

УДК 628.336.515

УСТАНОВКА ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ БІОХІМІЧНОЇ ДЕСТРУКЦІЇ ОРГАНІЧНИХ ВІДХОДІВ В ІНТЕНСИВНОМУ РЕЖИМІ

С.І.Якушко, Сумський державний університет

Обгрунтовано технологічні особливості одно- та двостадійних схем деградації органічних відходів на основі аналізу умов життєдіяльності окремих груп мікроорганізмів. Показано, що кислотогенна та метаногенна фази ферментації потребують різних технологічних параметрів. Розроблена установка для відокремленого проведення процесу ферментації органічних відходів в інтенсивному режимі.

Обоснованы технологические особенности одно- и двухстадийных схем деградации органических отходов на основе анализа условий жизнедеятельности отдельных групп микроорганизмов. Показано, что кислотогенная и метаногенная фазы ферментации требуют разных технологических параметров. Разработана установка для разнесенного проведения процесса ферментации органических отходов в интенсивном режиме.

Ознакою нашого часу є широке впровадження природоохоронних технологій, що потребує створення відповідного обладнання. Все більше уваги приділяється розробці апаратного оформлення процесів утилізації та переробки органічних відходів.

Переробку органічних відходів здійснюють шляхом біоконверсії – розкладання органічної речовини завдяки життєдіяльності комплексу мікроорганізмів. Іноді використовують інокуляцію мікроорганізмами, штучно одержаними у лабораторних умовах. Але в основному процес проводять за допомогою природних мікроорганізмів, наприклад тих, що містяться в рубці жуйних тварин.

Існує велика кількість технологій біоконверсії органічної сировини. Одним з прогресивних методів біоконверсії органічних відходів є їх метанова анаеробна ферментація у біогазових установках - спеціальних біореакторах. Перевага цієї технології полягає в тому, що окрім органічних добрив можна одержувати біогаз – нетрадиційне джерело енергії.

Для ферментації може бути використана будь-яка органічна речовина, але з різним ступенем розкладання. Для анаеробної ферментації використовується безпідстилковий гній або послід, який складається з органічної речовини твердих та рідких виділень тварин.

Для ефективного здійснення процесів мікробної трансформації органічної речовини необхідно забезпечити активний масообмін між твердою, рідкою і газоподібною фазами та бактеріальними клітинами. Цей процес відбувається в основному за рахунок примусового перемішування органічної маси. При цьому розмір частинок твердого матеріалу повинен бути якомога меншим. Крім того, ефективність процесу метаногенезу може бути забезпечена тільки на тих умовах, якщо в'язкість органічної речовини допускає певну швидкість досягнення фазової рівноваги [1].

Утворення метану з органічної речовини відбувається завдяки життєдіяльності декількох основних груп мікроорганізмів, які переробляють складні органічні з'єднання у більш прості, які в свою чергу є вихідною сировиною для метаноутворюючих бактерій. Останні більш чутливі до змінень в оточуючому

середовищі, ніж кислотоутворюючі, тобто метаноутворення є лімітуючою стадією процесу анаеробної ферментації [2].

Нещодавно приймалася теорія двостадійного процесу анаеробної ферментації органічної речовини: на першій стадії складні високомолекулярні з'єднання (в основному жири, вуглеводи, білки) розкладаються на більш прості низькомолекулярні – летючі кислоти, спирти, водень, діоксид вуглецю (кислотна або воднева стадія ферментації), на другій – продукти першої фази переходять у метан (лужна або метанова стадія). Кожна стадія виконується специфічною групою мікроорганізмів.

Згідно сучасним уявленням анаеробна метанова ферментація включає чотири пов'язаних між собою стадії:

1) стадія ферментативного гідролізу нерозчинної складної органічної речовини з утворенням простих розчинних речовин;

2) стадія кислотоутворення з видаленням коротколанцюжкових летючих жирних кислот (ЛЖК), амінокислот, спиртів, а також водню та вуглекислого газу (кислотогенна стадія);

3) ацетогенна стадія перетворення ЛЖК, амінокислот та спиртів в оцтову кислоту, яка потім підлягає дисоціації на аніон ацетату і катіон водню;

4) метаногенна стадія – утворення метана з оцтової кислоти, а також в результаті реакції відновлення воднем вуглекислого газу.

