

6 БІОТЕХНОЛОГІЯ ОТРИМАННЯ ЕНЕРГОНОСІВ ІЗ ФІТОМАСИ

1. Біотехнологія альтернативних видів палива – біогазу.
2. Технологічні фактори метаногенезу.
3. Методи отримання біогазу. Перспективи використання біогазових установок в Україні.

1. Біотехнологія альтернативних видів палива – біогазу.

Необхідність запровадження в біотехнологічну практику альтернативних (від лат. *alter* – інший) відновлюваних джерел енергії пояснюється вичерпністю традиційних енергетичних ресурсів, а також це пов'язується із великою кількістю екологічних проблем, що виникають у процесі використання традиційних енергетичних природних джерел. Ученими підраховано, що при збереженні сучасних темпів видобутку й використання корисних копалин їх вистачить на 30–40 років. Інтенсивний видобуток і застосування корисних копалин (вугілля, нафти, сланцевого газу, торфу тощо) призводить до того, що в навколишньому середовищі підвищується рівень концентрації токсичних елементів.

У багатьох країнах світу відзначено активний розвиток програм виробництва й використання біопалива з рослинної сировини.

Згідно з директивою Євросоюзу до 2010 року частка біопалива в загальному обсязі нафтопродуктів повинна становити 5,7%, а в 2020-му заплановано довести цей показник до 10%. У 2030 році ЄС планує забезпечувати чверть своїх потреб у пальному для дорожнього транспорту за рахунок чистих й ефективних видів біологічного палива.

Більшість сучасних екологічних проблем виникає через локальне нагромадження органічних відходів, кількість яких значно перевищує природний потенціал їхньої біодеградації. Одним із шляхів утилізації органічних відходів є біогазова технологія, яка дає змогу разом із розв'язанням екологічної проблеми отримувати високоефективні органічні добрива та енергію (біогаз).

Процеси утворення біогазу відомі дуже давно, вони відбувалися навіть тоді, коли наша атмосфера мала зовсім інший склад. Саме метанові бактерії належать до найдавніших і найбільш адаптованих до середовища живих істот на Землі. Руйнування органічних речовин за участю метаногенів (коли відбувається гниття) в природі дуже поширене: це характерно для лесових відкладень на дні морів, річок та озер («блукаючі вогники»). Вони спостерігаються на звалищах органічних відходів, у шарах ґрунту, куди не проникає кисень, у купах гною, у лагунах, відстійниках, на ділянках вирощування рослин і в екскрементах жуйних парнокопитних тварин (із цих відходів можна отримувати близько 200 л метану на добу).

Україна має багату сировинну базу (відновні ресурси) для цього виробництва (відходи рослинництва, тваринництва й птахівництва), що дозволяє щорічно отримувати 20–50 млн т умовного палива.

Біотехнологічний процес утворення біогазу являє собою розкладання органічної маси різними групами бактерій, у тому числі й метановими. Бактеріальні клітини цих мікроорганізмів здатні ферментативно розкласти складні органічні субстрати, які містять переважно вуглеводи, білки, жири й розчинені у воді неорганічні сполуки, на їх первинні складові – вуглекислий газ та водний розчин мінеральних речовин.

Метанові бактерії, або метаногени, адаптовані до існування в різних живильних середовищах, за морфологічною будовою поділяються таким чином:

- 1) паличкоподібні (*Methanobacterium*),
- 2) кокоподібні (*Methanococcus*);
- 3) сарциноподібні (*Methanosarcina*);
- 4) спірилоподібні (*Methanospirillum*).

Відомо близько 10 видів бактерій *Methanococcus* і *Methanobacterium* (розмір клітин деяких менший 0,001 мм). Метаногени відрізняються від інших бактерій особливостями метаболізму й складом клітинних структур. Їх відносять до царства архебактерій. Відсутність у клітинній стінці пептидогліканового скелету робить метаногенів нечутливими до дії антибіотиків, які пригнічують синтез білка, наприклад, в організмі еубактерій. Усі метанові бактерії належать до анаеробів. Отже, природний процес розкладання органічних речовин субстрату за їх участю можливий лише без доступу кисню.

Природна мікрофлора гною складається в основному із синтрофних і метанотвірних бактерій *Methanobacterium formicicum*, *Methanospirillum hungati*. Помічено, що певну стимуляцію процесу деградації органічної маси відходів дає додавання до гною спеціальних видів бактерій (ацетогенних і метаногенних) й перешарування їх незначною кількістю ґрунту, що інтенсифікує процес більш, ніж у 2 рази). Основним енерговмісним компонентом біогазу є метан.

