

## Семінарське заняття «Біоочищення відходів сільського господарства. Перспективи використання біотехнологій»

### План

1. Зародження біогазової галузі в сільському господарстві.
2. Хімічний склад сільськогосподарських відходів та біогазу.
3. Схема установки для виробництва біогазу з відходів с/г промисловості.
4. Біомаса сільськогосподарських відходів.
5. Утилізація відходів сільськогосподарського виробництва на Україні та у світі.

### 1. Зародження біогазової галузі в сільському господарстві

Тільки в післявоєнний час сільське господарство стало розглядатися як потенційний постачальник біогазової сировини, Імхофф в 1947 р вказував на те, що з гною від однієї корови можна справити в сто разів більше газу, ніж з очисного шламу одного міського жителя.

Технічний університет Дармштадт в 1947 р. розробив біогазову установку для невеликих сільськогосподарських підприємств з горизонтальним ферментатором (тип "бродильний канал") отримав назву "система Дармштадт". За цим принципом Ройш побудував в Хоенштайне / федеральна земля Вюртемберг в 1959 р. - тобто більше 40 років тому - за 6000 німецьких марок (відповідно зараз 3000 євро) установку, яка дістала широку популярність (рис. 1).

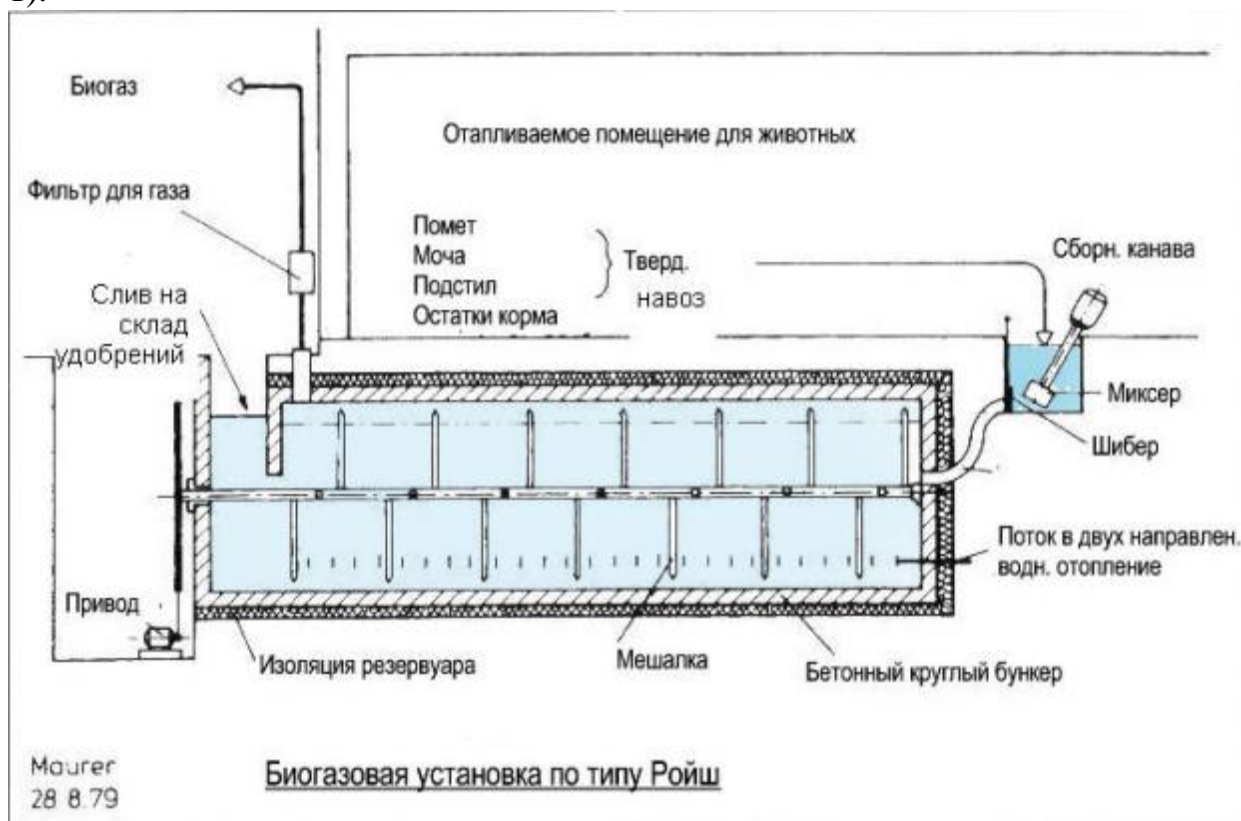


Рис. 1 – Біогазова установка Ройш: вигляд у розрізі.

Інші відомі типи установок були розроблені в Берліні та Мюнхені (працюють на твердому гної). Куратор з питань сільськогосподарської техніки з самого початку взяв під свою опіку роботу над новою технологією виробництва біогазу і утворив робочу групу по біологічному виробництву гумусу і метану.

У 1950 р. запрацювала перша велика сільськогосподарська біогазова установка в Аллерхопе недалеко від Целле / федеральна земля Нижня Саксонія по системі Шмідта-Еггерглюса. Компанія Шмідта-Еггерглюса побудувала близько 20 установок по принципу послідовних резервуарів (рис. 2).

