

основним сортоутворюючим пороком букової деревини є неправильне ядро, ядро гнилизна, сучки, тріщини й кривизна.

Відзначене, що букова деревина відноситься до групи товстих круглих лісоматеріалів із середнім діаметром 65 см. Дані по розподілі пороків у деревині дозволяють більш обґрунтовано вирішувати питання раціональної й комплексної переробки букової деревини з метою одержання максимального корисного виходу.

Букові пиломатеріали, неправильне ядро, ядро гнилизна, тріщини, кривизна.

УДК 662.763.3.2

БІОТЕХНОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ВИРОБНИЦТВА БІОГАЗУ

**В.М. Поліщук, М.М. Лободко, кандидати технічних наук
О.В. Дубровіна, здобувач**

Наведені умови біоконверсії біомаси в біогаз метаноутворюючими бактеріями. Представлена їх класифікація за температурним режимом. Описані основні етапи перетворення біомаси в біогаз та фази при періодичному зброджуванні в метантенку. На прикладі залежності виходу біогазу в часі розписана тривалість протікання фаз метанового зброджування гною ВРХ.

Біогаз, субстрат, біошлам, метантенк, газгольдер, температурний режим, лаз-фаза, експотенціальна фаза, фаза уповільнення росту, фаза відмирання.

Постановка проблеми. З моменту виникнення цивілізованого суспільства перед ним весь час стояла проблема охорони навколишнього середовища. Через промислову, сільськогосподарську та побутову діяльність людини постійно відбувалися зміни фізичних, хімічних і біологічних властивостей навколишнього середовища, причому багато з них дуже несприятливі. Продукти життєдіяльності тварин і людини, як правило, завжди використовувалися для підвищення родючості ґрунту. Це не становить проблему, якщо їх утворюється небагато. У разі створення великих тваринницьких комплексів площа навколишніх земель може виявитися недостатньою для утилізації

© В.М. Поліщук, М.М. Лободко, О.В. Дубровіна, 2013

продуктів життєдіяльності тварин. В результаті можуть бути забруднені підземні води, навколишні водойми та криниці. Продукти життєдіяльності деяких тварин не завжди можна вносити в ґрунт безпосередньо, адже ці тварини часто є переносниками збудників хвороб і паразитів, якими може хворіти також і людина. До таких тварин відносяться, в першу чергу, свині. Останнім часом з'явилася інформація про випадки зараження пташиним грипом. Тому відходи свиней і птиці треба попередньо знезаражувати. Це ж стосується і стічних вод великих міст, які включають продукти життєдіяльності людини, жири і цукри, які потрапляють туди з підприємств громадського харчування та домашніх кухонь. Стічні води промислових підприємств також необхідно очищати перед їх вторинним використанням або спуском у річки та водойми. Органічні відходи, що складаються переважно з води, білків, жирів і вуглеводів, здатні розкладатися на первинні складові під дію мікроорганізмів. Причому процес їх розкладання може проходити як у присутності кисню, так і в безкисневій атмосфері. Якщо в середовищі, що піддається розкладанню, присутній кисень, то органіка розкладається під дією аеробних мікроорганізмів (бактерій і мікроміцетів). У цьому випадку мова йде про компостування органічних відходів. У разі, якщо процес розкладання біомаси проходить без доступу повітря, він називається анаеробним. У цьому процесі беруть участь анаеробні бактерії, а в результаті їх дії на органічні речовини утворюється високоякісне органічне добриво і суміш газів (головним чином, метану і вуглекислого газу, а також незначної кількості сірководню, аміаку, оксидів азоту тощо), яка називається біогазом. Його можна використовувати для виробництва електроенергії, в побутових цілях (для приготування їжі), для обігріву житлових і виробничих будівель, очищений від домішок біогаз (чистий метан) у балонах придатний як паливо для автомобілів і тракторів [1].

Аналіз останніх досліджень. Особливості застосування метаноутворюючих бактерій в процесах анаеробного зброджування відходів описані в роботах [2, 3, 4], де наведені етапи метанового зброджування та охарактеризована послідовність біоконверсії відходів симбіозом метаноутворюючих організмів. В роботі [4] представлені біохімічні аспекти метаногенезу. Разом із тим, процеси, що відбуваються в метантенках при періодичному і безперервному зброджуванні відходів описані недостатньо. В саме розуміння цих процесів необхідне для ефективної переробки відходів і рентабельного виробництва біогазу.

Тому **метою наших досліджень** є визначення біотехнологічних основ виробництва біогазу задля ефективної експлуатації біогазових установок.

