

УДК 631.894:879.4

МОДЕЛЬ АЕРОБНО-АНАЕРОБНОГО ПРОЦЕСУ ПЕРЕРОБКИ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ВІДХОДІВ

Павленко С.І. к.т.н., доц. *

Ляшенко О. О., інж.

Філоненко Ю. А., науковий співробітник

Запорізький науково-дослідний центр з механізації тваринництва ННЦ «ІМЕСГ»

м. Запоріжжя, Україна

Тел. (061) 289-81-84

e-mail: imtuaan@ukr.net

Анотація. Розглянуто процес поєднання технологічних операцій аеробної і анаеробної переробки сільськогосподарських відходів для отримання біогазу та органічних добрив. Створено модель аеробно-анаеробного процесу переробки сільськогосподарських відходів.

Ключові слова: компостування, органічні відходи, моделювання, аеробно-анаеробний процес.

Постановка проблеми. Основна ідея розроблюваного процесу полягає у поєднанні технологічних операцій аеробної і анаеробної переробки сільськогосподарських відходів з метою виробництва біогазу і органічних добрив. Основні прогнозовані переваги такого технологічного підходу базуються на таких положеннях:

- ведення процесу повинно проводитись за умов максимально можливого зниження вологості вхідного субстрату, яка б задовольняла технологічним вимогам як аеробного, так і анаеробного методу переробки відходів;

- залучення до процесу поряд з екскрементами тварин додатково рослинних відходів з метою підвищення питомого вмісту органічної речовини, здатної до мікробіологічного розкладу;

* Публікується по рекомендації: ак. МААО, д.т.н, проф. Пастухова В.І.

- скорочення обсягів перероблюваних відходів за рахунок уникнення надмірного використання води в технологічній стадії анаеробного зброджування;
- підвищення питомого виходу біогазу з одиниці об'єму перероблюваного субстрату й відповідно з одиниці об'єму технологічної споруди;
- зниження енергетичних затрат на підтримку температурного режиму за рахунок використання вивільненої теплової енергії на попередній стадії аеробної обробки;
- скорочення викидів в атмосферу неприємних запахів, шкідливих та парникових газів;
- зниження обсягів капіталовкладень на технологічні споруди і устаткування;
- уникнення санітарно-гігієнічних ризиків за рахунок знезараження субстратів в умовах біотермічних процесів на стадії попередньої аеробної обробки та на завершальній стадії термофільного компостування;
- підвищення питомого вмісту поживних біогенних речовин в кінцевих продуктах (компостах) з одночасним еквівалентним зменшенням їхніх обсягів;
- підвищення екологічної безпеки за рахунок уникнення загроз забруднення довкілля як сировинними компонентами, так і кінцевими продуктами переробки.

Основна частина. Розроблюваний технологічний процес може бути представлений його структурною моделлю (рис. 1), яка передбачає послідовне виконання цілого ряду технологічних операцій, що включають різні мікробіологічні стадії розкладу органічних сполук. Основні технологічні операції процесу: оцінювання обсягів та властивостей відходів → готування вихідного субстрату → аеробна стадія → анаеробна стадія (гідроліз, кислотогенез, ацетогенез, метаногенез) → рециркуляція зброджуваної рідини і зрошення субстрату → відбір біогазу → аеробна стадія (стабілізація шляхом біотермічного компостування) → дозрівання компосту (витримання у термінах визначених агротехнічними заходами внесення на поля).

