

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
МИКОЛАЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**Факультет ТВПШТСБ**

**Кафедра біотехнології та біоінженерії**

**Спеціальність 162– «Біотехнології та біоінженерія»**

**Ступінь вищої освіти «Магістр»**

Допустити до захисту

Рекомендувати до захисту

Декан \_\_\_\_\_ Михайло ГИЛЬ

В.о. зав. кафедри \_\_\_\_\_ Олена КАРАТЄЄВА

“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2024р.

“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2024р.

**ОСОБЛИВОСТІ ВИРОБНИЦТВА БІОГАЗУ В УМОВАХ СПРАТ  
«УКРАЇНА» ВОЗНЕСЕНСЬКОГО РАЙОНУ**

**04.02. – КР. 111-О. 18 09 24. 009**

**Виконавець:**

здобувачка вищої

освіти II курсу \_\_\_\_\_ **Марина САВЧЕНКО**

**Науковий керівник:**

доцентка \_\_\_\_\_ **Олена КАРАТЄЄВА**

**Рецензент:**

доцент \_\_\_\_\_ **Євген Баркарь**

**Миколаїв 2024**

## ЗМІСТ

РЕФЕРАТ	3
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	5
ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ	9
1.1. Біогаз – як один із видів біологічного палива	9
1.2. Перспективи виробництва біогазу в Україні та світі	11
1.3. Сировинна база для виробництва біогазу	14
1.4. Мікроорганізми, які використовуються при виробництві біогазу	16
РОЗДІЛ 2. МАТЕРІАЛИ, УМОВИ І МЕТОДИКА ВИКОНАННЯ РОБОТИ	20
2.1. Місце та об'єкт досліджень	20
2.2. Методика виконання роботи	23
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ	28
3.1. Технологічна схема процесу виробництва біогазу	28
3.2. Розрахунок матеріального балансу та потреби в сировині	32
3.3. Умови ведення технологічного процесу виробництва біогазу	35
3.4. Вплив режимів метанового бродіння на ефективність виробництва біогазу	37
3.5. Порівняння фізико-хімічних властивостей гною та біогазу	42
3.6. Економічна частина	45
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ	49
РОЗДІЛ 5. БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	54
РОЗДІЛ 6. ОХОРОНА ДОВКІЛЛЯ	60
ВИСНОВКИ	64
ПРОПОЗИЦІЇ	67
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	68
ДОДАТОК А	72

## РЕФЕРАТ

Дипломну роботу виконано на 72сторінках друкованого тексту, з використанням 33 бібліографічних джерел спеціальної, додаткової літератури та періодичних видань із них 3 латиницею. До роботи внесено 12 таблиць та 17 рисунків.

Тема дипломної роботи: «Особливості виробництва біогазу в умовах СПРАТ "УКРАЇНА" Вознесенського району».

**Мета дослідження** – встановити рівень впливу біотехнологічних факторів на ефективність виробництва біогазу з утворенням біодобрив в процесі його виробництва.

**Об'єкт дослідження** є процес виробництва біогазу на біогазовій установці, розміщеній в селі Мостове Вознесенського району Миколаївської області.

**Предмет дослідження** – технологія одностадійного періодичного зброджування сировини методом мезофільного бродіння метаноутворюючими мікроорганізмами.

**Методи дослідження** – загальноприйняті стандартні методи спостереження та аналізу, аналітико-статистичний метод.

Для досягнення мети були поставлені наступні завдання: надати характеристику технологічної схеми процесу виробництва біогазу; розрахувати матеріальний баланс та потреби в сировині; проаналізувати умови ведення технологічного процесу виробництва біогазу; оцінити вплив режимів метанового бродіння на ефективність виробництва біогазу; порівняти фізико-хімічні властивості гною та біогазу; розрахувати економічну ефективність роботи енергетичної галузі підприємства.

В результаті проведеного дослідження, спеціалістам СПРАТ "УКРАЇНА" Вознесенського району» надано пропозиції: для прискорення процесу виробництва біогазу та скорочення виробничого циклу повністю перейти на високотемпературний режим роботи БГУ в діапазоні 50-55°C

(термофільний режим). З метою покращення економічних, екологічних та санітарно-епідеміологічних аспектів галузі та забезпечення природоохоронних і ресурсозберігаючих функцій в якості субстрату, крім гною та кукурудзяного силосу, використовувати відходи сільського господарства, спиртової, харчової промисловості та інші тверді відходи.

Результати роботи апробовані на міжнародній конференції та опубліковані в закордонному виданні **Савченко М.В.** Biogas, as one of the types of promising biological fuel. Education and science of today: intersectoral issues and development of sciences: Collection of scientific papers «ΛΟΓΟΣ» with Proceedings of the VII International Scientific and Practical Conference, Cambridge, October 18, 2024. Cambridge-Vinnytsia: P.C. Publishing House & UKRLOGOS Group LLC, 2024. <https://doi.org/10.36074/logos-18.10.2024.035> (додаток Д).

**ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ**

$t$  – температура;

$Q$  – витрата теплоти;

$G$  – витрата води;

$F$  – площа поверхні нагріву;

$h$  – коефіцієнт тепловіддачі;

$\kappa$  – коефіцієнт теплопередачі;

$W$  – швидкість руху теплоносіїв;

$D$  – діаметр патрубків;

$P$  – тиск;

$V$  – об'єм води;

$A$  – температурний множник;

$Re$  – число Рейнольдса;

$Pr$  – критерій Прандтля;

$\eta$  – кінематична в'язкість;

$\lambda$  – теплопровідність;

$\rho$  – густина.

