**Технології біовиробництва 4 курс Бт (Еко)**

ЛЕКЦІЯ №5

БІОГАЗОВІ ТЕХНОЛОГІЇ

Сільськогосподарські біогазові установки.*Перспективи використання біогазових технологій. Технологія метанового зброджування.**Основні вимоги до процесу виробництва біогазу.**Склад та основні конструкційні елементи біогазової установки.**Сучасний стан і тенденції розвитку біогазових технологій*

**Перспективи використання біогазових технологій**

Використання біогазу є одним із шляхів часткової заміни традиційних видів палива в сільській місцевості. До того ж біогазові технології переробки органічних відходів дозволяють одночасно вирішити чотири проблеми: екологічну – ліквідація відходів виробництва, енергетичну – отримання палива та енергії, агрохімічну – отримання екологічно чистих добрив і продуктів, підвищення родючості грунтів та соціальну – покращення умов праці і побуту населення.

Для виробництва біогазу придатними є різноманітні відходи агропромислового комплексу: гній, відходи тваринного та рослинного походження, побутові відходи. У сільськогосподарських та побутових відходах при певних умовах виникають біохімічні процеси, внаслідок яких з відходів одержують не лише біогаз, але й концентровані органічні добрива, які є цінним продуктом для застосування в сучасних технологіях вирощування сільськогосподарських культур.

Біогаз – це суміш метану і вуглекислого газу, що утворюється в процесі анаеробного зброджування в спеціальних реакторах – метантенках, влаштованих і керованих так, щоб забезпечити максимальне виділення метану (табл. 2). Енергія, що отримується при спалюванні біогазу, може досягати від 60 % до 90 % тієї, яку містить початковий субстрат.

**Таблиця 2 – Склад і властивості біогазу**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Показник** | **СН4** | **CO2** | **Н2** | **H2S** | **Суміш**  **60 % СН4 + 40 % CO2** |
| Об'ємна частка, % | 55…70 | 27…44 | 1 | 3 | 100 |
| Об'ємна теплота  згоряння, МДж/м3 | 35,8 | 10,8 | 22,8 | - | 21,5 |
| Температура займання, °С | 650…750 | - | 585 | - | 650…750 |
| Щільність нормальна, г/л | 0,72 | 1,98 | 0,09 | 1,54 | 1,2 |
| Щільність критична, г/л | 102 | 408 | 31 | 349 | 320 |

Залишок, що утворюється в процесі отримання біогазу, містить значну кількість поживних речовин і може бути використаний як добриво. Склад залишку, отриманого при анаеробній переробці відходів, залежить від хімічного складу початкової сировини, що завантажується в реактор. В умовах, сприятливих для анаеробного зброджування, зазвичай розкладається близько 70 % органічних речовин, а 30 % міститься в залишку.

**Потенціал отримання біогазу з тваринницьких відходів в Україні.** Доцільність отримання біогазу з органічних відходів в масштабах України обумовлена їх кількістю і концентрацією як в окремих господарствах, так і в цілих регіонах. Основна доля потенціалу біомаси припадає на відходи тваринництва (80 %), до яких належать відходи органічного походження, в основній масі – гній і гнойові стоки великої рогатої худоби, свиней, курячий послід. Супутніми їм можуть бути матеріали, які використовуються для підстилки – солома, трава, торф. Всі ці відходи застосовуються в сільському господарстві як добрива, тому необхідність впровадження сучасних методів їх переробки не завжди сприймається з розумінням.

**Можливості використання біогазу.** Для використання анаеробно виробленого біогазу існує цілий ряд технічних рішень.

*Виробництво теплової енергії*. Протягом десятиріч виробництво теплової енергії з біогазу було єдиною технологічною можливістю для використання біогазу.

Використання біогазу тільки для виробництва теплової енергії в результаті спалювання газу є економічно цікавим варіантом, так як усі інші види використання біогазу достатньо дорого коштують як у відношенні технологічного оснащення, так і за виробничими витратами.

Другою можливістю використання біогазу є подача його по газопроводу для окремих користувачів.

Під час використання біогазу для отримання тепла необхідні спеціальні пальники. Найчастіше використовується біогаз в комбінації з природним газом (як підстраховка для гарантії забезпечення тепловою енергією). Є приклади експлуатації котлів лише на біогазі.

