

## ЛЕКЦІЯ 11

### Тема: Біотехнологія отримання біогазу

#### План

1. Історія й світовий досвід використання біогазу.
2. Мікробіологічні та біохімічні основи процесів метаногенезу.
3. Типи біогазових установок.
4. Перспективи використання біогазу в Україні

Різнманітні природні копалини стрімко вичерпуються. За розрахунками, запасів нафти і газу вистачить тільки до половини першого століття третього тисячоліття. Тому отримання енергії з відновлюваних джерел сировини є актуальною проблемою. Відновлювана сировина – це рослинний світ, де завдяки процесам фотосинтезу, води й діоксиду вуглецю утворюються органічні сполуки. На Землі в рослинному покриві знаходиться 1800 млрд. т сухої речовини, у якій міститься  $3,0 \times 10^{22}$  Дж енергії. У той же час запаси нафти, газу, вугілля та урану еквівалентні  $2,5 \times 10^{22}$  Дж. Щорічний приріст органічної речовини на планеті становить  $2 \times 10^{11}$  т. З цієї кількості  $1,2 \times 10^{11}$  т припадає на долю лігноцелюлозної сировини.

Існує декілька способів перетворення рослинної біомаси в сировину.

1. Найпростіший спосіб перетворення біомаси в енергію полягає в *спалюванні* – воно забезпечує тепло, яке можна перетворити в механічну або електричну енергію.
2. У разі, якщо сировина сира, найбільш ефективним методом є *отримання біогазу*.
3. Енергію можна отримувати з сільськогосподарських культур, які спеціально вирощують з цією метою (плантації дерев, що швидко ростуть, рослини багаті на крохмаль і сахарозу). З такої рослинної біомаси екстрагуються й піддаються гідролізу запасні вуглеводи, які потім шляхом мікробного зброджування перетворюються на спирт. Останнім часом для отримання біопалива широко застосовують рапс.

Отримання палива за схемою «біомаса – біотехнологія» базується на поєднанні фотосинтезу, тваринництва, кормовиробництва й ферментації з використанням тих або інших біологічних агентів.

Найбільш ефективними методами для перетворення сонячної енергії, що засновані на використанні біосистем, вважаються добре розвинені біотехнології перетворення біомаси в енергоносії в процесах біометаногенезу і виробництва спирту, а також новітні розробки, орієнтовані на модифікацію та підвищення ефективності самого процесу фотосинтезу, створення біопаливних елементів, біоелектрокаталіз тощо.

**Біометаногенез** або метанове «бродіння» – процес перетворення біомаси в енергію.

**Біогаз**, що отримують з органічної сировини в ході біометаногенезу в результаті розкладання складних органічних субстратів різного походження за участі мікроорганізмів, представляє собою суміш із 65-75% метану і 20-35% вуглекислоти, а також незначної кількості сірководню, азоту, водню (табл. 4.1).

Таблиця 4.1

#### Хімічний склад біогазу

Газ	Хімічна формула	Об'ємна частка, %
Метан	$\text{CH}_4$	40-70
Вуглекислий газ	$\text{CO}_2$	30-60
Інші гази		1-5
Водень	$\text{H}_2$	0-1
Сірководень	$\text{C}_2\text{S}$	1-2

Теплоутворювальна здатність біогазу залежить від співвідношення метану й вуглекислоти і складає 5-7 ккал/м<sup>3</sup>. Відомо, що 1 м<sup>3</sup> біогазу еквівалентний 4 кВт/г електроенергії, 0,6 л керосину, 1,5 кг вугілля і 3,5 кг дров.

Продукція біогазової станції на 1 м<sup>3</sup> біогазу: 1,5-2,2 кВт/г електроенергії і 2,8-4,1 кВт/г тепла або еквівалент 1 л дизельного палива; 0,3-0,4 м<sup>3</sup> вуглекислого газу; 4-4,5 кг сухої речовини добрив; 35-40 л води.

Неочищений біогаз використовують у побуті для обігріву житла й теплиць, приготування їжі, а також використовують у якості палива в стаціонарних установках, що виробляють електроенергію. Газ можна транспортувати й використовувати (після попередньої очистки) в якості пального для двигунів внутрішнього згоряння.

У процесах метаногенезу вирішується не тільки проблема виробництва енергії, але вирішуються екологічні проблеми, пов'язані з утилізацією і переробкою відходів різних виробництв і технологій, сільськогосподарських і побутових твердих відходів.

#### 4.1. Історія й світовий досвід використання біогазу

Перші систематичні дослідження біогазу розпочав італійський натураліст **Аллесандро Вольта**. Йому вдалося зібрати в 1770 р. болотяний газ у відкладах озер на півночі Італії, після чого він зайнявся проведенням дослідів зі спалювання цього газу.

Англійський фізик **Фарадей** експериментував також з болотним газом і ідентифікував його як вуглеводень.