Індекси нижні:

роб – параметри робочі;

б – параметри біогазу;

0 – параметри почтакові;

доб. – параметри добові;

довк. – параметри навколишнього середовища;

р – розрахункова величина;

ср – середні параметри;

сop – параметри сухої органічної речовини;

Скорочення:

СОР – суха органічна речовина;

ВДЕ – відновлювальні джерела енергії;

СЗ – сухий залишок;

ККД – коефіцієнт корисної дії;

БГУ – біогазова установка;

КВЕ – коефіцієнт відтворення енергії

РОК – розрахункова очікувана кількість

ДБН – Державні будівельні норми;

ДСН – державні санітарні норми;

ГОСТ – державний стандарт.

## ВСТУП

Пошуки альтернативної сировини для виробництва енергії постійно зростають і нині пов'язані з проблемою збільшення частки відновлюваних джерел енергії в енергетичному балансі країни. Одним із найперспективніших напрямів у нашій державі є переробка біомаси з відходів тваринництва шляхом анаеробного зброджування з утворенням біогазу, який у подальшому можна використовувати для отримання палива та енергії [1].

Перетворення енергії біомаси на біогаз за допомогою метанового бродіння дозволяє комплексно розв'язувати енергетичні, соціальні, сільськогосподарські та екологічні проблеми. Поряд із отриманням біогазу та якісних добрив важливою складовою ефективності конверсії метану є перелік непрямих ефектів, значення яких визначається економічними показниками та національними пріоритетами. Це включає в себе зниження енергетичної складової собівартості сільськогосподарської продукції. Економить енергетичні ресурси при дорогому виробництві мінеральних добрив. Зменшення гербіцидних навантажень, ґрунту та ін. [2].

Актуальність використання біогазових установок полягає в наступному:

1. Раціональне використання енергії біомаси з сільських промислових відходів, включаючи додаткову нетрадиційну та відновлювану енергію у виробництві біопалива та енергетичному балансі.

2. Це забезпечує високу якість добрив і підвищує продуктивність рослинництва.

3. Охорона навколишнього середовища.

Економічними, екологічними, соціальними, нормативно-правовими аспектами та питаннями розвитку біоенергетики займаються багато зарубіжних та українських вчених: Г. Гелетуца, М. Калінчик, Ф. Ізермейер, Г. Калетнік, О. Шпичак та ін. вчених [4, 8, 16].

Тому на сьогодні проблема розвитку біоресурсів для виробництва енергії в Україні є актуальною, через недосконалість законодавчої бази

регулювання, економічну та соціальну нестабільність, що обмежує гарантію та стабільність постачальників енергоресурсів на ринок [1].

СПрАТ «Україна» Вознесенського району Миколаївської області займається виробництвом біогазу в промислових масштабах, що викликало наш інтерес до вивчення ефективності виробництва біогазу, придатного для використання в енергетичних цілях з утворенням біодобрива.



## РОЗДІЛ 1

### ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

#### 1.1. Біогаз – як один із видів біологічного палива

Біогаз – це горючий газ, який утворюється під час анаеробного метанового бродіння біомаси і в основному складається з метану (55-75%), вуглекислого газу (25-45%) і домішок, таких як сірководень, аміак і оксиди азоту (менше ніж 1%) є. речовина. Розкладання біомаси відбувається в основному в результаті хімічних і фізичних процесів і симбіотичної життєдіяльності трьох груп бактерій, які показані на рис. 1., при цьому продукти метаболізму одних є продуктами харчування інших в певній послідовності [1].



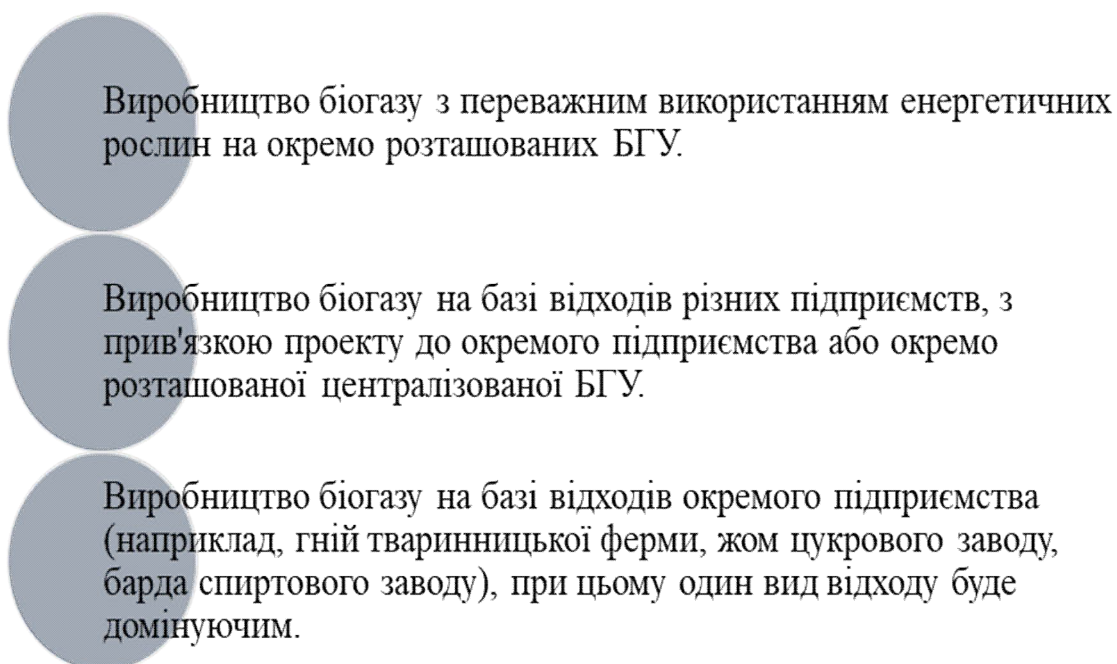
*Рис. 1. Групи метаноутворюючих бактерій*

В якості сировини для виробництва біогазу можуть використовуватися органічні сільськогосподарські, промислові або побутові відходи, а також рослинна сировина (кукурудзяний силос, трав'яний силос, зернові та зерновий силос). Найбільш придатні види сільськогосподарських відходів для виробництва біогазу показано на рис. 2 [2].