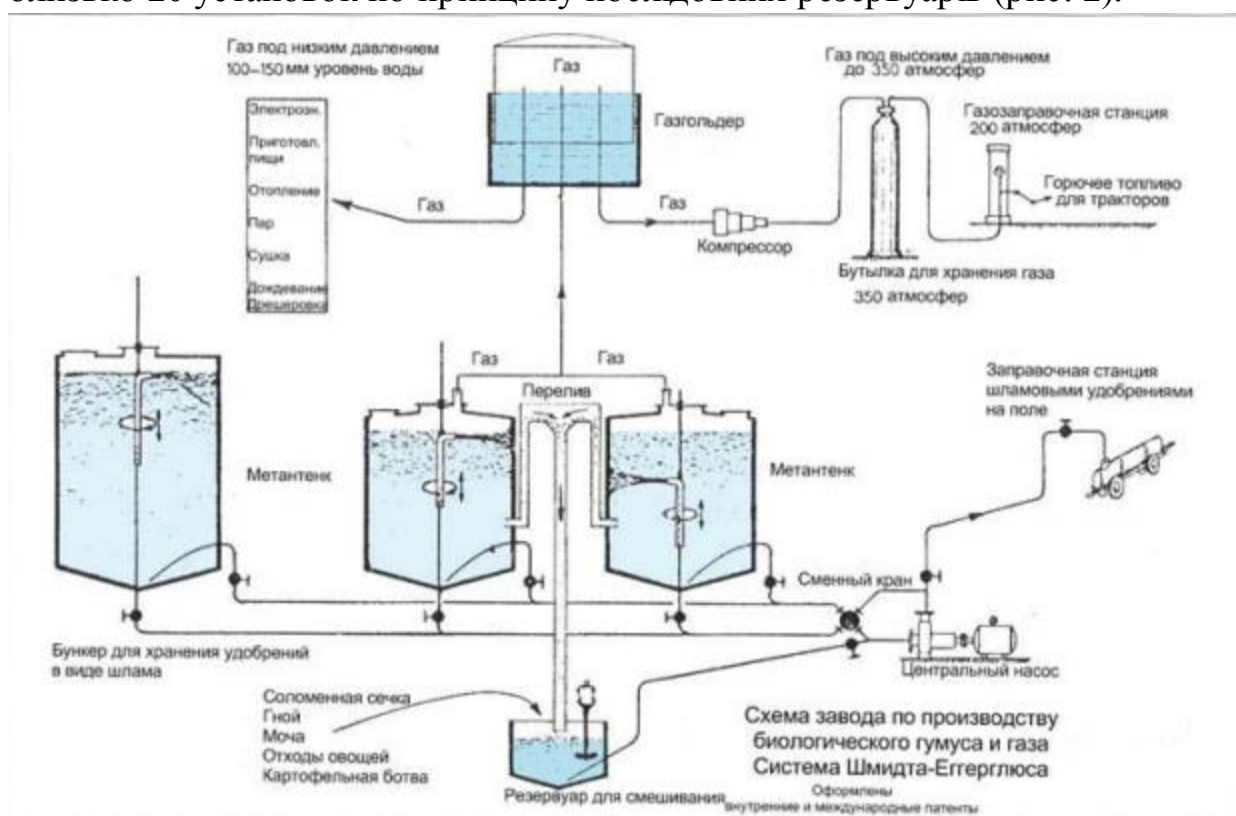


Рис. 2 – Схема з виробництва біогумусу та біогазу. Система Шмідта-Еггерглюса

Д-р. Вальтер Еггерглюс, зять Фердинанда Шмідта був одним з найвідоміших експертів по біогазу тієї епохи. Він придумав назву "біугаз" щоб ще раз підкреслити дію переброджена добрива. Тоді як добриво використовували винятково твердий гній, який змішували в резервуарі попереднього зберігання з водою і гниючим шламом, оскільки ще не існувало пристосувань для подачі рідкого гною (підлога з отворами, решітки). Загальна кількість виготовлених в 50-х рр. біогазових установок в ФРН складало біля 50, багато з них правда були закриті через низьку ефективність після нетривалої експлуатації.

У 1955 р почалася "нафтова лихоманка". Дизель коштував тоді 0,20 німецьких марок / л (0,10 євро / л) і ціни звалилися до 1972 р до 0,08-0,10 німецьких марок / л (0,04 0,05 євро / л). Водночас зросла масове споживання мінеральних добрив. Всі біогазові установки за винятком двох були зупинені, діючими залишалися тільки самостійно побудовані установки Ройш / Хоенштайн і Шмідта-Еггерглюса на території монастиря Бенедиктинців, побудована в 1955 р. (рис. 3). Остання увійшла в історію біогазової техніки як ніяка інша.

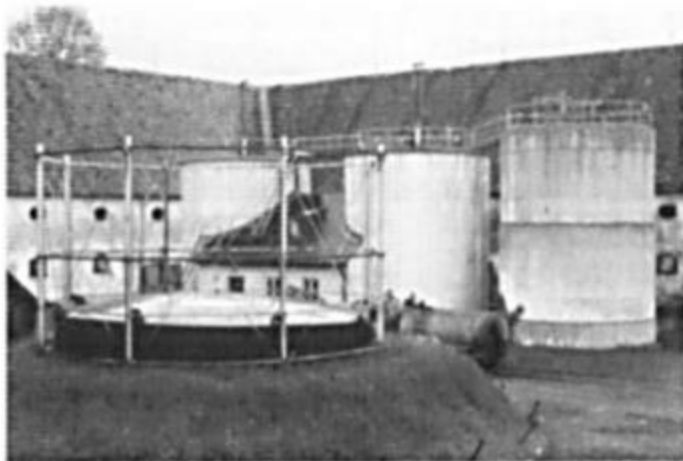


Рис. 3 – Історична установка монастиря Бенедиктинців  
*Біогазова установка монастиря Бенедиктинців*

Установка складається з 2 ферментаторних веж, однієї башти для зберігання, газометра і машинного відділення, була розрахована на 112 голів ВРХ в розрахунку на виробництво газу 86.400 м<sup>3</sup> / рік. На момент будівництва коштувала 72.500 євро, а на її обслуговування витрачено 12.500 євро. Біогаз використовували на кухні монастиря для приготування їжі, його надлишок переробляли за допомогою дизельного двигуна MAN на електричний струм.

Завдяки використанню технології теплообмінника, сировини у вигляді соломи і невеликому обсязі резервуара для бродіння в 1977-79 рр. вдалося досягти видобутку газу в розмірі 2,9 м<sup>3</sup> на одиницю ВРХ / день, що вважалось дуже значним. В 1980 експлуатація установки припинилася, оскільки монастир більше не містив худоби. Ця установка пропрацювала в цілому 25 років.

#### *Наслідки нафтової кризи*

Другий підйом у розвитку біогазових технологій розпочався після нафтової кризи 1972/3 рр. Куратор з питань сільськогосподарської техніки Бер в 1974 р. під впливом світової тенденції пошуку альтернативних джерел енергії організував професійну дискусію "Наскільки актуальний сьогодні біогаз?", яка вже включала в себе аспекти охорони навколишнього середовища. численні фермери, винахідники, компанії та дослідницькі інститути почали після цього інтенсивний розвиток біогазових технологій.