У природних екосистемах метаногенами виступають представники останньої ланки трофічного ланцюга. Так, на болотах, в озерах тощо за участю активних ферментних систем метанових бактерій спостерігається деградація залишкової органічної маси (гниття). Звільнена в цьому анаеробному процесі енергія речовин перетворюється на молекули метану.

Існує можливість добувати біогаз і в аеробних умовах з будь-якого органічного субстрату. Протягом тривалого процесу бактерії здатні руйнувати навіть дуже міцний матеріал (наприклад, деревинні лігніфіковані частини рослин). Такі біохімічні особливості бактерій спеціально використовуються для очищення стічних вод. Якщо в такому середовищі наявний кисень, то органічні речовини розкладаються іншими бактеріями і звільнена енергія виділяється у вигляді тепла, при цьому аеробний процес називається компостуванням.

Анаеробний процес утворення метану називають метаногенезом. Унаслідок метаногенезу утворюється газова суміш, яка називається біогазом. Останній складається з таких компонентів: метан (CH_4) – 50–75%, вуглекислий газ (CO_2) – до 25–30%, сірководень (H_2S) – 1%, а також із незначної кількості азоту (N_2), аміаку (NH_3), кисню (O_2), водню (H_2) та закису вуглецю (CO).

Суттєва перевага енергетичного використання біогазу порівняно із спалюванням природного, зрідженого газу, нафти й вугілля – це його невичерпність у природному балансі.

Процес споживання рослинами для фотосинтезу впродовж всього вегетаційного періоду енергетичної речовини – діоксиду вуглецю, виділення його в атмосферу й фіксування в межах природного кругообігу вуглецю схематично показано на рис. 1.