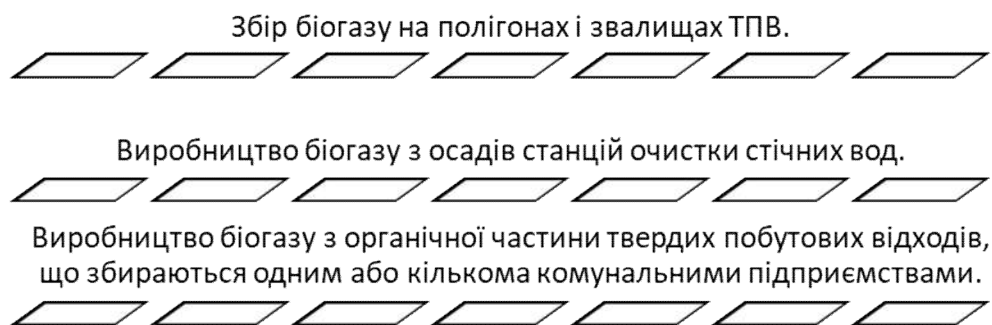
*Рис. 2. Сировина для виробництва біогазу*

У біогазовому виробництві кількість типів субстрату/відходів, які використовуються для виробництва біогазу, може варіюватися від 1 до 10 або більше. Залежно від типу та кількості використовуваних субстратів існує багато варіацій технологічної схеми біогазових установок. При використанні декількох субстратів з різними властивостями, наприклад рідких і твердих відходів, їх накопичення, попередню підготовку (подрібнення, біоактивацію, нагрівання, гомогенізацію або іншу фізико-хімічну обробку) проводять окремо, а потім змішують перед подачею. Відправити в біореактор або надати як окремий потік. У багатьох випадках використання попередньої підготовки може збільшити загальне виробництво біогазу за рахунок збільшення швидкості та ступеня розкладання сировини в біореакторі. Біогазові проекти в агропромисловому секторі можуть бути структуровані різними способами, як показано на рисунку 3 [2].



*Рис. 3. Біогазові проекти в агропромисловому секторі*

Біогазові проекти в житловому та комунальному секторах можуть бути структуровані різними способами як показано на рис. 4.



*Рис. 4. Біогазові проекти в житлово-комунальному секторі*

Найпоширенішими методами використання енергії є спалювання в газопоршневому двигуні, що входить до складу міні-ТЕЦ, який виробляє електроенергію та тепло (або холод), або тільки виробляє електричну енергію (ТЕС) і спалює безпосередньо в котлі, печі або іншому технічному обладнанні [2].

## **1.2. Перспективи виробництва біогазу в Україні та світі**

Нещодавно ціна природного газу в Європейському Союзі (ЄС) вперше в історії перевищила 2000 доларів за тисячу кубометрів. Це рекордне зростання спонукає задуматися про альтернативні види палива та шукати резервні джерела енергозабезпечення [11].

Однією з відповідей на цей виклик може стати розвиток виробництва водню та біогазу. При стрімкому зростанні вартості природного газу ці ресурси не здаються такими вже й дорогими [11].

Україна має багато конкурентних переваг, які можуть зробити її масштабним виробником водню та біогазу для власних потреб і для експорту в країни ЄС. Це наявність однієї з найбільших мереж газопроводів, достатньої кількості води, вітру та сонця для виробництва водню шляхом електролізу, а також близькість до європейських споживачів [11].

Крім того, Україна є однією з найбільших сільськогосподарських країн Європи та має великий потенціал для виробництва біогазу з відходів сільського господарства та енергетичних культур. Річний потенціал біогазу в Україні становить приблизно 8 млрд м<sup>3</sup>. Завдяки цьому вдасться замінити половину імпорту природного газу власним видобутком [16].

Біометан – очищений біогаз, що містить 95-98% метану до рівня природного газу. Найбільше біометану можна отримати з відходів і побічних продуктів сільського господарства (3,8 млрд кубометрів), кукурудзяного силосу (2,7 млрд кубометрів) та інших відходів тваринництва та переробної промисловості (1,3 млрд кубометрів) [7]

Сировинною базою виробництва біометану в Україні є різні види відходів сільського господарства, які наведені на рис. 1., 2. Потенціал виробництва водню в Україні оцінюється в еквіваленті 25-50 млрд м<sup>3</sup> газу на рік [16].

Про виробництво «зеленого» водню в Україні говорять багато. Є кілька інвестиційних проєктів, але всі вони на папері, і найближчі п'ять років в Україні не буде таких потужностей, як і вільних енергетичних потужностей з відновлюваних джерел. Транспортна інфраструктура [16].

Якщо водень є більш віддаленою перспективою, то структура біометану нічим не відрізняється від природного газу, і такі проєкти можуть бути розширені в найближчому майбутньому [16].

Крім того, у жовтні 2021 року Верховна Рада ухвалила закон про розвиток виробництва та експорту біометану та залучення інвестицій у цей напрямок [16].

Біометан дозволено подавати в газотранспортні системи та використовувати як автомобільне паливо. Раніше по газопроводах можна було перекачувати лише природний газ [16].