До цього процесу свої зусилля доклав також д-р Еггерглус. Дуже активним був також ще один піонер біогазової сфери, який вже в 1953 р. побудував біогазову установку в Унтерзоннтайме: Фріц Вебер, фермер і депутат. У 1962 р. він побудував поліпшену установку в Георгенау, частково працюючу в анаеробних умовах і в ній свідомо створювалися умови для освіти плаваючою солом'яному кірки, яку в разі потреби можна було виловити грейфером.

У 1980 р. в Баварії діючими були 15 установок (для порівняння на сьогоднішній день біля 1000), а в Баден-Вюртемберзі 10 установок. У виданому В. Пальці працю в 1985 р. "Біогазові установки в Європі" згадувалися 75 об'єктів в Німеччині, деякі з перерахованих правда ніколи не були добудовані. В розповсюдженні біогазової техніки на той час був значний перевагу півдня над північчю Німеччини. Більшість установок із значним відривом (близько 80%) перебували в Баварії і Баден-Вюртемберзі, решта розподілялися між

іншими федеральними землями. Причина такого великого поширення на півдні країни було в першу чергу пов'язано з розвитком тваринництва на великих підприємствах і активному консультуванні біогазовими експертами.

Разом з багатьма корисними розробками місце мали і негативні, як це вже відомо сьогодні: барабанний реактор, плаваючий в теплій воді, біогазові установки, розташовані під хлівами з худобою, компактна семиконтурна установка були тими помилковими шляхами розвитку. Визначальним для цього періоду було підстроювання вже існуючої техніки й обладнання до потреб технології виробництва біогазу, як напр. використання доступних резервуарів для гною, використання моторних заглибних мішалок або оснащення серійними двигунами блокових генераторів.

Більшість установок було побудовано в період з 1980 до 1985 рр. одну з найкращих і найбільш дешевих установок з розрахунку 165 євро / одиниця ВРХ власними силами побудував Йоганн Зедльмаер в Рудельцхофене (рис. 4) з використаних компонентів. Найдорожча і найменш використана установка була встановлена на підприємстві Шрауфштеттер, м Ізманінг в рамках дослідного проекту. На відміну від першої хвилі розвитку біогазових технологій в 50-х рр., в якості сировини для установок подавали більше не твердий гній, а рідкий. До того часу вже стали поширеними технології з щільним підлогою або отворами. Це з одного боку полегшило змішування, подачу і перемішування, а з іншого боку привело до меншої видобутку газу (розбавлений субстрат). За період з 1985 по 1990 рр. будівництво нових установок значно скоротилося, але не повністю. У тому, що галузь повністю не зникла, є значна заслуга об'єднання "Bundschuh Biogasgruppe", яке проводило щорічні виїзні симпозиуми, присвячені біогазовим [1].



Рис. 4 – Йоганн Зедльмаер, побудова горизонтальної установки

## 2. Хімічний склад сільськогосподарських відходів та біогазу

Рідкий гній являють собою суміш з посліду та сечі тварин, який лише трохи затримується на підлозі з отворами або ґратчастій підлозі. З точки зору простоти обслуговування саме такий вид стійлового утримання отримав найбільше поширення за останні 30 років в першу чергу при утриманні дійних корів, відгодівельного худоби, відгодівельних свиней і курей.

Твердий гній: при утриманні племінних корів, телят, свиноматок, коней, овець і кіз або на підприємствах, що ведуть діяльність з екологічних принципам, для стійлового утримання не використовують вищеназаних конструкцій статі, таким чином, утворюється кулькоподібний гній, який переважно компостують або безпосередньо відразу вивозять.

Рідкий гній і твердий гній з робочої поверхні (шлам, що містить кал, сечу і воду з бетонованих поверхонь годівниць і канавок) особливо добре підходить для біогазових установок. Такий субстрат не можна компостувати без інших добавок через великий вміст води. Їх компостують лише в окремих випадках в суміші з великою кількістю соломи та інших волокнистих матеріалів.

Гній з клітки стійла являє собою суміш калу і сечі худоби, перемішаний із соломою. Утворюється на похилій поверхні, на яку зверху подають солому. Через рух тварин шар гною товщиною 30-70 см скочується вниз на непосипану поверхню. Суміш калу та сечі за допомогою фронтального навантажувача або шибера вивозиться з стійла. Залежно від кількості підстилки, яка становить 2-6 кг / голову худоби в день, консистенція такого гною коливається від густого до твердого стану. Фон Хубер, Баллхаймер і Хайдн встановили, що у молочної худоби зміст СВ становить 14,5-24,7%.

Такий гній без проблем можна компостувати лише при великій кількості змісту підстилки. Гній з невеликою кількістю підстилки можна переробляти в біогазових установках з хорошими мішалками.

При великій кількості підстилки необхідно вживати заходів по розбавленню: змішування з водою, гноївкою або рідким гноєм в резервуарі попереднього утримання з ріжучим міксером. Солома ще до посипання стійла повинна бути подрібнена до 10 см. Це необхідно робити ще при зборі врожаю за допомогою спеціальної подрібнювальної техніки. можливо також стаціонарне подрібнення на у дворі ферми за допомогою млина для соломи й підстилкової машини, але це завжди пов'язано з великим пилоутворенням. Твердий гній "утворюється" при традиційному способі утримання тварин в корівниках зі стійлами з підстилкою при використанні соломи в кількості від 2 до 12 кг на голову РС в день. Лише в корівниках зі стійлами з невеликою кількістю підстилкового соломи можна отримати твердий гній, котрий можна брати вилами, оскільки сеча тварин виводиться через спеціальні жолоби. Твердий гній легко компостувати. Як уже згадувалося, під час зародження сільськогосподарської галузі виробництва біогазу в 50-их роках, використовувався виключно твердий гній, який розчиняли. Сьогодні навряд чи існують установки, що працюють на розрідженому твердому гної. Для такого виду гною особливо важливими є заходи з подрібнення соломи, згадані в попередньому розділі. Добре, якщо солома НЕ нарізається, а розшаровується волокнами, оскільки метановим бактеріям потрібна максимальна площа поверхні для свого розвитку.

Склад рідкого і твердого гною залежить в першу чергу від виду тварин, від мети їх змісту, від виду стійла і продуктивності, а також від годування, від втрат аміаку і води через випаровування, від використання підстилки, залишків корму, атмосферних опадів і використаної для очистки води.