У 1821 р. досліднику **Авогадро** вдалося встановити хімічну формулу метану (CH<sub>4</sub>). **Луї Пастер** у 1884 р. проводив випробування з біогазом, який він виділяв з твердого гною. Він вперше запропонував використовувати гній з паризьких стаєнь для виробництва газу для освітлення вулиць.

У 1897 р. у лікарні для хворих на проказу в м. Бомбей (Індія) побудували першу установку, газ якої використовували для освітлення, а в 1907 р. – для живлення двигуна для виробництва електроенергії (рис. 4.1).

У Німеччині інженер з очисних споруд **Імхофф** з 1906 р. на території регіону Рур почав систематичне будівництво анаеробних, двоюрисних установок з очищення стічних вод, що одержали назву «емшерський колодязь».

Екологічна безпечність застосування й калорійність біогазу в поєднанні з нескладними технологіями його отримання, а також великою кількістю відходів, що підлягають переробці – все це є позитивними факторами для подальшого розвитку й поширення біогазової промисловості.

Поштовхом для розвитку даного біотехнологічного напрямку була енергетична криза, яка виникла в середині 70-х років минулого століття. Виробництво біогазу стало основним принципом енергетичної політики багатьох країн Тихоокеанського регіону. Так, керівництво Китаю вкладало багато коштів у становлення біогазової промисловості, особливо в сільській місцевості. В рамках національної програми були створені умови для появи заводів, що випускали біогазові установки. Державні банки надавали населенню пільгові кредити і матеріали для будівництва установок. Починаючи з середини 70-х рр., у Китаї щорічно будувалося близько мільйона метантенків. На початку 80-х рр. в Китаї вироблялося до 110 млрд. м<sup>3</sup> біогазу, що еквівалентно 60-80 млн. т сирої нафти, а в середині 80-х років було створено до 70 млн. установок, які забезпечували побутові потреби в енергії 70 % родин. КНР забезпечує 20 % національних потреб в енергії за рахунок біогазу.

Друге місце в світі з виробництва біогазу займає Індія, у якій ще в 30-ті роки була прийнята перша в світі програма з розвитку біогазової технології. На кінець 2000 р. в сільських районах Індії було побудовано понад 1 млн. метантенків, що дозволило поліпшити енергозабезпеченість ряду селищ, їх санітарно-гігієнічний стан, уповільнити

вирубку навколишніх лісів і поліпшити якість ґрунту. Сьогодні щоденне виробництво біогазу в Індії становить 2,5-3 млн. куб. м.

Будівництво **біогазових установок** (БГУ) розпочалося на Філіппінах, у Ізраїлі, країнах Латинської Америки. У Непалі була створена й активно функціонує національна біогазова компанія. Біогазові установки успішно працюють у тваринницьких господарствах Японії.

Зацікавленість технологіями біометаногенезу в середині 80-х років минулого століття підсилювався також у країнах центральної Європи, особливо в Німеччині та Франції. Французьким Комісаріатом зі сонячної енергетики в середині 90-х років було виділено 260 млн. франків на створення і поширення біогазових установок у сільській місцевості. Французькими вченими було доведено, що при утилізації і переробці гною тваринницьких ферм можна повністю забезпечити потреби в енергії комплексу з 30 голів великої рогатої худоби або 500 свиней. В середині 90-х років у країнах Європейського економічного союзу функціонувало біля 600 установок з виробництва біогазу з рідких сільськогосподарських відходів і біля 20 для переробки твердого побутового сміття.

Інтегровані національні програми багатьох країн Африки, Латинської Америки, які мають велику кількість сільськогосподарських відходів (понад 90 % світових відходів цитрусових, бананів, кофе; понад 70 % цукрової тростини, біля 40 % відходів худоби), орієнтовані на отримання біогазу.

На сьогодні лідером у виробництві біогазу можна вважати ЄС загалом і Німеччину зокрема. Загальна кількість біогазових установок в Європі перевищує 11 тис. одиниць (7,2 тис. од. у Німеччині). Загальне виробництво біогазу в ЄС вже в 2010 р. складало 10,9 млн. т. (еквівалент 13,5 млрд. м<sup>3</sup> природного газу), з них 6,7 млн. т вироблено в Німеччині. При цьому річний приріст склав 31,3 %.

#### 4.2. Мікробіологічні та біохімічні основи процесів метаногенезу

**Метанове бродіння** (зброджування) являє собою безкисневу біологічну конверсію органічної речовини в біогаз, який складається частіше за все з метану і вуглекислоти.

З біохімічної точки зору метанове бродіння – це процес анаеробного дихання, у ході якого, електрони з органічної речовини переносяться на вуглекислоту; остання відновлюється до метану. При справжньому бродінні кінцевим акцептором електронів слугує молекула органічної речовини, яка є кінцевим продуктом бродіння. Донором електронів для метаногенів є водень, а також оцтова кислота.