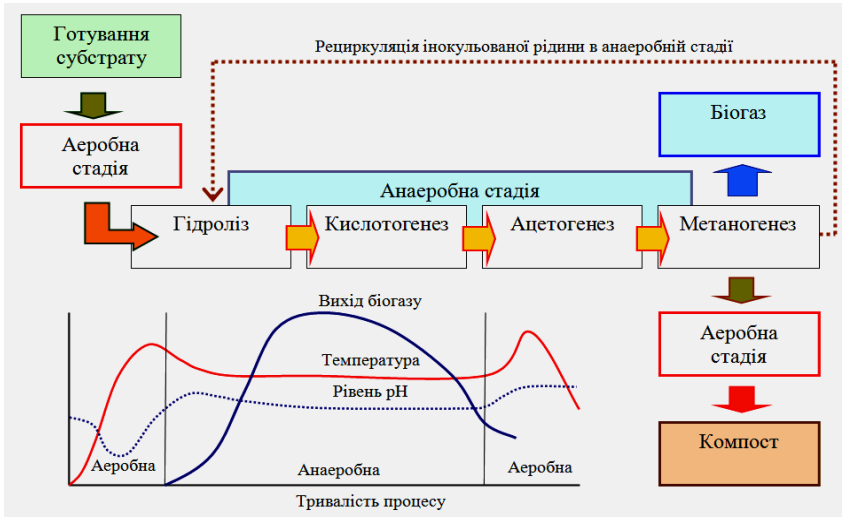


Рисунок 1 – Структурна модель аеробно-анаеробного процесу переробки органічних відходів з виробництвом біогазу і компостів

Таблиця 1 – Узагальнені дані вмісту органічної речовини і питомого виходу біогазу з сільськогосподарських відходів

Органічні відходи	Суша речовина (СР), %	Органічна речовина, (ОР), %(СР)	Відношення С:N (середнє)	Питомий вихід біогазу, м ³ /кг(ОР)
Екскременти ВРХ	8,2-15,1	75-85	10-30 (19)	0,3-0,6
Екскременти свиней	9-14	75-83	10-20 (14)	0,5-0,9
Екскременти птиці	10-29	67-77	6-15 (10)	0,3-0,8
Екскременти овець	18-25	80-85	13-20 (16)	0,3-0,4
Екскременти коней	25-30	70-80	22-50 (30)	0,4-0,6
Гній рідкий ВРХ	6-11	68-85	16	0,1-0,8
Гній рідкий свиней	2-13	77-85	20	0,3-0,8
Трава зелена	20-37	86-93	9-25	0,7-0,8
Силос кукурудзи	20-40	94-97	60-80	0,6-0,7
Солома злакова	86	92-94	80-110	0,2-0,5

Сільськогосподарські органічні відходи, що можуть бути залучені до переробки в аеробно-анаеробному процесі (табл. 1).

Основним компонентом є екскременти сільськогосподарських тварин, у т.ч. безпідстилковий і

підстилковий гній, послід та ущільнені мулові осади тваринницьких stokів. Додатковими компонентами слід вважати солому, рослинні відходи, такі як кормові з'їди, а також рослинна біомаса (стеблова кукурудза, бадилля і листя буряків, зелена трав'яна маса, тощо).

Технологічні вимоги до готування субстратів для аеробно-анаеробних процесів. Готування субстратів передбачає попередню механічну обробку відходів (за необхідності), збалансування за вмістом поживних речовин та відношенням C:N, урегулювання вологості (вмісту сухої речовини) та структури субстрату. Механічна обробка органічних відходів сільськогосподарського виробництва не передбачає цілого ряду технологічних операцій притаманних для переробки муніципальних відходів, а саме: сортування, відбір металевих та полімерних компонентів відходів, тканин тощо.

Основним технологічним заходом, з точки зору попередньої механічної обробки, який може бути використаний у розроблюваному процесі, є подрібнення довговолокнутих рослинних відходів з метою збільшення питомої поверхні матеріалу і, відповідно, прискорення її розпаду під дією мікроорганізмів. З іншого боку ступінь подрібнення суттєво впливає на структуру вихідного субстрату. Слід мати на увазі, що чим менше розмір частинок, тим сильніше вони ущільнюються й погіршать аерацію на першій стадії процесу. Висока щільності закладання субстрату може гальмувати фільтраційні процеси й інокулювання всієї маси збродженою рідиною в анаеробній стадії. Для механізованих систем з примусовою аерацією, рослинні компоненти можуть подрібнюватись до часток розміром від 12 мм до 15 мм. При відсутності примусової аерацією найкращим може бути подрібнення до 50 мм. Наступним елементом готування субстратів є збалансування їх за вмістом поживних речовин та відношенням C:N. Як зазначалось вище раціональним може бути початкове відношення $C:N = 25 \pm 5 : 1$ [1].

Методологічний підхід щодо урегулювання співвідношення C:N представлено на рис. 2.

