

УДК 579.69

С.О. Колеснік

Отримання біогазу методом анаеробного бродіння твердих побутових відходів (проект)

*Національний Авіаційний Університет,
просп. Космонавта Комарова, 1, м. Київ, 03058, Україна*

Кількість твердих побутових відходів (ТПВ) в Україні невпинно зростає, що дуже негативно впливає на стан довкілля та здоров'я населення. Наразі ТПВ переважно вивозять на спеціально облаштовані полігони та стихійні звалища. Незначну частину ТПВ знешкоджують на сміттєспалювальних заводах. Утилізація твердих побутових відходів – велика і важлива проблема сучасності, яка пов'язана з можливістю переробки міських відходів, які забруднюють довкілля.

Ключові слова: анаеробне бродіння, біогаз, побутові відходи.

S.O. Kolesnik

Biogas Anaerobic Digestion by Solid Waste (Project)

*National Aviation University,
1, Kosmonavta Komarova Prosp., Kyiv, 03058, Ukraine*

Number of municipal solid waste (MSW) in Ukraine is increasing, which is very negative impact on the environment and human health. Currently, solid waste mainly transported in specially equipped landfills and dumps. A small part of MSW incineration plants to neutralize. Disposal of solid waste – a large and important issue of our time. It is associated with the possibility of processing municipal waste that pollute the environment.

Key words: anaerobic fermentation, biogas, municipal waste.

Стаття постуила до редакції 20.07.2015; прийнята до друку 15.09.2015.

Вступ

Найбільш поширений спосіб отримання енергії з біомаси – анаеробне (без доступу кисню) бродіння органічних відходів. У результаті цього процесу продукти – біогаз і переброджена напіврідка маса – представляють собою велику цінність як газове паливо та органічне добриво.

Насьогодні у багатьох країнах створюються спеціальні облаштовані сховища для твердих побутових відходів (ТПВ) з метою вилучення з них біогазу, яке використовується для виробництва електричної та теплової енергії.

Мета роботи полягала у розробці технології утилізації ТПВ для отримання біогазу.

I. Теоретична частина

1. Процес анаеробного розкладу органічних речовин здійснюється трьома основними групами мікроорганізмів: **на першому етапі** анаеробного

бродіння органічних речовин шляхом біохімічного розщеплення (гідролізу) спочатку відбувається розкладання високомолекулярних сполук (вуглеводів, жирів, білкових речовин) на низькомолекулярні органічні сполуки; **на другому етапі** за участю кислототвірних бактерій відбувається подальше розкладання з утворенням органічних кислот та їх солей, а також спиртів, CO_2 і H_2 , а потім H_2S і NH_3 ; **остаточне бактеріальне перетворення** органічних речовин у CO_2 і CH_4 здійснюється на третьому етапі процесу (метанове бродіння), крім того, з CO_2 і H_2 утворюється додаткова кількість CH_4 і H_2O .

2. Ці реакції протікають одночасно, причому метанотвірні бактерії пред'являють до умов свого існування значно вищі вимоги, ніж кислототвірні. Так, наприклад, вони потребують абсолютно анаеробного середовища і вимагають більш тривалого часу для відтворення. Швидкість і масштаби анаеробного бродіння метанотвірних бактерій залежать від їх метаболічної активності.

II. Наукове обґрунтування проекту

1. Метаболічна активність і репродуктивна здатність мікроорганізмів знаходяться у функціональній залежності від температури. Таким чином, температура впливає на об'єм газу, який можна отримати з певної кількості органічної речовини протягом заданого часу, а також на технологічний час процесу бродіння, необхідного для вивільнення за певної температури відповідної кількості газу.

2. З підвищенням температури приблизно до 327 К умови для утворення газу поліпшуються. Мікробіологічна активність майже припиняється, якщо температура падає приблизно до 288 К. До перепадів температури, особливо за її раптових знижень, мікроорганізми дуже чутливі і реагують на це зниження метаболічної активності та здатності до відтворення. Крім того, температура впливає на якість газу. Так, під час зростання температури було встановлено зниження частки CH_4 у загальному обсязі виділення газів.

