

## ОСНОВИ БІОГАЗОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ПАРАМЕТРИ ОПТИМІЗАЦІЇ ПРОЦЕСА ЗБРОДЖУВАННЯ

Скляр О.Г., к.т.н.,

Скляр Р.В., к.т.н.

*Таврійський державний агротехнологічний університет*

Тел. (0619) 42-05-70

***Анотація*** - роботу присвячено розгляданню основ біогазових технологій та параметрів оптимізації процесу збродження.

***Ключові слова*** – біогаз, метан, температурний режим, анаеробний процес, гній, реактор, газгольдер.

*Постановка проблеми.* Разом із збільшенням виробництва товарів широкого вжитку росте й кількість різноманітних відходів (у тому числі й органічних відходів сільськогосподарського виробництва), які не використовуються для виготовлення вторинних продуктів - органічних добрив та біогазу. Аналізуючи сучасне положення справ із застосуванням органічних добрив, слід зазначити, що за останні 10-12 років загальна їхня кількість скоротилася в 3-4 рази. За середньостатистичними даними, у цей час добрив вноситься не більше 3,3 т/га. Подібна ситуація склалася й з використанням мінеральних добрив. Дефіцит органічних добрив тільки для основних споживачів, насамперед сільськогосподарських підприємств різних форм власності, становить понад 65%. Разом з тим ринок споживачів значно поповнився фермерськими господарствами, здебільшого виробниками зернових культур, садівничими суспільствами, які не мають і не виробляють власних органічних добрив.

Крім досить відчутного недоліку органічних добрив при їхньому застосуванні виникають проблеми іншого порядку. По-перше, гній, як правило, використовується без відповідної підготовки шляхом прямого внесення на поля або, у найкращому разі, накопичується і якийсь час витримується в буртах, що супроводжується значною втратою органічної речовини й азоту. Втрати азоту досягають 40-50%. По-друге, використання свіжого гною пов'язане з певними агротехнічними труднощами, що приводить не тільки до забруднення посівних площ насінням бур'янів, але й несе небезпеку забруднення навколишнього середовища.

*Аналіз останніх досліджень.* В наші дні, в нашій країні, домашня біогазова установка своїми руками це рідкість. Це обумовлено браком потрібної інформації. У мережі Інтернет на англомовних і інших сайтах є багато інформації про це, але у цих країн інший клімат, і їх домашні біогазові установки призначені для їх клімату, і не підходять для нашого.

*Формулювання цілей статті.* В Україні розроблено ряд серійних біогазових установок, наприклад «Кобос» та БЭУ-50, але їх призначено для переробки великої кількості гною. Тому нами поставлено за мету розробити найпростішу схему біогазової установки. Але для цього необхідно проаналізувати існуючі біогазові технології та розглянути параметри оптимізації процесу зброджування.

*Основна частина.* Біогазова установка, як правило є герметично закритою ємкістю, в якій при певній температурі відбувається зброджування органічної маси відходів, стічних вод і тому подібне з утворенням біогазів.

Принцип роботи всіх біогазових однаковий: після збору і підготовки сировини, що полягає в доведенні його до потрібної вологості в спеціальній ємкості, воно подається в реактор, де створюються умови для оптимізації процесу переробки сировини.

Сам процес отримання біогазу і біодобрива з сировини називають ферментацією, або зброджуванням. Зброджування сировини проводиться за рахунок життєдіяльності особливих бактерій. Під час зброджування на поверхні сировини утворюється кірка, яку потрібно руйнувати, перемішуючи сировину. Перемішування здійснюється вручну або за допомогою спеціальних пристроїв усередині реактора і сприяє вивільненню біогазу з сировини.

Отриманий біогаз після очищення збирається і зберігається до часу використання в газгольдері. Від газгольдера до місця використання в побутових або інших приладах біогаз проводять по газових трубах. Перероблена в реакторі біогазової установки сировина, яка перетворилася на біодобрива, вивантажуються через вивантажний отвір і вноситься у ґрунт або використовується як кормова добавка для тварин.

Отримання біогазу і біодобрив з органічних відходів засноване на властивості відходів виділяти біогаз при розкладанні в анаеробних, тобто безкисневих умовах. Цей процес називається метановим зброджуванням.