У складних процесах біодеструкції складних субстратів і утворенні біогазу приймає участь мікробна асоціація різних мікроорганізмів: *деструкторів*, що викликають гідроліз складної органічної маси з утворенням органічних кислот (масляної, пропіонової, молочної), а також спиртів, аміаку, водню; *ацетогенів*, що перетворюють ці кислоти до оцтової кислоти, водню, окису вуглецю; *метаногени* – мікроорганізми, що відновлюють воднем кислоти, спирти і окиси вуглецю до метану.

**Анаеробне бродіння** – багатостадійний процес, який здійснюється кількома функціональними групами бактерій, що тісно взаємодіють між собою.

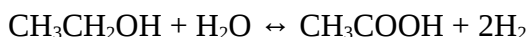
**Перша стадія (кислотогенна або воднева).** Гетерогенна група анаеробних бактерій, так звані *первинні анаероби*, піддають ферментативному розщепленню складні водонерозчинні органічні полімери – білки, ліпіди й полісахариди. При цьому разом із бактеріями, які здійснюють гідроліз полімерів, функціонують мікроорганізми (*мікрофлора розсіювання*), що розкладають моноцукри, органічні кислоти і спирти, які утворюються при гідролізі. Результатом діяльності обох груп мікроорганізмів є утворення водню, CO<sub>2</sub>, низькомолекулярних (летких) жирних кислот (ЛЖК) і спиртів.

Гідролітичні бактерії знаходяться в тісному контакті з субстратом, який гідролізується. Мікрофлора розсіювання, навпаки, розвивається в рідкому середовищі.

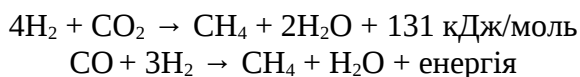
У процесах першої стадії беруть участь obligatні анаеробні бактерії (*Clostridium*, *Bacteroides*, *Butirivibro* та ін.), а також факультативні (*Escherichia coli* і *Bacillus sp.*).

**Друга стадія (метанова або лужна).** Здійснюється декількома групами бактерій, але основну роль відіграють метанові (метанутворюючі) бактерії (метаногени). Характерною особливістю цих бактерій є дуже вузький спектр використовуваних субстратів: а) водень; б) вуглекислота; в) мурашина й оцтова кислоти; г) метанол; д) моно-, ді-, триметиламіни.

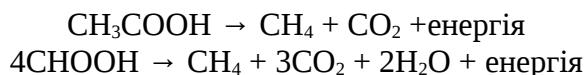
Ці субстрати частково наявні й після стадії кислотогенезу, однак, в основному, в їх утворенні бере участь так звана **синтрофна мікрофлора** – ацетогенні й гомоацетогенні бактерії:



Синтрофні мікроорганізми представлені як obligatними, так і факультативними анаеробами (*Synthrophobacter*, *Syntrophomonas*, *Desulfovibrio*). Процес розкладання цими бактеріями органічних кислот і спиртів на водень і оцтову кислоту може бути здійснений термодинамічно тільки при дуже низьких концентраціях водню. Функцію вилучення водню виконують водень-використовуючі метаногени, що належать до родів *Methanobacterium*, *Methanobrevibacter*, *Methanosarcina*, при цьому концентрація водню стає нижче термодинамічного порогу для синтрофних бактерій:



Водень-використовуючі бактерії складають більшість з відомих науці метанових бактерій, у процесах анаеробної обробки субстрату за водневим шляхом утворюється всього близько 28 % метану. Основна кількість метану (72 %) утворюється з ацетату та з мурашиної кислоти:



Метанобактерії, які використовують ацетат, представлені двома родами: *Methanosarcina* і *Methanothrix*.

**Метаногени** – це група мікроорганізмів, які дуже відрізняються від усіх інших за своїми властивостями, фізіологією і біохімією. Метанові бактерії – це особлива група бактерій – архебактерії. Вони відрізняються дуже низькою швидкістю росту, надзвичайно чутливі до умов навколишнього середовища і вимагають перш за все відсутності в середовищі розчиненого кисню та інших окиснювачів.

Архебактерії відрізняються від інших прокаріотичних мікроорганізмів відсутністю муреїну в клітинній стінці; специфічним складом ліпідів, що не містять жирних кислот; специфічною нуклеотидної послідовністю 16S рРНК. У основі процесів їх життєдіяльності лежать реакції, що протікають за участю унікальних ферментів (так звані фактори F20, F30, кофермент M).

Усі метаногени – суворі анаероби; серед них зустрічаються як мезофільні, так і термофільні форми; гетеротрофи й автотрофи. Особливістю метаногенів є здатність активно розвиватись у тісному симбіозі з іншими групами мікроорганізмів, які забезпечують їх умовами і субстратами для утворення метану.

