

## ТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ВИРОБНИЦТВА БІОГАЗУ З ОРГАНІЧНОЇ СИРОВИНИ

**Панцирева Г.В., к.с.-г. наук, старший викладач**  
(Вінницький національний аграрний університет)

*У статті представлено вирішення проблеми загострення забруднення навколишнього середовища органічними відходами тваринницької та рослинницької галузей, а також розглянуто питання зростаючого дефіциту енергетичних ресурсів, що є головними мотивами інтенсифікації європейських розробок у галузі виробництва та ефективного використання біогазу. Встановлено, що виробництво біогазу, який є продуктом анаеробного зброджування гною та сільськогосподарських культур, дає не лише відновлювану енергію, але є ефективним шляхом боротьби з забрудненням води й повітря шкідливими відходами. У галузі виробництва біогазу АПК України має величезний потенціал. Сировиною можуть бути інші відходи рослинного та тваринного походження, що продукуються харчовою, фармацевтичною та ферментною індустрією, садівничими господарствами, підприємствами громадського харчування, ринками, а також побутові відходи.*

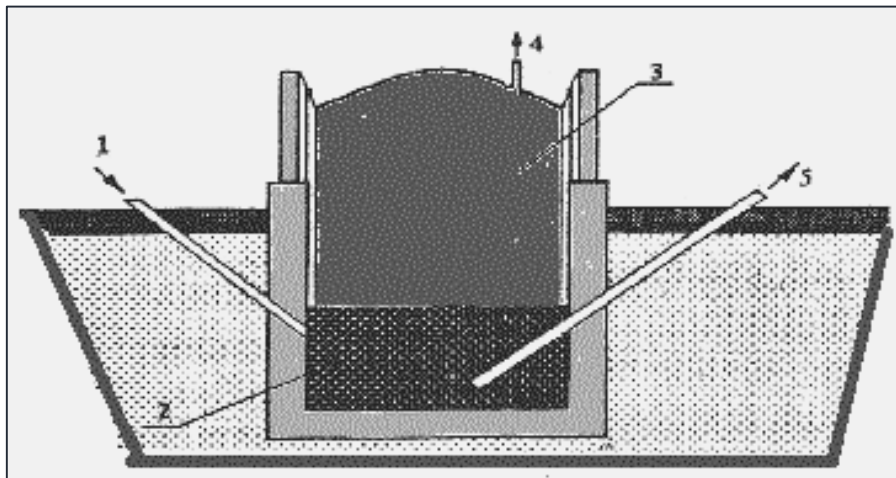
**Постановка проблеми та мета досліджень.** Біоенергетика є однією з найперспективніших складових відновлювальної енергетики України. Вона заснована на використанні енергії біомаси – вуглецевмістких органічних речовин рослинного та тваринного походження. Біомаса, на відміну від інших відновлюваних джерел енергії, є універсальним джерелом енергії, яке може використовуватися як для виробництва електричної та теплової енергії, так і для отримання біопалива на транспортні потреби. На сьогодні скорочення використання природного газу – одна з найактуальніших тем для економіки України, тому пошук альтернативних джерел енергії та впровадження енергозберігаючих технологій є актуальною задачею. Використання відновлюваних джерел енергії, насамперед біомаси, є актуальним для України, оскільки дозволяє зменшити її залежність від імпортованих енергоносіїв та підвищити енергетичну безпеку.

У нетрадиційній енергетиці на особливу увагу заслуговує переробка біомаси (органічних сільськогосподарських і побутових відходів) метановим шумуванням з одержанням біогазу та твердого залишку, який переважно використовується як високоякісне добриво. Використання біомаси для отримання енергії на основі сучасних технологій є екологічно значно більш безпечним в порівнянні з енергетичним використанням традиційних органічних ресурсів, таких як вугілля.

**Мета роботи** – порівняння можливостей отримання біогазу з різних видів

відходів органічного походження – гною верхової рогатої худоби, свинячого гною, рослинних відходів (соломи пшениці, соняшникового лушпиння, кукурудзи) в лабораторних умовах тавстановлення його об'єму і виходу біогазу.

**Аналіз схеми діючих сил.** Для досліджень у лабораторних умовах використовували пристрій (міні-реактор), який з'єднується за допомогою трубок через невелику ванну (гідрозатвор) з газовими накопичувальними ємностями – газгольдерами, виготовленими з пластикових пляшок (або гумових камер). Основним показником ефективності роботи пристрою є швидкість наповнення газгольдерів біогазом. Так можна оцінити майбутню продуктивність біореактора під час роботи на певній сировині. Зібраний у газгольдері газ через газовідвідну трубку подається на факел, де і спалюється (рис 1).



1 – приймальний пристрій; 2 – біореактор (метантенк); 3 – простір для збирання біогазу; 4 – патрубок, з'єднуючий метантенк з газгольдером; 5 – пристрій для відкачування шламу з метантенку.

Рис. 1. Принципова схема анаеробної установки

Таблиця 1. Порівняльні енергетичні показники традиційних енергоносіїв і біогазу

№	Продукт	Одиниці виміру	Еквівалент 1 м <sup>3</sup> неочищеного біогазу 23 МДж/м <sup>3</sup>	Еквівалент 1 м <sup>3</sup> очищеного біогазу 35,2 МДж/м <sup>3</sup>
1	Електроенергія	кВт·ч	0,62	0,94
2	Природний газ	м <sup>3</sup>	0,61	0,93
3	Вугілля	кг	082	1,25

**Результати лабораторних досліджень.** Біогаз – різновид біопалива. Добувають із відходів тваринництва, харчової промисловості, стічних вод та твердих побутових відходів (відсортованих, без неорганічних домішок, та домішок неприродного походження). Тобто застосовувати можна будь-які місцеві природні ресурси [1].