Результати досліджень. Переробка сировини на метан відбувається в ході складних взаємодій у змішаних популяціях бактерій, що належать до групи археїв, відомих під загальною назвою метаногенів. Всього відомо понад 40 видів метаноутворюючих бактерій. Вони утворюють метан як побічний продукт метаболізму в безкисневих умовах. Широко поширені в заболочених територіях, де виробляють метан у вигляді болотного газу, в кишечниках жуйних ссавців і людини, де відповідають за метеоризм [1].

Процес розкладання біомаси метаногенами можна розділити на 4 етапи, причому продукти переварювання (обміну речовин) кожної групи бактерій виступають живильними речовинами для наступної групи бактерій (рис. 1).

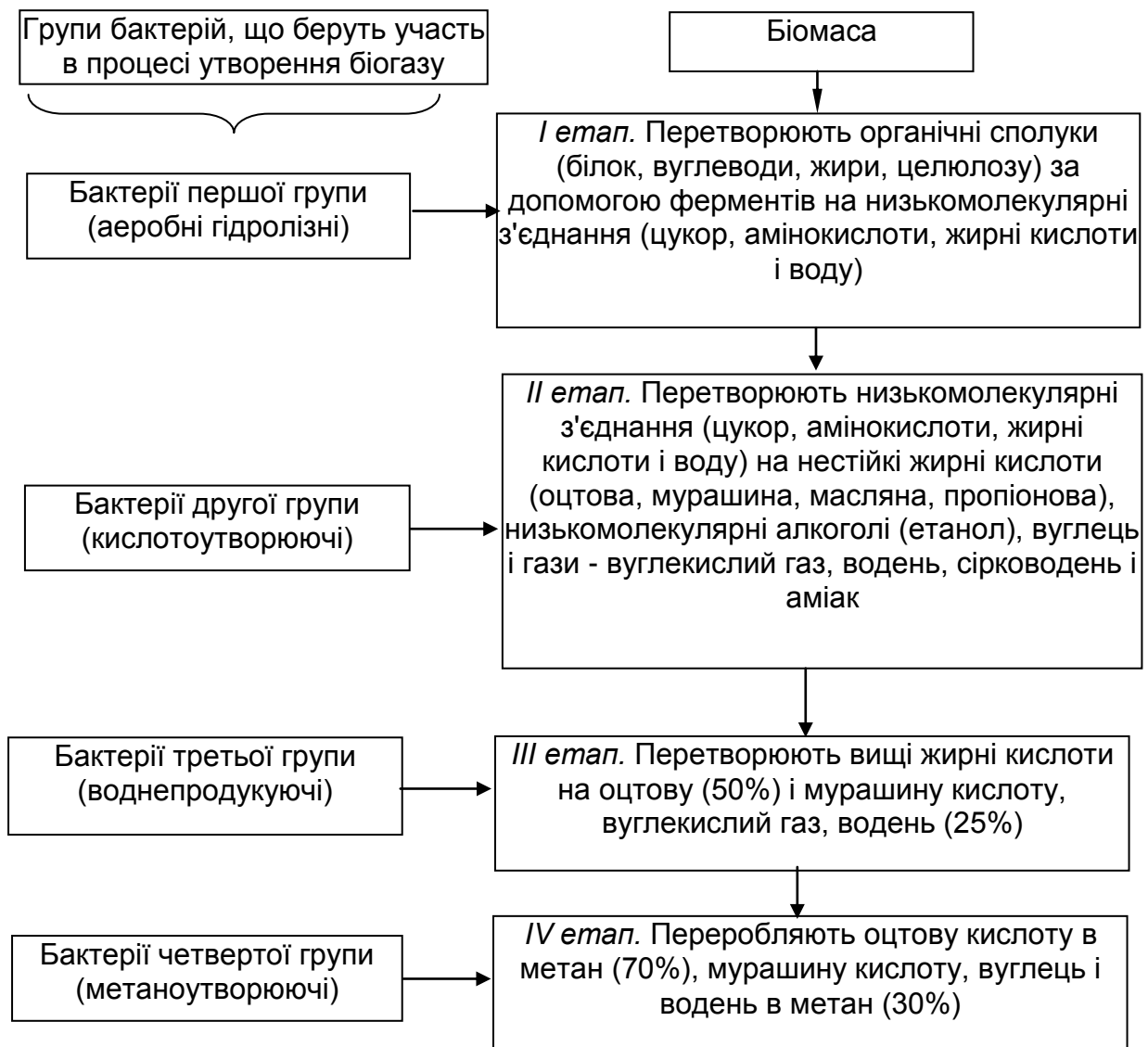


Рис. 1. Процес метанового бродіння.