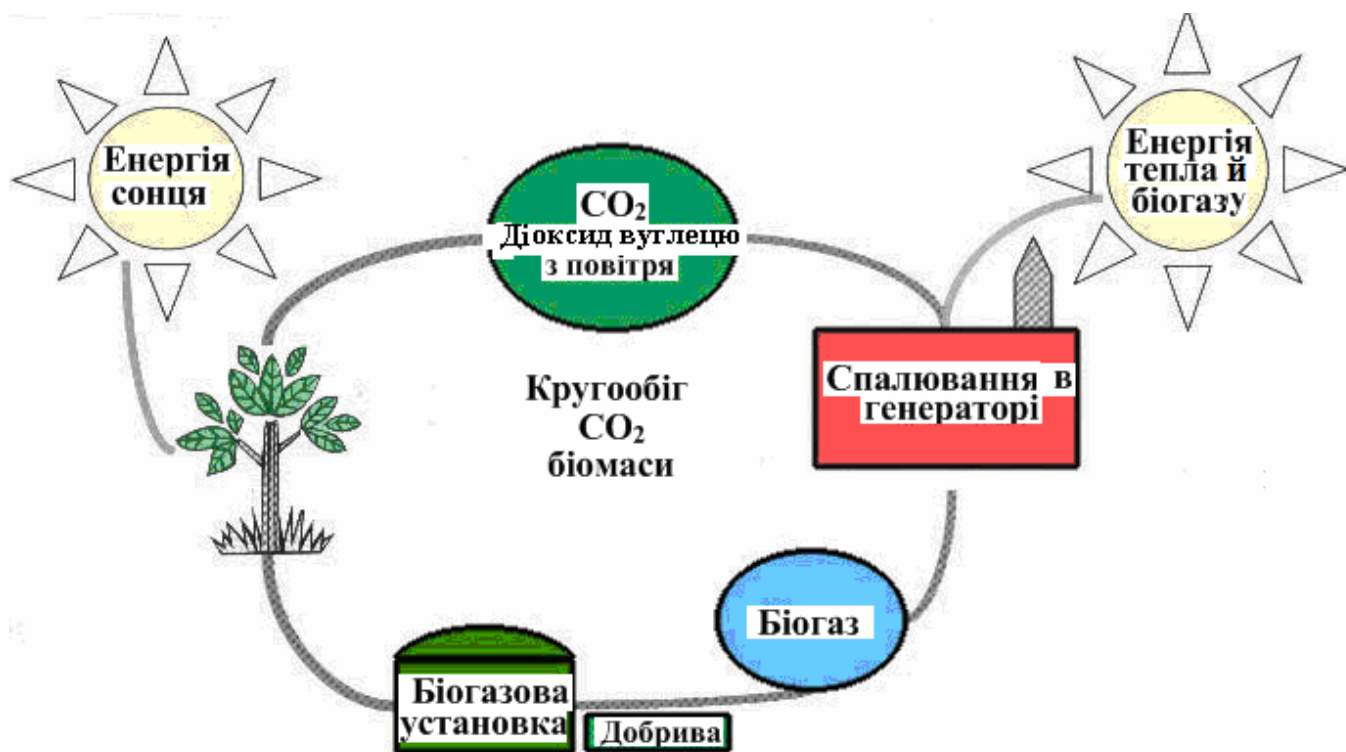


Рис. 1 – Схема циклічного процесу утворення й використання різних видів біоенергії.

Такий циклічний процес міграції CO_2 дозволяє підтримувати його певну концентрацію в атмосферному повітрі, чого не можна сказати про використання твердого палива для різних потреб.

Горючий газ (метан), маючи безсумнівні енергетичні та екологічні переваги, проте може призводити до негативних наслідків, зокрема посилювати в атмосфері парниковий ефект. Це відбувається через його повільне окиснення й утворення під впливом сонячного проміння, озону і так званих вільних радикалів, діоксиду вуглецю й води. Парниковий ефект, у свою чергу, зумовлює збільшення площі озонової дірки в стратосфері. До того ж кожен газовий факел, за допомогою якого в аварійних випадках спалюють метан з утворенням CO_2 , також робить свій небажаний внесок у порушення рівноважного стану природного середовища.

2. Технологічні фактори метаногенезу.

Біогаз – це продукт обміну речовин в організмах багатьох груп бактерій. Відомо, що в метаногенезі, крім метанових бактерій, беруть участь інші групи мікроорганізмів, а саме:

1. **бактерії, що перетворюють продукти деструкції целюлози** в янтарну кислоту (сукцинат), пропіонову (пропіонат), масляну (бутират), молочну (лактат), оцтову (ацетат) кислоти, спирти, CO₂ та H₂;
2. **ацетогенні бактерії**, які зброджують утворені первинні метаболіти, синтезуючи ацетат, форміат (мурашину кислоту), CO₂ та H₂.

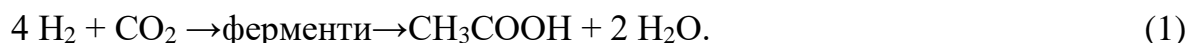
Утворені сполуки можуть входити в живильні субстрати для метаногенів.

Умовно виділяють чотири стадії бактеріального метаболічного руйнування органічних субстратів з отриманням біогазу.

I стадія – бактерії-аероби ферментативно перебудовують високомолекулярні сполуки, що містяться в біомасі відходів (білки, полісахариди, в основному целюлозу й ліпіди) у низькомолекулярні водорозчинні зброджувані метаболіти: цукри, амінокислоти, жирні кислоти. Процес гідролізу полімерних молекул органічного субстрату під дією екзоферментів бактерій (амілаз, протеаз, ліпаз) проходить повільно, що зумовлено рівнем кислотності середовища (оптимальний рН = 4,5–6) й тривалістю перебування перших у ферментаторі.

II стадія – до розщеплення залучаються кислотоутворювальні бактерії, в середину клітин яких проникають окремі молекули, де вони продовжують ферментативно змінюватись. З них в анаеробних умовах, коли рН = 6–7,5, утворюються, у першу чергу, нестійкі карбонові кислоти: оцтова, мурашина, молочна, янтарна, масляна, пропіонова, низькомолекулярні спирти (етанол) і гази – діоксид вуглецю, водень, сірководень та аміак. При цьому формуються необхідні умови для активації метанових бактерій (рівень рН знижується). Цей етап називають фазою біологічного окиснення.

III стадія – проходить перетворення органічних кислот (бурштинової, мурашиної, масляної, молочної, пропіонової) на продукти, що є попередниками метану, а саме: оцтову кислоту, діоксид вуглецю й водень. У цьому процесі беруть участь кислотоутворювальні (ацетогенні) групи бактерій, до яких належать *Clostridium aceticum*, *Clostridium thermoaceticum*, *Acetobacterium woodii*. Отже, в середовищі, де утворюється метан, обов'язкова наявність оцтової кислоти відповідно до такого рівняння:



В організмі метанових бактерій, подібно до ацетогенів, синтез у клітинних структурах ацетату з CO₂ і H₂ відбувається через етап утворення метаболітів ацетил-КоА та пірувату.

