

УДК 504;662.767.2.

В.О. Зінченко

к.с.-г.н.

Державний агроекологічний університет

В.П. Кусайло

к.т.н.

Інститут проектування та сучасних технологій

Л.В. Лось

д.т.н.

Державний агроекологічний університет

МЕТОДИ ОТРИМАННЯ БІОГАЗУ

У статті висвітлено сучасний стан перетворення біомаси в енергію. Показана технологічна схема біологічної установки. Приведено практичні результати дослідження таких агрегатів.

Постановка проблеми

Метанове “бродиння”, або біометаногенез – давно відомий процес перетворення біомаси в енергію. Він був відкритий у 1776 р. Вольтой, який установив наявність метану в болотяному газі. Біогаз, що виходить у ході цього процесу, є сумішшю з 65 % метану, 30 % вуглекислого газу, 1 % сірководню (H₂S) і незначних кількостей азоту, кисню, водню і окислу вуглецю [1].

Цей газ дає полум'я синього кольору і не має запаху. Енергія, укладена в 28 м³ біогазу, еквівалентна енергії 16,8 м³ природного газу, 20,8 л нафти або 18,4 л дизельного палива; для отримання 1 кВт*г електроенергії необхідні 0,7–0,8 м³ біогазу, або з 1 м³ біогазу можна отримати:

- електроенергії – 1,7 кВт/г (при КПД 30 %);
- теплоти – 2,5 кВт/г (при КПД 70 %);
- 1,7 кВт/г електроенергії і 2 кВт/г теплоти (при когенерації) [3]

Аналіз останніх досліджень

Метанове “бродиння” відбувається у водонепроникних циліндрових цистернах (дайджестерах або метантенках) з бічним отвором, через який вводиться матеріал, що ферментується.

Найширше біогаз використовують в Китаї і Індії, де функціонують декілька десятків мільйонів невеликих, малоефективних дайджестерів. За оцінками фахівців у КНР в рік (початок 1980-х років) вироблялося більше, ніж 2,5 млрд. м³ біогазу (тобто 1,5 млн. т у нафтовім еквіваленті) [4].

Найдосконаліші установки розроблені і будуються в Ізраїлі. Там виробництвом біогазу з 1974 р. займається “Асоціація кіббуці індастріз” (КІА), де проведені фундаментальні дослідження анаеробного бродиння. В ізраїльських установках бродиння йде при температурі 55°C і вихід біогазу доведений до 6,5 м³ за добу з кожного кубометра об'єму цистерни дайджестера (що в 10 разів перевищує звичайний вихід). Відходи переробки, що містять тільки 12 % твердої речовини, йдуть на корм риbam.

В Ізраїлі побудовано декілька досить великомасштабних підприємств, які виробляють біогаз. Причому вважається, що витрати на його

будівництво окупляється за 8 років, якщо продукція використовуватиметься як заміник дизельного палива, за три роки – при використуванні в житлових будинках і за ще коротший період – з урахуванням комерційної вартості відходів переробки [6].

Наразі значний інтерес до метанового “бродіння” виявляється в Західній Європі, особливо з урахуванням підвищення вартості палива і вартості утилізації сільськогосподарських відходів.

У той же час необхідно відзначити, що дайджестери найбільш ефективно використовуються в країнах з теплим кліматом, що приводить до практично повної відсутності необхідності обігріву агрегатів [3].

В різних країнах у невеликих кількостях створюються газогенераторні установки, що виробляють чадний газ при неповному згорянні високозольних твердих палив. Ці установки дозволяють переробляти як частково-побутові відходи, так і целюлозні відходи сільського або лісового господарства – торф, буре вугілля тощо. В результаті їх функціонування можна одержувати газ, дьоготь, сировину для будівництва, добрива і тепло.