Деякими авторами перші дві стадії об'єднуються в одну, і процес розглядається як тристадійний.

Розглянемо групи бактерій та мікроорганізмів, що відповідають за проведення кожної стадії, та умови оптимального існування цих груп. Це дасть можливість дослідити технологічні та конструктивні особливості, які сприяють найкращим умовам проведення процесу анаеробної ферментації органічних відходів.

До першої групи відносяться ферментативні бактерії, які здійснюють стадії ферментативного гідролізу та кислотоутворення. Це швидкозростаючі анаероби з оптимумом рН=6,5-7,6 [3]. Бактерії виділяють в середовище біологічні каталізатори – екзоферменти, за участю яких і відбувається гідроліз та переведення твердих нерозчинних з'єднань у розчинний стан. Швидкість гідролізу залежить від природи органічної речовини та умов його проведення: необхідно забезпечити достатню кількість ферментів, створити умови контакту з органічною речовиною, підтримувати оптимальні значення температури та рН.

Оскільки наступні стадії анаеробної ферментації не можуть початися, доки не пройде стадія гідролізу і тверда нерозчинна речовина не перейде у рідку фазу, загальна швидкість процесу лімітується стадією гідролізу. Кислотогенна стадія здійснюється мікроорганізмами, для яких вуглець простих органічних з'єднань, які перейшли у розчин, є джерелом живлення. Вважається [3], що 20% вихідної органічної речовини перетворюється у оцтову, 15% - у пропіонову кислоти та 65 % - в інші проміжні з'єднання. Стадія кислотоутворення на звичай не лімітує наступні стадії ферментації, оскільки бактерії, які здійснюють цю стадію, непримхливі і зростають з високою швидкістю. Але інтенсивно протікаючи стадії гідроліза та кислотоутворення можуть привести до накопичення летючих кислот та зниженню рН, що спричиняє подавлення росту бактерій наступних стадій процесу.

Ацетогенна стадія здійснюється двома групами ацетогенних бактерій. Перша утворює ацетат з виділенням водню (ацетогени, які утворюють водень з розчинних продуктів попередньої стадії кислотоутворення). Друга група ацетогенних бактерій приводить до утворення оцтової кислоти шляхом використання водню для відновлення двоокису вуглецю (ацетогени, які використовують водень).

На четвертій метаногенній стадії метанові бактерії утворюють метан двома шляхами – шляхом розщеплення ацетата та відновлення вуглекислоти воднем. Першим шляхом утворюється 72% метана, другим – 28% [3].

Треба відмітити, що метанові бактерії – суворі анаероби. Вони дуже чутливі до присутності в середовищі розчиненого кисню та нітратів. Оптимальне значення рН=7,0-7,5, хоча бактерії можуть працювати і при рН=9-10, якщо час перебування їх не менше ніж 20 діб. Концентрація кисню, яка дорівнює 0,01 мг/л, згубно діє на метанові бактерії. Джерелом вуглецю для метанових бактерій є ацетат-іон та вуглекислий газ, джерелом енергії є водень, головним джерелом азоту – аміак, а джерелом сірки – сульфіді [3]. Метаногени потребують також присутності різних мікроелементів (калій, натрій, кальцій, магній, кобальт, мідь, бор, цинк, молібден), але при високих концентраціях деяких з них вони стають концерогенами.

Таким чином, анаеробна деструкція органічної речовини здійснюється групою мікроорганізмів, які складають трофічний ланцюг первинних та вторинних анаеробів. На відміну від трофічного ланцюга мікроорганізмів в аеробних процесах, де виживають ті, які поглинають інших, для трофічних систем при метановій ферментації характерно використання продуктів обміну одних груп бактеріями інших.

Це дуже важливий висновок, згідно якого при метановій ферментації необхідно організувати процес полсідовного проходження кожної стадії в окремому апараті, або в окремій зоні апарата. Причому умови проходження процесу різні в кожній зоні. Наукова концепція технології фазового розподілення базується на різних вимогах кислотно- та метаноутворюючих мікроорганізмів до умов середовища та різниці їх фізіологічних характеристик.

