментації є температурний режим, найбільш поширеним з яких є мезофільний і термофільний. Більш продуктивним є термофільний процес, проте він потребує значних витрат енергії на підтримання оптимальної температури, що значно здорожчує процес ферментації. З іншого боку, саме термофільний режим зброджування дає можливість після 2–3-добової ферментації зменшити загальну кількість бактерій у тваринницьких стоках на 4 порядки, тоді як у мезофільному режимі навіть після 2-місячної ферментації – лише на 2 порядки. Втрата схожості насіння бур'янів у термофільному режимі відбувається за 1–2 доби, а в мезофільному – за 3–4 тижні. Тому на першій стадії ферментація в БЕУ здійснюється в термофільному режимі протягом 36–48 год, а на другій стадії – у мезофільному режимі – протягом 6–7 діб.

Щоб отримати необхідну для процесу ферментації температуру, потрібно підігрівати субстрат, що подається в метантенк, до температури зброджування і потім підтримувати її на постійному рівні за допомогою системи термостабілізації.

Найбільша частина енергії у вигляді теплоти (75–80 %) потрібна для нагрівання субстрату до температури ферментації. Тому для підвищення ефективності роботи БЕУ використано рекуперативний теплообмінник, який дає змогу утилізувати до 50 % теплоти ефлюента для нагрівання субстрату, що надходить на перший ступінь БЕУ.

У результаті проведених досліджень було визначено такі технологічні параметри БЕУ:

- температура ферментації:
- на першому ступені – 52–54 °С;

- на другому ступені – 32–35 °С;
- вологість субстрату – 90–92 %;
- добова доза завантаження 10–12 %;
- активна реакція субстрату – 6,8–7,3;
- ступінь розкладання органічної речовини – 40–50 %;
- вихід біогазу – 500–1000 м³/т а.с.р.;
- доля метану в газі – 75–80 % .

Оскільки після анаеробної ферментації органічна маса відходів розкладається лише на 40–50 %, її необхідно також утилізувати, що й здійснюється після розкладання ефлюента на тверду й рідку фракції.

На другому етапі тверда фракція використовується для вермикультивування – промислового вирощування дощових черв'яків на відкритих ділянках або в закритих приміщеннях.

Для культивування за штучних умов найбільшої уваги заслуговує черв'як виду *Eisenia foetida*, який найкраще пристосований до життя в неволі, відрізняється коротким періодом дозрівання та високою плодючістю. Основною небезпекою для нього є можливість отруєння надмірною концентрацією протеїну в органічній речовині при незакінченій його ферментації.

Відомий біологічний спосіб переробки за допомогою вермикультури органічних відходів та отриманням біогумусу і біомаси черв'яків, де органічні відходи попередньо було піддано ферментації в бурті, тривалість якої залежала від виду відходів та їх фізико-хімічних властивостей (2–15 міс.). Відомий також спосіб прискореного процесу ферментації. Для цього в бурт закладають повітропровід, через який здійснюється аерація субстрату. При цьому органічні відходи нагріваються до температури 60–70 °С і процес ферментації скорочується до 30 днів. Недоліком обох способів є тривалий період ферментації органічних відходів. Якщо ж зброджування здійснювати в БЕУ, то процес ферментації зменшується до 7 днів.

Перероблений субстрат (біогумус) являє собою, в основному, копроліти дощових черв'яків, скріплених слизовими виділеннями шлунку, містить усі необхідні рослині елементи живлення, а також біологічно активні речовини, що стимулюють ріст і розвиток сільськогосподарських культур. Дані ряду досліджень свідчать, що біогумус може бути рекомендований під усі сільськогосподарські культури, проте найбільш доцільно його застосовувати в овочівництві, де він забезпечує прибавку врожаю капусти, томатів і перцю до 40 % і виключає накопичення нітратів і важких металів у продукції. Крім того, біогумус має здатність зв'язувати радіонукліди, що знаходяться в ґрунті та органічних відходах. Важливе значення мають і самі черв'яки, в організмі яких міститься 61–71 % протеїну, і які можуть бути використані у тваринництві, птахівництві й рибництві, а також як сировина для фармакологічної та парфюмерної промисловості.