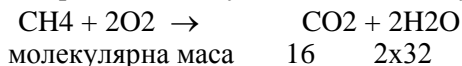
Завдання досліджень

В кліматичних умовах України, з її великою енергетичною залежністю від імпорتنих джерел доцільно будувати комплексні агрегати, які поєднують дайджестери з газогенераторами. Це дозволить одержувати як достатню кількість горючого газу і комерційних продуктів з відходів переробки, так і використовувати надмірне тепло газогенераторів для технологічного обігріву робочої зони дайджестерів.

Отримання біогазу має велике значення у вирішенні екологічних проблем регіонів. Велика концентрація населення в деяких місцях приводить до того, що розкладання продуктів життєдіяльності людей спричиняє значне (а іноді й непоправне) забруднення навколишнього природного середовища. Це особливо актуально для України з її великою концентрацією населення (80 чол./км²).

Результати досліджень

В закритих анаеробних системах органічні сполуки у відсутності кисню розкладаються і перетворюються один в одного без окислювальних реакцій. Загальне значення ХСК (хімічне споживання кисню) залишається в системі постійно. Проте значення ХСК у стічній воді, що містить органічні сполуки, які завдяки метановому бродінню перетворюються на біогаз, знижується за рахунок видалення з води ХСК-метану, що утворюється в процесі очищення. Цей процес може бути описаний наступною формулою:



Таким чином 1 мольний об'єм метану (= 22,4 л) відповідає 64 г кисню (потребі):

$$0,350 \text{ Nm}^3 \text{ метану} = 1 \text{ кг ХСК}$$

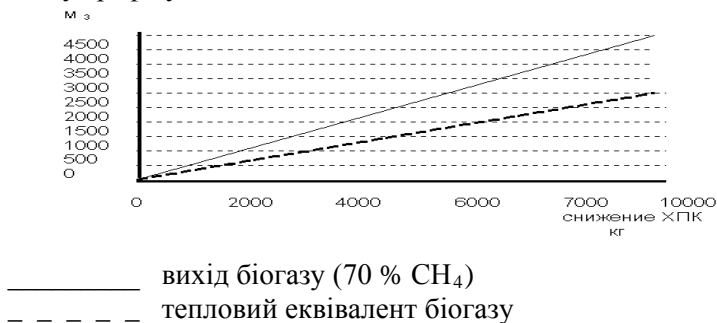
Органічні речовини в процесі очищення на анаеробних очисних спорудах перетворюються на біогаз неповністю. Менша частина – від 5 до

15 % від загальної кількості забруднень утворює біомасу (надмірний активний мул). Деяка частина біогазу (від 0 до 5 %) втрачається або залишається розчиненою у воді, що витікає з реактора (від 30 до 50 мл/л). Тому для очисних споруд правильніше розраховувати вихід біогазу зі співвідношення нетто від 0,30 до 0,33 Nm³ метану на кг зниження значення ХСК.

Оскільки біогаз часто містить приблизно 60–70 % метану і близько 30 % оксиду вуглецю, вихід біогазу можна розраховувати за наступною формулою:

$$0,5 \text{ Nm}^3 \text{ Метану} = 1 \text{ кг ХСК}$$

Залежність виходу біогазу від величини ХСК стічних вод відображена на приведеному графіку



Таблиця 1. Вплив виду первинної сировини на вихід біогазу

Початкова сировина	Вихід біогазу з 1кг сухої речовини	Вміст метану в газі, %
Трава	630	70
Деревне листя	220	59
Соснова голка	370	69
Бадилля картопляне	420	60
Стебла кукурудзи	420	53
Полова	615	62
Солома пшенична	340	58
Солома льняна	360	59
Лушпиння соняшнику	300	60
Гній КРС	200..300	60
Кінський гній з соломою	250	56.60
Домашні відходи і сміття	600	50
Фекальні осідання	250..310	60
Твердий осад стічних вод	570	70

Стічні води населених пунктів мають різний ступінь забрудненості. Забрудненість стічної води органічними сполуками, виражена у величині ХСК, є залишками продуктів життєдіяльності, тому такі забруднення добре розкладаються біологічним шляхом. Для очищення такої стічної води, як і для будь-яких інших стічних вод, необхідно вибрати оптимальну обробку. При використанні біологічних методів перш за все треба розглянути, – які переваги і недоліки, у тому числі і з точки зору економічної ефективності, мають анаеробний і аеробний методи очищення стічних вод. Нижче ми приводимо короткий перелік особливостей обох методів.