В Україні більшість біогазових установок орієнтовані на виробництво електроенергії та продаж її за «зеленими» тарифами. З моменту прийняття законодавства галузь тільки почала формуватися. У 2021 році «Регіональна

газова компанія» розпочала підготовку газорозподільних мереж у Вінницькій, Хмельницькій та Чернігівській областях до підключення до біометанових установок. Це перший подібний проект в Україні [16].

Загалом у рамках співпраці з Українською біоенергетичною асоціацією до газорозподільної мережі буде підключено вісім біогазових установок. Їх загальна потужність становить приблизно 100 млн кубометрів газу на рік [16].

Проте вже зараз варто думати про модернізацію інфраструктури для транспортування синтез-газу. У майбутньому зі зміною типів палива будуть змінюватися і моделі транспортування [16].

Тепер газ із родовищ або підземних сховищ одразу надходить у магістральний газопровід, а звідти – у мережу низького тиску для постачання споживачам, децентралізуючи джерела генерації водню та біогазу. Тому виробники підключають свої потужності до низьковольтних мереж. Це вимагає змін в архітектурі мережі. При плануванні модернізації газопроводів важливо враховувати можливість використання синтез-газу [16].

За словами директора зі стратегії розвитку «Регіональної газової компанії» Станіслава Казди, повна реконструкція розподільної мережі може коштувати понад 200 млрд грн. Насправді мережа була побудована в основному за радянських часів і розрахована на транспортування більших обсягів газу. Таким чином, незалежно від потужності перекачування газу, більша довжина мережі вимагає більшої кількості обладнання та технологічного газу, які використовуються для підтримки тиску. Підтримка цих мереж також вимагає участі більшої кількості працівників, яким необхідно платити. Усі ці витрати в кінцевому підсумку лягають на споживача [3].

Як правило, термін будівництва мережі становить від 20 до 50 років, а в Україні є ділянки, які експлуатуються понад 80 років. Тому модернізацію необхідно проводити з урахуванням того, що в майбутньому мережа має бути готова до транспортування водню [3].

Зараз в Україні дослідження впливу водню та його сумішей на газове обладнання та мережі проводить РГК. За півтора роки було проведено понад 100 експериментів на фізичних моделях газопроводів у п'яти областях. У пілотному проєкті використовується газоводнева суміш з концентрацією водню приблизно 20% [3].

Дослідження показали, що це співвідношення є оптимальним для транспортування в газопроводах і не впливає на роботу обладнання та пристроїв, що працюють на природному газі [3].

Експерименти ще тривають, але вже зрозуміло, які частини мережі найбільш вразливі та потребують заміни в першу чергу, щоб увімкнути роботу на водні. Це дослідження дозволило розробити лінію газоперекачувального обладнання виробництва РГК, яка вже встановлюється на ділянці мережі під час планової модернізації [3].

Випробування за участю незалежних експертів Bureau Veritas підтвердили готовність обладнання до роботи з 20% воднево-газовою сумішшю. У майбутньому це може скоротити споживання природного газу до 20% і зменшити викиди CO<sub>2</sub> [3].

Більшість розподільних мереж України вже давно вичерпали свій проєктний ресурс, тому вже найближчим часом буде потрібна масштабна модернізація газопроводів [3].

Результати експерименту можуть стати науковою основою для підготовки проєкту редизайну української мережі. Це важливо не тільки для водневих операцій, але й для безпечного транспортування природного газу та біогазу [3].

### **1.3. Сировинна база для виробництва біогазу**

Сировинною базою для отримання біогазу є придатні для виробництва органічні відходи: гній, пташиний послід, зернові та патоково-спиртові залишки, пивна крупа, буряковий жом, фекальні відходи, риба та відходи

боєнь (кров, жир, кишки), канига. ), трава, побутові відходи, відходи молочного виробництва – солена молочна сироватка, відходи виробництва біодизеля – насіння ріпаку технічний гліцерин виробництва біодизеля, відходи виробництва соків – м'якоть фруктів, ягід, овочів, виноградні вичавки, водорості, відходи виробництва крохмалю та патоки – Жом і патока , відходи переробки картоплі, виробництва чіпсів – очищення, шкірка, гнилі бульби, м'якоть кави [2].

Окрім використання цих відходів, біогаз можна виробляти із спеціально вирощених енергетичних культур, таких як кукурудзяний силос або сільїя (ароматична та лікарська рослина роду *Ferula*) та водорості. Виробництво газу  $\text{CH}_4$  може сягати до 300 м<sup>3</sup> з 1 тонни енергетичних культур [3].

Вихід біогазу залежить від вмісту сухої речовини та типу використовуваної сировини. Одна тонна коров'ячого гною дає 50-65 м<sup>3</sup> біогазу з вмістом метану 60%, а різні заводи виробляють 150-500 м<sup>3</sup> біогазу з вмістом метану до 70%. Максимальний об'єм біогазу становить 1300 м<sup>3</sup> з вмістом метану  $\text{CH}_4$  до 87% і може бути отриманий з жиру [2].

Фактично будь-який вид біомаси може бути використаний як сировина для виробництва біогазу. Особливо підходять субстрати з низьким вмістом сухої речовини. Біомаса з високим вмістом лігніну, целюлози та геміцелюлози (наприклад, солома, деревина) також використовується у секторі виробництва біогазу, але вимагає попередньої підготовки та відповідного контролю об'єму бродіння. Методи підготовки лігніно- та целюлозовмісної сировини включають аеробне розщеплення, зброджування тощо [22].

Доступні різноманітні субстрати та суміші субстратів, залежно від наявності та техніки нанесення. В основному використовуються сільськогосподарські відходи, залишки, відновлювана сировина, органічні відходи промисловості, торгівлі та приватних домогосподарств. Основними субстратами для роботи сільськогосподарських біогазових установок є культури, які використовують відновлювані джерела енергії, і відходи тваринництва (гній, екскременти) [14].