*Комбіноване виробництво електричної і теплової енергії*. Як правило, для комбінованого виробництва теплової і електричної енергії використовується когенераційна установка, де біогаз у двигуні внутрішнього згоряння перетворюється на електричну енергію, а охолодження двигуна і вихлопних газів дозволяє отримати теплову енергію. Для отримання комбінованої енергії використовуються, в залежності від розмірів установки, різні типи двигунів і різні способи згоряння (бензиновий, дизельний, двигун змішаного палива, спеціальний газовий двигун), які суттєво відрізняються за ефективністю, терміном функціонування та інвестиційними витратами. Двигун внутрішнього згоряння обертає приєднаний генератор, який виробляє електричну енергію. Для виробництва електричної енергії використовуються, як правило, асинхронні генератори, які мають достатньо міцну конструкцію. Охолодження двигуна і відпрацьованих газів дозволяє отримати теплову енергію. Співвідношення теплової та електричної енергії теоретично досягає 2:1.

При отриманні комбінованої енергії може бути досягнута найвища ефективність перетворення енергії біогазу. Загальний коефіцієнт корисної дії когенераційних установок знаходиться в межах 85-90 % використаної енергії [8].

*Паливні елементи*. Паливні елементи виробляють електричну і теплову енергію з водню та кисню. При цьому водень готується з природних горючих матеріалів – природного газу та метанолу. Проте, проводяться наукові дослідження з використання для цих цілей очищеного біогазу.

*Газова турбіна.* Газові мікротурбіни (турбіни з низькими показниками тиску в камерах згоряння та низькими показниками температури) використовуються у вигляді комбінованих теплоенергоустановок потужністю до 200 кВт для децентралізованого енергозабезпечення. Вони відрізняються малою емісією, низькими шумами та низькою вартістю обслуговування. Паливом можуть бути природний газ, біогаз, скраплений газ, мазут.

*Інші можливості використання біогазу*. Крім виробництва теплової та електричної енергії біогаз може використовуватись і в інших цілях. Можливе включення біогазу в державну мережу природного газу, але можуть виникнути проблеми, пов’язані зі змінними якостями біогазу. Очищення біогазу на сьогодні є великим бар’єром для під’єднання його до газової мережі. Значні роботи в цьому напрямку ведуться в Європі, але для практичного здійснення таких проектів необхідно прийняти відповідні технічні, правові та економічні нормативні документи.

Біогаз може використовуватись як пальне для двигунів з примусовим запалюванням. При цьому суттєве технічне переобладнання двигунів робити не потрібно. Дизельні двигуни потребують технічного переобладнання чи підготовки. Але використання біогазу як пального для автотранспорту потребує економічного обґрунтування у зв’язку з необхідністю попередньо закачувати його в ємкості під великим тиском.

Проводяться дослідження в напрямках виробництва з біогазу метанолу, який легко накопичується, універсальний для бензинових і дизельних двигунів, та отримання з біогазу високо чистого метану і діоксиду вуглецю. Останній може широко використовуватись у сільському господарстві (теплиці, сховища для овочів і фруктів). За відповідної якості діоксид вуглецю може бути сировиною для виготовлення полікарбонатних продуктів, сухого льоду тощо.

**Впровадження біогазових технологій в Україні.** У галузі біогазової індустрії Україна напрацювала багатий потенціал, який так і не був реалізований. Перші спроби створення біогазо-вих установок в СРСР відносяться до 50-х років минулого сторіччя, другі – до кінця 80-х – початку 90-х. Але і вперше, і вдруге через велику різницю в собівартості природного і синтетичного продуктів (біогаз виходив уп'ятеро дорожчим) роботи далі дослідних зразків не просунулися. Зібрані ученими дані лягли в основу створення декількох лабораторних і дослідних установок. Зокрема, на птахофабриці "Київська" була споруджена установка з об'ємом реактора 15 м3, яка давала можливість шляхом переробки курячого посліду отримувати 60 м3 газу за добу. У радгоспі "Росія" (Золотоніський р-н Черкаської обл.) якийсь час працювала установка, яка була по суті переобладнаними очисними спорудами. Вона мала об'єм реактора 170 м3 і продукувала зі свинячого гною 200 м3 біогазу за добу. На базі молочної ферми-лабораторії ВНДІВМОТ (тепер УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого) був успішно випробуваний комплект обладнання для біологічного очищення стоків шляхом анаеробного зброджування "КОБОС-1", розроблений Запорізьким КТІСМом.

На базі виробничо-тваринницького комплексу металургійного комбінату "Запоріжсталь" створена дослідно-промислова біогазова установка, яка переробляє відходи свинарського комплексу з вирощування 10 тис. свиней на рік [10]. Для покриття потреб опалення та гарячого водопостачання комплексу на її території встановлена котельня з двома водогрійними котлами фірми "Danfoss" (Данія) VSN-630 потужністю по 730 кВт з пальниками Weishaupt C7-1-D. Дані котли можуть працювати на біогазі або на природному газі, що використовується в котельні як резервне паливо.