На третьому етапі рідка фракція ефлюента БЕУ використовується для культивування мікроводоростей, таких як хлорела, спіруліна, сценедесмус тощо. За умов достатнього азотного живлення

мікробіодорості містять понад 50% протеїну з набором незамінних амінокислот, 30–35 % вуглеводнів, 7–10 % жиру, вітаміни С, групи В, каротин, антибіотики та мікроелементи. Встановлено також, що спіруліна виводить із організму важкі метали та радіонукліди.

У господарствах України вже тривалий час дефіцит протеїну в раціонах тварин становить 25–30 % від потреби, або близько 1,5–1,8 млн т щорічно і через це не добирається приблизно 32% продукції тваринництва. За допомогою мікробіодоростей можна частково вирішити білкову проблему. Мікробіодорості інтенсивно розвиваються при створенні їм відповідних умов – певних значень температури суспензії, інтенсивності оптичного опромінення, концентрації біомаси в суспензії, складу й концентрації живильного середовища та концентрації вуглекислого газу в повітрі, що подається в культуру.

Визначальною умовою підвищення продуктивності мікробіодоростей є ефективність використання оптичного випромінювання, що забезпечує протікання в клітинах фізіологічних процесів і, перш за все, фотосинтезу. Оскільки суспензія мікробіодоростей являє собою завись світлорозсіюючих, селективно поглинаючих клітин, то зі збільшенням глибини культиватора й густини біомаси відбувається значне падіння оптичної опроміненості, і нижні шари суспензії практично не беруть участі в процесі фотосинтезу.

З метою підвищення продуктивності установки дня вирощування мікробіодоростей, ми запропонували культиватор глибинного типу із зануреними рухомими джерелами оптичного опромінення. Технологічну схему запропонованої інтегрованої системи обробки і утилізації (ICOY) органічних відходів у паливо, добрива і корми наведено на рис. 1.

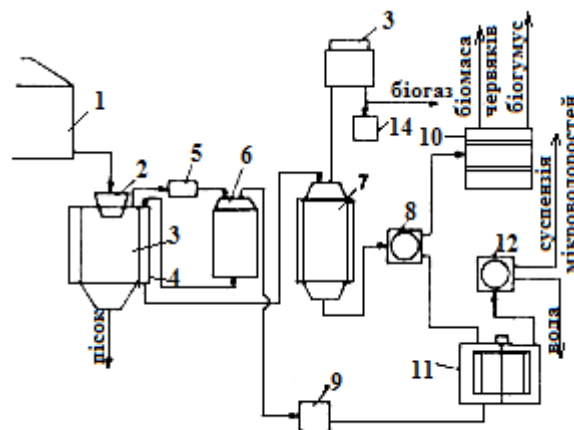


Рис. 1. Технологічна схема ICOY органічних відходів у паливо, добрива і корми: 1 – тваринницьке приміщення; 2 – подрібнювач-відокремлювач; 3 – накопичувач; 4,5 – теплообмінники; 6 – перший ступінь БЕУ; 7 – другий ступінь БЕУ; 8 – фільтр; 9, 12 – центрифуга; 10 – вермикультиватор; 11 – культиватор водоростей; 13 – газгольдер; 14 – газовий водонагрівач

З тваринницького приміщення 1 відходи (фекалії, вода, рештки корму, шерсть, пір'я, пісок тощо) вологістю 86–90 % через подрібнювач 2 надходять у накопичувач 3, де здійснюється відокремлення органічної маси від піску та інших сторонніх предметів. Тут же проходить підігрів відходів, що надійшли, за рахунок рекуперативного теплообмінника 4, що дає змогу утилізувати теплоту суспензії після першого ступеня БЕУ. Після цього органічні відходи йдуть на перший ступінь 6 двоступінчастої БЕУ, попередньо проходячи через теплообмінник 5, де здійснюється доведення субстрату до температури ферментації. На цій стадії утворюється гідролізний газ, який використовується як джерело вуглекислого газу після очищення його від сірководню у фільтрі 8. Після витримування субстрату в першому ступені БЕУ протягом 36–48 год за температури

Схему енергетичних потоків ІСОУ тваринницьких відходів, побудовану на основі схем енергетичного балансу БЕУ, культиватора мікродоростей і вермикультиваційної установки, наведено на рис. 2.