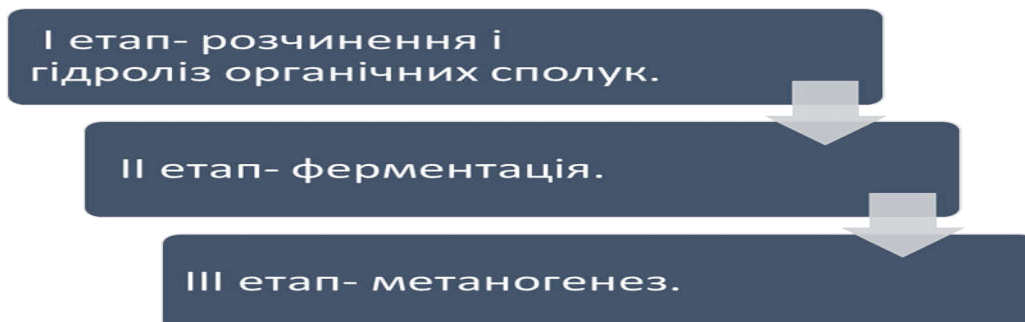
Відходи тваринництва, такі як гній і гній, насправді є ідеальним типом субстрату для виробництва біогазу, оскільки вони мають значний енергетичний потенціал, доступні безкоштовно або за низьку ціну, їх можна перекачувати та містять штами бактерій, необхідні для виробництва біогазу процес. Твердий гній і сухий пташиний послід придатні як для вологого, так і для сухого бродіння [16].

Використання енергетичних культур для виробництва біогазу стає все більш поширеним. Найбільшого поширення набула кукурудза, що пояснюється її найвищою продуктивністю за площею. Використовують також трав'яний силос, цукрові буряки, зернові та інші селекційні культури [2].

#### **1.4. Мікроорганізми, які використовуються при виробництві біогазу**

Для ефективного виробництва біогазу з органічної сировини створюються комфортні умови, в яких при відсутності доступу кисню можуть розвиватися кілька видів бактерій. Таким чином, біометаногенез здійснюється в три етапи, представлені на рисунку 5 [16].

На першому етапі розкладання органічних речовин здійснюється групою мікроорганізмів, що утворюють гідролітичну оцтову кислоту. Як субстрати вони використовують комплекси органічних речовин, а важливими продуктами їх діяльності є вищі жирні кислоти (масляна, пропіонова, молочна) [16].



*Рис. 5. Етапи біометаногенезу*



Цей процес здійснюється мікроорганізмами, для яких характерні целюлоліз, протеоліз, ліполіз, відновлення сульфідів, денітрифікація та інші види діяльності. Основний мікробний склад цієї стадії залежить не тільки від мікробного складу вхідної сировини, а й від хімічної природи проміжних продуктів розкладання органічних речовин [16].

Серед протеолітичних бактерій виділяються штами родів *Clastridium*, *Peptococcus anaerobis*, *Bacterioides*, *Eubacterium* і *Bifidobacterium*. На другій стадії бродіння мікроорганізми використовують утворені вищі жирні кислоти для утворення водню, вуглекислого газу та оцтової кислоти. Тут цей процес здійснюється бактеріями, що виробляють ацетон, і бактеріями, що виробляють водень. Вони перетворюють пропіонат в ацетат,  $\text{CO}_2$  і  $\text{H}_2$  [17].

На третій стадії метаногенні бактерії виробляють метан і вуглекислий газ з продуктів, що утворилися на попередній стадії. Бактерії, що виробляють метан, належать до стародавніх архей, які виникли 3-3,5 мільярда років тому. Він дуже поширений у природному світі, де утворюються анаеробні умови: у мулі боліт і річок, у відкладеннях морів і океанів, у рубці жуйних і в травному тракті багатьох інших тварин. У таблиці 1 наведено деякі типи метанобактерій та їх характеристики [14, 32].

Метаногенні клітини різноманітні за формою: кулясті, ланцетні, паличкоподібні, ниткоподібні, деякі мають джгутики. Клітинні стінки бактерій не містять муреїну, а ліпіди не містять жирних кислот. Більшість нейтральних ліпідів – це ефіри гліцерину та фітанолу, довголанцюгового спирту. Коензим М (2-меркаптоетансульфонова кислота), фактор G420, який містить флавіни та кілька інших сполук, яких немає в інших організмах, бере участь у метаболізмі метаногенних бактерій. 16 Послідовність нуклеотидів р-РНК також відрізняє метаногени від інших організмів. Вміст НС основ ДНК коливається від 30,7 до 61,0 моль. %. Усі метаноутворюючі бактерії строго анаеробні. Одні з них мезофільні, інші – теплолюбні і розмножуються при оптимальній температурі 60-80°C. (*M. thermoautotrophicum*). Оптимальне значення рН для різних видів становить 6,5-8,0 [16].