Були спроби створити і маленькі установки для селянського подвір’я, фермерських господарств. Проте нині в Україні діючих вітчизняних промислових установок немає.

У даний час в Україні на свинофермі компанії "Агроовен" (с. Оленівка Дніпропетровської області) працює промислова біогазова установка, яка створена на основі імпортного обладнання. Проект фінансувався урядом Нідерландів, його метою було спорудження великої демонстраційної біогазової установки. Устаткування поставила голландська компанія BTG. Установка призначена для переробки близько 80 т гнойових стоків за добу від 15 тис. голів свиней. Вона включає два метантенка по 1000 м3 кожен, дві когенераційні установки (газодизельні генератори) по 80 кВт електричних та 160 кВт теплових кожна. Метантенки є бетонними ємкостями, утепленими теплоізоляційним матеріалом і накритими зверху пластиковою плівкою, під якою скупчується біогаз. Час утримання стоків в реакторах – 25 діб. Кожну добу проводиться дозавантаження 1/25 об'єму метантенка з одночасним вивантаженням маси, що перебродила. У схему установки включений модуль зневоднення зброджених стоків, який дозволяє отримати зручні у зберіганні і використанні як добрива тверду і рідку фракції.

У ВАТ "Терезине" Київської області запущена в експлуатацію біогазова установка фірми "Ліпп" (ФРН) з об’ємом реактора 1500 м3. Реалізуються також проекти будівництва в Україні біогазових установок ТОВ "Зорг Україна".

Біогазові установки іноземного виробництва є досить дорогими, і далеко не всі українські підприємства мають фінансові можливості придбати їх. Найбільш доцільно започаткувати випуск такого обладнання в Україні, при цьому доля зарубіжних складників буде становити до 25…40%, а обладнання українського виробництва буде коштувати набагато дешевше.

В той же час, за оцінками фахівців, в Україні може бути збудовано близько 3000 великих біогазових установок на тваринницьких фермах, птахофабриках та підприємствах харчової промисловості.

**Технологія метанового зброджування**

**Етапи процесу.** Біогаз є продуктом обміну речовин бактерій, який утворюється внаслідок розкладання ними органічного субстрату. У загальному випадку процес розкладання органічної речовини можна розділити на 4 етапи (рис. 3), у кожному з яких беруть участь багато різних груп бактерій .

На першому етапі аеробні бактерії перебудовують високомолекулярні органічні субстанції (білок, вуглеводи, жири, целюлозу) за допомогою ензимів на низькомолекулярні сполуки, такі як цукор, амінокислоти, жирні кислоти і воду. Цей процес, що отримав назву гідроліз, має повільну течію і залежить від позаклітинних ензимів як, наприклад, целюлоза, амілази, протеази і ліпази. На процес впливає рівень рН (4,5-6) і час перебування в резервуарі.

Далі розщеплюванням займаються кислототворні бактерії. У цьому процесі частково беруть участь анаеробні бактерії, які споживають залишки кисню, створюючи тим самим необхідні для метанових бактерій анаеробні умови. При рівні рН 6-7,5 в першу чергу виробляються нестійкі жирні кислоти (оцтова, мурашина, масляна, пропіонова), низькомолекулярні алкоголі – етанол і гази – двоокис вуглецю, вуглець, сірководень і аміак. Цей етап називають фазою окислення (рівень рН знижується).

Після цього кислототворні бактерії з органічних кислот створюють початкові продукти для утворення метану, а саме: оцтову кислоту, двоокис вуглецю і вуглець. Бактерії, що знижують кількість вуглецю, є дуже чутливими до температури.

На останньому етапі утворюються метан, двоокис вуглецю і вода в різних межах як продукт життєдіяльності метанових бактерій з оцтової і мурашиної кислоти, вуглецю і водню. 90 % усього метану виробляється на цьому етапі, 70 % походить з оцтової кислоти. Таким чином, утворення оцтової кислоти (тобто третій етап розщеплення) є чинником, що визначає швидкість утворення метану. Метанові бактерії виключно анаеробні. Оптимальний рівень рН складає 7,0, причому амплітуда коливань може бути в межах 6,6-8,0.

Розщеплювання органіки на окремі складові і перетворення на метан може проходити лише у вологому середовищі, оскільки бактерії можуть переробляти тільки речовини в розчиненому вигляді. Таким чином, для бродіння твердих субстратів існує потреба у воді.