Виходячи зі схем енергетичних потоків, представимо коефіцієнт біоенергетичної ефективності ІСОУ таким чином:

$$\eta_{\text{заг}}^{\text{ІСОУ}} = \frac{E_{\text{Б}} + E_{\text{БГ}} + E_{\text{Б*}} + E_{\text{МК}}}{E_{\text{заг}}^{\text{БЕУ}} + E_{\text{заг}}^{\text{ВК}} + E_{\text{заг}}^{\text{КМ}}}$$

$$\eta_{\text{БЕЕ}}^{\text{ІСОУ}} =$$

Підставляючи в рівняння числові значення, отримаємо $\eta_{\text{БЕЕ}}^{\text{ІСОУ}} = 1,046$, що свідчить про енергетичну ефективність ІСОУ тваринницьких відходів.

Екологічна ефективність залежить від глибини утилізації органічних відходів, яка може бути визначена за формулою:

$$E = \frac{L_o + L_t}{L_o}$$

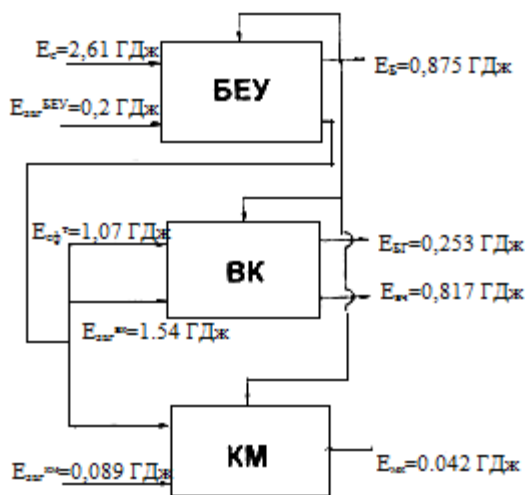


Рис. 2. Схема енергетичних потоків ІСОУ тваринницьких відходів

де E – глибина утилізації органічних відходів;

L_o – концентрація забруднення на вході, г/л;

L_t – концентрація забруднення на виході, г/л.

У таблиці наведено показники ІСОУ тваринницьких відходів відгодівельного комплексу ВРХ.

**Показники роботи інтегрованої системи
обробки та утилізації тваринницьких відходів**

Показник	На вході тваринницького комплексу	На виході БЕУ	На виході КМ	Глибина утилізації ІСОУ
РН	7,0	7,2	7,5	-
БПК5, мг/л	2380	586	154	0,93
ХПК, мг/л	5680	1286	320	0,94
Кількість мікроорганізмів, млн/мл	85	12	0,15	-

Як видно з таблиці, глибина утилізації ІСОУ за ХПК дорівнює 0,94, а за БПК₅ – 0,93, що свідчить про високу екологічну ефективність запропонованої системи обробки та утилізації тваринницьких відходів.

Висновки

На основі теоретичних та експериментальних досліджень розроблено енергозберігаючу та природоохоронну технологію обробки й утилізації тваринницьких відходів із максимальним коефіцієнтом переносу енергії на тваринницьку продукцію, яка полягає в комбінованій обробці відходів у три етапи, шляхом передачі відходів одного технологічного модуля іншому, для якого відходи служать сировиною, з метою отримання органічних добрив, корму й палива, інтенсифікації процесу біоконверсії та можливості повної утилізації мінеральних речовин, що знаходяться у відходах.

Список літератури

1. Чміль А. І. Енергетична ефективність і екологічна безпека замкнених еколого-біотехнічних систем в тваринництві / А. І. Чміль : монографія. – К. : Компринт, 2015. – 163 с.
2. Чміль А. І. Дослідження енергетичної досконалості біотехнічних систем у тваринництві / А. І. Чміль // Науковий вісник НУБіП України. – 2015. – Вип. 209, ч. 2. – С. 58–63.

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ЗАМКНУТЫХ ЭКОЛОГО-БИОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ В ЖИВОТНОВОДСТВЕ

А. И. Чмиль

Аннотация. *Разработана энергосберегающая и природоохранная технология обработки и утилизации животноводческих отходов с максимальным коэффициентом переноса энергии на животноводческую продукцию.*

Ключевые слова: *энергосбережение, электрифицированные технологии, экология, утилизация животноводческих отходов*

RESEARCH AND DEVELOPMENT OF CLOSED ECOLOGICAL AND BIOTECHNICAL SYSTEMS IN LIVESTOCK

A. Chmil

Annotation. *Research energy saving and environmental protection technology of processing and disposal of animal waste with a maximum energy transfer factor for livestock products .*

Key words: *energy, electrical technology, ecology, disposal of animal waste*