Кислотоутворюючі і метаноутворюючі бактерії зустрічаються в природі повсюдно, зокрема в екскрементах тварин. Наприклад, в травній системі великої рогатої худоби міститься повний набір мікроорганізмів, необхідних для зброджування гною, а сам процес метанового бродіння починається ще в кишечнику. Тому гній ВРХ часто застосовують як сировину, що завантажується в новий реактор, де для початку процесу зброджування досить забезпечити наступні умови:

- підтримку анаеробних умов в реакторі;
- дотримання температурного режиму;
- доступність живильних речовин для бактерій;
- вибір правильного часу зброджування і своєчасне завантаження і вивантаження сировини;
- дотримання кислотно-лужного балансу;
- дотримання співвідношення змісту вуглецю і азоту;
- вибір правильної вологості сировини;

- регулярне перемішування;
- відсутність інгібіторів процесу.

На кожен з різних типів бактерій ці параметри впливають по різному. Існує також тісний взаємозв'язок між параметрами (наприклад, вибір часу зброджування залежить від температурного режиму), тому складно визначити точний вплив кожного показника на кількість біогазу, який утворюється.

#### **ПІДТРИМКА АНАЕРОБНИХ УМОВ В РЕАКТОРІ**

Життєдіяльність метаноутворюючих бактерій можлива тільки за відсутності кисню в реакторі біогазової установки, тому потрібно стежити за герметичністю реактора і відсутністю доступу в реактор кисню.

#### **ДОТРИМАННЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМУ**

Підтримка оптимальної температури є одним з найважливіших показників процесу зброджування. У природних умовах утворення біогазу відбувається при температурах від 0° С до 97°С [1], але з урахуванням оптимізації процесу переробки органічних відходів для отримання біогазу і біодобрив виділяють три температурні режими:

- психофільний при температурах до 20° – 25°С
- мезофільний при температурах від 25° до 40°С
- термофільний при температурах понад 40°С.

#### ***Мінімальна середня температура***

Ступінь бактеріологічного виробництва метану збільшується із збільшенням температури. Але оскільки кількість вільного аміаку теж збільшується із зростанням температури, процес зброджування може сповільнитися. В середньому біогазові установки без підігріву реактора демонструють задовільну продуктивність тільки при середньорічній температурі близько 20°С або вище або коли середня денна температура досягає щонайменше 18°С. При середніх температурах в 20°-28°С виробництво газу непропорційно збільшується. Якщо ж температура біомаси менше 15°С, вихід газу буде такий низький, що біогазова установка без теплоізоляції і підігріву перестане бути економічно вигідною. [2]

#### ***Оптимальна температура***

Відомості щодо оптимального температурного режиму різні для різних видів сировини, але на підставі емпіричних даних установок, які працюють на змішаному гної ВРХ, свиней і птахів, оптимальною температурою для мезофільного температурного режиму є 34...37°С, а для термофільного 52...54°С. Психофільний температурний режим дотримується в установках без підігріву, в яких відсутній контроль над температурою. Найбільш інтенсивне виділення біогазу в психофільному режимі відбувається при 23°С.

#### ***Зміни температури***

Процес виділення метану дуже чутливий до змін температури. Ступінь цієї чутливості у свою чергу залежить від температурних рамок, в яких

відбувається переробка сировини. При процесі ферментації можуть бути допустимі зміни температури в межах:

- психофільний температурний режим:  $\pm 2^{\circ}\text{C}$  в годину;
- мезофільний:  $\pm 1^{\circ}\text{C}$  в годину;
- термофільний:  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$  в годину.

До переваг термофільного процесу зброджування відносяться: підвищена швидкість розкладання сировини і, отже, вищий вихід біогазу, а також практично повне знищення хвороботворних бактерій, які містяться в сировині.

Недоліками термофільного розкладання є: велика кількість енергії, потрібна на підігрів сировини в реакторі, чутливість процесу зброджування до мінімальних змін температури і декілька нижча якість отримуваних біодобрих.

При мезофільному режимі зброджування зберігається високий амінокислотний склад біодобрих, але знезараження сировини не таке повне, як при термофільному.

#### **ЖИВИЛЬНІ РЕЧОВИНИ**

Для зростання і життєдіяльності метанових бактерій необхідна наявність в сировині органічних і мінеральних живильних речовин. На додаток до вуглецю і водню створення біодобрих вимагає достатньої кількості азоту, сірки, фосфору, калію і магнію і деякої кількості мікроелементів – заліза, марганцю, молібдену, цинку, кобальту, селену і інших. Звичайна органічна сировина – гній тварин – містить достатню кількість вищезазначених елементів.

#### **ЧАС ЗБРОДЖУВАННЯ**

Оптимальний час зброджування залежить від дози завантаження реактора і температури процесу зброджування. Якщо час зброджування вибраний дуже коротким, то при вивантаженні зброженої біомаси бактерії з реактора вимиваються швидше, ніж можуть розмножуватися, і процес ферментації практично зупиняється. Дуже тривала витримка сировини в реакторі не відповідає завданням отримання найбільшої кількості біогазу і біодобрих за певний проміжок часу.