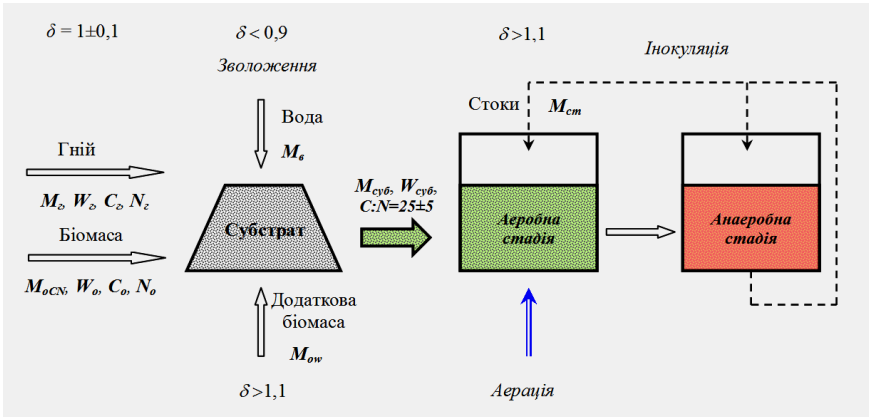


Рисунок 2 – Структурна модель готування субстрату шляхом збалансування вологості і C:N

Високе значення співвідношення $C:N > 30 : 1$ призводить до пролонгації процесу з тривалим окисленням надлишкового вуглецю або розпадом органічних сполук в анаеробній стадії. Чим вище відношення $C:N$ в органічному субстраті, тим ймовірніше, що буде мати місце біологічне поглинання азоту. Якщо $C:N < 20:1$, як це характерно, наприклад, для гною чи посліду, азот буде втрачатись у вигляді аміаку, який є інгібітором в анаеробній стадії процесу. Одним з шляхів зменшення втрат азоту – це забезпечення оптимального співвідношення $C:N$ ще на початку процесу. Для збалансування субстрату на першому етапі визначається вологість компонентів та вміст органічного вуглецю в сухій речовині. Для розрахунків масових пропорцій кожного з компонентів, з урахуванням фізико-хімічних властивостей, застосована математична модель [3.4]. Сутність балансування полягає у відносному оцінюванні розрахункових масових кількостей одного й того ж компонента (наприклад, зелена біомаса або суха біомаса - солома), за параметром δ

$$\delta = M_{ow} / M_{oCN} , \quad (1)$$

де M_{oCN} - масова кількість органічного матеріалу (як енергетичного компонента) для збалансування субстрату за поживними речовинами, т;

M_{ow} - масова кількість органічного матеріалу (як вологопоглинача) для збалансування вологості субстрату, т

$$M_{ow} = M_z (W_z - W_{cyб}) / (W_{cyб} - W_o), \quad (2)$$

де W_z, W_o - відповідно, вологість гною (посліду) і базового органічного компонентів, %

$W_{cyб}$ - технологічна вологість субстрату, %;

M_z - кількість гною (посліду) за масою, т.

У свою чергу M_{oCN}

$$M_{oCN} = k M_z (100 - W_z) / (100 - W_o), \quad (3)$$

де k - поправний коефіцієнт, який враховує вміст поживних біогенних речовин в гної (посліді) і в органічному матеріалі:

$$k = (N_z k_{CN} - C_z) / (C_o - N_o k_{CN}), \quad (4)$$

де N_z, N_o - вміст азоту в сухій речовині гною (посліду) і базовому органічному компоненті, %;

C_z, C_o - вміст органічного вуглецю в сухій речовині гною (посліді) і базовому органічному компоненті, %;

k_{CN} - оптимальне відношення вуглецю і азоту для ефективної життєдіяльності мікроорганізмів (для анаеробного процесу $k_{CN} = 25 \pm 5$, оптимально для розрахунків $k_{CN} = 25$).

Якщо $\delta = 1 \pm 0,1$ то слід вважати, що субстрат збалансований за вмістом біогенних речовин. Таким чином, до гною масою M_z , як основного компонента субстрату, слід додати базовий енергетичний компонент у кількості M_{oCN} , що розрахована за формулою (3).