Кожен фермер, який планує будівництво біогазової установки, повинен виробити якомога більш репрезентативний аналіз субстрату і дізнатися в першу чергу зміст органічного сухого речовини в ньому. Також варто звернути увагу на сезонні, залежні від пори року, коливання в складі і кількості субстрату. Такі коливання помітні в першу чергу при утриманні більшого рогатої худоби, якщо в літній час годувати тварин травою або якщо вони пасуться на вигонах.

Виробництво біогазу дозволяє запобігти викидам метану в атмосферу. Метан впливає на парниковий ефект в 21 разів сильніше, ніж  $\text{CO}_2$ , і знаходиться в атмосфері 12 років. Захоплення метану - кращий короткостроковий спосіб запобігання глобального потепління.

Перероблений гній, барда та інші відходи застосовуються як добриво у сільському господарстві. Це дозволяє знизити застосування хімічних добрив, скорочується навантаження на ґрунтові води.

Використовуючи екскременти одного виду тварин можна мати його різний склад:

- гній молочних корів більш рідкий ніж у молодого худоби або м'ясних биків.
- гній молодого худоби в порівнянні з гноєм м'ясних биків дає на 10% менше виходу газу через меншу інтенсивності в годуванні, гній молочних корів має значно менший вихід газу порівняно з гноєм биків.
- свиноматки краще засвоюють корм ніж відгодівельні свині, тому гній свиноматок дає на 10% менше газу ніж гній відгодівельних свиней.

Незалежно від виду тварин сторонні речовини в субстраті можуть принести проблеми.

Гній худоби містить залежно від годування такі частинки корму як трава, сіно і силос або навіть підстилку. Ці речовини спливають в гної і в разі неправильного перемішування утворюють плаваючу кірку, яка може бути настільки товстою і поплутаною, що їх важко розділити. Крім того підготованих травою варто врахувати, що глина, пісок або навіть каміння, що потрапляють безпосередньо або через шлунок тварин в гній, таким же чином можуть туди проникати частинки металу у вигляді шурупів або шматочків цинк від сільськогосподарських машин.

Свинячий гній має схильність до утворення осаду, в першу чергу, якщо з нього осідають неперетравлене лушпиння кукурудзи або зерна. Якщо перемішування відбувається неналежним чином, з часом можуть утворитися шари товщиною в кілька дециметрів, від яких можна буде позбутися лише за допомогою кирки.

Курачий послід від курей, що містяться в клітках, містить пір'я, яке схильне до утворення плаваючою кірки, водночас, послід курей містить внаслідок особливостей годування велику кількість крейди і піску, тому слід врахувати також випадання осаду.

Перелік органічних відходів, придатних для виробництва біогазу: гній, пташиний послід, зернова і меласна післяспиртова барда, пивна дробина, буряковий жом, фекальні опади, відходи рибного і забійного цеху (кров, жир, кишки, канига), трава, побутові відходи, відходи молокозаводів - солоні і солодка молочна сироватка, відходи виробництва біодизеля - технічний

гліцерин від виробництва біодизеля з ріпаку, відходи від виробництва соків - жом фруктовий, ягідний, овочевий, виноградна вижимка, водорості, відходи виробництва крохмалю і патоки - мезга і сироп, відходи переробки картоплі, виробництва чіпсів - очищення, шкурки, гнилі бульби, кавова пульпа [1].

Крім відходів, біогаз можна виробляти зі спеціально вирощених енергетичних культур, наприклад, з силосної кукурудзи або силфія, а також водоростей. Вихід газу може досягати до 300 м<sup>3</sup> з 1 тонни.

Вихід біогазу залежить від вмісту сухої речовини і виду використовуваної сировини. З тонни гною великої рогатої худоби виходить 50-65 м<sup>3</sup> біогазу з вмістом метану 60%, 150-500 м<sup>3</sup> біогазу з різних видів рослин з вмістом метану до 70%. Максимальна кількість біогазу - це 1300 м<sup>3</sup> з вмістом метану до 87% - можна отримати з жиру [2].

Гній тварин за певною технологією може бути використаний для отримання біогазу і органічного добрива. У багатьох випадках цей метод очищення тваринницьких ферм має ряд переваг:

1) здійснюється санітарна обробка стічних вод (особливо тваринницьких і комунально-побутових), вміст органічних речовин знижується до 10 разів;

2) анаеробна переробка відходів тваринництва, рослинництва та активного мулу дозволяє отримувати вже готові до використання мінеральні добрива з високим вмістом азотної і фосфорної складової (на відміну від традиційних способів приготування органічних добрив методами компостування, при яких втрачається до 30-40% азоту);

3) при метановому бродінні високий (80-90%) ККД перетворення енергії органічних речовин в біогаз;

4) біогаз з високою ефективністю може бути використаний для отримання теплової та електричної енергії, а також в якості палива для двигунів внутрішнього згорання;

5) біогазові установки можуть бути розміщені в будь-якому регіоні країни і не вимагають будівництва дорогих газопроводів і складної інфраструктури;

6) біогазові установки можуть частково або повністю замінити застарілі регіональні котельні і забезпечити електроенергією і теплом прилеглі села, селища, невеликі міста.

Анаеробне зброджування забезпечує знешкодження гною і збереження його як добрива.

Ефективність біогазових установок істотно залежить від вибору технологічної схеми переробки гною, а також способу обігріву і термоустаткування метантанків. Важливо, що виробництво біогазу з відходів сільського господарства проходить у процесі їх утилізації. Це виграє важливу екологічну роль, зменшуючи техногенне навантаження на навколишнє середовище. Супутнім продуктом виробництва біогазу з відходів сільського господарства є органічні добрива.

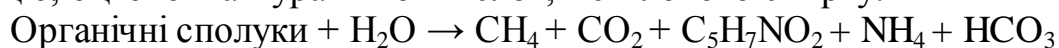
В процесі переробки органічних відходів в біогазових установках отримують два основні продукти - біогаз і зброжену біомасу, які можна використовувати в сільському господарстві, в промисловості і в побуті.

Біогаз є сумішшю, яка в основному складається з метану і вуглекислого газу та є продуктом життєдіяльності мікроорганізмів при розкладанні органічної речовини в анаеробних умовах (рис. 5) [3].