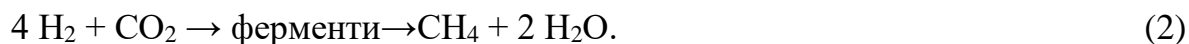
IV стадія (останній етап) – продукти життєдіяльності метанових бактерій (*Methanobacterium formicicum*, *Methanospirillum hungati*) ацетат, діоксид вуглецю й водень переважно перетворюються в метан (до того ж, саме на цьому етапі синтезується 90% усього метану).

Слід підкреслити, що III стадія біосинтезу оцтової кислоти відіграє найбільш відповідальну роль у швидкості процесу метаноутворення. Оптимальне значення

показника рН при цьому підтримується на рівні 7 (його коливання можуть перебувати в діапазоні 6,6–8).

Основним джерелом енергії для метанових бактерій є саме молекула H_2 (донор водню) й діоксид вуглецю, який бере участь у біосинтезі клітинних речовин названих видів бактерій.

Утворення метану відбувається за спрощеною відновною біокаталітичною реакцією, а саме:



Ланцюговий механізм анаеробного процесу метаногенезу з використанням органічної сировини показано на схемі (рис. 2).

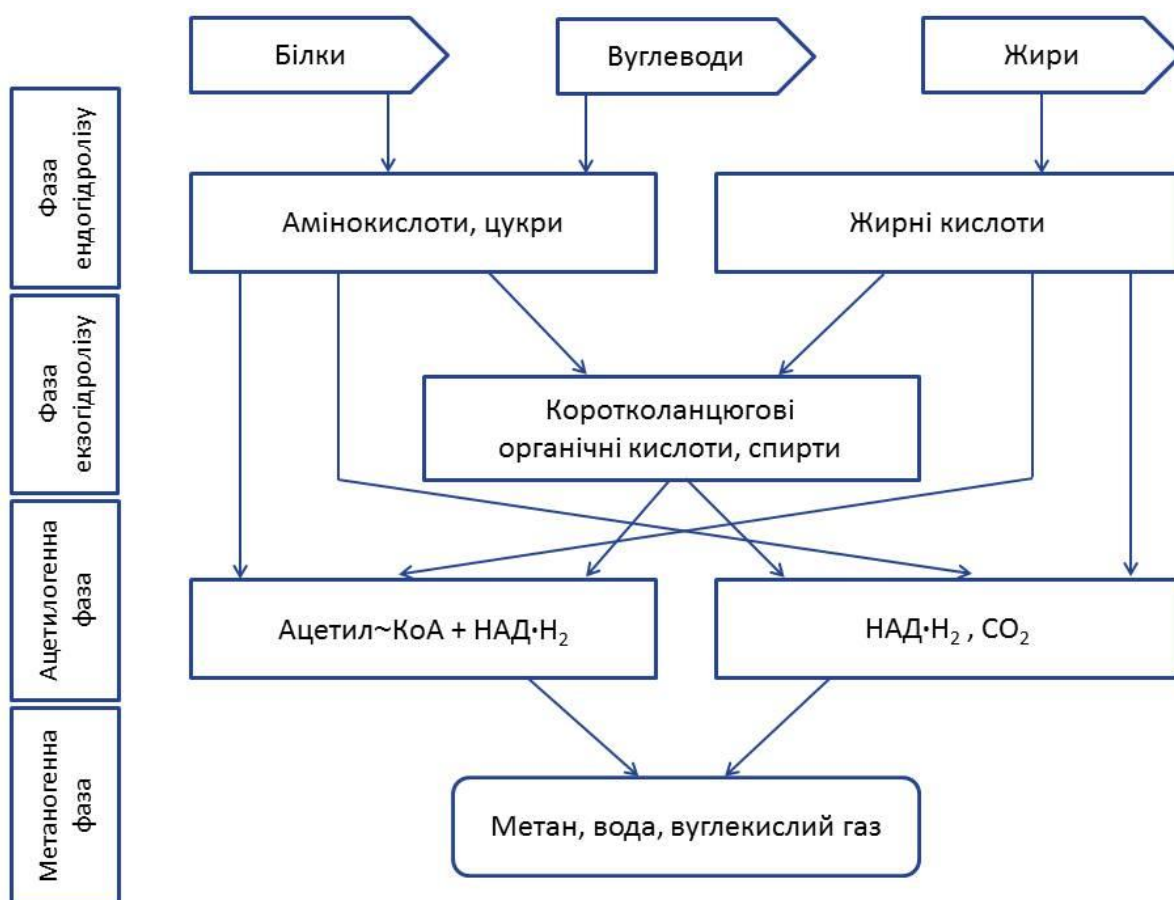


Рис. 2 – Схема поетапного ланцюгового процесу утворення біогазу з органічної маси.