Маса субстрату становитиме (для $\delta = 1 \pm 0,1$)

$$M_{cyб} = M_z + M_{oCN} \quad (5)$$

Методологічний підхід щодо регулювання вологості субстрату. У випадку, коли $\delta < 0,9$, означає про збалансованість субстрату за $C:N$, але його вологість буде нижча за технологічно необхідну. У такому разі додаткове балансування субстрату ведуть за вологістю шляхом зволоження її під час змішування компонентів з уведенням води (або за рахунок рециркуляції стоків) у кількості, яка визначається за формулою

$$M_e = \{M_{oCN}(W_{cyb} - W_o) - M_z(W_z - W_{cyb})\} / (100 - W_{cyb}), \quad (6)$$

де M_e - масова кількість води (стоків) для зволоження субстрату, т.

Для випадку маса субстрату становитиме

$$M_{cyb} = M_z + M_{oCN} + M_e \quad (7)$$

У тому разі, коли $\delta > 1,1$ балансування суміші за вологістю ведуть шляхом додавання сухого компоненту (солома, суха трава, тощо) з попереднім визначенням його вологості. Кількість сухого компоненту

$$M_{ck} = \{M_z(W_z - W_{cyb}) - M_{oCN}(W_{cyb} - W_o)\} / (W_{cyb} - W_{ck}), \quad (8)$$

де M_{ck} - масова кількість сухого компоненту, т;

W_{ck} - вологість сухого компоненту, %.

Субстрат (для $\delta > 1,1$) може бути підготовлений за двома варіантами.

Перший варіант передбачає можливість уведення додаткової кількості органічного вологопоглинального компонента. Маса субстрату при цьому становитиме

$$M_{cyb} = M_z + M_{oCN} + M_{ck} \quad (9)$$

При цьому слід зазначити, що за такого підходу дещо порушується співвідношення $C:N$, яке зростає в більшу сторону до показника 30:1.

Другий варіант передбачає додавання до гною базового енергетичного компонента у кількості M_{ow} , що визначається за формулою (2) для збалансування вологості субстрату, а також інокульованої стічної рідини за кількістю $M_{ct} = M_g$.

Маса субстрату становитиме

$$M_{cуб} = M_z + M_{ow} + M_{ct}. \quad (10)$$

Технологічним урегулюванням розглянутих положень може бути: для першого варіанту – урахування того, що розпад органіки на стадії аеробного процесу призведе до зниження показника $C:N$ перед процесом зброджування; для другого варіанту – пониження $C:N$ шляхом використання інокульованої стічної рідини з вмістом певної кількості амонійного азоту (рециркуляція азоту), якою буде періодично зрошуватись субстрат у процесі анаеробної переробки.

Аеробна стадія процесу. Переробка відходів на цій стадії передбачає виведення процесу на мезофільно-термофільний режим з метою максимально можливого скорочення затрат на розігрівання субстрату й відповідно його розкислення та гідролізу перед переходом на анаеробний метаногенний процес зброджування. Тривалість аеробної стадії залежить від швидкості розігрівання субстрату і виходу принаймні на мезофільний режим до температур не вище 42°C . Теплоенергетичний баланс біотермічного процесу розігрівання субстрату в узагальненому вигляді можна представити наступним чином:

$$E = \sum E_{вх} \pm \sum E_{перетв} - \sum E_{вих}, \quad (11)$$

де E – накопичена енергія системи, МДж;

$\sum E_{вх}$ – сумарна енергія на вході в систему, МДж;

$\sum E_{перетв}$ – сумарна енергія біохімічних перетворень, МДж;

$\sum E_{вих}$ – сумарна енергія на виході системи (втрачена енергія), МДж.

Тобто динаміка аеробного процесу залежить і змінюється під впливом його вхідних і вихідних параметрів, а також від цілого ряду параметрів, які характеризують

біохімічні перетворення (ендогенні і екзогенні) органічної речовини в органічних субстратах (рис. 3).