**Метаногенне оточення** – це складна екологічна система. Істотні відмінності в біохімічних основах життєдіяльності бактерій різних груп передбачають їх як за фізіологією, так і за параметрами росту. Так, при температурі 35°C час подвоєння біомаси

гідролітичних мікроорганізмів складає 10-20 годин, негідролітичних кислотогенів – 1-10 годин, синтрофних бактерій – біля 100 годин, довикористовуючих метанових бактерій – 15-100 годин.

У свою чергу, кожна функціональна група представлена декількома родами (видами) фізіологічно схожих мікроорганізмів, які розрізняються за кінетикою росту. Наприклад, біомаса ацетат-використовуючих метанових бактерій роду *Methanosarcina* подвоюється за 20-30 годин, тоді як роду *Methanothrix* – за 200-300 годин. Разом з тим бактерії роду *Methanothrix* здатні використовувати у п'ять разів більш низькі концентрації ацетату.

Перевага того чи іншого роду (виду) у складі функціональних груп метабіотичного оточення залежить від складу і концентрації субстрату, умов проведення процесу.

Таким чином процес анаеробного метанового бродіння – результат складних взаємовідносин між функціональними групами і видами мікроорганізмів і може бути зрозумілим тільки при аналізі всього оточення в цілому, а не тільки властивостей окремих видів.