Біохімічне перетворення водню й діоксиду вуглецю на метан – складний багатоступеневий процес за участю багатьох структурних компонентів метанових бактерій, серед яких спеціалізовані ферменти, коферменти й активні простетичні (небілкові) групи.

Основним чинником розщеплення органічного матеріалу на окремі складові компоненти й перетворення їх у метан (унаслідок метанового бродіння твердих субстратів) є водне середовище, оскільки більшість бактерій здатні споживати речовини тільки в розчиненій формі.

У процесі метаболічного перетворення органічних речовин продукти ферментативних реакцій однієї групи бактерій виступають поживними речовинами для наступної. Причому різні види бактерій утилізують органічні сполуки з різною швидкістю. Бактерії-аероби при достатньому живленні подвоюють свою масу впродовж 20 хвилин – 10 годин (час генерації аеробів).

На відміну від них, анаеробні бактерії менш активні (наприклад, стадія утворення оцтової кислоти за їх участю проходить набагато повільніше).

Отже, метаногенам для подвоєння своєї біомаси та розкладання поживних речовин необхідно багато часу. У першу чергу, дуже повільно здійснюють деструктивний процес чисті метанові культури (3–5 діб). Найшвидше перетворюють органічні сполуки кислотоутворювальні бактерії (від кількох годин до 2 днів). У сприятливих умовах вони здатні встановлювати динамічну рівновагу між фазами розщеплення й надходження поживних речовин. На стадії метаногенезу, коли через підвищення активності кислотоутворювальних бактерій відбувається накопичення органічних кислот, може різко знизитись рівень рН, що призведе до інгібування інших видів бактерій, зокрема метаногенів.

Чим складніша структура компонентів субстрату, тим більш тривалим буде їх біохімічне розщеплення. Так, низькомолекулярні вуглеводи й амілоза крохмалю, яким властива лінійна структура, ферментативно руйнуються дуже швидко. Полісахариди типу кристалічної целюлози й геміцелюлоз, що мають складну розгалужену структуру, перебудовуються поволі. Ще повільніше бактерії розкладають лігнін, бо він стійкий навіть до сильних кислот.

Швидкість розщеплення субстратів виявляє прямий вплив на тривалість передбаченого технологією періоду бродіння, що зумовлено динамікою анаеробного руйнування органічних речовин субстрату.

Звичайно, що процес утворення біогазу має бути рівномірним, а значить сучасні технології повинні забезпечити поступове розкладання субстрату (з цією метою він протягом доби кілька разів невеликими порціями подається в біореактор). За таких умов виділена енергія поступово перетворюється на теплову.

Якість біогазу залежить від вмісту в ньому метану або від співвідношення між першим (CH_4) і діоксидом вуглецю (CO_2), який розчиняє біогаз і спричиняє його втрати під час зберігання.

Забезпечення високої концентрації метану в біогазовій суміші відбувається завдяки таким критеріям:

- 1) вибір оптимальної схеми проведення процесу одноступеневої або двоступеневої ферментації (у двоступеневих установках біогаз містить до 80% метану);

- 2) дотримання кількісного та якісного складу поживних речовин субстрату (висока концентрація вуглеводів, протеїнів і жирів дає більш високий вихід метану; наприклад, виділений із субстратів, багатих на кукурудзу, біогаз містить в середньому 53% метану);
- 3) підтримання температурного режиму в субстраті (якщо, наприклад, температура занадто висока, то у ферментаторі вихід метану нижчий через різну розчинність компонентів та кількість утворення CO₂; причому чим більша кількість CO₂ переходить у газоподібну форму, тим меншим буде вміст CH₄ в біогазі);
- 4) обмеження кількості сірководню (H₂S) як дуже агресивного компонента, що викликає корозію арматури, газових лічильників, пальників і двигунів, а відтак може виникнути потреба в очищенні біогазу від сірки, що сприяє також усуненню його неприємного запаху.

Кількість аміаку, елементарного азоту, водню й кисню в біогазовій суміші може становити 6–8%.