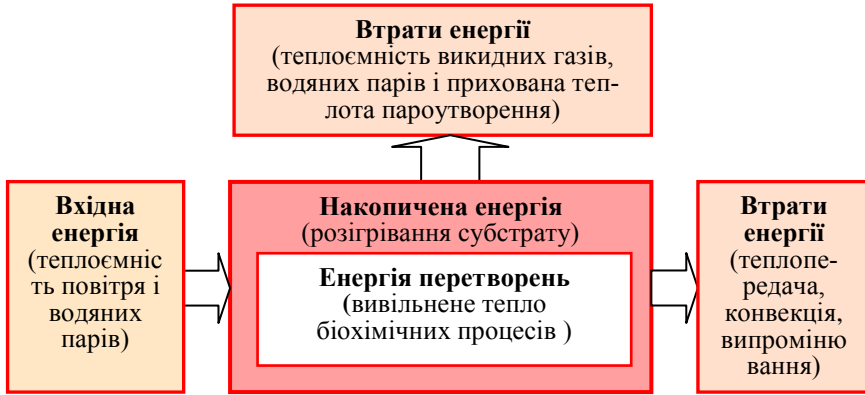


Рисунок 3 – Схема теплоенергетичних потоків в аеробних процесах

Розглядаючи аеробний процес для закритої теплоізолюваної системи теплоенергетичний і масовий баланс можна оцінити за наступною модельною схемою (рис.3). Для оцінювання енергетичних затрат, необхідних для розігрівання субстрату від початкової його температури t_n до температури мезофільного режиму t_{mez} , вдамося до наступних припущень. По-перше, втрати теплової енергії приймаються мінімальними; по-друге, енергія випаровування трансформується в енергію нагрівання огорожуючих конструкцій (принаймні, на першому етапі запуску системи в роботу); по-третє, енергія на нагрівання субстрату еквівалентна енергії вивільненій у результаті аеробних мікробіологічних перетворень (розпад частини органічних сполук субстрату); і останнє – на першій стадії аеробного процесу розпаду піддаються переважно леткі органічні сполуки гною у зв'язку з невеликою його тривалістю. Таким чином, енергія розірвання субстрату E_p (накопичена енергія) може бути оцінена наступним рівнянням

$$E_p = cM_{cyo}(t_n - t_k), \quad (12)$$

де c – теплоємність субстрату, МДж/(кг град);

t_n – початкова температура субстрату, °С;

t_k – кінцева температура субстрату, °С.

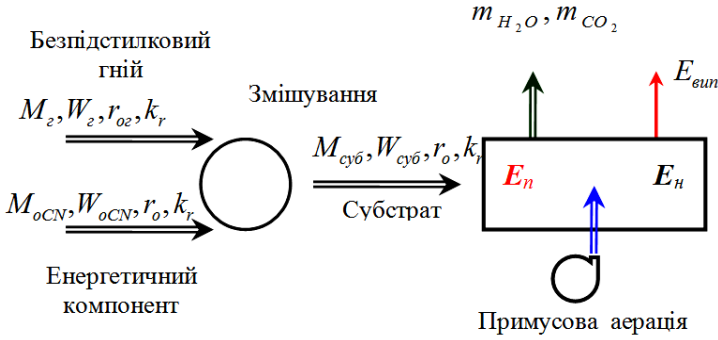


Рисунок 4 – Схема моделі енергетичного і масового потоків аеробної стадії обробки субстрату з примусовою аерацією

Потенційна теплова енергія, вивільнена у результаті біохімічних процесів розпаду органіки, розраховується за формулою:

$$E_n = \Delta m_{o.2} q_{o.2} = M_2 (1 - W_2) r_{o.2} k_{r.2} q_{o.2} \quad , \quad (13)$$

де E_n – потенційна енергія розпаду летких органічних речовин, МДж;

$q_{o.2}$ – питома енергія розпаду органічної речовини, МДж/кг;

$\Delta m_{o.2}$ – маса леткої органічної речовини гною, кг;

$r_{o.2}$ – відносний вміст органіки в сухій речовині гною, в.о.;

$k_{r.2}$ – коефіцієнт ступеню розпаду органічної речовини, в.о.