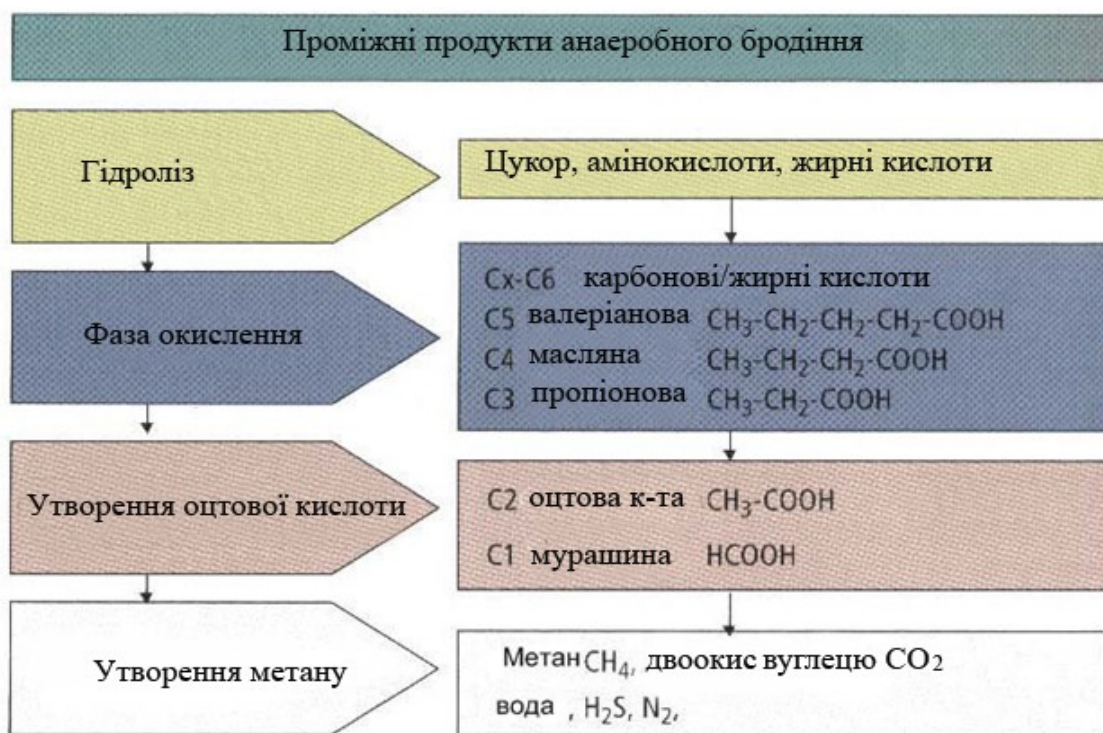


Рисунок 4.1 – Продукти анаеробного бродіння

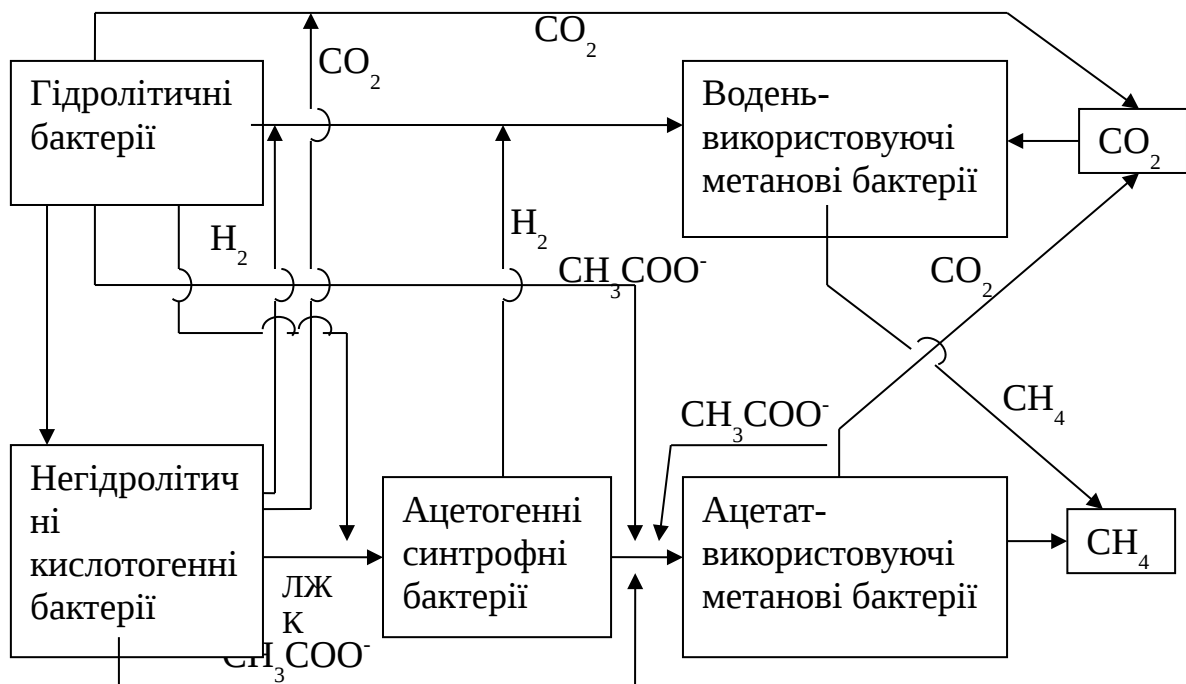


Рисунок. 4.2 – Схема конверсії складних органічних речовин анаеробним метаногеновим оточенням

У анаеробних біореакторах метанові бактерії можуть утворювати один з одним та іншими мікроорганізмами складні просторові структури: **флокули (пластівці)**, **біоплівку** на поверхні матеріалу твердої фази, **гранули**. При створенні подібних структур, розміром до декількох міліметрів, метанові бактерії значно втрачають здатність вільно пересуватися в об'ємі реактора, зберігаючи свою метаболічну активність. Це дозволяє також при короткотривалому перебуванні стічної води в біореакторі підтримувати в ньому дуже високу концентрацію біомаси (5-10 г/л). Явище утворення бактеріальних макроструктур покладено в основу роботи анаеробних біореакторів другого покоління.

Створення локальних висококонцентрованих бактеріальних утворень неминуче змінює властивості бактерій у порівнянні з дисперсними суспендованими культурами. Так, біоплівка (товщина її може досягати 1-4 мм) здатна в певних межах підтримувати у відповідній мікрзоні оптимальні умови середовища (рН), окисно-відновлювальний потенціал. Біореактори з біоплівкою стійкі до дії токсичних речовин.

Метаногенна плівка має досить крихку структуру. Це забезпечує вільне проникнення субстрату і відвід метаболітів при товщині біоплівки приблизно до 1мм. При більшій її товщині виникає проблема опору дифузії.

### Метаногенез і токсичність

Метаногенез піддається інгібувальному впливу деяких токсичних речовин, які наявні в субстратах у розчинному стані. Інгібіторами є проміжні продукти (ЛЖК і  $\text{H}_2$ ).

Вплив токсичних речовин може бути **бактеріостатичним** і **бактерицидним**. До гостротоксичних для метанового бродіння відносяться деякі синтетичні органічні речовини (в основному хлорорганіка), неорганічні сполуки (ціаніти, ціаніди), важкі метали та окиснювачі.

Один із токсикантів, який найчастіше зустрічається в стічних водах – амонійний Нітроген, що утворюється при розкладанні білків. Ступінь токсичності залежить від рН

середовища: при  $pH < 7,2$  переважає менш токсична форма – іон амонію  $NH_4^+$ , при лужному середовищі – більш токсична форма – вільний аміак  $NH_3$ .

Другий токсикант – сульфат іон  $SO_4^{2-}$ , який в анаеробних умовах трансформується в більш токсичні сульфіди.

Концентрація  $SO_4^{2-}$  і  $HS^-$  є функцією  $pH$  і вмісту важких металів (перш за все заліза), при цьому утворюються нетоксичні сульфіди, які нерозчинні у воді. Токсичність – поняття відносне. Необхідні біогенні речовини і мікроелементи ( $NH_4^+$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$  та інші) стають інгібіторами лише при високих концентраціях.