Найбільш поширеними сільськогосподарськими культурами (рис. 2.), які

використовуються для виробництва природного газу є цукрове сорго, кукурудза на силос та цукрові та кормові буряки. Тому, для країн, які вважають за доцільне отримання достатньої кількості біогазу необхідно розширити посівні площі досліджуваних культур.

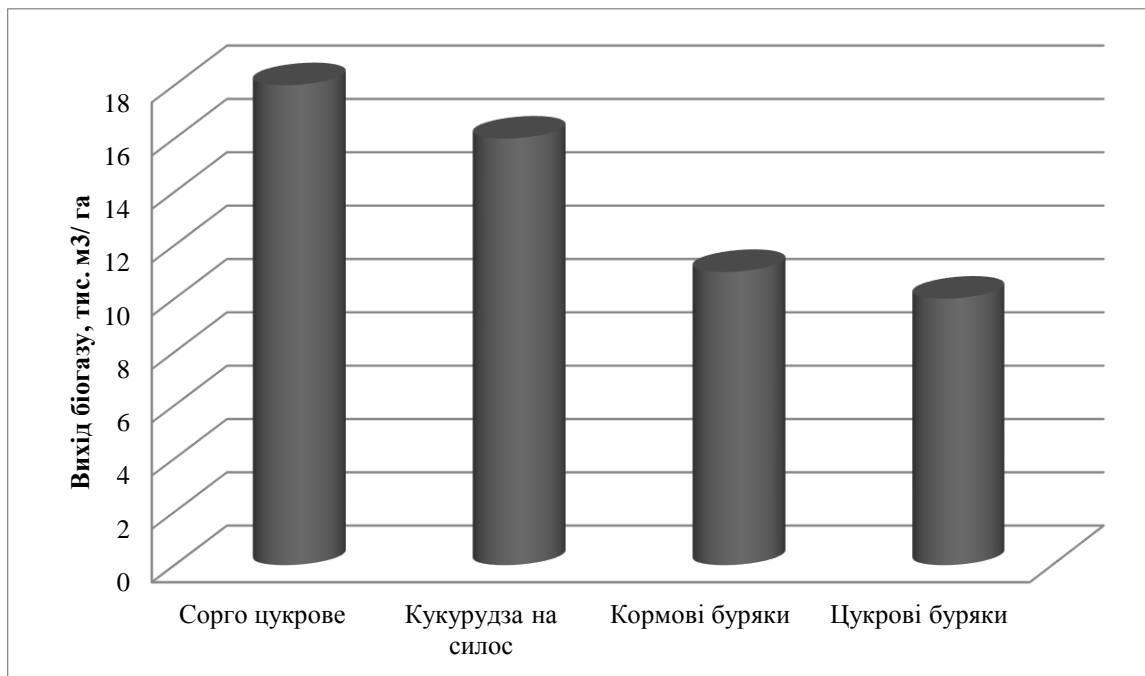


Рис. 2. Потенційний вихід біогазу з біоенергетичних культур.

Сам процес утворення газу являє собою метанове бродіння. Його суть полягає в анаеробному бродінні (без доступу повітря), яке відбувається внаслідок життєдіяльності мікроорганізмів і супроводжується рядом біохімічних реакцій. Власне сам процес утворення газу (біогазу) складається з двох етапів: перший – розщеплення мікроорганізмами біополімерів домономерів, другий – переробка мономерних біомолекул мікроорганізмами. Перша стадія є досить енергетично не вигідним процесом, в її результаті вивільняється замало вільної енергії, якою могли б жити мікроорганізми, тому для успішного проходження даного етапу потрібно підтримувати умови для успішного розвитку мікрофлори. Другий етап – процес окиснення утворених мономерних молекул, звичайний природний окисно-відновний процес. Але за умов відсутності стандартного окисника даного процесу (кисню) відбувається диспропорціонування за ступенями окиснення присутніх в молекулах атомів (сірка, азот та карбон). У результаті чого отримуємо бажаний метан ( $\text{CH}_4$ ), та газ-домішки, які вважаються не корисними, і навіть шкідливими:  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  [2].

Такий газ представляє собою суміш з 65% метану, 30% вуглекислого газу, 1% сірководню і незначного кількості азоту і водню. Енергія згорання  $28 \text{ м}^3$

біогазу, еквівалентна енергії 16,8 м<sup>3</sup> природного газу, 20,8 л нафти або 18,4 л дизельного палива. Біогаз дає можливість використовувати найсучасніші засоби теплоенергетики – газові турбіни. У цих установках газ згорає, наводячи у рух турбіну, яка обертає генератор, що виробляє електроенергію. У свою чергу газоподібні продукти згорання потім прямують в казан для нагрівання води і здобуття пари, яка може бути використаний в промисловості або для додаткового виробництва енергії [3].