Рис. 5 – Спрощена схема анаеробного процесу збродження

При анаеробному збродженні органічні речовини розкладаються за відсутності кисню. Цей процес включає в себе два етапи. На першому етапі складні органічні полімери (клітковина, білки, жири та ін.) під дією природної спільноти різноманітних видів анаеробних бактерій, розкладаються до простіших сполук: летючих жирних кислот, нижчих спиртів, водню та окису вуглецю, оцтової та мурашиної кислот, метилового спирту.



На другому етапі (кислотогенна стадія) метаноутворюючі бактерії перетворюють органічні кислоти в метан, вуглекислий газ і воду [4].

У результаті біогаз складається на 50-75% з метану, 25-45% двооксиду вуглецю та невеликої кількості сірководню, азоту, кисню, водню. Біогаз виникає в процесі безкисневої ферментації тваринних відходів і рослинного силосу в сільськогосподарських біогазових установках.

Найбільш простим способом є спалювання біогазу в газових пальниках, оскільки газ можна підводити до них з газгольдерів під низьким тиском. Перероблені в біогазових установках органічні відходи перетворюються на біомасу, яка містить значну кількість поживних речовин і може бути використана як біодобриво і кормові добавки. Гумусні матеріали, що утворюються при збродженні, покращують фізичні властивості ґрунту.

Оскільки тільки метан поставляє енергію з біогазу, доцільно, для описи якості газу, виходу газу та кількості газу все відносити до метану, з його нормованими показниками. Обсяг газів залежить від температури і тиску.



Високі температури призводять до розтягування газу і до зменшеного разом з об'ємом рівню калорійності і навпаки. Крім того при зростанні вологості калорійність газу також знижується. Щоб вихід газу можна було порівняти між собою, необхідно їх співвідносити з нормальним станом (температура  $0^{\circ}\text{C}$ , атмосферний тиск  $1,01325\text{ bar}$ , відносна вологість газу  $0\%$ ). В цілому дані про виробництво газу висловлюють в літрах (л) або  $\text{m}^3$  метану на кг органічної сухої речовини (ОСР), це набагато точніше і красномовніше, ніж дані в  $\text{m}^3$  біогазу в  $\text{m}^3$  свіжого субстрату (рис. 6).

Якщо не вказано нічого іншого, то дані для розрахунків наводяться саме в такому вимірюванні. В минулому не завжди звертали увагу на цей взаємозв'язок, що призвело до малої придатності старих даних про виробництво газу, в них просто відсутні дані про температуру, атмосферний тиск, вміст метану, вміст сухої речовини і органічної сухої речовини.

Навіть в лабораторних умовах при дослідженні однакових субстратів виходять різні результати по виробництву газу. Причина цього криється в різних методах, за допомогою яких проводилися такі виміри в лабораторії. Одні робили виміри для свіжого субстрату, інші для сухого, одні з силосованим матеріалом, інші з несилосованим, в резервуарах від  $0,5$  літрів до  $10$  літрів. Залежно від рамок умов результати відрізнялися між собою. На сьогоднішній день актуальним є питання про приведення до норм використовуваних методів вимірювання.

Різні методи і можливості для замірів і розрахунків виходу газу докладно описані у праці «Вихід газу в сільськогосподарських біогазових установках». Саме через велику різницю в методах вимірювання при визначенні характерних параметрів, таких як вихід газу, вже на стадії планування важливо перевірити дійсність числових величин і стежити за тим, щоб в основу закладалися реалістичні показники, які б відповідали необхідним рамковим умовам.

Якість біогазу визначається в першу чергу вмістом метану або співвідношенням пального метану ( $\text{CH}_4$ ) до "непотрібного" двоокису вуглецю ( $\text{CO}_2$ ). Двоокис вуглецю розбавляє біогаз і викликає втрати при його зберіганні. Тому важливо прагнути до високого вмісту метану і якомога низького вмісту двоокису вуглецю. Що досягається зазвичай вміст метану коливається між  $50$  і  $75\%$ . як правило вміст  $\text{CO}_2$  вимірюють за допомогою приладу «Brigon» і після вирахування невеликої кількості інших газів ( $2 - 8\%$ ) обчислюють вміст  $\text{CH}_4$ .



Рис. 6 – Інформаційно важливі характеристики газу

Вміст метану в біогазі в першу чергу визначається наступними критеріями:

- Ведення процесу. У той час, як в одноступінчатих біогазових установках весь процес анаеробного розкладання відбувається в одному ферментаторі, одним етапом, і таким чином весь газ виділяється як суміш газів, в двуступінчатих установках, вироблений на 1 етапі газ, складається в великій мірі з двоокису вуглеця та інших енергетично малоцінних газів, які виводяться в навколишнє середовище. Газ, що виробляється на 2 етапі, має високий відсоток вмісту метану, який може складати і більше 80%.

- Склад поживних речовин субстрату. Кількість і якість виробленого біогазу залежить від кількості внесених речовин та їх складу. Протеїни і жири мають більш високий вміст метану. Для багатих на вуглеводи субстратів, як, наприклад, кукурудза, можна розраховувати на вміст метану в середньому 53%.

- Температура субстрату. На практиці виявилось, що при високій температурі ферментатора вихід метану менший, ніж при низьких температурах. Це відбувається через відмінності в розчинності і утворенні газоподібного двоокису вуглеводню. Чим більша кількість  $\text{CO}_2$  перейде в газоподібну форму, тим меншою буде відсоткова частка  $\text{CH}_4$  в біогазі. Після метану і двоокису вуглецю, сірководень ( $\text{H}_2\text{S}$ ) є найважливішою складовою газу. Сірководень дуже агресивний і викликає корозію, що в першу чергу викликає проблеми з арматурою, газовими лічильниками, пальниками і двигунами. Тому необхідно очищати біогаз від сірки. Очищений від сірки біогаз майже не має запаху. Крім того в біогазі містяться сліди аміаку, елементарного азоту, водню і кисню загальним вмістом від 6 до 8% (рис. 7). Сірководень і аміак можна леко заміряти за допомогою трубки Дрегера. Такі трубки можна використовувати багаторазово. Газ, щойно надійшов з біогазової установки насичений водяною парою.