## Характеристика метаноутворюючих бактерій

Рід та вид	Характеристика культури	Субстрат
<i>Methanobacterium formicum</i> <i>M. bryantii</i> <i>M. thermoautotrophicum</i>	Палички – від довгих до ниткоподібних; у клітинній стінці міститься псевдомуреїн	Водень та форміат Водень Те саме
<i>Methanobrevibacterium ruminantium</i> <i>M. smithi</i> <i>M. orboriphilu</i>	Грудки, короткі палички; у клітинній стінці міститься псевдомуреїн	Водень та форміат Водень Те саме
<i>Methanococcus vannielii</i> <i>M. voltae</i> <i>M. thermolithotrophicus</i> <i>M. mazei</i>	Рухомі нерегулярні невеликі коки; у клітинній стінці містяться поліпептидні субодиниці	Водень та форміат Те саме Те саме Водень, метанол, метиламін, ацетат
<i>Methanomicrobium mobile</i>	Рухомі короткі палички та нерегулярні рухомі невеликі коки; у клітинній стінці містяться поліпептидні субодиниці	Водень та форміат
<i>Methanobacterium cariaci</i> <i>M. marisnigri</i>	Рухомі невеликі коки; у клітинній стінці містяться поліпептидні субодиниці	Те саме Те саме
<i>Methanospirillum hungatei</i>	Рухомі палички; у клітинній стінці містяться поліпептиди	Водень та форміат
<i>Methanosarcina barkeri</i>	Нерегулярні коки, згруповані у пакети; у клітинній стінці містяться гетерополісахариди	Водень, ацетат, метанол, метиламін
<i>Methanotherix Soehngenii</i>	Палички від довгих до ниток; у клітинній стінці не міститься мурашина кислота	Ацетат
<i>Methanothermus fervidus</i>	Нерухомі палички; у клітинній стінці міститься псевдомуреїн	Водень

Деякі штами можуть рости в середовищах з NaCl вище 5-7%. Бактерії найчастіше використовують сульфід як джерело сірки та амоній як джерело азоту. Для деяких видів потрібен дріжджовий автолізат або вітамінні суміші. Деяким для росту потрібен ацетат або інші органічні речовини [17].

Багато метаногенів можуть рости в автотрофних умовах з вуглекислим газом як єдиним джерелом вуглецю. Як субстрат більшість метаногенів споживають форміат, який перетворюється на метан [23].

## РОЗДІЛ 2

### МАТЕРІАЛИ, УМОВИ І МЕТОДИКА ВИКОНАННЯ РОБОТИ

#### 2.1. Місце та об'єкт дослідження

СПрАТ «Україна» знаходиться в селі Мостове Вознесенського району Миколаївської області. Господарство розміщене за 50 км від районного центру м. Вознесенськ та за 115 км від обласного центру. Найближча залізнична станція – Колосівка за 12 км, найближчий порт – у місті Миколаєві [26].

Для популяризації та впровадження біогазової технології в Україні у 2018 році на базі СПрАТ «Україна» було побудовано біогазовий комплекс з використанням відходів тваринництва та кукурудзяного силосу, вирощеного на фермах [26].

СПрАТ «Україна» бере участь на українському ринку відновлюваної енергетики як незалежний виробник електроенергії з відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) з 2018 року. Перша біогазова біоелектростанція потужністю 0,4 МВт введена в експлуатацію в 2018 році. Електроенергія, вироблена на фермі, купується застрахованим покупцем за зеленим тарифом. Компанія переважно використовує власну сировину для виробництва енергії [26].

СПрАТ «Україна» є одним із головних поповнювачів бюджету селищної ради та вирішує чотири нагальні проблеми: електропостачання, біодобрива, утилізація відходів виробництва та підвищення рівня зайнятості населення. Вироблена на фермі електроенергія подається в загальну електромережу за «зеленим» тарифом, а тепла енергія використовується для обігріву овочевої теплиці. Тепличні товари продаються в громаді та в місцевих роздрібних магазинах [26].

Щороку компанія спрямовує 5% свого прибутку на розвиток освіти та медицини в громаді. Економічні показники роботи СПрАТ «Україна»,

забезпеченість виробничими фондами, енергетичними ресурсами, аналіз робочої сили представлено в таблиці 2 [26].

Таблиця 2

### Показники розміру виробництва СПРАТ «Україна»

Показник	Рік			В середньому за три роки
	2021	2022	2023	
Валова продукція в порівняних цінах 2023р. тис. грн	47856	48268	56380	50834,00
Основна продукція, т/рік	896347	985254	927600	936400
Грошова виручка від реалізації, тис. грн	57896	62675	67410	62660,3
Вартість основних виробничих фондів, тис. грн	27698	29585	41719	33000,6
Середньорічна чисельність працівників, чол.	86	75	75	78,6
Додаткова продукція підприємства, т/рік	11872	13686	15385	13646
Грошова виручка від реалізації, тис. грн	1248	1456	1633	1445

Розмір та структура грошових надходжень від реалізації біотехнологічної продукції наведено в таблиці 3.

Таблиця 3

### Розмір та структура грошових надходжень від реалізації товарної продукції

Галузі та види продукції	2021 рік		2022 рік		2023 рік		В середньому за 3 роки	
	тис. грн	%	тис. грн	%	тис. грн	%	тис. грн	%
Електрична енергія	3200	72	3800	78	4900	86	3966,7	78,6

При цьому тепла енергія, тверді та рідкі добрива використовуються для потреб господарства. Добовий вихід енергоносіїв з тваринницької ферми наведено в таблиці 4.

Таблиця 4

#### Добовий вихід енергоносіїв з тваринницької ферми

Група тварин	Вихід гною, кг	Вихід біогазу, м <sup>3</sup>	Вихід електроенергії, кВт/м <sup>3</sup>	Вихід тепла, МДжж/м <sup>3</sup>
Плідники	84	38	75	785
Корови	11350	5090	10200	10700
Нетелі	685	308	616	6470
Молодняк до року	2620	1175	2350	24680
Телята до 6-ти місяців	1550	680	1380	14180
Телята до 3-х місяців	182	82	164	1705
Всього	16380	7370	14730	154730

Технічні характеристики біогазового комплексу та його особливості:

Розташування: Україна, село Мостове, Вознесенський район, Миколаївська область.