Належить враховувати також, що газ, який надходить із біогазової установки, насичений водяною парою. Його сушіння способом конденсації сприяє збагаченню цього продукту. До цього ж за допомогою конденсату вдається сепарувати велику кількість аміаку, що міститься в біогазі й може викликати значні пошкодження двигунів та підшипників з кольорових металів.

3. Методи отримання біогазу. Перспективи використання біогазових установок в Україні.

Конструктивно-технологічні параметри й технологічні схеми біогазових установок підбирають з огляду на об'єми переробки та властивості зброджуваного матеріалу, враховуючи тепловий режим, способи завантаження субстрату, інокуляту й ряд інших факторів.

Основними елементами обладнання для проведення метаногенезу є метантенк, або герметично закритий резервуар, з теплообмінником (теплоносієм в ньому виступає вода, підігріта до 50–60°C), пристрої для введення поживних речовин і бактерій, а також відведення утвореного газоподібного продукту.

У деяких країнах метантенки конструктивно являють собою водонепроникні циліндричні цистерни, які називають дайджестерами (у них температура зброджування становить 30–37°C, рН субстрату дорівнює 7). Переробка органічного матеріалу триває 2–4 тижні. Над дайджестером встановлюють газгольдер, тобто сталевий циліндричний контейнер (або нейлоновий купол), його призначено для збору біогазу.

У приватних господарствах, на дачах можна будувати спеціальні дайджестери з цегли, цементу, глини й обкладати їх товстим шаром ґрунту, що сприяє кращому їх нагріванню та ізоляції від нічного охолодження.

Функціональну схему отримання біогазу з органічних відходів сільського господарства подано на рис. 3.

Для інтенсифікації метаногенезу органічний субстрат в таких установках додатково засівають ацетогенними й метаногенними бактеріями, серед яких розрізняють

мезофіли (витримують температуру 30–40°C); термофіли, адаптовані до середовищ з температурою 50–60°C; психрофіли – до 20°C. Оптимальне масове співвідношення елементів С:N в субстраті, за якого здійснюється метаноутворення, перебуває в діапазоні 11–16:1. Причому підвищення вмісту азоту призводить до виділення аміаку в середовище та його залуговування. Щоб цього уникнути, у відходи, які містять багато азоту, додають рослинні матеріали вуглеводного складу (подрібнену соломку, жом цукрової тростини, відходи цукрового буряку та ін.).

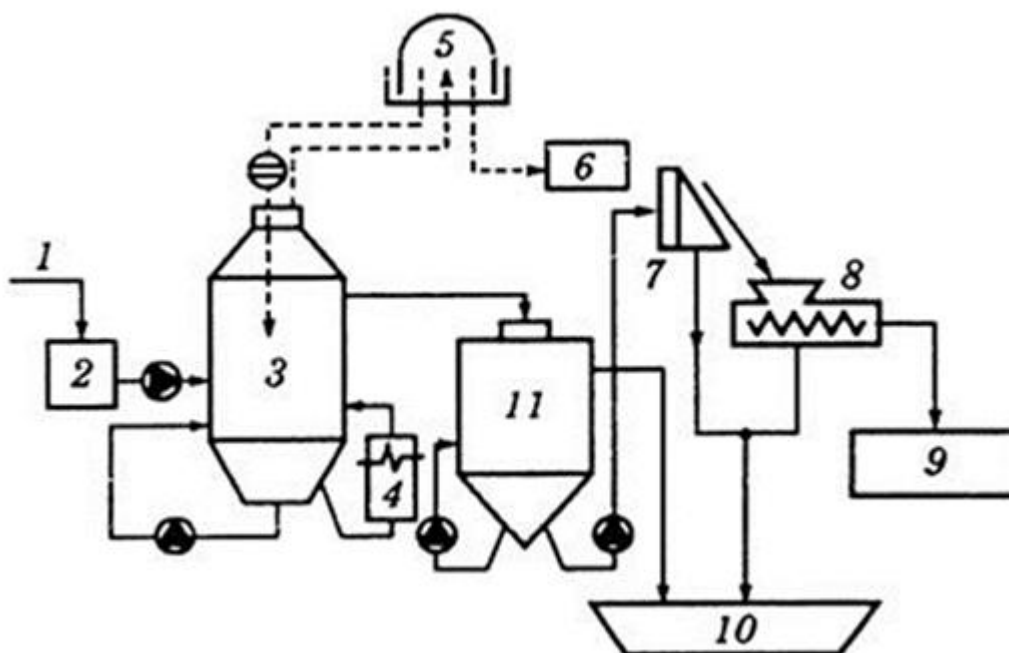


Рис. 3 – Технологічна схема метанового зброджування гною та загальний вигляд фермських біогазових установок: 1 – трубопровід подавання гною з ферми; 2 – приймальний резервуар; 3 – метантенк; 4 – котел-теплообмінник; 5 – газгольдер; 6 – котельня; 7 – дугове сито; 8 – прес; 9 – склад твердої фракції; 10 – ставок-накопичувач рідкої фракції; 11 – відстійник.