Порівняння анаеробних і аеробних методів

Аеробний метод очищення

Анаеробний метод очищення

Сфера і умови застосування

- | | |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none">• тільки після попереднього освітлення (відстоювання)• може застосовуватися при невисоких концентраціях забруднення стічних вод• відносно холодна вода• надходження токсичних речовин на очисні споруди умовно дозволено• потрібна попередня нейтралізація для лужних стічних вод | <ul style="list-style-type: none">• можна застосовувати без попереднього освітлення (відстоювання)• може застосовуватися тільки при високих концентраціях забруднення стічних вод (>2000 мг/л)• відносно тепла вода (>25°C)• надходження токсичних речовин на очисні споруди заборонено• лужні стічні води обробляються без попередньої нейтралізації |
|---|---|

Особливості експлуатації очисних споруд

- | | |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none">• безперервна подача стічних вод на очисні споруди• при жорстких вимогах до якості стічних вод використовуючи декілька ступенів очищення можна отримати необхідні значення ПДС• можливе інтегроване зниження вмісту в стічній воді N і P• утворюється велика кількість надмірного активного мулу• при застосуванні носіїв біомаси велика небезпека їх засмічення• невелика об'ємна продуктивність очисних споруд, потреба у великих | <ul style="list-style-type: none">• можуть існувати значний час без надходження “свіжих стічних вод” при жорстких вимогах до якості стічних вод потрібна аеробна доочистка• не спостерігається значне зниження вмісту у воді N і P• утворюється дуже мало надмірного активного мулу• немає небезпеки засмічення носіїв біомаси• висока об'ємна продуктивність очисних споруд, потреба в малих виробничих площах |
|--|---|

виробничих площах

- висока трудомісткість обслуговування систем аерації, обезводнюючого устаткування тощо.

- часто сильний неприємний запах

- майже не вимагають технічного обслуговування

- відсутність запаху, оскільки закрита місткість

Відходи

- проблема утилізації відходів

- отримання енергетично цінного біогазу

- напівтверда фракція може бути використана в якості органічного добрива

Грошові витрати

- менші інвестиційні витрати
- високі експлуатаційні витрати
- аерація води, велика потреба в електроенергії
- поживні речовини
- обезводнення, транспортування і розміщення активного мулу
- те ж саме при невеликих об'ємах стічних вод

- часто значні інвестиційні витрати

- високі експлуатаційні витрати

- невелика потреба в електроенергії

- не вимагається поживних речовин

- дуже мало надмірного активного мулу

- рентабельно при відносно великих розмірах

Розкладання органічних відходів відбувається за рахунок діяльності певних типів бактерій, на які істотно впливає навколишнє середовище. Досліди показують, що для нормального процесу метанового зброджування гною, органічних і рослинних відходів життєдіяльності необхідно забезпечити наступні умови: захистити бродильні камери від проникнення повітря і світла; забезпечити слаболужну реакцію середовища (рН в межах 7–7,8); вміст летючих жирних кислот має бути не більше 2 000 мг/л.

Оптимальними температурами для розмноження метанових бактерій є 30–34° (мезофільне бродіння) і 50–55° (термофільне бродіння). При термофільному бродінні біохімічні процеси протікають більш інтенсивно, проте при цьому витрачається більше тепла. От чому більш економічним вважається мезофільне бродіння.