Термін будівництва: 2017/2018 (забудовник компанія «Бітек Біогаз»)

Субстрат: відходи тваринництва (гній), кукурудзяний силос, інші відходи сільського господарства, технічні культури.

Встановлена потужність: 400кВт.

Застосування біогазу: спалювання біогазу на теплоелектростанціях для виробництва електроенергії та продажу її в мережу за «зеленим» тарифом, а також для опалення теплиць.

Характеристики: 1 первинний метантенк з газгольдером, 1 лагуна, продаж біодобрива, режим мезофільного бродіння.

Добове виробництво біогазу становить 14730 м<sup>3</sup>.

Виробництво (річна):

Електрична енергія – 980 МВт/год.

Теплова енергія – 1160 МВт/год.

Твердих добрив (70% вологи) – 3144 тони.

Добрива рідкі (99% вологості) – 6359 тони.

Основним завданням біогазової установки в умовах СПрАТ «Україна» є оптимальна робота, спрямована на отримання максимально досяжної кількості біогазу [26].

## 2.2. Методика виконання роботи

Дослідження виконувалися під час переддипломної практики в умовах СПрАТ «Україна» Вознесенського району на базі біогазового комплексу в літній період 2024 року.

**Мета дослідження** – встановити рівень впливу біотехнологічних факторів на ефективність виробництва біогазу з утворенням біодобрив в процесі його виробництва.

**Об'єкт дослідження** є процес виробництва біогазу на біогазовій установці, розміщеній в селі Мостове Вознесенського району Миколаївської області.

**Предмет дослідження** – технологія одностадійного періодичного зброджування сировини методом мезофільного бродіння метаноутворюючими мікроорганізмами.

Для досягнення мети були поставлені наступні завдання:

- Характеристика технологічної схеми процесу виробництва біогазу;
- Розрахунок матеріального балансу та потреби в сировині;
- Аналіз умов ведення технологічного процесу виробництва біогазу;

- Оцінка впливу режимів метанового бродіння на ефективність виробництва біогазу;
- Порівняння фізико-хімічних властивостей гною та біогазу;
- Розрахунок економічної ефективності роботи енергетичної галузі підприємства.

**Методи дослідження** – загальноприйняті стандартні методи спостереження та аналізу, аналітико-статистичний метод.

Об'єктом дослідження є процес виробництва біогазу, що складається з чотирьох основних етапів, представлених на рисунку 7.



*Рис.7. Фази виробничого процесу біогазу*

Розрахунок очікуваної кількості біогазу, що виділяється при анаеробному розкладанні, м<sup>3</sup>, рекомендується виконувати за формулою [13]:

$$V_{p.б} = PПТВ \times Кл.о. \times (1-Z) \times Kp \quad (1)$$

де  $V_{p.б}$  – розрахункова кількість біогазу, м<sup>3</sup>;

$PПТВ$  – загальна маса ТПВ, які складуються, кг;

$Кл.о.$  – вміст органіки, що легко розкладається, в 1 т відходів ( $Кл.о. = 0,4-0,7$ );

$Z$  – зольність органічної речовини ( $Z = 0,2-0,3$ );

$Kp$  – максимально можливий ступінь анаеробного розкладання органічної речовини за розрахунковий період ( $Kp = 0,4-0,5$ ).

З урахуванням інших обставин питомий об'єм біогазу, що можна



зібрати з 1 т твердих відходів за весь період експлуатації системи біогазу, визначається за формулою [11]:

$$V_{p.б.} = V_{p.б.} \times K_c \times K, \quad (2)$$

де  $V_{p.б.}$  – об'єм біогазу, що можна зібрати з 1 т ТПВ, м<sup>3</sup>;

$K_c$  – коефіцієнт ефективності системи збору біогазу ( $K_c = 0,5$ );

$K$  – коефіцієнт поправки на непередбачені обставини ( $K = 0,65-0,70$ ).

Для проектування продуктивності біогазової установки необхідно визначити обсяг одноразової завантаження метантенка.

Добовий обсяг завантаження визначається як маса добових екскрементів, кг [11]:

$$m_{доб.} = N_{жс} \times m_{уд}, \quad (3)$$

де:  $N_{жс}$  – кількість тварин, голів;

$m_{уд}$  – питомий вихід екскрементів на добу, кг/добу.

Вихід гною без використання підстилки (добовий) визначається за формулою [13]:

$$Q_{г.доб} = \frac{(MEJ + BJ) \times nJ}{1000} \quad (4)$$

де  $Q_{г.доб}$  – добовий вихід гною, т;

$MEJ$  – добова маса екскрементів від однієї тварини, кг;

$BJ$  – добова кількість води, в системі гноєвидалення, кг;

$nJ$  – поголів'я тварин або птахів виробничої групи, що одночасно утримується на комплексі, гол.

Кількість води ( $BJ$ ), яка потрапляє в систему гноєвидалення, розраховується за формулою [11]:

$$BJ = K \times MEJ, \quad (5)$$

де  $K$  – коефіцієнт

Для розрахунку виходу гноєвої маси на рік застосовуємо формулу [13]:

$$Q_{z.p\acute{r}i\check{c}} = Q_{z.\delta o\delta} \cdot t \quad (6)$$

де  $t$  – кількість діб у році (365).

Вологість безпідстилкового гною визначається за формулою [11]:

$$\frac{W_z}{1+Z} = \frac{W_E + 100Z}{1+Z} \quad (7)$$

де:  $W_z$  – відносна вологість гною, %;

$W_E$  – відносна вологість екскрементів, %,

$Z$  – показник, який враховує кількість води, що потрапляє в систему гноєвидалення.