Газові турбіни простіше і дешевше традиційних парових. У той час як в останніх ефективність не покращувалася з кінця 50-х років, газові турбіни безперервно удосконалюються. Найбільш багатообіцяючим варіантом використання біомаси в газових турбінах є її газифікація при взаємодії з повітрям і пором при високих тисках і очищенні газу від домішок, які можуть пошкодити лопаті турбін. Для підвищення ефективності процесу газифікацію і виробництво електроенергії слід зміщувати в одній установці. Така технологія розробляється зараз для вугілля. Проте ця технологія може навіть швидше знайти комерційне вживання використанням біомаси, ніж вугілля, оскільки біомасу легко газифікувати і вона зазвичай містить малу кількість сірки. Попередні оцінки показують, що енергія, отримана на установці з газифікуванням біомаси і газовою турбіною, за вартістю може бути порівнянна з електроенергією, вироблюваною на звичайних вугільних або ядерних електростанціях в більшості промислових і таких, що розвиваються країн. Одним з напрямів при здобутті біогазу є використання органічних відходів і побічних продуктів сільського господарства і промисловості. Виробництво біогазу в процесі метанового бродіння – одне з можливих вирішень енергетичної проблеми сільськогосподарських районів [4].

Перевага виробництва біогазу з сільськогосподарських відходів (табл.2) полягає в тому, що вони є засобом здобуття енергії доступним навіть на родинному рівні.

Таблиця 2. Потенційні можливості забезпечення сировиною біоенергетичних культур виробництво біогазу в Україні

№	Біоенергетична культура	Площа вирощування, млн.га	Рівень врожайності, т/га	Вихід біогазу, тис.м <sup>3</sup> .га	Потенціал виробництва біогазу, млрд. м <sup>3</sup> .
1	Цукрове сорго	0,5	80	9,0	5,0
2	Кукурудза на силос	1,0	80	17,0	18,0
3	Цукрові буряки	2,0	70	6,0	7,0
4	Кормові буряки	0,5	75	5,5	6,0
Разом		4,0			36,0

Відходи процесу служать високоякісним добривом, а сам процес сприяє підтримці чистоти в довкіллі. Проте кількість біомаси даного вигляду обмежено земельною площею, на якій здійснюється сільськогосподарська діяльність. Істотне збільшення придатних для культивування площ навряд чи реально. В той же час є можливість використовувати для здобуття біомаси водне середовище, а саме – здійснювати культивування водоростей, зокрема мікроводоростей. Отже, гідністю біогазу можна вважати наступне: можливість здобуття його з негодящої сировини (сільськогосподарських, промислових і міських вуглеводновмісних відходів), попутне здобуття при цьому високоефективних добрив і кормових добавок очищення стічних вод. Недоліками здобуття і вжитку біогазу є витрата кисню і викид вуглекислого газу при спалюванні біогазу, некерованість і тривалість процесу бродіння, необхідність мати ємкості значного об'єму для здійснення процесу бродіння.

Біогаз, що утворюється, містить близько 50-60% – метану, 30% – карбону (IV) оксида, а також інші речовини, в тому числі невелику кількість сірководню (H<sub>2</sub>S), незначні кількості азоту, кисню, водню, амоніаку та карбону (II) оксиду.

Перед використанням біогаз очищують від надлишків води та сірководню. Отримання біогазу відбувається в спеціальних реакторах (метантенках), облаштованих і керованих таким чином, щоб забезпечити максимальне виділення метану.

Біогаз використовують для освітлення, опалення, приготування їжі, для приведення в дію механізмів, транспорту, електрогенераторів. Коли йде мова про біогаз, всі, як правило, мають на увазі, що джерелом його утворення є відходи життєдіяльності тварин і птахів (тваринний гній, послід птахів) та каналізаційні стоки міст. Але значні кількості біогазу можна отримати за анаеробної ферментації промислових стічних вод, де велика концентрація розчинених органічних речовин. Це, передовсім, стосується стічної води всіх без винятку харчових підприємств (особливо підприємств з переробки молока, виробництва цукру, алкогольних напоїв та ін) [6].

У плані використання біомасу можна розділити на дві основні групи: первинна біомаса і вторинна. Джерелом первинної біомаси є наземний і водний рослинний світ, вторинної – відходи біомаси, що утворюються після збирання і перероблення первинної біомаси в товарну продукцію, і відходи, обумовлені життєдіяльністю тварин і людей. Згідно з цим біоенергетика забезпечує отримання енергії шляхом використання біомаси, включаючи:

- продукти лісу у вигляді відходів лісозаготівель і лісопереробки;
- сільськогосподарські відходи, які підрозділяються на рослинні відходи сільськогосподарських культур (солома злакових культур, стеблі кукурудзи, соняшника тощо) і тваринні відходи (гній і гнійні стоки тощо);

- водну рослинну біомасу (водорості, макрофіти тощо);
- промислові й міські відходи (тверді побутові відходи, відстої міських і промислових стічних вод тощо), утилізація яких дозволяє вирішувати важливі екологічні та соціальні проблеми [7].

Поновлювальні види енергії, які використовувалися у 2017 р. склалися з 60 % кукурудзи у формі кукурудзяного силосу. Окрім того використовуються зернові, трав'яний силос, силос цілих рослин, соняшник, трава суданка, просо і інші (рис. 3).