Токсичність залежить від ступеня адаптації мікроорганізмів до даного токсиканта. Якщо концентрація токсикантів зростає досить повільно, то бактерії можуть успішно мобілізувати свої метаболічні системи. Доведено, що більшість мікроорганізмів успішно адаптуються в анаеробних умовах до високих концентрацій ЛЖК (6-8 г/л і більше), аміачного Нітрогену (5 г/л і більше). Після адаптації мікроорганізми здатні також розкладати велику кількість токсичних органічних сполук: феноли, хлорфеноли, формальдегід та інші.

### 4.3. Типи біогазових установок

У процесі метаногенезу можна переробляти найрізноманітнішу сировину: рослинну біомасу (відходи деревини, непридатні до їжі рослинні рештки сільгоспкультур, відходи переробної промисловості, спеціально вирощені культури – водяний геоцинт, бурі водорості), рідкі відходи тваринницьких комплексів, промислові і побутові стоки, мул очисних споруд, сміття міських сміттєзвалищ тощо.

Устаткування для біометаногенезу з урахуванням їх об'ємів виробництва можна розділити на декілька категорій:

- 1) реактори для невеликих ферм сільської місцевості (1-20 м<sup>3</sup>);
- 2) реактори для ферм розвинених країн (50-500 м<sup>3</sup>);
- 3) реактори для переробки промислових стоків спиртової і цукрової промисловості (500-10000 м<sup>3</sup>);
- 4) реактори для переробки твердого сміття міських сміттєзвалищ (1-20х10<sup>6</sup>).

**Метанотенки**, які будують з металу або із залізобетону, можуть мати різноманітну форму (кубічну або циліндричну).

Серед діючих у розвинених країнах установок існують як середні, так і великі за об'ємами апарати (**дайджестери**), що забезпечені устаткуванням для очистки біогазу, електрогенераторами й очищувачами води. Такі установки можуть входити до складу комплексів з промисловими підприємствами (цукропереробними, спиртовими, молокозаводами), каналізаційними станціями, великими фермами. У разі, якщо головною метою процесу є утилізація відходів, до складу установок повинен входити блок для фракціонування та відділення великих твердих часток.

Метанотенки можуть працювати в режимі повного перемішування, повного заміщення, як анаеробні біофільтри або реактори, а також в режимі контактних процесів. Найпростішою конструкцією метантенку є звичайна бродильна яма в ґрунті з фіксованим об'ємом газу.

Метантенк представляє собою герметичну ємність, частково занурену в ґрунт для теплоізоляції, яка має устаткування для дозованої подачі й підігріву сировини, а також **газгольдер** – ємність для збирання газу.

Для невеликої установки найбільш просте рішення – використовувати вивільнені паливні цистерни. Схема біореактора на базі стандартної паливної цистерни об'ємом 50 м<sup>3</sup> показана на рисунку 4.5. Внутрішні перегородки можуть бути з металу або цегли; їх основна функція – направляти потік гною і подовжити шлях його всередині реактора,

утворюючи систему сполучених посудин. На схемі перегородки показані умовно; їх кількість та розміщення залежать від властивостей гною: плинності, кількості підстилки.

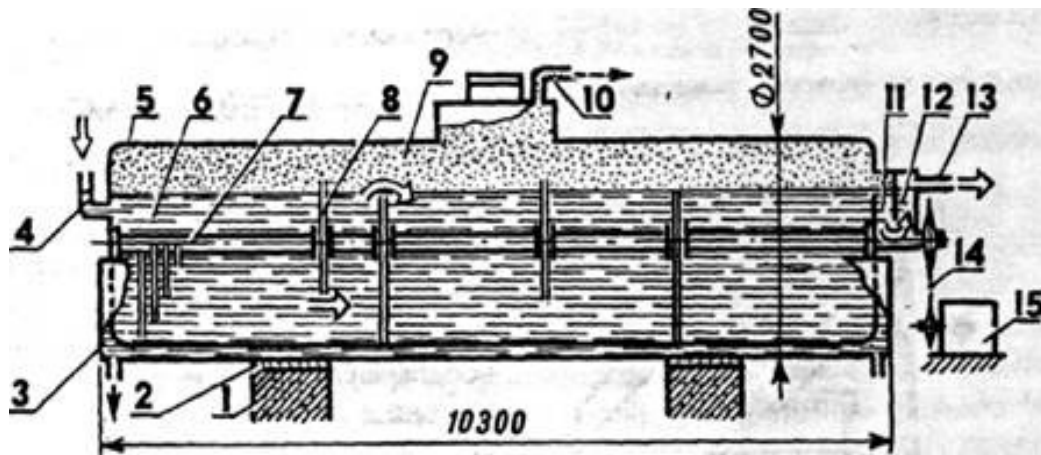


Рисунок 4.3 – Біореактор експериментальної газової станції:  
 1 – бетонна підставка ( 2 шт.); 2 – теплоізоляційна «подушка» (2 шт.);  
 3 – обігрівач («теплова сорочка» базової залізничної нафтоцистерни);  
 4 – патрубок прийому сировини; 5 – корпус біореактора (цистерна);  
 6 – сировина (рідкий гній); 7 – вал мішалки з лопатями; 8 – шлюзова перегородка (4 шт.);  
 9 – біогаз; 10 – газопровідний патрубок; 11 – перероблена біомаса; 12 – сифонний затвор;  
 13 – патрубок трубопроводу переробленої біомаси; 14 – ціпова передача; 15 – мотор-редуктор (220 В, 3кВт)

Дуже важливим у конструкції метантенку є забезпечення відповідного рівня перемішування досить гетерогенного вмісту апарату. Тому перемішування при метаногенезі повинно забезпечувати гомогенізацію збродженої маси, запобігати осіданню твердих часток і утворенню плаваючої кірки.