Пофазне розщеплення органіки відбувається не з однаковою швидкістю. Різні групи бактерій працюють з різною швидкістю. Тоді як аеробні бактерії при достатньому живленні подвоюють свою масу впродовж від 20 хвилин до 10 годин (час генерації), анаеробні бактерії істотно повільніші. Фаза утворення оцтової кислоти проходить найбільш повільно. Серед метанових бактерій також є декілька повільних видів, в першу чергу чисті культури вимагають для цього 3-5 днів. Всі інші розщеплюють оцтову кислоту на метан протягомі від декількох годин до трьох днів.



Рис. 3 – Етапи процесу зброджування

Швидше за всіх працюють кислототворні бактерії, які здійснюють перші перетворення органіки вже на протязі від декількох годин до 2 днів. У ідеальному випадку між фазами розщеплювання встановлюється динамічна рівновага в концентрації речовин, а саме між надходженням поживних речовин і їх розщепленням. Перегодовування бактерій субстратом, що швидко розщеплюється, призводить до накопичення кислот кислототворними бактеріями. У зв'язку з цим може наступити дуже різке падіння рівня рН, якого не переживуть інші бактерії. Крім того, надмірна концентрація виробленої речовини призводить до затримки зростання групи бактерій, що її виробляє.

Динамічна рівновага також визначається легкістю розщеплювання субстрату. Чим складніше структура субстрату, тим довше триває розщеплювання.

Швидкість розщеплювання субстратів має безпосередній вплив на технічно необхідний час для бродіння. Таким чином, вже при проектуванні біогазової установки варто чітко визначити, який субстрат або які субстрати використовуватимуться для бродіння.

Виробництво газу з 1 кг органічного субстрата поступово збільшується разом із збільшенням часу для бродіння, спочатку швидше, а по мірі зростання часу – повільніше. Наступає такий момент, коли кількість виділеного газу стає настільки малою, що подальше перебування біомаси у ферментаторі стає недоцільним з економічної точки зору. Тобто на практиці ніколи не буває повного розщеплення органіки.

У більшості біогазових установок процеси розщеп-лення протікають паралельно, тобто вони не розділені ні територіально, ні в часі. Такі технології називають одноступінчатими. Для субстратів з швидким розщепленням, які через це мають схильність до окислення, рекомендується передбачити окремий резервуар для гідролізу і окислення, щоб з нього продукти розкладання дозовано подавати у ферментер. Перевагою такої двоступеневої технології є висока ефективність роботи бактерій внаслідок створення оптимальних умов життєдіяльності (в першу чергу рівень рН). Таким чином можна досягти більшого виробництва біогазу.

Хоча розділення фаз найкращим чином відповідає умовам життєдіяльності бактерій і має свої переваги, такі двоступінчаті технології не мають великого розповсюдження. Додаткові втрати на другий резервуар, на системи змішування, обігріву і насоси можуть окупитися лише для певних видів субстратів. З іншого боку, на практиці достатньо часто можна знайти два по черзі зв'язаних між собою резервуари. У таких випадках перший резервуар виступає справжнім ферментером, обладнаним обігрівом, мішалками, який розрахований на короткострокове зброджування і використання субстратів, що швидко розкладаються. У другому резервуарі, доданому до першого, що в принципі є ферментером без обігріву, відбувається утворення газу з субстратів, що розкладаються не так швидко, а відповідно, і процес зброджування в ньому триває довше.

**Технології метанової ферментації.** У сучасному біогазовому виробництві використовують три основні технології метанової ферментації: безперервну, змінну та періодичну [8, 16]. .

*Безперервна ферментація* полягає у постійному або з короткими перервами в часі надходженні сировини до реактора. Одночасно з подачею свіжої гноївки відбувається відтік маси, що перебродила. Сировина, що піддається ферментації, повинна мати рідку або напіврідку консистенцію. Найкраще для цього підходить гноївка великої рогатої худоби або свиней. Ця технологія потребує найменших ферментаційних камер і реалізує процес безперервного виробництва біогазу. Ферментаційні резервуари можуть встановлюватись горизонтально або вертикально, різними можуть бути способи перемішування маси (механічною мішалкою, перекачуванням сировини, вдуванням біогазу тощо), а також способи введення та виведення сировини. Технологія з безперервною ферментацією належить до найбільш технічно відпрацьованих.

*Змінна ферментація* потребує побудови щонайменше двох ферментаційних резервуарів, які по черзі заповнюються сировиною. Через певний час (від 8 тижнів до декількох місяців) звільняють перший завантажений резервуар, залишив­ши в ньому невелику кількість шламу для прищеплювання бактерій при наступному завантаженні. Виробництво біогазу під час використання цієї технології є циклічним. Чим більше резервуарів, тим коротші перерви між циклами виробництва газу з різних місткостей.