Можливо, що пар містить також сліди ще мало досліджених розчинених речовин, здатних викликати проблеми при спалюванні біогазу в котлах та двигунах. Наприклад, на біогазовій установці в Ріпперсхаузене незрозумілим чином утворювалися пухнасті пластівці, які створювали в спалювальній камері котла товсті нашарування. Знадобився тривалий час, щоб встановити, що ця «біла сажа» є оксидом кремнію, який виникає внаслідок коферментації силікономістка косметичних мазей як результат складних хімічних реакцій (утворення силанів). Сушка біогазу конденсацію є тому дуже важливим кроком по збагаченню газу. За допомогою конденсованої води сепарують також велику кількість аміаку, що міститься в біогазі, що викликає в іншому випадку великі ушкодження двигуна, особливо на підшипниках з кольорових металів [1].

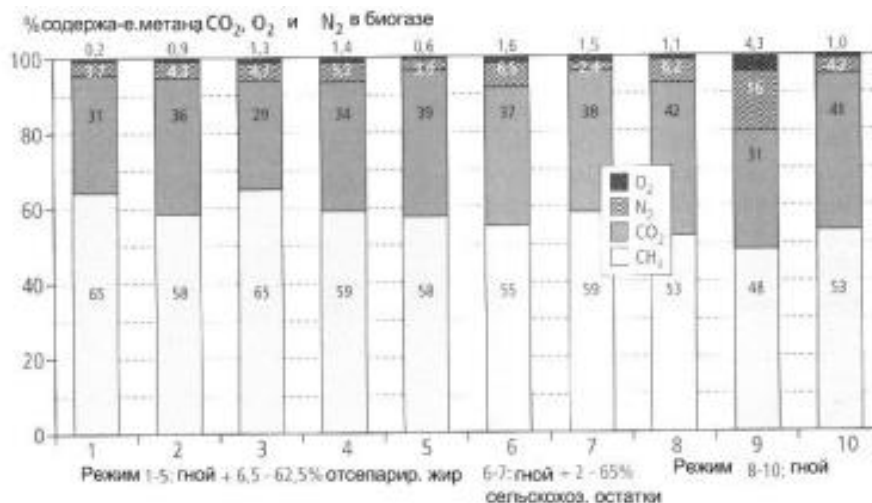


Рис. 7 – Склад біогазу (згідно до досліджень, проведених на 10 установках)

### 3. Схема установки для виробництва біогазу з відходів с/г промисловості

Біогазова установка в даний час є характерним елементом сучасного, безвідходного виробництва в багатьох областях сільського господарства і харчової промисловості. Якщо на підприємстві є відходи сільського господарства або харчової промисловості, з'являється реальна можливість за допомогою біогазової установки не тільки значно скоротити витрати на енергію, а й підвищити ефективність підприємства, отримати додатковий прибуток.

Кінцеву продукцію біогазової станції складають: тепло, електроенергія, скраплений газ, добрива, чиста вода і вуглекислий газ.

Біогазова установка оснащена пристроями, що забезпечують безпечну експлуатацію (система детекції газу, незалежні системи забезпечення рівнів і тисків), дистанційний моніторинг (управляюча і контролююча автоматика).

Функції біогазової установки:

- виробництво біогазу;
- виробництво мінерально-органічного біогною з шламу після ферментації;
- зниження тяжкості тваринницької продукції для середовища;
- вирішення проблеми складування відходів.

У біогазових установках можна виділити чотири стадії технологічного процесу:

- доставка, зберігання, обробка, транспортування та розміщення в ферментаційному сховищі сировини;
- отримання біогазу;
- зберігання відходів після ферментації, їх вивезення;
- зберігання, обробка, спалювання біогазу або його постачання по трубопроводу.

Опис процесу:

1. Щодня субстрат збирається в ямі і перед подачею в біореактор при необхідності подрібнюється і змішується з водою до стану, здатного перекачуватися насосом.

2. Субстрат потрапляє в анаеробний біореактор. Біореактор працює за принципом витрати. Це значить, що в нього за допомогою насоса, без доступу повітря надходить (6-12 разів на день) свіжа порція підготовленого субстрату. Така ж кількість переробленого субстрату витісняється з біореактора в резервуар - сховище.

Біореактор працює в мезофільному діапазоні температур 38-40°C. Система обігріву забезпечує необхідну для процесу температуру і управляється автоматично.

Вміст біореактора регулярно переміщується за допомогою вбудованого пристрою гомогенізації.

3. Утворений при ферментації газ накопичується в газгольдер. Тиск газу регулюється за допомогою вбудованого запобіжного клапана. Газгольдер входить у вартість установки і має можливість накопичення газу протягом 8-10 годин.

4. Отриманий біогазу після осушки надходить в блочну когенераційну установку, що виробляє тепло- і електроенергію. Близько 10% електроенергії та 30% теплоенергії (в зимовий період) необхідні для роботи самої установки.

5. Перероблений субстрат після біогазової установки подається на сепаратор. Система механічного поділу поділяє залишки бродіння на тверді і рідкі фракції. Тверді фракції складають 3-3,5% субстрату і являють собою біогумус.

6. Як опція пропонується модуль, що переробляє рідку фракцію в рідкі добрива і чисту (дистильовану) воду. Чиста вода становить 85% від обсягу рідкої фракції. Решта 15% займають рідкі добрива.

Тверда фракція привозиться до бункеру попередньої підготовки сировини (об'єм якого = 73 м<sup>3</sup>) спеціальним причепом, а рідка перекачується насосами із резервуару для рідких відходів, розташованого біля реактора. Реактор безперервно наповнюється сировиною за допомогою помпи, залежно від вологості субстрату (добове завантаження складає 41,5 т.).

Реактор є газонепроникним, повністю герметичним резервуаром. Всередині нього знаходиться мішалка, яка використовується для повного перемішування вмісту реактора.

Свіжий гній має подаватись до реактора невеликими порціями декілька разів на день. Середня тривалість гідравлічного відстоювання всередині реактора становить 20-40 днів.

На виході маємо два продукти: біогаз та біодобрива. Отриманий біогаз зберігається в газгольдері (Об'ємом 755 м<sup>3</sup>) — спеціальній ємності для зберігання біогазу, де вирівнюються тиск і склад газу. З газгольдера газ безперервно подається в двигун-генератор (За добу 251 м<sup>3</sup>), який виробляє тепло та електроенергію.

Біогазові установки обладнуються аварійно-факельними пристроями, на той випадок, якщо двигуни не працюють, а надлишок біогазу необхідно спалити.