I етап. Аеробні гідролізні бактерії перебудовують високомолекулярні органічні субстанції (білок, вуглеводи, жири, целюлозу) за допомогою ферментів на низькомолекулярні з'єднання, такі як цукор, амінокислоти, жирні кислоти і воду. Ферменти, виділені гідролізними бактеріями, прикріплюються до зовнішньої стінки бактерій (так звані екзоферменти) і при цьому розщеплюють органічні складові субстрату на малі водорозчинні молекули. Полімери (багатомолекулярні утворення) перетворюються на одномери (окремі молекули). Цей процес, що отримав назву гідроліз, проходить повільно і залежить від позаклітинних ферментів, таких як амілази, протеази, ліпази тощо. На процес впливає рівень рН (оптимальний – 4,5-6) і час перебування в резервуарі. Крім того, аеробні гідролізні бактерії споживають кисень, який потрапив в метантенк при завантаженні субстрату, або той, що міститься в самому субстраті, створюючи необхідні умови для діяльності анаеробних бактерій.

II етап. Далі розщепленням займаються кислотоутворюючі бактерії. Окремі молекули проникають в клітини бактерій, де вони продовжують розкладатися. У цьому процесі частково беруть участь аеробні бактерії, що споживають залишки кисню, створюючи при цьому необхідні для метанових бактерій анаеробні умови, а частково анаеробні бактерії. При рівні рН 6-7,5 виробляються в першу чергу нестійкі жирні кислоти (оцтова, мурашина, масляна, пропіонова), низькомолекулярні спирти (етанол, метанол), вуглець і газу – вуглекислий газ, водень, сірководень і аміак. Цей етап називають фазою окислення (рівень рН знижується).

III етап. Після цього воднепродукуючі бактерії з органічних жирних кислот створюють вихідні продукти для утворення метану: оцтову і мурашину кислоту, вуглекислий газ, водень. Такі бактерії, що знижують кількість вуглецю (в складі органічних кислот), є дуже чутливими до температури.

IV етап. На останньому етапі за допомогою метаноутворюючих бактерій з оцтової і мурашиної кислоти, вуглецю і водню утворюється метан, вуглекислий газ і вода. 90% всього метану виробляється на цьому етапі, причому 70% метану утворюється з оцтової кислоти. Таким чином, утворення оцтової кислоти (тобто III етап і в меншій мірі II етап) є фактором, що визначає швидкість утворення метану. Метаноутворюючі бактерії виключно анаеробні [2].

Ефективний перебіг метанової ферментації органічних речовин потребує виконання чотирьох основних умов:

- безкисневої атмосфери;
- відповідної температури маси, що зброджується;

- слаболужної реакції середовища;
- присутності бактерій, що виробляють метан.

Виділення метану із речовини, що піддається ферментації, проходить лише в анаеробних умовах, тобто тоді, коли немає доступу кисню (повітря). Тому ферментація повинна протікати у спеціальних резервуарах, закритих ферментаційних камерах та іншому подібному обладнанні.

Дуже важливим фактором ефективного протікання процесу ферментації є температура маси, що зброджується. Залежно від температурних переваг виділяють три групи метаногенів – термофіли, психрофіли і мезофіли. Температурні зони цих груп бактерій наведені в табл. 1.

Зниження температури середовища може призвести до пригнічення життєдіяльності мікроорганізмів, однак ці зміни зворотні, відновлення ознак відбувається через 2-3 год культивування при оптимальній температурі.

1. Температурні зони життєдіяльності метаногенів [5].

Температурні зони	Психрофіли	Мезофіли	Термофіли
Оптимальна	10-15°C	35-37°	50-60°C
Верхня затримки росту	25-30°C	43-45°C	75°C
Нижня затримки росту	0-5°C	15-20°	45°C

Важливою умовою забезпечення регулярного протікання біохімічних процесів в метантенку є слаболужна реакція бродильного середовища, при цьому задовільним вважають рН на рівні 6-8 (оптимальне значення знаходиться в межах 7-7,5 рН). Надто лужна реакція сприяє ферментації через патогенне гниття, але викликає небажане виділення сірководню. У надто кислому середовищі (при ферментації побутових відходів, виділень свиней) метанове бродіння може зупинитись із блокуванням виділення біогазу. Метанове бродіння в реакторах може відбуватись як періодичним так і безперервним способом.