Максимальна питома швидкість зростання кислотоутворюючих бактерій на порядок вища за метанових. Відповідно різні і швидкості використання субстратів. Тому об'єм камери (апарата) для проходження цієї фази повинен бути значно менший.

До того ж обидві групи організмів мають різні оптимуми рН та чутливість до температури, токсичним речовинам та кисню.

Розглянемо умови проходження процесу ферментації у звичайному одноступеневому реакторі. Вони регулюються таким чином, щоб найбільш відповідати вимогам більш чутливих та повільно зростаючих метанових бактерій. За цих умов кислотоутворюючі бактерії працюють із зниженою швидкістю обміну. Вони починають активно працювати та виробляти більшу кількість кислот тільки при підвищенні навантаження на реактор та зниженні терміну ферментації. Але при цьому відбувається накопичення продуктів обміну кислотоутворюючих бактерій, гальмування життєдіяльності метаногенів, що призводить до порушення процесу ферментації на другій стадії.

За умови проходження процесу ферментації при окремому культивуванні обох груп бактерій підвищується активність кислото- та метаноутворюючих бактерій завдяки організації у кожному реакторі оптимальних умов для розвитку данної популяції. При цьому у кислотному реакторі можна досягти глибокого гідролізу органічної речовини та високої швидкості утворення кислот при повному виключенні або незначної їх конверсії у метан. При цьому у другому реакторі з метановою фазою ферментації можна досягти максимального перетворення летючих жирних кислот у метан при мінімальному новому їх утворенні.

Тобто при відокремленому культивуванні за рахунок регулювання часу перебування органічної сировини у даному реакторі, оптимальних температурі та рН середовища в кожному з них значно підвищується метаболічна та кінетична активність кожної фази ферментації. Так, метаногенна культура, відокремлена від

кислотогенів, має швидкість зростання вищу у 2...7 разів ніж при спільному культивуванні [3]. Також значно підвищується швидкість конверсії ацетата в метан.

Тобто відокремлене проведення процесу має певні переваги, тому схема повинна мати два реактори: невеликий для проведення кислотної фази, та значно більший для проведення метаногенної фази.

Але для інтенсивного проходження першої фази, вихідну органічну речовину треба готувати, тому що процес не розпочинається до тих пір, поки не пройдуть гідроліз органічної речовини і переведення її у розчинений стан. Для швидкого переведення органічної речовини у розчинений стан використовують біологічні методи (аеробні і анаеробні) та фізико-хімічні методи (теплова обробка, лужний або кислотний гідроліз) [3]. Більш привабливим є анаеробний метод, оскільки при цьому зберігається більше поживних речовин, які потім перетворюються в органічні кислоти. Це дає змогу підвищити газоутворення у метановій фазі. Лужний гідроліз використовують, якщо відходи містять багато лігніну, целюлози та ін., тобто така органічна сировина (солома, підстилковий гній та ін.), яка майже не піддається біологічній деструкції. Одним з дієвих методів прискорення гідролізу є попереднє механічне подрібнення органічної маси.

Порівняння вказаних методів попередньої підготовки (анаеробної біологічної деструкції, хімічної деструкції хлористоводневою кислотою і механічним подрібненням) на швидкість проведення другої метаногенної фази, показало переваги першого метода.

Дослідження ферментації органічної речовини при проведенні процесу з відокремленням фаз проводилися у Німеччині [4,5], США [6,7] та у Радянському Союзі [8,9,10]. Аналіз цих даних показує, що найбільші показники по виходу біогазу, розкладенню органічної сировини та швидкості завантаження дає двофазова ферментація у мезофільно-мезофільновому режимі. Високі показники мають також мезофільно-термофільний і термофільно-термофільний режими. Також отримані результати по оптимальному терміну проведення процесу: найбільші показники дав мезофільно-мезофільний режим з терміном ферментації 15 діб.