Розрахунок процесу метанового зброджування проводили в такій послідовності: обчислювали об'єм приймального басейну за формулою:

$$V_n = a_d * t_n * k_b / p_n$$

де a_d – добовий вихід гною (вогкість 92–95 %) кг;

ρ_n – густина гною, кг/м³ ($\rho_n = 1020$ кг/м³);

t_n – час накопичення гною, доб;

k_b – коефіцієнт, що враховує зміну густини гною в залежності від початкової вологості ($k_b = 1,5$).

Об'єм метантенка (дайджестера):

$$V_m = q * k_b * t_n / \rho_n$$

де q – добова доза завантаження метантенка %.

Тривалість збродження:

$$t_z = 100/q', \text{ доб.}$$

де q' – вихід біогазу, що відповідає 1т переробленого гною, м³.

Добовий вихід біогазу:

$$G_b = Q * q', \text{ м}^3$$

де Q – кількість сировини, завантаженої в метантенк за добу (т),
примаємо $Q = 0,4 * V_m$

Об'єм газгольдера:

$$V_g = G_b * t_{нб}$$

де $t_{нб}$ – час накопичення біогазу за добу, р.

Загальна теплова енергія одержуваного біогазу:

$$Q_{зг} = G_b * C_b, \text{ МДж}$$

де $C_b = 24$ МДж/м³ – теплотворна здатність біогазу.

Технологічна схема біогазової установки

Наразі економічними визнані установки безперервної дії, що забезпечують рівномірний вихід біогазу і добрива.

Установка складається з приймального басейну (див. рис. 1), бродильної камери (метантенка), газгольдера, системи труб з арматурою.

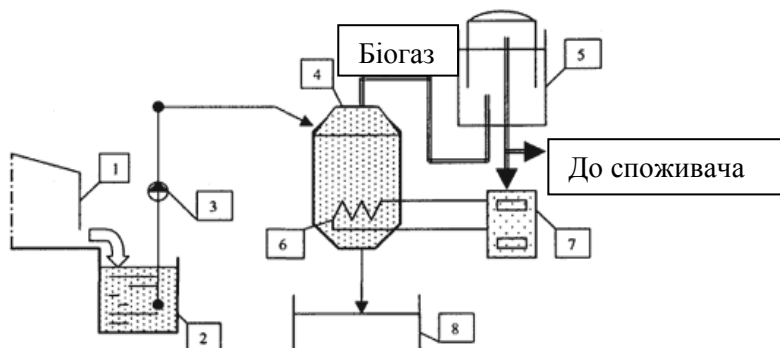


Рис. 1. Узагальнена схема біогазової установки:

- 1 – вихід каналізаційних стоків; 2 – приймальний басейн; 3 – насос;
4 – метантенк; 5 – газгольдер; 6 – теплообмінник;
7 – теплогенератор; 8 – сховище добрива

Метанове зброджування гною або комунальних стоків забезпечує їх дезодорування, дегельмінтизацію, знищення здатності насіння бур'янів до проростання, перехід речовин удобрювачів в легкозасвоювану рослинами мінеральну форму. При цьому поживні для рослин речовини – азот, фосфор і калій – практично не втрачаються.

Таблиця 2: Хімічний склад гною залежно від тривалості зброджування (% на сиру речовину)

Тривалість зброджування, діб	Азот загальний, N	Азот амонійний N – NH ₄	P ₂ O ₅	KO ₂	C:N
0 (контроль)	0,32	0,13	0,11	0,24	12,2
5	0,31	0,13	0,11	0,24	11,9
10	0,31	0,16	0,11	0,24	10,5
15	0,31	0,16	0,11	0,24	9,6

З даних табл. 2 про хімічний склад зброженого гною, отриманих на біогазовій установці ВІЕСХ (Росія), витікає, що при анаеробній обробці гною фосфор і калій практично повністю зберігаються в зброженій масі. Втрати мінеральних форм азоту, які при інших методах обробки гною складають до 30 %, в процесі метаногенезу не перевищують 5 %. При цьому значна частина азоту, присутнього у свіжому гної у формі органічних сполук, у зброженому міститься в аміачній формі, яка швидко засвоюється рослинами [6].