Процеси, що відбуваються при періодичному метановому зброджуванні гноївки в метантенку, повністю узгоджуються з процесами, що проходять при культивуванні мікроорганізмів в біореакторах, і розділяються на декілька фаз. Розглянемо процес метанового зброджування сировини в метантенку об'ємом 30 л на прикладі переробки гноївки ВРХ при температурі 55°C (рис. 1). На початковому етапі, після додавання нового субстрату, спостерігається лаг-фаза, або фаза звикання мікроорганізмів до нових умов. У метантенк додається від 1/2 до 1/3 його об'єму гноївки, і стільки ж біошлему зливається. Метанові бактерії, які залишилися в "затравочній" порції субстрату в метантенку, певний

час звикають до нового субстрату. На рис. 1 процес звикання триває перші чотири дні. У даному випадку, такий довгий період лаг-фази обумовлений тим, що до нової заправки в якості субстрату в метантенку був курячий послід, розведений водою, а температура зброджування становила 40°C. У разі додавання в метантенк однотипного субстрату за умови незмінності температурного режиму час лаг-фази істотно скорочується. Після звикання бактерій до нових умов вони починають активно рости і розмножуватися, виділяючи при цьому велику кількість біогазу. Процес переходить в експотенціальну (логарифмічну) фазу (на рис. 1 відповідає період з 4 по 8 день зброджування). По мірі вичерпання поживних властивостей субстрату та накопичення в ньому продуктів обміну, швидкість росту знижується і процес переходить у фазу уповільнення росту (період з 8 по 15 день на рис. 1) і далі в стаціонарну фазу, в якій процеси ділення і відмирання бактерій в популяції знаходяться в динамічній рівновазі (період з 15 по 20 день на рис. 1). Коли вичерпання поживних речовин в субстраті і накопичення продуктів метаболізму долають порогові концентрації, починається фаза відмирання і число бактерій в популяції поступово знижується. Відповідно, знижується і обсяг виробленого біогазу. Період фази відмирання відповідає часу з 20 по 35 день на рис. 2.

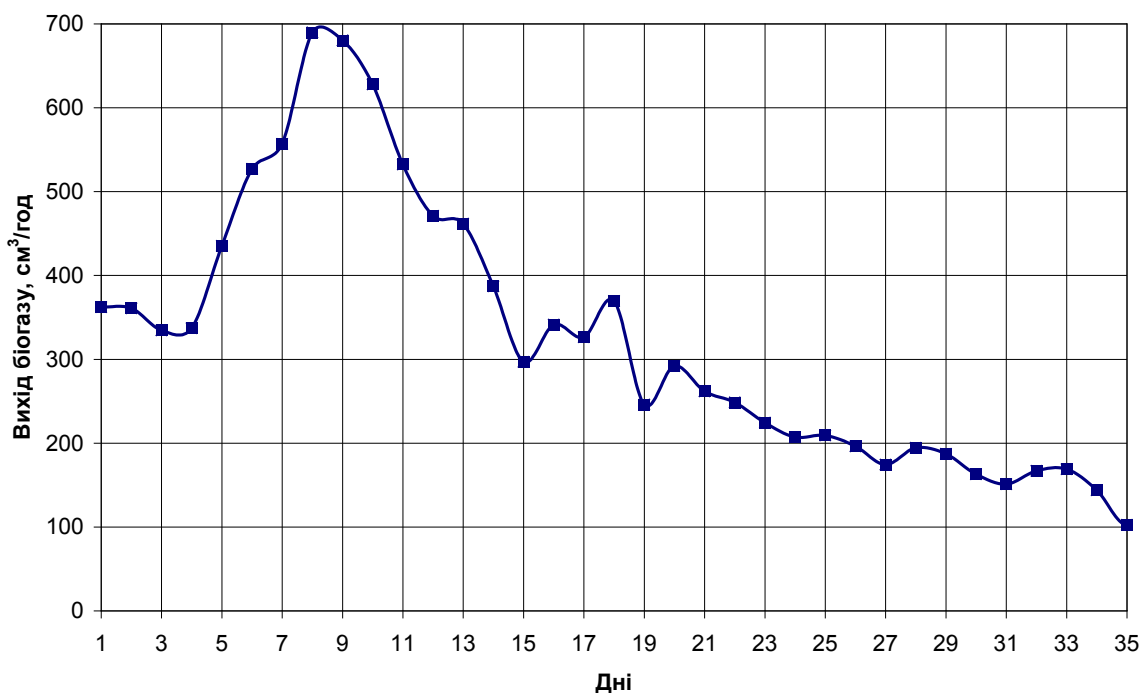


Рис. 2. Процес метанового зброджування гноївки ВРХ вологістю 93% при температурі 55°C.