Встановлено, що при термофільному режимі інтенсифікується перша фаза ферментації, що призводить до накопичення продуктів ферментації цієї фази, які пригнічують процес проходження другої фази ферментації [6], якщо процес ферментації проходить в одному реакторі. Найбільш привабливим режимом для проведення кислотогенної фази ферментації є термін у дві доби у термофільних умовах при рН=6. При цьому завдяки гальмуванню активності ацетогенів і метаногенів практично не відбувається утворення біогазу, а процес метаногенезу майже повністю відбувається у другій фазі, де при цих умовах утворюється значно більша лужність порівняно з одноступеневим процесом. Це дозволяє значно скоротити час проведення другої фази порівняно з одноступеневим процесом, та підвищити ступінь деструкції.

Реалізація вказаного способу ферментації представлена на рис. 1, на якому наведена установка для анаеробної ферментації [11].

Згідно приведеної технологічної схеми органічні відходи, які накопичуються у збірнику 1, проходять очищення від великих включень в уловлювачі 3 і подаються на підігрів. Схема передбачає двостадійний підігрів шляхом використання тепла рідкої відферментованої маси у підігрівачі 4, а потім досягають термофільної температури у підігрівачі 5, який одночасно виконує роль первинного реактора для проведення кислотогенної фази. Нагріта до температури 55⁰С органічна маса витримується певний час для проведення процесу гідроліза, після чого підготовлена органічна речовина подається у другий реактор-ферментер 6 для проведення метаногенної

фази ферментації. В реакторі-ферментері процес проходить при мезофільній температурі і продовжується у два-три рази довше, ніж у першому реакторі.

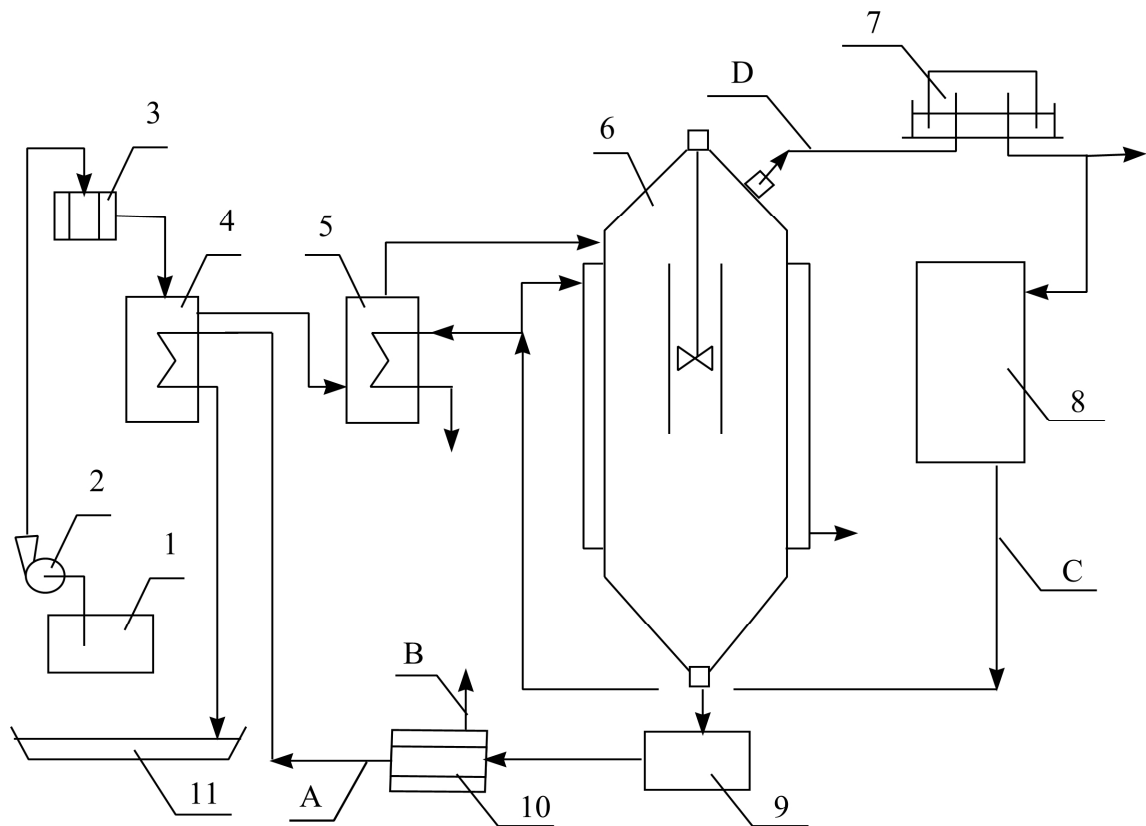


Рис. 1 – Принципова технологічна схема установки для ферментації органічних відходів з використанням принципу відокремлення фаз:

1 – збірник органічних відходів; 2 – насос; 3 – уловлювач; 4 – підігрівач; 5 – термофільний реактор; 6 – мезофільний реактор; 7 – газгольдер; 8 – котел; 9 – збірник відферментованої маси; 10 – центрофуга; 11 – накопичувач рідкої фракції;

Потоки: А – рідка фракція відферментованої маси; В – тверда фракція відферментованої маси; С – гарячий теплоносіє; D – біогаз

Біогаз, який утворюється у мезофільному реакторі 6, збирається у газгольдері 7. Частина його використовується для отримання гарячої води у котлі 8, а надлишки надходять користувачам. Гаряча вода з котла 8 використовується для підтримання заданої температури у реакторах 5 та 6.

Відферментована маса з реактору 6 накопичується у збірнику 9, а потім проходить розподілення на рідку та тверду фракції на центрофузі 10. Рідка фракція перед скидом у відкрите водоймище 11 віддає своє тепло вихідній сировині.

Тверда фракція відферментованої маси в подальшому використовується як органічне добриво, яке можна вносити зразу без компостирування; а рідка фракція використовується для поливу.

Приведена технологічна схема установки для деструкції органічних відходів з відокремленим процесом ферментації у двох реакторах (термофільному і мезофільному) дає певні переваги:

- скорочення терміну ферментації до 7-8 діб проти 15 діб без відокремлення фаз ферментації за рахунок ефективної підготовки сировини у термофільному реакторі першого ступеня ферментації;

- високий ступінь деструкції органічної сировини;

- високий вихід біогазу;
- економія тепла за рахунок введення у мезофільний реактор гарячої біомаси з термофільного реактора.

ЛІТЕРАТУРА

1. Баадер В., Доче Е., Бренндерфер М. Биогаз. Теория и практика. – М.: Колос, 1982 – 452 с.
2. Заварзин Г.А. Известия АН СССР, серия Биология. – 1986, №3.
3. Гюнтер Л.И., Гольдфарб Л.Л. Метантенки. – М.: Стройиздат, 1991. – 129 с.
4. Dichtl N. Zweistufige Verfahren der Schiammstadilisierung. // Korrespondenz Abwasser, 1986, N11, S.1055-1065.
5. Wechs F. Untersuchungen zur Optimisierung der zweistufigen anaeroben Klärschlammstadilisierung. // GWF-Wasser-Abwasser, 1986, N3, S.109-117.
6. Chosh S. Improved Sludge Gasification By Two-Phase Anaerobic Digestion. / Environ. Eng., 1987, N6, P. 1265-1284.
7. Chosh S. Two-stage uplow anaerobic digestion of concentratid sludge // Biotechnology and Bioengineering Symposium, 1983, N13, P. 351-370.
8. Анаэробная биологическая обработка сточных вод // Тезисы докладов участников республиканской научно-технической конференции 15-17 ноября 1988 г. – Кишинев, АН МССР, 1988.
9. Анаэробное сбраживание осадков городских сточных вод и утилизация образующегося биогаза // Тезисы докладов Всесоюзного научно-технического семинара. – ЦП НТО КхиБО, М.: 1986.
10. Яковлев С.В., Карюхина Т.А., Гвоздев Н.В. Принцип расчета метантенков с фазовой сепарацией // Химия и технология воды, 1983, т.5, №3. – с. 200.
11. Ткач Г.А., Моисеев В.Ф., Зинченко М.Г., Семенов И.В., Якушко С.И. Установка для анаэробной обработки отходов. – Авт. свид. № 1587021, Бюл. № 31, 1990.