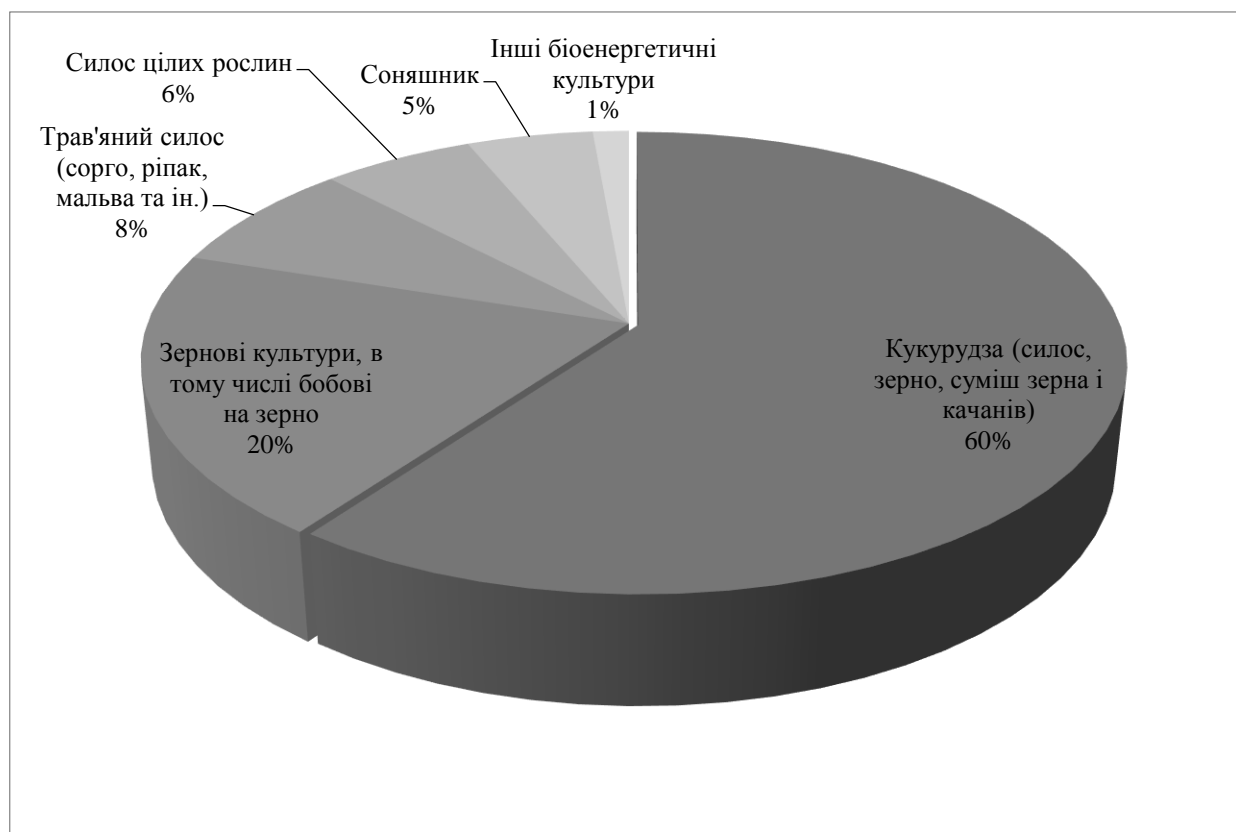


Рис. 3. Використання рослинної сировини для виробництва біогазу

Відомо понад 60 технологій отримання біогазу – таке велике число обумовлено тим, що для забезпечення максимального обсягу виходу біогазу для кожного виду вихідної сировини застосовують власну технологію. Який субстрат може використовуватися: відходи діяльності сільського господарства – кукурудзяний силос, трава, солома, курячий послід, гній ВРХ. З гною від однієї корови за рік після переробки можна отримати 400-500 кубометрів біогазу; відходи харчової промисловості – пивна дробина, післяспиртова барда, жом (залишки переробки цукрових буряків), відходи переробки молока (молочна сироватка, лактоза), фруктова, ягідна, виноградна і яблучна віджимка, гнила картопля, мезга, сироп; технічний гліцерин і інші відходи сировини від виробництва біопалива (біодизелю); харчові відходи; стічні води і фекальні маси; відходи забою птахофабрик, свиноферм, скотарських підприємств [8].

Найбільш ефективними технологіями використання біомаси в біоенергетиці є пряме спалювання; піроліз; газифікація; анаеробна ферментація з утворенням метану; виробництво спиртів і масел для отримання моторного палива. Технології використання біомаси постійно вдосконалюються, забезпечуючи отримання енергії в придатній для споживача формі й з максимально можливою ефективністю. У загальному випадку енергія з органічних відходів отримується або фізичними, або хімічними чи мікробіологічними методами [9].

Фізичним методом енергію отримують шляхом спалювання органічних відходів. Основою хімічного метода є використання процесів піролізу і газифікації. Проте, найрозповсюдженішим у світі є мікробіологічний метод безвідходного виробництва – отримання біогазу анаеробним зброджуванням. Дуже цінним продуктом виробництва біогазу є отримання високоякісних органічних добрив.

Пряме спалювання біомаси в атмосфері повітря або кисню – один з найбільш старих методів отримання теплової енергії. Однак існує ряд проблем при його практичному використанні, головною з них є досягнення найбільш повного згоряння палива, в результаті якого утворюються діоксин вуглецю і вода, що не завдає шкоди довкіллю. До технічних пристроїв, які використовуються для прямого спалювання біомаси, відносяться печі, топки, камери згоряння. Біомаса може використовуватися шляхом прямого спалювання в енергетичних установках у факелі, киплячому або ущільненому шарі з подальшим отриманням теплової і електричної енергії. Основна промислова технологія цього напрямку – пряме спалювання в котлі й генерація електроенергії в паротурбінній установці.