Запровадження в сільськогосподарське виробництво інтенсивних технологій зумовило появу гострої проблеми забезпечення фермерських господарств енергетичними ресурсами. Особливо це актуально для негазифікованих районів. Так, в Україні більш ніж два мільйони сіл не забезпечені підведеним природним газом. Інший бік проблеми – екологічний. Останнім часом спостерігається тенденція до все більшого забруднення довкілля відходами тваринництва й птахівництва, що пов'язано з неможливістю належним чином утилізувати й переробляти великі об'єми органічного гною на фермерських господарствах. Саме накопичення цих відходів забруднює атмосферу, ґрунти й воду насамперед сільських територій. У деяких місцевостях кількість таких відходів настільки велика, що виникає загроза екологічної катастрофи.

Зараз у тваринництві застосовуються різні технологічні схеми видалення й біоконверсії відходів, але всі вони пов'язані з тривалим зберіганням останніх або

вивезенням їх на поля без належної обробки. У зв'язку з цим поблизу тваринницьких комплексів утворюються зони підвищеної концентрації поллютантів. Особливо небезпечними визнано рідкі стоки, що безконтрольно потрапляють у ґрунтові води, розповсюджуються по водоносних горизонтах, забруднюючи їх. У свою чергу вивезення відходів на поля без попередньої обробки призводить до засмічення та закислення ґрунтів, порушення їх структури. Крім того, необроблений гній містить не тільки токсичні сполуки, а й збудники різних хвороб (патогенну мікрофлору). Зрозуміло, що вирощування сільськогосподарських культур на забруднених ґрунтах і споживання води з колодязів і водоймищ, куди потрапляють стоки, може викликати зростання захворюваності людей і тварин.

Для переробки органічних відходів, що утворюються в агроценозах, можливо й доцільно використовувати біогазову установку ЕКОГАЗ. Цей апарат розраховано на біохімічну переробку всіх видів органічних відходів рослинного й тваринного походження, які накопичуються у вигляді гною великої та дрібної рогатої худоби, свиней, птахів, хутрових звірів; різного роду екскрементів; рослинних залишків – бадилля, трав'янистих рослин, соломи, стебел і качанів кукурудзи, соняшнику та ін.; твердих побутових целюлозовмісних залишків – паперу, картону, текстилю, харчових відходів тощо.

Після переробки рідкого гною з вологістю 88–98%, на установці ЕКОГАЗ утворюється три первинних види продуктів: біогаз, рідкі й тверді добрива. Перший продукт аналогічний природному газу. Його можна використовувати як джерело електричної і теплової енергії в системах опалення будинків та приміщень для тварин; у побутових газових плитах; в спеціальному генераторі для виробництва електроенергії (напругою 220–380 В).

Вироблений в установці ЕКОГАЗ продукт має такий склад: 60–70% метану, 30–35% вуглекислого газу, 2–3% азоту, 1–2% водню і до 1% кисню, сліди сірководню. Теплоота його згоряння становить майже 20–22 МДж/м³, енергія 1 м³ такого біогазу еквівалентна 0,6 м³ природного газу, 0,74 л нафти, 0,65 л дизельного палива, 0,48 л бензину, 3,5 кг дров, 12 кг брикетів з гною. Спалюючи 1 м³ біогазу, можна отримати до 2,5–3 кВт/год електричної та 4–5 кВт теплової енергії (при цьому до 30% газового продукту використовується на технологічні потреби установки). Після стиснення біогазу до 15–16 атмосфер його можна заправляти в газові балони.