Після зброджування гнойової біомаси і одержання біогазу залишається тверда фракція гною (шлам) і над осадова рідина (рідка фракція). Кількість твердої і рідкої фракції залежить як від вологості гною, який завантажується, так і вологості фракцій, які одержуємо (твердої і рідкої).

В середньому з 1 кг органічної речовини, біологічно розкладеної на 70 %, можна одержати 0,5 кг біогазу, 0,2 кг води і 0,3 кг нерозщепленого залишку шламу. Далі його використовують як біологічне добриво. Основна перевага анаеробного зброджування полягає в збереженні в органічній або амонійній формі практично всього азоту, що міститься у вихідній сировині [5,6].

Схема біогазової установки (рис. 8):

I – Реактор (метантанк);

II – Когенераційна установка;

III – Бункер прийому і підготовки сировини;

IV – Резервуар для рідких відходів;

V – Ресивер;

VI – Компресор;

VII – Газгольдер;

VIII – Вентилятор.

Мікроконтролери біогазової установки:

1-3 – виходи;

9-16 – входи.

Мікроконтролери когенераційної установки:

5-8 – виходи;

17-19 – входи.

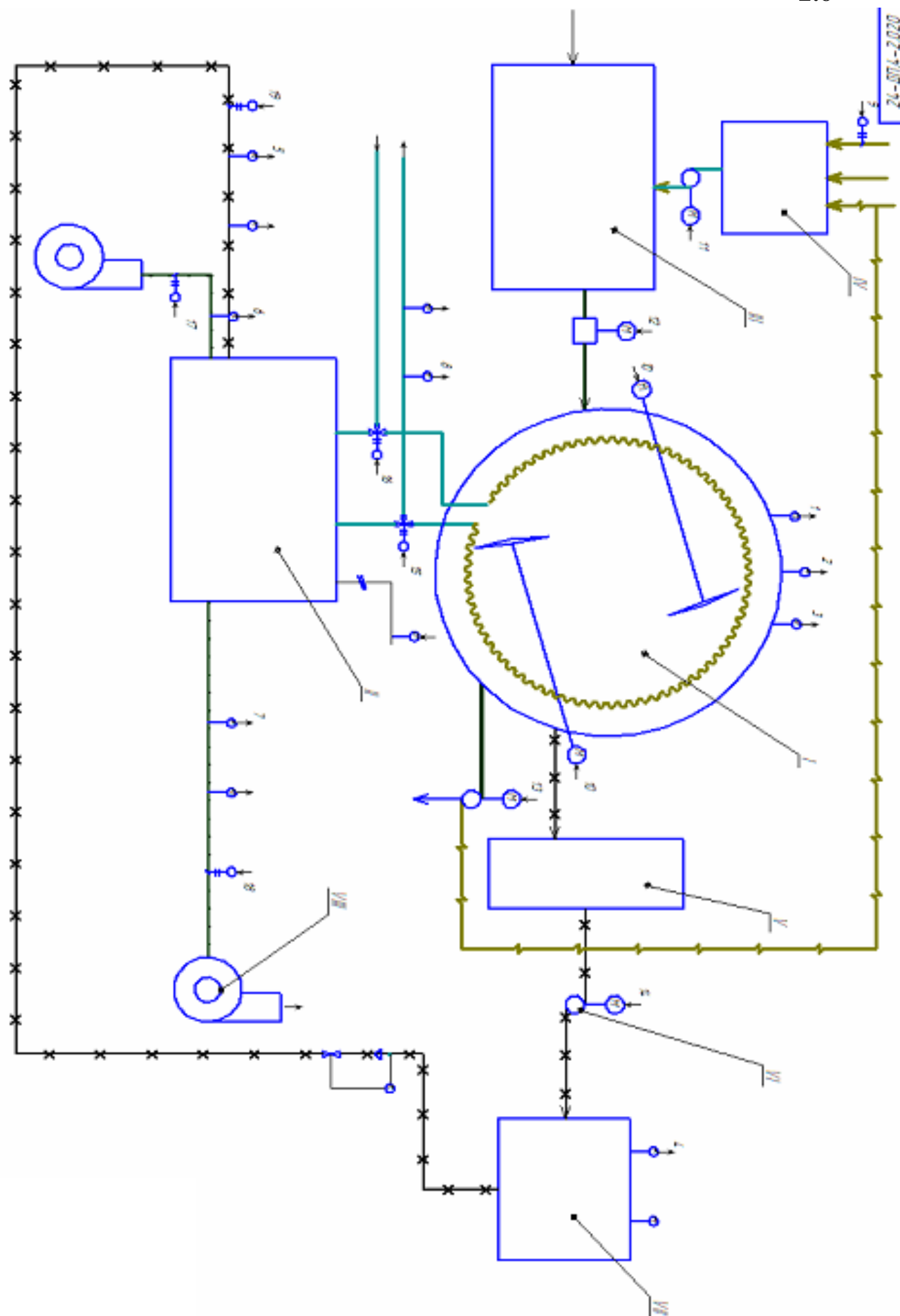


Рис. 8 – Схема сучасної біогазової установки

#### 4. Біомаса сільськогосподарських відходів

Біомаса з сільськогосподарських відходів включає в себе: солому, лузгу соняшника, гречки, вівса; відходи борошномельного виробництва (відсівання, висівки); відходи тваринництва (від тваринницьких комплексів і птахофабрик); кісткова мука.

У зв'язку з тим, що біомасу відходів тваринництва (від тваринницьких комплексів, птахофабрик) в силу своїх особливих специфічних властивостей найбільш доцільно використовувати, як показує практика, в дрібних промислових установках через отримання з неї біогазу, в даний роботі її використання розглядається в додатку (технологія отримання біогазу має свою специфіку). Значна кількість органічних відходів у вигляді відповідних біомас має місце в целюлозно-паперовому виробництві (ЦПВ).

Дослідження відходів з різних вихідних продуктів сільськогосподарського виробництва (пшениці, жита, вівса) на різних стадіях переробки (відсівання, висівки, лузга) показали, що їх характеристики істотно розрізняються, однак лежать в характерному для біомас річного циклу діапазоні і по більшості показників різко відрізняються від характеристик деревної біомаси.

Органічна частина відходів, характерна для біомас річного циклу, характеризується великим вмістом «внутрішнього баласту»; високим відношенням водню до вуглецю; низьким вмістом сірки.

Відходи мають достатньо високий рівень летких речовин.