3. Так як метаболічна активність і рівень відтворення метанових бактерій нижче, ніж кислототвірних, під час підвищення кількості утворення органічних речовин може утворитися надлишок летких кислот, який знижує активність метанових бактерій, як тільки значення рН опуститься нижче 6,5. Зазвичай величина рН, завдяки буферним властивостям субстрату під час нерівномірної появи кислот, підтримується на постійному рівні. Ці властивості виявляються шляхом утворення карбонатів у кількостях, що перевищують кількість CO_2 , яке виділилося під час бродіння.

4. В якості оптимальних значень параметрів процесів бродіння можуть бути названі:

- лужність 1500 ... 3000 мг CaCO_3 на 1 л субстрату;
- рН 6,5 ... 7,5;
- вміст летких кислот 600 ... 1300 мг на 1 л субстрату.

Ознаки порушення процесу анаеробного бродіння є такі:

- зниження лужності;
- зменшення величини рН;
- зростання вмісту летких кислот;
- збільшення частки CO_2 у газі, що виділяється;
- зниження виходу газу.

До речовин, які у надвеликій концентрації перешкоджають життєдіяльності мікроорганізмів, відносяться, перш за все, важкі метали та їх солі, лужні метали, лужноземельні метали, амоніак, нітрати, сульфіді, детергенти, органічні розчинники, антибіотики. Детергенти, органічні розчинники та антибіотики навіть у незначних кількостях перешкоджають процесу бродіння.

5. Передумовою безперешкодного розмноження бактерій служить наявність поживного середовища, яке містить такі первні, як карбон та кисень для забезпечення цього процесу енергією,

гідроген, нітроген, сульфур і фосфор – для утворення білка, так і лужні метали, залізо і мікропервні.

При цьому активність мікробної реакції значною мірою визначається співвідношенням карбону та нітрогену. Найбільш сприятливі умови відповідають значенням $\text{C} : \text{N} = 10-16$.

6. Якщо у вихідному субстраті вуглеводів більше ніж білкових речовин, то утворюється мало амонійного азоту. Внаслідок цього виділяється менше CH_4 і більше H_2 і CO_2 , що веде до збільшення виходу кислот, зниження рН і тим самим до подальшого зменшення інтенсивності метанового бродіння. З іншого боку, надлишок білка і амінокислот обумовлює зростання значення рН більше 8, що також призводить до згасання процесу метанотворення.

7. Кількість і склад газу, що утворюється у результаті повного розкладання органічної речовини, залежить від співвідношення $\text{C} : \text{H} : \text{O} : \text{N}$ у вихідному матеріалі і від температури процесу бродіння. З найважливіших сполук, що входять до складу органічної речовини є жири, які обумовлюють найбільший вихід газу з високим вмістом CH_4 , білкові речовини – менший, але теж з високим вмістом CH_4 , і вуглеводи – відносно мало газу з найменшим вмістом CH_4 . Середній склад газу, який можна отримати з екскрементів тварин за оптимальної температури бродіння 307 К відповідає співвідношенню $\text{CH}_4 : \text{CO}_2 = 2$.

8. Передумовою високої інтенсивності реакцій бродіння служить безперешкодний обмін речовин на поверхнях розділу фаз, який повинен підтримуватися безперервним оновленням цих поверхонь завдяки перемішуванню субстрату. Однак, це можна забезпечити тільки у тому випадку, якщо в'язкість субстрату допускає свободу переміщення рідини, зважених твердих частинок, особливо бактерій, і бульбашок газу. Верхня межа концентрації твердих частинок, за якої ще можливе вільне переміщення фаз, для субстрату з дрібнодисперсною суспензією твердих речовин відповідає 10-12%. За великих значень вихід газу значно зменшується. Шляхом інтенсивного перемішування і відповідного підведення енергії небажаний ефект можна істотно обмежити.

9. Серед залишків і відходів найбільш багаті необхідними для метанового бродіння поживними речовинами є органічні відходи. Однак вони дуже різняться між собою як за наявністю окремих компонентів, так і за хімічним складом.

10. Для бродіння рослинних матеріалів з високим вмістом здатних до розкладання сполук карбону необхідне додавання багатих на нітроген речовин, наприклад курячого посліду або свинячого гною, щоб отримати співвідношення $\text{C} : \text{N}$ в межах, необхідних для безперешкодного протікання процесу бродіння.

Активного обміну речовин і високої швидкості біохімічних обмінних процесів бродіння

можна досягти, якщо підтримувати і безперервно оновлювати максимально можливу величину поверхонь між твердою і рідкою фазами.