Піроліз біомаси – хімічне перетворення одних органічних сполук в інші під дією теплоти або так звана суха перегонка без доступу окислювачів (кисню, повітря). Розроблений ряд технологічних процесів піролізу біомаси, експлуатаційні умови кожного з них визначаються природою сировини, методами переробки і заданими продуктами виробництва. Характеристика продуктів піролізу залежить від типу сировини і умов проведення процесу. Основними продуктами піролізу можуть бути вуглиста речовина, паливна рідина, паливні гази, причому часто технологічний процес орієнтований на переважне отримання одного з продуктів піролізу.

Газифікація біомаси – це перетворення твердих відходів біомаси в горючі гази шляхом неповного їх окислення повітрям (киснем, водяною парою) при високій температурі. Газифікувати можна практично будь-яке паливо, в результаті чого отримують генераторні гази, які мають значний діапазон використання – як паливо для отримання теплової енергії в побуті та різних процесах промисловості, в двигунах внутрішнього згоряння, як сировина для отримання водню, аміаку, метилового спирту і синтетичного рідкого палива. Не дивлячись на значні різновиди способів газифікації, всі вони характеризуються одними і тими ж реакціями.

Газифікатори мають різну продуктивність з різним виходом енергії в паливному газі. Низькокалорійний газ може бути отриманий газифікацією різних видів біомаси – органічних компонентів твердих міських відходів, відходів лісу, сільськогосподарських відходів.

У процесі анаеробної ферментації складні органічні речовини розкладаються на CO<sub>2</sub> і CH<sub>4</sub> з утворенням біогазу у вигляді суміші вуглекислого газу і метану, причому на частку метану може припадати до 70%.

Технологічний процес анаеробного зброджування біомаси відбувається без надходження кисню в спеціальних реакторах-метантенках, конструкція яких забезпечує максимальне виділення метану. Особливо важливим в процесі анаеробного зброджування є створення оптимальних технологічних умов в реакторі метантенку: температури, надходження кисню, достатньої концентрації живильних речовин, допустимого значення рН, відсутності або низької концентрації токсичних речовин.

Проте найбільш ефективними вважаються біореактори, що працюють в термофільному режимі 43-62°C. На таких установках з триденною ферментацією гною вихід біогазу складає 4,5 л на кожний літр корисного об'єму реактора.

Сучасні біогазові анаеробні установки складаються з таких основних систем:

- системи підготовки і подачі сировини в біореактор;
- біореактора (метантенка) із системою підтримання постійної температури та іншими комплектуючими пристроями;
- системи зберігання і використання біогазу;
- системи вивантаження і транспортування шламу.

Використання біогазу забезпечує можливість отримання теплової і електричної енергії, що є особливо привабливим для фермерських господарств. При масовому розповсюдженню біогазових технологій в сільських регіонах можна досягнути значної економії органічного палива. Становить інтерес вирощування і використання в метантенках водної рослинної біомаси для отримання біогазу. Однією з найбільш продуктивних водоростей є бура водорість макроцистис, розповсюджена в прибережній зоні морів і океанів, врожайність якої складає 450-1200 т сирової маси є 1 га. З кожної тонни широко відомої хлорели можна отримати 22 кДж енергії. Високою врожайністю характеризуються морські водорості дуналієла, водяний гіацинт, червона водорість тощо.

Для отримання біогазу використовуються також відходи тваринництва і рослинності. У схемі передбачене додаткове джерело у вигляді природного газу, який використовується в разі необхідності в зимовий період при відсутності рослинної біомаси. Ефективним шляхом є виробництво і використання біогазу при переробці рослинної і тваринної біомаси. Іншим джерелом біомаси є звалища сміття. Потенціальні можливості отримання біогазу зі звалищ можуть складати 1,6 млн. т у. п. Сировиною, з якої можна отримати біогаз, можуть бути практично всі відходи, до складу яких входять органічні компоненти.



Технологія метанового зброджування дозволяє отримувати крім джерела енергії у вигляді біогазу високоякісні добрива та білково-вітамінні кормові добавки і по суті є безвідходною. Тому в розвинених промислових країнах необхідність спорудження біогазових установок визначається трьома факторами: одержанням джерела енергії, сільськогосподарських добрив та вирішенням екологічних проблем. Питома вага даних факторів розрізняється для різних країн і залежить від цін на енергоносії і добрива, а також екологічного законодавства країни і ступеня підтримки відновлюваних джерел енергії.

Біогазові установки на гної тварин є найпростішими і набули широкого поширення у всьому світі. Устаткування модульне, і якщо підприємство планує збільшення поголів'я в майбутньому, то можна нарощувати і потужність установки. При використанні біогазової установки підприємства можуть скоротити обсяги використання або будівництва лагун в 2 рази. Сполуки органіки в гної колоїдні, вони перешкоджають випаровуванню вологи з субстрату. У біогазової установці кількість органіки зменшується, а переброджена маса сепарується. У рідкій фракції органіки практично нема, і вода з не легко випаровується. Одна свиноматка зі шлейфом в 20-24 поросят (вагою до 30 кг) дає в добу приблизно 14,5 кг гною. Свиня на відгодівлі вагою від 30 до 110 кг дає в середньому 4,5 кг. Для розрахунків добового виходу гною маточника використовується постійне маточне поголів'я. Економічно доцільно встановлювати біогазову установку на свинокомплексах з річним виходом свиней не менше 10 тисяч свиней (500 свиноматок). З тонни свинячого гною (суху речовину) можна отримати 65 м<sup>3</sup> біогазу. На тваринницьких комплексах найвигідніше перетворювати біогаз в електроенергію і тепло. Навіть якщо потреби комплексу невеликі, то у підприємства є додаткові технологічні лінії, які споживають електроенергію. Але так само можна використовувати газ і безпосередньо для спалювання, або доочищувати і заправляти біометаном масний автотранспорт.