#### ***Час обороту реактора***

При визначенні оптимальної тривалості зброджування користуються терміном «час обороту реактора». Час обороту реактора – це той час, протягом якого свіжа сировина, завантажена в реактор, переробляється, і її вивантажують з реактора.

Для систем з безперервним завантаженням середній час зброджування визначаються відношенням об'єму реактора до щоденного об'єму завантажуваної сировини. На практиці час обороту реактора вибирають залежно від температури зброджування і складу сировини в наступних інтервалах:

- психофільний температурний режим: від 30 до 40 і більше діб;
- мезофільний: від 10 до 20 діб;

- термофільний: від 5 до 10 діб.

### ДОБОВА ДОЗА ЗАВАНТАЖЕННЯ СИРОВИНИ

Добова доза завантаження сировини визначається часом обороту реактора і збільшується із збільшенням температури в реакторі. Якщо час обороту реактора складає 10 діб, то добова доза завантаження складатиме 1/10 від загального об'єму завантажуваної сировини. Якщо час обороту складає 20 діб, то добова доза завантаження складатиме 1/20 від загального об'єму завантажуваної сировини. Для установок, які працюють в термофільному режимі, частка завантаження може складати до 1/5 від загального об'єму завантаження реактора.

### ЧАС ПЕРЕРОБКИ СИРОВИНИ

Вибір часу зброджування залежить також і від типу сировини, що переробляється. Для наступних видів сировини, що переробляється в умовах мезофільного температурного режиму, час, за який виділяється найбільша частина біогазу, рівний приблизно:

- рідкий гній ВРХ: 10 -15 днів;
- рідкою свинячий гній: 9-12 днів;
- рідкий курячий послід: 10-15 днів;
- гній, змішаний з рослинними відходами: 40-80 днів.

### КИСЛОТНО-ЛУЖНИЙ БАЛАНС

Метаноутворюючі бактерії краще всього пристосовані для існування в нейтральних або злегка лужних умовах. В процесі метанового бродіння другий етап виробництва біогазу є фазою активної дії кислотних бактерій. В цей час рівень рН знижується, тобто середовище стає кислішим.

Проте при нормальному ході процесу життєдіяльність різних груп бактерій в реакторі проходить однаково ефективно і кислоти переробляються метановими бактеріями. Оптимальне значення рН коливається залежно від сировини від 6,5 до 8,5 [1, 3].

Зміряти рівень кислотно-лужного балансу можна за допомогою лакмусового паперу. Значення кислотно-лужного балансу відповідатимуть кольору, який набуває папір при його зануренні в зброджувану сировину.

### СПІВВІДНОШЕННЯ ЗМІСТУ ВУГЛЕЦЮ І АЗОТУ

Одним з найбільш важливих показників, які впливають на метанове бродіння, є співвідношення вуглецю і азоту в перероблюваній сировині. Якщо співвідношення C/N надмірно велике, то нестача азоту слугитиме фактором, який обмежує процес метанового бродіння. Якщо ж це співвідношення дуже мало, то утворюється така велика кількість аміаку, що він стає токсичним для бактерій.

Різні експерименти показали: вихід біогазу найбільший при рівні співвідношення вуглецю і азоту від 10 до 20, де оптимум коливається залежно від типу сировини. Для досягнення високої продукції біогазу

практикується змішування сировини для досягнення оптимального співвідношення С/Н.

### ВИБІР ВОЛОГОСТІ СИРОВИНИ

Безперешкодний обмін речовин в сировині є передумовою для високої активності бактерій. Це можливо тільки у тому випадку, коли в'язкість сировини допускає вільний рух бактерій і газових бульбашок між рідиною і твердими речовинами, що містяться в ній. У відходах сільськогосподарського виробництва є різні тверді частинки.

#### *Тверді і сухі речовини в сировині*

Тверді частинки, наприклад, пісок, глина і ін. обумовлюють утворення осаду. Легші матеріали піднімаються на поверхню сировини і утворюють кірку. Це приводить до зменшення газоутворення. Тому рекомендується ретельно подрібнювати перед завантаженням в реактор рослинні залишки – солому, недоїдки і ін. і прагнути до відсутності твердих речовин в сировині.

Вміст сухих речовин визначається вологістю гною. При вологості 70% в сировині міститься 30% сухих речовин. Зразкові значення вологості гною і екскрементів (гній і сеча) для різних видів тварин приводяться в таблиці 1.