Питома енергія розпаду леткої органічної речовини залежить від її біоенергетичних властивостей і у нашому варіанті приймається на рівні окислення вуглеводів гною, яке супроводжується вивільненням енергії у межах від 16,8 до 17,6 МДж/кг. Маса леткої частини органічної речовини, якої достатньо під час розпаду для розігрівання субстрату до мезофільного режиму становитиме

$$\Delta m_{o,z} = cM_{\text{cуб}}(t_n - t_k) / q_{o,z} \quad (14)$$

Відповідним чином можна встановити втрати від можливого виробництва біогазу

$$\Delta Q_{\delta} = \Delta m_{o,z} q_{\delta} \quad (15)$$

де ΔQ_{δ} - втрати виходу біогазу від розпаду органіки на аеробній стадії, м³;

q_{δ} - питомий вихід біогазу з 1 кг органічної речовини, м³/кг(ОР).

Відносна теплоенергетична ефективність аеробної стадії може бути оцінена шляхом порівняння енергії біотермічних процесів і теплової енергії від згорання втраченої кількості біогазу

$$k_e = E_n / (\Delta Q_{\delta} E_{\delta}) \quad (16)$$

де E_{δ} - питома теплота згорання біогазу, МДж/м³.

Висновки. Перспективним, з точки зору скорочення питомих капіталовкладень на одиницю переробленої органічної речовини, є поєднання технологічних операцій в єдиний технологічний процес аеробно-анаеробної переробки відходів з відпрацюванням технологічних і режимних параметрів на основі вивчення ефектів впливових чинників властивих компостуванню і зброджуванню. Одним із таких процесів може бути процес твердофазової ферментації за циклом аеробна-анаеробна-аеробна обробка. Основною гіпотезою такого процесу є виробництво біогазу і високоякісних органічних добрив на основі субстратів з сільськогосподарських тваринницьких і рослинних відходів з високим вмістом сухої речовини, принаймні не менше ніж 30%.

ЛІТЕРАТУРА

1. Ляшенко О.О. Компостування гною методом біотермічної твердофазної ферментації / Техніка АПК. – 1996. – №1. – С. 31-32.

2. ВТ 46.16.20.33-2001 Технологія прискороного енергозберігаючого компостування гною з органічними відходами.

Вихідні вимоги. – Запоріжжя: Мінагрополітики України, ІМТ УА-АН, 2001.

3 Ляшенко О.О. Методологія готування та алгоритм визначення складу збалансованих компостних сумішей // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. – Мелітополь: ТДАТА. – 2006. – Вип. 36. – С. 20-25.

4 Патент UA №8463. МКІ С05F 17/00 Спосіб прискореного біотермічного компостування органічних відходів / О.О.Ляшенко, №20041109774; Заявлено 29.11.2004; Опубл. 15.08.2005, Бюл. № 8.

BIBLIOGRAPHY

1. Liashenko O.O. Manure composting through biothermic solid state fermentation/ O.O. Liashenko. - Tekhnika APK,1996. – №1. – S. 31-32.

2 VT 46.16.20.33-2001 Technology of rapid energy-saving composting manure with organic waste. Outgoing requirements. – Zaporizhzhya: - Minagropolityky Ukrainy, IMT UAAN, 2001.

3. Liashenko O.O. Methodology of compounding and the algorithm of composition analysis definition of well-balanced composting compounds / O.O. Liashenko // Pratsi Tavriyskoi derzhavnoi agrotekhnologichnoi akademii. – Melitopol: TDATA,2006. – Vyp. 36. – S. 20-25.

4 Patent UA №8463. МКІ С05F 17/00 The way of rapid biothermic composting of organic waste / O.O.Liashenko, №20041109774; Zaiavleno 29.11.2004; Opubl. 15.08.2005, Biul. № 8.

MODEL OF AEROBIC AND ANAEROBIC PROCESS OF AGRICULTURAL WASTE PRODUCTS PROCESSING

S.I. Pavlenko, O.O. Liashenko, Yu.A. Filonenko

Summary

The combination process of technological operations of aerobic and anaerobic agricultural waste products processing for obtaining biogas and organic manure has been considered. The model of aerobic and anaerobic process of agricultural waste products processing has been developed.

Key words: composting, organic waste, modeling, aerobic and anaerobic process.