Наразі в багатьох країнах експлуатуються біоенергетичні установки (БЕУ). Вони дозволяють значно економити інші види палива, а в деяких випадках – одержувати повну енергетичну автономію тваринницького комплексу. В Західній Європі не менше половини усіх птахоферм опалюються біогазом, а в Китаї до 60 % автобусного парку як паливо використовують біогаз [4]. В літературі і в Інтернеті з'явилися повідомлення про будівництво і запровадження в дію електростанцій, паливом яких слугує біогаз. Наприклад, в м. Кишинів (Молдова) у 2005 році здали в експлуатацію таку електростанцію потужністю 19,04 МВт [8,9].

При створенні і масовому використанні таких агрегатів можна забезпечити:

1. Зменшення необхідної подачі газу з системи централізованого газопостачання. При цьому відбудеться істотне зниження вартості підведення газопроводу до населеного пункту.
2. Збільшення об'єму вільного для експорту природного газу.
3. Розв'язання проблем, пов'язаних з неконтрольованим забрудненням навколишнього середовища, відходами тваринництва і життєдіяльності

людей. Зменшення вогнебезпечності в місцях безконтрольного скупчення відходів пального.

4. Зниження об'єму закупівель мінеральних добрив, створення можливості комерційної реалізації одержуваних відходів.
5. Створення додаткових робочих місць, пов'язаних з обслуговуванням нових підприємств.
6. Поліпшення якості життя в малих населених пунктах.

Використання біогазу в якості палива для двигунів внутрішнього згоряння допоможе значно поліпшити екологічну ситуацію в країні.

Висновки

Не дивлячись на очевидні соціальні й економічні вигоди впровадження даного проекту, він вимагає значних капіталовкладень, які не відрізняються швидкою комерційною окупністю.

У той же час, враховуючи зарубіжний досвід, необхідно добитися ухвалення державної програми, у виконанні якої зацікавлені як підприємства, пов'язані з видобуванням і реалізацією паливно-енергетичних ресурсів, так і відомства, що займаються проблемами екології і соціальними питаннями.

Перспективи подальших досліджень мають бути направлені на більш глибоке вивчення практичних прикладних рішень, що дають високий економічний результат; розробку конструкцій промислових установок для отримання біогазу і впровадження їх в народне господарство.

Література

1. Баадер В., Доне Е., Брендерфер М. Биогаз-Теория и практика– М.: Колос, 1982.
2. Экологическая биотехнология / Под ред. К.Ф. Фостера.– Л.: Химия, 1990.– 383 с.
3. Гелетуца Г.Г., Кобзарь С.Г. Перспективы развития технологий получения биогаза в Украине // Нефть и газ. – 2001. – 1/3 – С. 88–91
4. Сунь Цзаньши. Сельские биогазогумусные установки в КНР- // Техника в сельском. хоз-ве 1990. – №3. – С. 17–23
5. Бодиловский А.В. Пути использования альтернативных источников энергии в животноводстве и кормопроизводстве // Механизация. и электрификация.сел. хоз-ва. – 1986. – №1. –С. 39–41
6. Шрамков В.М., Савин В.Д. Переработка органических отходов в удобрение и биогаз // Техника и оборудование для села.– 1999. – N 1–2.– С. 18–19.

7. *Паничева Е.С.* Биогазовые технологии– радикальное решение проблем экологии, энергетики агрохимии// Теплотехника. – 1994. – №4. – С.36–42.
 8. *Н. Васильева.* Сточные воды приносят большие деньги //Бизнес&Балтия. – 2002. – 12 марта
 9. www.oil.ru.com
 10. www.teplotechnica.kiev.ua
-