У процесі біологічної, метаногенної обробки органічних відходів на виході установки ЕКОГАЗ мають екологічно чисті рідкі й тверді, вискоєфективні органічні добрива. Рідкі добрива (**фугат**) являють собою незаражену, дезодоровану рідину, яка має у своєму складі дуже цінні поживні елементи. **Фугат** – це відмінне органічне добриво для різних сільськогосподарських культур, яке зручно використовувати під час поливання рослин і в зрошувальних системах. Тверде добриво (зневоднений шлам) не має запаху початкової сировини, не містить патогенну мікрофлору, а схожість насіння смітних трав, яке може міститись у ньому, зведена до нуля. У цілому зневоднений шлам – це теж висококонцентроване, незаражене, дезодороване органічне добриво, придатне для безпосереднього внесення в ґрунт. Шлам може бути сировиною для виробництва

біогумусу. Ці добрива містять мінералізований азот у вигляді солей амонію (форма азоту, що найбільш легко засвоюється рослинами), мінералізовані фосфор, калій та інші необхідні для рослин макро- й мікроелементи, біологічно активні речовини, вітаміни, амінокислоти, гуміноподібні сполуки, що структурують ґрунт. Після утилізації вміст поживних речовин в отриманому добриві збільшується на 15% порівняно із звичайним гноєм. Одна тонна таких добрив за своєю дією на рослини еквівалентна 80–100 т гною або інших органічних речовин. Тверде добриво використовують за прямим призначенням (при цьому врожайність люцерни підвищується на 50%, кукурудзи – на 12%, овочів – на 20–30%). Застосування таких добрив забезпечує збільшення врожайності різних культур (від полуниці до картоплі) в 1,4–4 рази. Річна норма застосування добрив – 1–3 т на 1 га.

Останнім часом конструкторами було розроблено три базові модифікації установок ЕКОГАЗ. У табл. 1 наведено їх основні технічні характеристики. Для спрощення розрахунків умовно в показнику поголів'я худоби мають на увазі кількість свиней (коли розглядають інші види тварин, то вводять коефіцієнти перерахунку).

Таблиця 1 – Порівняльна технічна характеристика установок ЕКОГАЗ різних модифікацій

Назва установки	ЕКОГАЗ-1м	ЕКОГАЗ-2м	
		ЕКОГАЗ-3м	
Сфера застосування	Сільська садиба	Фермерське господарство	
		мале	укрупнене
Кількість голів свиней	25	500	1500
Продуктивність (гній і рослинні відходи), м ³ /добу	0,3	1,5	15
Кількість метантенків, штук	1	1	2
Об'єм метантенка, м ³	6	25	50
Об'єм виробництва біогазу, м ³ /добу			
– мінімальний	5	20	200
– середній	10	40	400
– максимальний	15	60	600
Обсяг виробництва зневодненого шламу, т/добу	0,05	0,2	2
Об'єм виробництва рідких стоків, м ³ /добу	0,25	1,8	18
Ціна в тис. доларів США	4–5	10–15	80–100

Синтезований в установках біогаз може використовуватися для опалення комплексних тваринницьких приміщень, а також житлових будинків і теплиць, з метою отримання енергії для приготування їжі, сушіння сільськогосподарських продуктів гарячим повітрям, підігрівання води, вироблення електроенергії за допомогою газових генераторів.

Із гною, отриманого від однієї корови, можна протягом доби синтезувати до 4,2 м³ біогазу. При його застосуванні заощаджується бензин, мазут, вугілля, електроенергія та інші види енергоносіїв. Упровадження біогазових установок може покращити екологічну ситуацію на тваринницьких фермах, птахофабриках і на прилеглих територіях, запобігати шкідливому впливу на довкілля.

З огляду на безсумнівні переваги біогазових установок, вони можуть бути незамінними:

1. **на сільськогосподарських підприємствах:** зокрема на свинофермах; фермах великої рогатої худоби; птахофабриках; у господарствах, де виробляють рослинну продукцію; а також на підприємствах змішаного типу;
2. **на переробних підприємствах,** це, наприклад, спиртові й біоетанольні; пивоварні, виноробні та цукрові заводи; м'ясокомбінати; ветеринарно-санітарні й крохмалепатокові заводи; заводи з виробництва дріжджів; молокозаводи; хлібобулочні комбінати; підприємства, де виготовляють чипси й переробляють картоплю, виробляють соки та консерви; рибні цехи;
3. **у тепличних господарствах;**
4. **на сміттєпереробних підприємствах.**
5. **на комунальних підприємствах та на міських очисних спорудах.**

Інтенсивний розвиток біотехнології та постійне удосконалення наявної й створення новітньої техніки – усе це додає впевненості, що в найближчому майбутньому впровадження біогазових установок стане цілком рентабельним і широкомасштабним, що, без сумніву, сприятиме комплексному розв'язанню екологічних, продовольчих та енергетичних проблем.