В Україні тільки на великих свинофермах і птахофабриках щорічно утворюється понад 3 млн. тонн органічних відходів (у перерахунку на суху речовину), переробка яких дозволить одержати близько 1 млн. т умовного палива у вигляді біогазу, що еквівалентно 8 млрд. кВт/год електроенергії.

Використання біогазу забезпечує можливість отримання теплової і електричної енергії, що є особливо привабливим для фермерських господарств. При масовому розповсюдженню біогазових технологій в сільських регіонах можна досягнути значної економії органічного палива. В основі виробництва біогазу лежить процес анаеробного бродіння, тобто ферментація органічних речовин рослинного чи тваринного походження в умовах повної відсутності кисню. Відомо кілька десятків штамів мікроорганізмів, які розкладають складні органічні речовини до простих жирних кислот, і понад десяток штамів, які переробляють ці кислоти на метан, карбону (IV) оксид і воду. Встановлено, що паралельно проходять й інші продукти біохімічних реакцій, але їх кількість незначна. Отриманий біогаз має теплоту згоряння 5340-6230 ккал/м<sup>3</sup>.

Найбільший вихід біогазу в метантенках отримують при температурі 43-52°C. За таких умов, при ферментації 1000 літрів гною на протязі трьох днів можна отримати 4500 літрів біогазу.

Зараз у світі запроваджено близько 60 різновидів біогазових технологій. Внаслідок постійного вдосконалення з'явилася можливість для отримання біогазу використовувати спеціально вирощені трави та інші сільськогосподарські культури, а також їх залишки та відходи лісопереробної промисловості.

Одержуваний біогаз переважно використовується в теплоенергетичних установках, змонтованих поряд з біогазовими установками. Частково тепло використовується для виробничих процесів, але більша частина, як і електроенергія, розподіляється між споживачами. Біогаз, що отримується в процесі анаеробного зброджування гною та інших придатних для цього органічних відходів, є не тільки відновлюваним джерелом енергії, але й екологічним методом переробки та утилізації цих відходів в органічне добриво. Особливі умови ферментування призводять до втрати схожості насіння багатьох бур'янистих рослин та значно знижують забруднення продуктів бродіння хвороботворними мікробами і паразитами.

Велике значення технології отримання і утилізації біогазу мають і у боротьбі з парниковим ефектом, оскільки здатні суттєво зменшити викиди парникових газів (зокрема, метану та карбону (IV) оксиду), що утворюються при розкладанні біомаси. Отже, впровадження анаеробної біотехнології одночасно вирішує низку важливих проблем, які мають важливе практичне та наукове значення.

Програмою державної підтримки розвитку нетрадиційних і відновлюваних джерел енергії та малої гідро- і теплоенергетики в Україні заплановано створити та освоїти виробництво необхідного обладнання і довести річне виробництво біогазу до 5 млрд.м<sup>3</sup>, що еквівалентно 4,3 млн.т уп. щорічно, але реалізація цього заходу потребує істотних капіталовкладень. Україна має технічні можливості побудувати та експлуатувати понад 100 промислових установок отримання біогазу в метантенках. Так, дослідженнями встановлено, що за рік для опалення 1 метра квадратного житлової площі будинку витрачається 45 метрів кубічних газу, а для одержання 1 кВт год електроенергії необхідно витрати менше 1 метра кубічного біогазу [10].

У біоенергетиці України може бути використаний значний енергетичний потенціал біомаси, в тому числі існуючий в сільському господарстві надлишок соломи і стеблів сільськогосподарських рослин, що складають біля 20 млн. т, для опалювальних котелень, розташованих в сільській місцевості (споживаючих біля 2,9 млн. т у. п. за рік), а також для промислових енергетичних установок.

Покращення інвестиційного клімату шляхом створення відповідних рамкових умов для інвесторів з метою форсування розвитку ринку поновлюваних енергій, тобто: створення стимулів для іноземних інвесторів шляхом дебюрократизації і спрощення процесу, а також прозорості, наприклад,

підчас видачі ліцензій потенційним інвесторам; перевірка інших податкових знижок та податкових пільг; вони вже існують щодо імпорту енергозберігаючих установок в Україну, обмежуючись українськими компаніями, що імпортують в Україну енергозберігаючі матеріали, установки і запчастини. Ці компанії звільнено як від сплати ввізного мита, так і від податку на додану вартість. Передусім вигоду від цього отримують спільні підприємства. У випадку будівництва біогазової установки 50% матеріалів повинні мати вітчизняне походження. Таким чином, виробництво біогазу є перспективною галуззю виробництва біопалива поряд з виробництвом біодизелю та біоетанолу. При чому його виробництво може бути найдешевшим через низьку собівартість сировини і наявність можливостей побудови біогазових установок у кожному регіоні, якщо виникне така необхідність. Серед усіх поновлюваних енергій біогаз має особливий статус, оскільки він знаходить різноманітне застосування у сферах електроенергетики, виробництва тепла і використовується в якості пального, а також може постійно вироблятися відповідно до потреб на основі наявної місцевої сировини. Виробництво біогазу дасть можливість зменшити енергозалежність нашої держави, створити нові робочі місця, вирішити проблеми утилізації відходів, зокрема тваринництва, покращити екологічну ситуацію.