11. Тому, тверді матеріали, особливо рослинного походження, повинні бути попередньо підготовлені за допомогою ріжучих, що розривають, або розплющувальних пристроїв, щоби в результаті ефективного механічного впливу на шматки стебел і соломи отримати частинки можливо меншого розміру.

Частка зважених у рідині твердих частинок у значній мірі залежить від технічних засобів, що використовуються для одержання ретельного перемішування, гідравлічного транспортування субстрату та відділення газу. Сучасний рівень розвитку техніки дозволяє переробляти в біогазових установках субстрату з вмістом твердих речовин до 12%, якщо довжина частинок окремих волокнистих і стеблевидних твердих компонентів не перевищує 30 мм.

12. Загалом органічні речовини можна подавати бродінню і в твердій фазі, якщо мати достатньо вологе середовище. Тверді речовини, щільність яких істотно вища, ніж рідини, обумовлюють утворення осаду (седиментацію) або плаваючої кірки, яка сприяє флотації. Виникаючі у зв'язку з цим механіко-гідравлічні чинники і погіршення процесу газоутворення можуть привести до того, що для усунення подібних порушень будуть потрібні більш високі витрати технічних засобів і енергії.

13. Якщо віднести вихід газу, можливий за температури процесу близько 305 К, до кількості розкладеної органічної маси, то відповідні значення величин будуть знаходитися в межах 0,8-1,0 м³ на 1 кг розкладеної органічної маси. І, навпаки, вихід газу, віднесений до одиниці органічної маси, що закладається у реактор, буде перебувати в межах 0,4-0,6 м³ на 1 кг внесеної в реактор органічної маси. Таким чином, залежно від частки органічної маси, здатної до бродіння, в реакторі розкладається лише 40-50% всієї органічної маси.

Для виділення певної кількості газу з різних органічних речовин потрібна специфічна для кожного з них тривалість процесу бродіння, причому вихід газу в одиницю часу спочатку різко збільшується, а потім, по досягненні максимуму, поступово зменшується. Зауважимо, що трава, що містить багато білкових речовин, має високу швидкість реакцій бродіння і дає великий вихід газу, в той час як солома і екскременти відгодіваних бичків через значні частки лігніну зброджуються набагато повільніше і виділяють менше газу.

14. Практично можливий у промисловій установці вихід газу залежить від численних чинників, вплив яких, обумовлений конструкцією установки і виробничими умовами, може бути самим різним. До вже названих чинників істотне значення мають:

- завантаження робочого простору (кількість завантаженої органічної маси, що припадає на одиницю часу та одиницю чистого обсягу реактора);

- технологічний час циклу бродіння (час перебування в реакторі закладеної в ньому органічної маси);

- інтенсивність перемішування.

Під час безперервного або квазібезперервного технологічного процесу бродіння найбільша інтенсивність розкладання виходить у тому випадку, коли кількість органічної речовини, яка додається в одиницю часу до тієї, що знаходиться в реакторі субстрату, відповідає вже розкладеній до певного моменту кількості органічної речовини. Додавання значної кількості маси веде до отримання менш розкладеного субстрату і, отже, до меншого виходу газу, а додавання меншої кількості маси – до гіршого використання робочого об'єму реактора. Виходячи з даних, які на сьогодні ми маємо, найбільший вихід газу за умови ретельного перемішування і відносно низької в'язкості субстрату може бути отриманий при значеннях завантаження реактора, бродіння за температури близько до 306 К.

Час відстоювання в реакторі залежно від субстрату складає від 10 до 30 діб. Потреба в часі, необхідному для повного бродіння маси, як правило, дуже велика, що відповідно повинно було б привести до застосування реакторів великих розмірів. Тому, виходячи з економічних міркувань, трохи вкорочують час перебування маси в реакторі, свідомо йдучи на деяке недоотримання газу.

Вибір тривалості перебування маси в реакторі залежить, з одного боку, від швидкості реакції, властивої кожному конкретному виду зброджуваного матеріалу, з іншого боку, від заданого ступеня розкладання, який визначає вихід газу і ослаблення інтенсивності запаху перебродженої маси (шламу). Крім того, слід враховувати, що зі збільшенням часу бродіння збільшується вміст СН₄ в загальному об'ємі газу, що виділяється, одночасно зменшується вміст СО₂, що означає поліпшення якості одержуваного газу.