Таблиця 1 – Кількість і вологість гною і екскрементів на одну тварину [3]

Види тварин	Середньодобова кількість гною, кг/добу	Вологість гною, проц.	Середньодобова кількість екскрементів, кг/добу	Вологість екскрементів, проц.
ВРХ	36	65	55	86
Свині	4	65	5,1	86
Птиця	0,16	75	0,16	75

Вологість сировини, яка завантажується в реактор установки, має бути не менше 85% в зимовий час і 92% в літню пору року. Для досягнення правильної вологості сировини гній зазвичай розбавляють гарячою водою в кількості, яка визначається по формулі

$$OB = H(B_2 - B_1)/(100 - B_2),$$

де Н – кількість завантаженого гною;

$B_1$  – первинна вологість гною;

$B_2$  – необхідна вологість сировини;

ОВ – кількість води в літрах.

У таблиці 2 приводиться необхідна кількість води для розбавлення 100 кг гною до 85% і 92% вологості.

Таблиця 2 – Кількість води для досягнення необхідної вологості на 100кг гною [4]

У літрах

Необхідна вологість	Первинна вологість сировини, проц.						
	60	65	70	75	80	85	90
85	166	133	100	67	33,5	-	-
92	400	337	275	213	150	87,5	25

### РЕГУЛЯРНЕ ПЕРЕМІШУВАННЯ

Для ефективної роботи біогазової установки і підтримки стабільності процесу зброджування сировини усередині реактора необхідне періодичне перемішування. Головними цілями перемішування є:

- вивільнення проведеного біогазу;
- перемішування свіжого субстрату і популяції бактерій (щеплення);
- запобігання формуванню кірки і осаду;
- запобігання ділянкам різної температури усередині реактора;
- забезпечення рівномірного розподілу популяції бактерій;
- запобігання формуванню порожнеч і скупчень, що зменшують ефективну площу реактора.

При виборі відповідного способу і методу перемішування потрібно враховувати, що процес зброджування є симбіоз між різними штамми бактерій, тобто бактерії одного вигляду можуть жити інший вигляд. Коли співтовариство розбивається, процес ферментації буде непродуктивним до того, як утворюється нове співтовариство бактерій. Тому дуже часте або тривале і інтенсивне перемішування шкідливе. Рекомендується поволі перемішувати сировину через кожних 4 – 6 годин.

### ІНГІБІТОРИ ПРОЦЕСУ

Зброджувана органічна маса не повинна містити речовин (антибіотики, розчинники і тому подібне) негативно впливаючих на життєдіяльність мікроорганізмів. Не сприяють «роботі» мікроорганізмів і деякі неорганічні речовини, тому не можна, наприклад, використовувати для розбавлення гною воду, яка залишилася після прання білизни синтетичними миючими засобами.

### ТИПИ СИРОВИНИ

#### **Гній ВРХ**

Гній ВРХ – найбільш відповідна сировина для переробки в біогазових установках, оскільки метаноутворюючі бактерії вже містяться в шлунку ВРХ. Однорідність гною ВРХ дозволяє рекомендувати його для використання в установках безперервного зброджування.

Зазвичай свіжий гній змішують з водою і вибирають з нього неперетравлену соломку для запобігання осаду і кірці. Сеча ВРХ значно

збільшує кількість виробляемого біогазу, тому рекомендується будувати ферми з бетонною підлогою і прямим гідрозмивом екскрементів в ємність для змішування сировини.

### ***Свинячий гній***

При утриманні свиней в загонах і стійлах без вимощеного покриття можна використовувати лише гній. Він має бути розбавлений водою для досягнення правильної консистенції для переробки. Це може привести до великих кількостей піску і дрібних камінчиків в реакторі, якщо не залишити розбавлену сировину в ємності для змішування для того, щоб пісок осів. Що потрапляють в реактор пісок і земля скупчуються на дні реактора і повинні періодично вичищатися. Так само, як і у випадку з гноєм ВРХ, рекомендується будувати ферми з бетонною підлогою і прямим змивом екскрементів в ємність для змішування сировини.

### ***Овечий гній***

Для овець, які утримуються без вимощеного покриття, ситуація є схожою з описаною для свинячого гною. Більшість систем, які переробляють таку сировину, працюють в режимі порційного завантаження, при якому суміш гною, соломи і води завантажується без попередньої підготовки і залишається в реакторі на триваліший термін, ніж чистий гній.

### ***Курячий послід***

Для переробки курячого посліду рекомендується кліткове утримання птахів або установка сідала над відповідною для збору посліду площею обмеженого розміру. У разі підлогового утримання птахів частка піску, тирса, соломи в посліді буде дуже велика. Потрібно враховувати можливі проблеми і проводити чищення частіше, ніж при роботі з іншими видами сировини.