При відсутності перемішування біомаси в реакторі, через деякий час спостерігається розділення біомаси з утворенням шарів за рахунок різниці в щільності окремих мінеральних та органічних компонентах, а також за рахунок флоатації частинок при газовиділенні. При цьому більша частина біомаси анаеробних бактерій знаходиться в нижній частині реактора, а органічна частина біомаси субстрату накопичується у верхній частині реактора [7]. Наслідком цього є те, що зона контакту анаеробних бактерій із біомасою субстрату обмежена пограничним шаром вказаних частин реактора. Плаваюча кірка із твердих органічних речовин також блокує вихід біогазу. Сприяння контакту анаеробних бактерій із біомасою субстрату забезпечується за рахунок перемішування субстрату, однак при цьому інтенсивного перемішування слід уникати, оскільки це може призвести до припинення анаеробного зброджування за рахунок порушення симбіозу ацетогенних та метаногенних бактерій. На практиці компроміс досягається за рахунок повільного обертання мішалок або їх роботи упродовж короткого часу [8-9].

В Україні біогазові технології не мають широкого поширення у промислових масштабах (табл. 3). Сучасні біогазові установки розділяються на два види за технологією підготовки і бродіння сировини: рідкофазна технологія (вологість зброджуваної органічної маси більше 85 %) і твердофазна (вологість органічної маси менше 85%).

Таблиця 3. Потенціал виробництва біогазу в агровиробстві України

Вид діяльності	Кількість підприємств в Україні	Загальні обсяги основних відходів, тис. т.	Потенціал виробництва біогазу із загальних обсягів відходів і продукції, млн кубометрів на рік
Всього в Україні	11700	39800	9550
Цукрові заводи	60	23265	980
Пивзаводи	51	1020	125
Спиртові заводи	58	2700	118
Ферми ВРХ	5080	15432	390
Свиноферми	5640	5670	160
Птахофабрики	785	4725	380
Силос кукурудзи			7440

Агропромисловий комплекс України, виробляючи великі обсяги органічних відходів, має достатньо ресурсів для виробництва біогазу, які здатні замінити 1,5 млрд м<sup>3</sup> газу в рік. За інтенсивного розвитку даної галузі та широкому використанні рослинної сировини даний потенціал можна довести до 18 млрд м<sup>3</sup> в перерахунку на природний газ.

Твердофазне бродіння являє собою серію послідовних операцій. Вихідна сировина, наприклад, біологічні відходи, гній, шлам, жири або зелена маса, поміщаються в герметично закритий ферментер і, як правило, нагріваються та перемішуються. При цьому, внаслідок анаеробних процесів, утворюється біогаз. У даний час біогаз застосовується, в основному, для комбінованого виробництва електроенергії і тепла в блокових міні-ТЕЦ. Газову суміш очищають від сірководню (H<sub>2</sub>S) і подають до газопоршневого двигуна, який приводить в обертання генератор. Вироблений таким чином електричний струм надходить в мережу. Тепло із системи охолодження двигуна і тепло вихлопних газів відводяться за допомогою теплоносія для подальшого використання. Частина цього тепла (15-30%) необхідна для підігріву біосировини та підтримання вибраної температури ферментації, так як бактеріальні штами, що відповідають за розкладання біомаси, найбільш продуктивні в діапазоні температур від 37°C (мезофільні) до 55°C (термофільні). Надлишкове тепло може бути використане різними споживачами.

У питанні розвитку технологій твердофазного зброджування необхідно приділяти увагу удосконаленню мікробіологічних процесів ферментації біомаси та пошуку ефективних конструктивно-технологічних рішень ферментерів, особливо це стосується технологічних операцій завантаження біомаси, її безперервного перемішування і дотримання стабільного температурного режиму роботи ферментера [10].

Таким чином, низька ефективність процесу виділення метану під час твердофазного бродіння в існуючих біореакторах обумовлена в першу чергу відсутністю засобів для проведення належної гомогенізації реагуючої біомаси. При твердофазному зброджуванні, в залежності від фізичного стану сировини, а також потреб замовника, варіанти виконання біогазових установок можуть відрізнятися як технологіями переробки так і устаткуванням. Кожен проект біогазової установки індивідуальний, але створений із застосуванням типових рішень, адаптованих до навколишніх умов. Поширеним методом виробництва біогазу є анаеробне зброджування рідкої біомаси ( $W=90-95\%$ ) метаногенеруючими мікроорганізмами. Застосування рідкофазних технологічних процесів є більш поширеним у практиці використання біогазових установок. Цей процес полягає у безперервному введенні невеликими порціями вхідної сировини в метантенк, який представляє собою місткість змішувач без доступу повітря, де підтримується задана вологість і температура. Такі реактори виконуються із залізобетону або сталі і мають антикорозійне покриття. Спеціальні мішалки забезпечують переміщення сировини з основною реагуючою біомасою. Це сприяє певній однорідності ферментаційної суміші, частково стримуючи утворення поверхневої кірки.