Характерною для складу мінеральної частини є високий вміст калію ( $K_2O = 16 \dots 25\%$ ); при цьому він знаходиться в активній іонообмінній формі (розчинній послідовно у воді і в ацетаті амонію).

Відходи мають підвищений вміст в мінеральній частині компонентів основного складу ( $CaO$ ,  $MgO$ ,  $Na_2O$  і відповідно підвищені шламуєчі властивості. Особливо високий рівень вмісту лугів і хлору в соломі (відповідно  $K_2O > 25\%$ , а хлору до 4,5%), що викликає високу корозію. спалювання кісткової муки з виходом летких речовин 70 ... 80% провокує інтенсивне відкладення летючої золи на поверхнях нагріву, а спалювання біомаси у вигляді лузги гречки, вівса, соняшнику з виходом летких речовин до 60 ... 70% показує підвищені втрати за рахунок високої парусності коксового залишку [7].

Середній вихід біогазу з 1 кг органічної сухої речовини гною великої рогатої худоби складає 200 л, свинячого - 300 л, пташиного посліду - 400 л.

Середня теплота згоряння біогазу, що містить близько 60% метану, дорівнює 22 мДж / м<sup>3</sup>. Оскільки горюча частина біогазу складається з метану (температура займання метану близько 645 ° С), його зараховують до сімейства природних газів. (У всіх сферах застосування біогаз веде себе аналогічно природному газу).

Біогаз, як і природний газ, відноситься до найбільш чистих видів палива [8].

## 5. Утилізація відходів сільськогосподарського виробництва на Україні та у світі

Органічні добрива, вироблені на біогазовій станції (їх також називають біошлам) - екологічно чисте і вкрай дешеве джерело комплексних органічних добрив для сільського господарства. Наприклад, щоденний органічний потенціал біошлама, виробленого з гною одиниці ВРХ становить 0,25 кг азоту, 0,13 кг оксиду фосфору, 0,3 кг оксиду калію і 0,25 кг оксиду кальцію і порівнюємо з кілограмом комплексних добрив.

У вартісному вираженні обсяг ринку сільськогосподарського відходів у країнах, що розвиваються оцінюється приблизно в 100 млрд. дол.

Найбільше значення мають ринки США, Європи (країни Євросоюзу разом з Норвегією і Швейцарією) і Японії. У світовій практиці кількість сільськогосподарських відходів, які утилізуються безвідходним методом: у СНД (крім України) 3% відходів, у США — 53%, у Великобританії — 90%, у Німеччині — 75%, у Швейцарії — 25%, в Японії — близько 60%. В Україні кількість цих відходів становить біля 15%.

Є великі компанії (корпорації), які займаються виготовленням обладнання для утилізації сільськогосподарських відходів. Прикладом може бути: компанія «Schamack Biogas», яка є одною з найбільших у Європі. В Україні є низка підприємств, більшість з них знаходиться в Київській, Одеській, Полтавській та Івано-Франківській областях.

У 2002 році в електроенергетиці США було встановлено 9733 МВт генеруючих потужностей, що працюють на біомасі. З них 5886 МВт працювали на відходах лісового та сільського господарства, 3308 МВт працювали на твердих муніципальних відходах, 539 МВт на інших джерелах.

У 2003 році 4% всієї енергії в США вироблялося з біомаси. У 2004 році у всьому світі виробляли електрику з біомаси електростанції загальною потужністю 35 000 МВт.

Методом піролізу з біомаси отримують рідке біопаливо, метан, водень. Можливе використання різної сировини: відходи деревини, солома, кукурудзяна лушпиння і т.д. З пшеничної соломи виходить до 58% біопалива, 18% вугілля і 24% газів. Поширене застосування паливних пеллет - твердого палива з відходів деревообробних і сільськогосподарських виробництв [9].

### Висновки

Метод анаеробного зброджування найбільш прийнятний для переробки тваринницьких відходів з точки зору гігієни та охорони навколишнього середовища, так як забезпечує найбільше знезараження залишку і усунення патогенних мікроорганізмів.

У зв'язку з тим, що біомасу відходів тваринництва (від тваринницьких комплексів, птахофабрик) в силу своїх особливих специфічних властивостей найбільш доцільно використовувати, як показує практика, в дрібних промислових установках через отримання з неї біогазу, в даній роботі її



використання розглядається в додатку (технологія отримання біогазу має свою специфіку).

Органічні добрива, вироблені на біогазовій станції (їх також називають біошлам) - екологічно чисте і вкрай дешеве джерело комплексних органічних добрив для сільського господарства.

Біогазові технології дозволяють найбільш раціонально і ефективно конвертувати енергію хімічних зв'язків органічних відходів в енергію газоподібного палива і високоєфективних органічних добрив.

### Перелік посилань

1. Эдер Б. Биогазовые установки. Практическое пособие / Б. Эдер, Х. Шульц. – Zurich: Zorg Biogas AG, 2011. – 268 с.
2. Джигирей В.С. Екологія та охорона навколишнього природного середовища / В.С. Джигирей. - К.: Знання, 2000. - 203 с.
3. Електронна бібліотека [Електронний ресурс]. – Режим доступу : URL : <http://altenergetics.ru/bioenergetika/259-metanovoe-brozhenie>. – Назва з екрана.
4. Електронна бібліотека [Електронний ресурс]. – Режим доступу : URL : <http://www.eurodiesel.com.ua/ru/products/biogas/svedenia.html>. – Назва з екрана.
5. Шомин А.А. Биогаз на сельском подворье / А.А. Шомин. — Балаклея: Информационно-издательская компания "Балаклійщина", 2002. — 68 с.
6. Стребков Д.С. Биогазовые установки для обработки отходов животноводства / Д.С. Стребков, А.А. Ковалев // Техника и оборудование для села. – 2006. - №11. – С.28-30.
7. Електронна бібліотека [Електронний ресурс]. – Режим доступу : URL : <http://greenevolution.ru/enc/wiki/biomassa-selskochozyajstvennyx-otxodov/>. – Назва з екрана.
8. Благутина В.В. Биоресурсы / В.В. Благутина // Химия и жизнь. – 2007. - №1. – 105 с.
9. Ревенко І.І. Машиновикористання у тваринництві / І.І. Ревенко, В.М. Манько, В.І. Кравчук. - К.: Урожай, 1999. - 208 с.