Залежно від типу висхідного матеріалу, що зброджується в метантенку, інтенсивність процесу, повнота переробки й склад біогазу суттєво варіюють. При переробці рідких відходів тваринницьких ферм співвідношення між твердими компонентами і водною фракцією повинно складати приблизно 1:1 (концентрація твердих речовин 8-11%). Суміш матеріалу засівають ацетогенними і метаногенними мікроорганізмами зі збродженої маси від попереднього циклу або з іншого метантенка.

Процес метаногенезу відбувається в широкому діапазоні температур:

від 0 до 20 °С – психрофільний режим;

від 20 до 40 °С – мезофільний режим

від 40 до 60°С – термофільний режим.

Підвищення температури прискорює процес метаногенезу в 2-3 рази порівняно з мезофільними умовами

Суттєвий вплив на швидкість метаногенезу має рН поживного середовища. Встановлено, що інтенсивне утворення метану відбувається при рН = 6,8-7,4, при рН нижче 6,4 і вище 7,8 знижується метаболічна активність оточення метанових бактерій, а при рН=9 – припиняється.

Висока швидкість утворення біогазу досягається також при концентрації в середовищі летючих карбонових кислот у межах 5–500 мг/л, при відхиленні в той чи інший бік швидкість метаногенезу уповільнюється.



Рідкий або твердий шлам, що утворюються в процесі метаногенезу, вивозиться на поля і використовується в якості добрива. За умов метаногенерації патогенні ентеробактерії, ентеровіруси, паразитарні організми практично повністю гинуть. Твердий залишок (активний мул) може бути використаний в якості сировини для отримання біологічно активних речовин у процесах хімічного гідролізу або мікробіологічного синтезу.

З урахуванням конструктивних особливостей, які визначають ефективність і культуру виробництва, виділяють чотири рівня біогазових установок (БГУ).

1. *Найбільш простий технічний рівень* – зброджувана біомаса не підігрівається й не перемішується – реалізується в країнах зі спекотним кліматом (Африка, Південно-Східна Азія, Південна і Центральна Америка).

Приклад: БГУ «Габор» (КНР), у якій метантенк і газгольдер заглиблені в землю й сполучені між собою. Біомаса зброджується протягом 40 днів. Корисний об'єм камери 10 м<sup>3</sup>. Вихід біогазу 0,3-0,5 м<sup>3</sup> на 1 м<sup>3</sup> об'єму камери бродіння. У Китаї їх 7,2 млн. Біогаз цих установок використовується в побутових умовах (освітлення, приготування їжі). На БГУ великої потужності, кількість яких 35 тис., одержують електроенергію.

В Індії широко розповсюджені БГУ схожі на «Габор», вони призначені для задоволення побутових енергетичних потреб однієї сім'ї. Їх продуктивність – близько 1,72 м<sup>3</sup> біогазу на добу. Таких установок близько 100 тис. Планується довести їх кількість до 560 тис.

2. *Другий рівень БГУ* – субстрат підігрівають, перед завантаженням субстрат подрібнюють, перемішують.

Установки такого типу є моделлю «Дормштадт». У них з 1 м<sup>3</sup> об'єму метантанку отримують у 4 рази більше біогазу ніж на моделі «Габор». Перші БГУ такого типу мали конструктивні недоробки:

а) недостатня тепло- і гідроізоляція, викликана заглибленням в землю метантанка, можливість утворення застійних зон при перемішуванні біомаси, яка переробляється;

б) потреба в додаткових енергетичних витратах на руйнування поверхневої кірки.

3. *Біогазова установка (БГУ) з переробки біомаси в біогаз*, яка складається із ємності для збору й зберігання гною, ферментера (реактор, метантенк, камера бродіння), резервуару для одержання біогазу (газгольдер, газозбірник), нагрівального й перемішувального пристрою, контрольно-вимірювальної апаратури та засобів автоматизації.

4. *У біогазових установках «Липп», «Райки», «МББ», «Вима», вироблених у Німеччині*, були внесені конструктивні зміни (створені двокамерні метантенки й двокамерний газгольдер), що дозволило впровадити двохступеневий процес зброджування біомаси.