Виділений у процесі ферментації біогаз накопичується під куполом, потім проходить систему очищення і подається до споживачів (котел або когенераційна установка). Біогазові установки з анаеробними реакторами такої конструкції в даний час є діючим елементом сучасного, безвідходного виробництва в багатьох галузях сільського господарства та харчової промисловості. Якщо на підприємстві є відходи сільського господарства або харчової промисловості, з'являється реальна можливість за допомогою біогазових установок не тільки значно скоротити витрати на енергію, але й підвищити ефективність підприємства, отримати додатковий прибуток. У конструкціях біогазових установок закладений принцип модульності, що дозволяє при необхідності нарощувати їх продуктивність.

**Висновки.** Виробництво біогазу є ефективною та інвестиційно привабливою технологією, що зумовлюється наявністю значного сировинного потенціалу, сприятливими природно-кліматичними умовами та низьким рівнем собівартості даного виду енергії. Проте Україна перебуває на початковому етапі запровадження відновлюваних джерел енергії, недостатньо вивченими є науково-технічні та економічні проблеми виробництва і використання біогазу.

## Список використаних джерел

1. Алімов Д.М. Технологія виробництва продукції рослинництва. Київ. Вища школа, 1994. 287 с.

2. Біопалива (технології, машини, обладнання. КиївЦТІ «Енергетика і електрифікація», 2004. 256 с.
3. Паліський В.М. Енергетичний і метаногенний потенціал соломи зернових культур, ріпаку і кукурудзи. Науковий вісник Національного ун-ту біоресурсів і природокористування України. Вип. 146: зб. наук. праць. НУБПУ, 2010. С. 9-18.
4. Степанов Д.В. Оцінка можливостей отримання енергоносіїв з органічних відходів з урахуванням техногенного навантаження на навколишнє середовище. Наукові праці ВНТУ. 2012. №1. С. 45-53.
5. Калетнік Г.М., Скорук О.П., Ратушняк А.А. Доцільність виробництва біогазу в Україні [Електронний ресурс]. Режим доступу: [http://www.rusnauka.com/34\\_NIEK\\_2010/Economics/75102.doc.htm](http://www.rusnauka.com/34_NIEK_2010/Economics/75102.doc.htm).
6. Токарчук Д.М. Виробництво і використання біогазу в Україні: економічні і соціальні перспективи. Збірник наукових праць Таврійського державного агротехнологічного університету 2013. Збірник 22. Том 3. С. 338-346.
7. Новітні технології біоенергоконверсії: Монографія. Я.Б. Блюм, Г.Г. Гелетуха, І.П. Григорюк, В.О. Дубровін, А.І. Ємець, Г.М. Забарний, Г.М. Калетнік, М.Д. Мельничук, В.Г. Мироненко, Д.Б. Рахметов, С.П. Циганков. К: «Аграр Медіа Груп», 2010. 360 с.
8. Хажмурадов М.А. Установка та технологія по утилізації біогазу. Наука та інновації. 2006. № 4. С. 19.
9. Mazur, V.A., Mazur, K.V., Pansyryeva, H.V., Alekseev, O.O. (2018). Ecological and economic evaluation of varietal resources *Lupinus albus* L. in Ukraine. *Ukrainian Journal of Ecology*, 8(4), 148-153.
10. Поліщук В.М. Вплив режимів метанового бродіння на ефективність виробництва біогазу. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування: Зб. наук. праць. Київ, 2013. № 185. Ч. 3 С. 180-191.

## Аннотация

### **ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОИЗВОДСТВА БИОГАЗА ИЗ ОРГАНИЧЕСКОГО СЫРЬЯ**

Панцырева А.В.

*В статье представлены решения проблемы обострения загрязнения окружающей среды органическими отходами животноводческой и растениеводческой отраслей, а также рассмотрен вопрос растущего дефицита энергетических ресурсов, которые являются главными мотивами интенсификации европейских разработок в области производства и*

использования биогаза. Установлено, что производство биогаза, который является продуктом анаэробного сбраживания навоза и сельскохозяйственных культур, дает не только возобновляемую энергию, но является эффективным путем борьбы с загрязнением воды и воздуха вредными отходами. В области производства биогаза АПК Украины имеет огромный потенциал. Сырьем могут быть другие отходы растительного и животного происхождения, продуцируемых пищевой, фармацевтической и ферментной индустрией, садовыми хозяйствами, предприятиями общественного питания, рынками, а также бытовые отходы.

## **Abstract**

### **TECHNOLOGICAL ASPECTS OF BIOGAS PRODUCTION FROM ORGANIC RAW MATERIALS**

Pantsyreva H.V.

*The article presents the solution of the problem of exacerbation of environmental pollution with organic waste of livestock and crop production, as well as the issues of growing shortage of energy resources, which are the main motivations of intensification of European developments in the field of production and efficient use of biogas. It has been established that the production of biogas, which is the product of anaerobic digestion of manure and crops, not only provides renewable energy, but is an effective way to combat the pollution of water and air with harmful waste. In the field of biogas production, the agroindustrial complex of Ukraine has enormous potential. Raw materials may be other waste of plant and animal origin, produced by the food, pharmaceutical and enzymatic industries, horticultural enterprises, catering enterprises, markets, as well as domestic waste.*