Інтенсивним перемішуванням вмісту реактора досягається контакт бактерій з субстратом внаслідок постійного оновлення поверхонь розділу окремих фаз, а також ускладнюється накопиченням проміжних і кінцевих продуктів процесу розкладання. Будучи основною передумовою високої швидкості реакції, перемішування сприяє також рівномірному розподілу поживних речовин в об'ємі реактора. У той же час воно перешкоджає утворенню осаду та плаваючої кірки і забезпечує переміщення маси в реакторі.

До основних компонентів біогазу відносяться СН₄ і СО₂, співвідношення яких залежить від вихідного субстрату і характеристик процесу бродіння (температури, часу перебування маси в реакторі, завантаження робочого простору тощо). Поряд з цими найважливішими компонентами

біогаз містить незначні кількості H_2 і H_2S , а також N_2 .

15. Фізичні властивості біогазу дозволяють судити про можливість його практичного використання та необхідних для цього прийомах. Об'ємна теплота згорання (Q_B) визначається за вмістом CH_4 , оскільки незначні кількості H_2 і H_2S на цей показник практично не впливають. Відповідно температура займання і межа займистості теж залежать від вмісту CH_4 . Під час з'ясування можливості скраплення газової суміші необхідно враховувати критичні значення тиску і температури окремих її компонентів. Ці значення показують, що зріджування біогазу практично недоцільно. Під час використання біогазу слід враховувати різницю у щільності окремих його компонентів. У прохідних неventedьованих приміщеннях це може призвести до небезпечного для життя людей накопичення CO_2 і H_2S у нижніх шарах повітря. Крім того, скупчення CH_4 пов'язано з небезпекою вибуху.

Під час процесу бродіння амоніак виділяється з органічних азотистих сполук і, разом із сполуками фосфору і калію, які наявні у субстраті і у продуктах розкладання, перетворює переброджену масу в багате поживними речовинами органіч-

не добриво. Крім того, залежно від ступеня бродіння зменшується вміст карбону в порівнянні з його вмістом у вихідному субстраті. Обумовлене цим зменшення співвідношення $C : N$ виявляється сприятливим під час використання шламу в якості добрива.

Висновки

Даний проект зробить економічно доцільними малі сміттєпереробні заводи для обслуговування невеликої кількості населення, невеличкі заводи можна буде побудувати у будь-якому місті. Це призведе до зменшення кількості несанкціонованих звалищ по країні, а також буде запобігати появі нових. Таким чином, можна звільнити велику кількість посівних площ, що зараз відходять на полігони та на яких зараз нагромаджуються несанкціоновані звалища. Цей проект покращить стан екосистеми, адже усуне викиди шкідливих речовин з полігонів в атмосферу, ґрунт та стічні води. Подібна переробка відходів буде сприяти збереженню природних ресурсів, виготовленню сировини, яка може надалі йти на виробничі потреби.

Література

1. В. Баадер, Е. Доне, М. Бренндерфер, Биогаз: теория и практика (Колос, Москва, 1982).
2. И.И. Буркова, Основы общей экологии и охрана окружающей среды (Норильск, 1977).
3. Н.Ф. Абрамов, А.Ф. Проскураков, Сбор и утилизация биогаза на полигонах твердых бытовых отходов (ЦБНТИ Минжилкомхоза РСФСР, Москва, 1989).
4. Провести научно-исследовательские работы, разработать технологии и технические параметры оборудования для сбора биогаза с полигонов твердых бытовых отходов: Отчет о НИР / АКХ им. К.Д. Памфилова; № 02880/019106 (Москва, 1988).
5. С.В. Белов, Ф.А. Барбинов, А.Ф. Козьяков [и др.], Охрана окружающей среды (Высшая школа, Москва, 1991).
6. Ю.В. Новиков, Экология, окружающая среда и человек: учебное пособие для ВУЗов, а также учащихся средних школ и колледжей (ФАИР-ПРЕСС, Москва, 1999).
7. В.В. Разнощик, Н.Ф. Абрамов, К вопросу защиты окружающей среды при удалении твердых бытовых отходов на полигонах (АКХ, 1982).

Колеснік Сергій Олександрович – магістр біотехнологій екологічного факультету Інституту екології, економіки та права.