У першій камері, куди надходить подріблена й підігріта біомаса, відбувається утворення органічних кислот, тут підтримується температура 35°C.

У другій камері, яка розташована в центрі метантанку відбувається термофільний процес метаногенезу. При цьому 1 м<sup>3</sup> об'єму метантанку дає 7 м<sup>3</sup> біогазу.

Спеціалісти Німеччини вважають, що БГУ можуть бути рентабельні тільки за умови, якщо на 1 людину приходить більше 1 м<sup>3</sup> біогазу. Біогазові установки «Липп», «Райки», «МББ», «Вима» дають 1,2-1,4 м<sup>3</sup> біогазу. У США діють установки з добовим виходом біогазу 43-73 тис. м<sup>3</sup>.

#### 4.4. Перспективи використання біогазу в Україні

За оцінками аналітиків, ринок біогазу продовжить стрімко розвиватися, заміщуючи інші енергоносії в загальній структурі енергетичного балансу країн.

Таблиця 4.2

##### Потенціал виробництва біогазу в ряді галузей АПК України

Вид діяльності	Загальне число підприємств	Загальний обсяг відходів, тис. т	Потенціал виробництва біогазу, млн. м <sup>3</sup> / рік
Всього по Україні	11667	39727	9543
Цукрові заводи	60	23263,5	975,5
Пивоварні	51	1016,8	121,8
Спиртові заводи	58	2705,0	116,8
Ферми ВРХ	5079	15431,6	385,8
Свинокомплекси	5634	5656,7	160,3
Птахофабрики	785	4721,5	378

В Україні є поодинокі приклади впровадження біогазових технологій. Перша установка була побудована 1993 року на свинофермі ПАТ «Запоріжсталь». Наступними стали компанії «Агро-овен», «Еліта», «Українська молочна компанія».

На цукровому заводі Рокитнянського району Київської області працює новий завод із переробки жому, кукурудзяного силосу, сорго на електричну та теплову енергію. Енергію постачають до навколишніх населених пунктів.

Таблиця 4.3

##### Діючі біогазові установки в Україні

Підприємство	Рік запуску	Види сировини	Електрична потужність, кВт	Постачальник технології
Свиноферма Комбінату «Запоріжсталь», Запоріжжя	1993	Свинячий гній		Bigadan (Данія)
Свиноферма корпорації Агро-Овен, Оленівка Дніпропетр. обл.	2003	Свинячий гній, органічні відходи	180	BTG (Голландія)
С/г компанія «Еліта», Терезине, Київська обл.	2009	Гній	250	LIPP, (Німеччина)
Ферма ВРХ «УМК», с. В.Круполь, Київська обл.	2009	Гній ВРХ, силос кукурудзи	625 + 330	Zorg, Україна, Німеччина
Коньячний завод м. Вознесенськ, Миколаївська обл.	2010	Силос кукурудзи	125	Zorg, Україна, Німеччина

Біогазова установка на комбінаті ПАТ «Запоріжсталь» була впроваджена для очищення стоків та зменшення споживання енергії. Теплова утилізація біогазу реалізується на власні потреби свиногомплексу комбінату.

На свиногомплексі корпорації «Агро-Овен» електроенергія, що виробляється у біогазовій установці, споживається на власні потреби установки та підприємства, при цьому когенераційна установка не підключена до загальної електромережі.

Експлуатація БГУ компанії «Еліта» була призупинена в 2011 році через нерентабельність роботи за відсутності «зеленого» тарифу. Єдиною біогазовою установкою, підключеною до мережі, є БГУ на фермі «Української молочної компанії».

У вересні 2011 року почалося будівництво біогазової установки на базі свиногомплексу в селі Копанки Івано-Франківської області. У 2012 році «Миронівський хлібопродукт» почав будувати біогазову установку на птахофабриці «Оріль-лідер» у Дніпропетровській області. Планувалось реалізувати амбітну біогазову програму з тридцяти БГУ компанією «Укрлендфармінг». Агропромхолдинг «Астарта-Київ» у 2012 році анонсував будівництво установки на Глобинському цукровому заводі (Полтавська область) за рахунок кредиту ЄБРР.

Таким чином, впровадження біогазових технологій залишається справою флагманів АПК, що мають власні ресурси для роботи в умовах слабкого фінансового ринку й відсутності інвестицій.

#### ***Питання для самоконтролю:***

1. Що таке біометаногенез?
2. Що собою являє процес метанового бродіння?
3. Від яких факторів залежить хімічний склад біогазу?
4. Які біохімічні основи процесів метаногенезу?
5. Які мікроорганізми приймають участь у процесах метаногенезу?
6. Яку роль у процесах метаногенезу виконують бактерії гідролітичної групи?
7. Назвіть фізіолого-культуральні особливості й функціональне значення метаногенів у процесах біометаногенезу.
8. Які перспективи використання біогазу в Україні?
9. Які типи біогазових установок використовують для отримання біогазу?