*Періодична ферментація* відбувається за подібним до змінної ферментації процесом, але з використанням одного ферментаційного резервуара, який періодично заповнюють і після закінчення ферментації звільняють. Ця технологія застосовується за наявності густої сировини, такої як гній. Ферментаційний резервуар являє собою ще й склад гною, який звільняється під час його вивезення на поле. Часто ставляться вимоги, щоб період перебування гною у ферментаційному резервуарі був не меншим за 6 місяців. За таких вимог і такої технології виробництво газу можливе лише двічі на рік і є найнижчим у порівнянні з іншими технологіями.

Велику різноманітність методів отримання біогазу можна звести до декількох варіантів з погляду технічних характеристик процесу. Принципова відмінність у методах роботи різних установок полягає у способі подачі субстрату (методи порційної подачі, протічний), за типом змішування (повне змішування або пробкове проштовхування), одно- або багатоступенева система та за консистенцією субстрата (тверда сировина або метод переробки в мокрому вигляді).

***Метод періодичної подачі.*** Для методу порційної подачі характерне наповнення ферментера за один прийом. Порція проходить зброджування до кінця заданого для цього часу, впродовж якого субстрат не додають і не виймають. Виробництво газу починається після наповнення, досягає максимальної продуктивності, після чого починає падати. Із закінченням заданого часу зброджування, ферментер спустошується також за один прийом. При цьому частину збродженої маси повертають назад як закваску для нової порції субстрату.

Для методу порційної подачі характерні:

* окрім рідких субстратів можна також переробляти тверді субстрати з високим вмістом сухої речовини;
* профілактичні огляди і ремонт ферментера можна проводити після кожного циклу;
* необхідно мати масу для закваски, яка в окремих випадках може досягати великих порцій;
* нерівномірне вироблення газу, якщо не використовувати послідовно декілька резервуарів;
* надійний гігієнізаційний ефект.

***Протічний метод.*** За таким методом працюють майже всі сільськогосподарські біогазові установки. Ферментери повинні бути постійно заповнені. При подачі свіжого субстрату рівна йому кількість виштовхується з ферментера. Протічний метод характеризується:

* послідовною подачею;
* постійним процесом зброджування;
* стабільним виробленням газу;
* профілактика і ремонт наповненого ферментера можливі не в повному обсязі.

***Метод повного змішування.*** Установки, в яких субстрат повністю перемішується, часто зустрічаються в сільськогосподарській практиці. Свіжий матеріал, що подається, перемішується з масою у ферментері, тому відпадає необхідність в заквасці і процес може починатись безпосередньо після внесення.

***Метод пробкового проштовхування субстрату.* В** установках, що використовують пробкове проштовхування, субстрат просувається як пробка в повздовжньому напрямі по ферментеру. Діаметр такого резервуару повинен бути набагато менше ніж його довжина (співвідношення діаметру до довжини як мінімум 1:4). Перемішування переважно відбувається в поперечному напрямі. Завдяки такій роботі в цих установках вдається досягти високого гігієнізаційного ефекту. За певних обставин може виникнути потреба в заквасці з метою якнайшвидшого приведення процесу в дію. Важливо відзначити, що така конструкція займає багато місця.

Залежно від виконання мішалки, установки такого типу можна завантажувати істотно більше, ніж установки повного змішування. На практиці відоме завантаження 5-10 кг органічної сухої речовини на 1 м3 об'єму ферментера за добу. Як правило після такого типу ферментера встановлюють великий дозброджувач, який робить можливим тривале бродіння.

***Одно- або багатоступеневий метод.* Зброджування** субстрату з метою отримання біогазу може проходити з використанням одно- або багатоступеневого методу ведення процесу. Під час використання одноступеневого методу процес бродіння проходить всі етапи в одному єдиному резервуарі. Для систем повного перемішування ці етапи в часі і просторі відбуваються паралельно. В установках системи періодичного режиму роботи ці процеси відбуваються послідовно в часі один за одним. В установках пробкового руху спостерігається певне часове зміщення. При багатоступеневому методі намагаються розділити різні етапи процесу по різних камерах як за допомогою різних резервуарів, так і за допомогою відділень у ферментері. При цьому необхідно врахувати, що для створення кислого середовища і утворення метану необхідні різні умови.

Багатоступеневі методи використовуються:

- якщо субстрат повинен обов'язково пройти гігієнізацію;

- якщо об'єм бродильної камери невеликий, а прагнуть підвищити ступінь гідролізу або розкладання;

- якщо субстрати важко перемішувати з технічної точки зору і при дуже великому завантаженні ферментатора, якщо планується пробковий рух субстрату.