Курячий послід добре поєднується з гноєм ВРХ і може перероблятися разом з ним. При використанні чистого пташиного посліду як сировини існує небезпека високої концентрації аміаку.

### ***Фекалії***

Якщо фекалії переробляються в біогазових установках, туалети мають бути влаштовані так, щоб фекалії змивалися малою кількістю води. Потрібно переконатися, що в туалет не потрапляє вода з інших джерел, а кількість змивної води має бути обмежене 0,5 – 1 л води для запобігання надмірному розбавленню сировини [2]

### **ПРОБЛЕМА КІРКИ**

Якщо спостерігається високий об'єм газу, але він недостатньо горючий, це часто означає, що на поверхні сировини в реакторі утворилася піна або кірка. Якщо тиск газу зовсім низький, це може означати, що утворилася



кірка, яка блокує газову трубу. Необхідно видаляти кірку з поверхні сировини в реакторі.

#### ***Видалення кірки***

Особливістю кірки, яка утворюється на поверхні сировини в реакторі біогазової установки, є те, що вона не ломка, але тягуча і може стати дуже твердою протягом короткого періоду часу. Для її руйнування потрібно підтримувати її в зволоженому стані. Тобто кірку можна полити зверху водою або опустити в сировині.

#### ***Сортування сировини***

Солома, трава, стебла трави і навіть гній, який просто підсохнув, спливають на поверхню сировини, а сухі і мінеральні речовини осідають на дні реактора і з часом можуть закрити вивантажний отвір або зменшити робочу площу реактора. При правильно підготовленій сировині з не дуже високим вмістом води такої проблеми не виникає.

#### ***Готова сировина***

При використанні свіжого гною ВРХ не виникає проблеми кірки. Проблеми виникають у разі, коли в сировині присутні тверді органічні речовини, які не розклалися. Перед будівництвом установки необхідно перевірити корм тварин і гній на можливість переробки в реакторі. Може виявитися необхідним ретельне подрібнення корму, і у такому разі краще заздалегідь розраховувати додаткові витрати. Проблема вмісту твердих частинок в сировині набагато серйозніше для свинячого гною і пташиного посліду. Пісок, який склеюється птахами, і попадання пір'я в послід роблять його важкою сировиною.

#### ***Живильні речовини***

Живильні властивості біодобрива визначаються кількістю органічних речовин і хімічних елементів, які воно містить. Всі живильні для рослин речовини, такі як азот, фосфор, калій і магній, а також мікроелементи і вітаміни, необхідні для зростання рослин, зберігаються в біодобриві. Співвідношення вуглецю і азоту (близько 1:15) має сприятливий ефект на якість ґрунтів.

*Висновки.* У результаті розглядання параметрів оптимізації процесу зброджування виявлено, що необхідно розробляти схему біогазової установки з мезофільним температурним режимом та щоденним завантаженням 1/20 від загального об'єму завантажувальної сировини. Також дуже важливо повільно перемішувати сировину кожні 4 – 6 годин. Внесення такого біодобрива буде сприятиме значному підвищенню якості ґрунтів.

#### **Література**

- 1 В. Некрасов. Микробиологическая анаэробная конверсия биомассы
- 2 AT Information: Biogas, GTS project Information and Advisory Service on Appropriate Technology (ISAT), 1996, Eshborn, Deutschland
- 3 В. Дубровский, У. Виестур. Метановое сбраживание сельскохозяйственных отходов, 1988, Рига «Зинатне».

4 ОФ «Флюид». Биоэнергетические модули для анаэробного сбраживания навоза типа БЭМС с реакторами объемом 5,0; 25,0; 50,0; 100,0 м<sup>3</sup>. руководство по эксплуатации, 2004, Бишкек.

5 Веденев А.Г. Биогазовые установки, 2005, ОФ «Флюид» Ассоциации «Фермер».

6 BiogasWorks, 2002, [www.biogasworks.com](http://www.biogasworks.com)

## ОСНОВЫ БИОГАЗОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ПАРАМЕТРЫ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССА СБРАЖИВАНИЯ

О.Г. Скляр, Р.В. Скляр

### *Аннотация*

**Работа посвящена рассмотрению основ биогазовых технологий и параметров оптимизации процесса сбраживания.**

## BASES OF BIOTGAS TECHNOLOGIES AND PARAMETERS OF OPTIMIZATION OF PROCESS OF SBRAZHIVANIYA

A. Sklyar, R. Sklyar

### *Summary*

**Work is devoted consideration of bases of biotgas technologies and parameters of optimization of process of **сбраживания**.**