Недоліки періодичного анаеробного способу зброджування біомаси, коли період ефективного виробництва біогазу становить

тільки близько 7-8 діб під час протікання логарифмічної фази і частини фази затримки росту при наступному поступовому зниженні рівня виходу біогазу, відсутні при безперервному метановому бродінні біомаси, де шляхом дозованої подачі субстрату в метантенк невеликими порціями і дозованого відбирання біошламу досягається постійна робота біореактора при логарифмічній фазі зброджування, що суттєво підвищує ефективність виробництва біогазу.

Висновки

1. Ефективний перебіг анаеробної біоконверсії органічної сировини в біогаз потребує присутності метаноутворюючих бактерій, безкисневої атмосфери, оптимальної температури бродіння і слаболужної реакції середовища.

2. Метаногени являють собою симбіоз чотирьох груп бактерій. Продукти обміну речовин кожної групи бактерій виступають живильними речовинами для наступної групи бактерій.

3. Процес періодичного анаеробного зброджування біомаси розділяється на наступні фази: лаг-фазу, експотенціальну (логарифмічну), затримки росту, уповільнення росту, стаціонарна, відмирання. Найбільш продуктивними з точки зору генерації біогазу є логарифмічна фаза метанового зброджування (3-5 діб) і частина фази уповільнення росту. Загальний період цих фаз при зброджуванні гною ВРХ становить 7-8 діб.

4. При безперервному метановому бродінні біомаси шляхом дозованої подачі субстрату в метантенк невеликими порціями і дозованого відбирання біошламу досягається постійна робота біореактора при логарифмічній фазі зброджування, що суттєво підвищує ефективність виробництва біогазу.

Список літератури

1. Эдер Б. Биогазовые установки. Практическое пособие / Барбара Эдер, Хайнц Шульц. – М.: Колос, 2008. – 240 с.
2. *Альтернативна енергетика*: [навч. посібник для студ. вищ. навч. закл.] / М.Д. Мельничук, В.О. Дубровін, В.Г. Мироненко, І.П. Григорюк, В.М. Поліщук, Г.А. Голуб, В.С. Таргоня, С.В. Драгнєв, І.В. Свистунова, С.М. Кухарець. – К: «Аграр Медіа Груп», 2011. – 612 с.
3. Баадер В. Биогаз: теория и практика / В. Баадер, Е. Доне, М. Бренндерфер. – М.: Колос, 1982. – 148 с.
4. *Використання біомаси на енергетичні потреби в сільському господарстві. Біогазові технології*. – Дослідницьке: УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого, 2008.. – 72 с.
5. *Влияние факторов среды на микроорганизмы* / EUROLAB. Медицинский портал [Електронний ресурс] / 2013. Режим доступу до журн.: <http://www.eurolab.ua/microbiology-virology-immunology/3660/3670/30735/>. Дата доступу: 28/04/2013.

Приведены условия биоконверсии биомассы в биогаз метанобразующими бактериями. Представлена классификация по температурному режиму. Описанные основные этапы преобразования биомассы в биогаз и фазы при периодическом сброжении в метантенке. На примере зависимости выхода биогаза во времени расписана длительность протекания фаз метанового сброживания навоза ВРХ.

Биогаз, субстрат, биошлам, метантенк, газгольдер, температурный режим, лиз-фаза, экспоненциальная (логарифмическая) фаза, фаза замедления роста, фаза отмирания.

These conditions bioconversion of biomass into biogas metanoutvoryuyuchymy bacteria. Presented their classification according to temperature conditions. We describe the main stages of converting biomass to biogas and fermented with periodic phase-no digesters. For example depending on biogas yields at the time painted duration flow phase methane fermentation of cattle manure.

Biogas substrate bioshlam, digesters, gasholder, temperature re-bench, ba-phase exponential (logarithmic) phase, the phase of slow growth phase of extinction.

УДК 620:95

КІНЕТИКА АНАЕРОБНОЇ ФЕРМЕНТАЦІЇ РОСЛИННОЇ БІОМАСИ

**Г.А. Голуб, доктор технічних наук, професор
О.В. Дубровіна, здобувач**

Приведено методу отримання кінетичних рівнянь анаеробної ферментації рослинної біомаси.

Кінетичні рівняння, рослинна біомаса, анаеробна ферментація, рівень розкладу, швидкість процесу.

Постановка проблеми. Аналітичний опис анаеробної ферментації рослинної біомаси є одним із напрямків, що дозволяє узагальнити дослідження біогазових установок, а тому отримання швидкісних параметрів процесу метанового бродіння в біогазових установок потребує постійного узагальнення.

© Г.А. Голуб, О.В. Дубровіна, 2013