Добова продуктивність реактора, або його пропускна здатність щодо вихідного гною визначається за формулою [11]:

$$G_{\delta o\delta} = \frac{Q_{z.p\acute{r}i\check{c}}}{t_{p\acute{r}i\check{c}} - t_3} \quad (8)$$

де  $G_{\delta o\delta}$  – добова продуктивність щодо вихідного гною, т/добу;

$Q_{z.p\acute{r}i\check{c}}$  – річна кількість гноєвої біомаси на фермі, т;

$t_{p\acute{r}i\check{c}}$  – кількість діб у році (365);

$t_3$  – тривалість випуску й обслуговування реактора, діб (30 діб).

Добовий об'єм завантаження метантенка ( $Q_{\delta o\delta}$ , м<sup>3</sup>) дорівнює добовому виходу з ферми гною вологістю 88-92% [13]:

$$Q_{\delta o\delta} = \frac{W_{z.f} \times Q_{z.p\acute{r}i\check{c}}}{W_{v.o\check{n}t.v.z} \times q_v} \quad (9)$$

де  $Q_{z.\delta o\delta}$  – добовий об'єм завантаження метантенка, м<sup>3</sup>;

$W_{z.f}$  – відносна вологість гною, який виходить з ферми, %;

$W_{v.o\check{n}t.v.z}$  – відносна оптимальна вологість гною (88-92%);

$Q_{z.\delta o\delta}$  – добовий вихід гною на фермі, т;

$q_v$  – питома вага 1 м<sup>3</sup> гною при вологості 82%, 1,4 т.

Добовий вихід біогазу розраховується за формулами з врахуванням

вмісту в гноєвій біомасі сухої речовини [11]:

$$V_{г.добр.} = \frac{P_{а.с.р.} \times Z}{100 \times K \times \nu} \quad (10)$$

де:  $V_{г.добр.}$  – добовий вихід біогазу, м<sup>3</sup>;

$P_{а.с.р.}$  – добова кількість сухої речовини, т;

$Z$  – стан розкладання органічної речовини, % (30);

$K$  – коефіцієнт розчинності біогазу (1,1-1,5);

$\nu$  – питома вага біогазу (при вмісті за об'ємом: метану 65% та діоксиду вуглецю 35% – дорівнює 0,00117 т/м<sup>3</sup> або 1,17 кг/м<sup>3</sup>).

Річний вихід біогазу розраховуємо за формулою [13]:

$$V_{г.річн.} = V_{г.добр.} \times 365 \quad (11)$$

На заключному етапі досліджень, нами було поставлено за мету дослідити економічну ефективність виробництва біогазу в умовах СПрАТ «Україна» Вознесенського району [16].

## РОЗДІЛ 3

### РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

#### 3.1. Технологічна схема процесу виробництва біогазу

Завданнями дослідження цього розділу є вивчення основних конструктивних елементів генерального плану біогазової установки та розрахунок параметрів виробництва біогазу з БГУ, розташованої на території села Мостове Вознесенського району Миколаївської області (рис. 8).

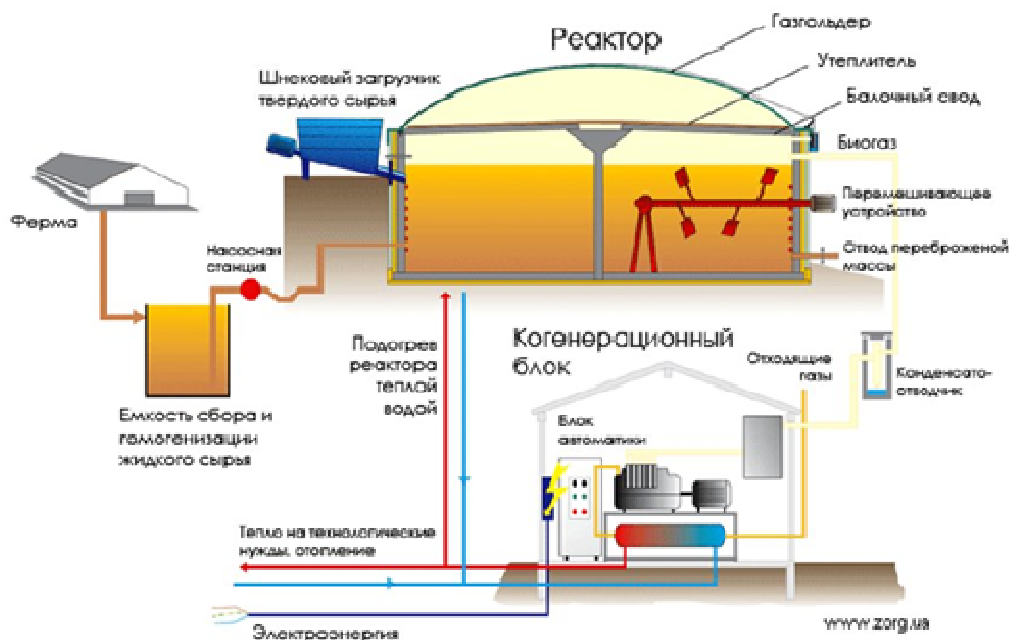


Рис. 8.

Технологічна схема БГУ залежить від типу і кількості субстратів, типу і якості кінцевого цільового продукту, «ноу-хау», яке використовує компанія, що надає технологічне рішення, і багатьох інших факторів. В умовах СПрАТ «Україна» використовується метод одностадійної ферментації кількох видів субстратів, одним із яких зазвичай є гній. Як показано на рисунку 8, одним із основних елементів біогазової установки є модуль дозування, зважування та подачі сухих і рідких типів субстратів, відображено на рисунку 9.



*Рис. 9. Модуль зважування та подачі сухих та рідких видів субстрату*

Якщо використовують сухий субстрат, то його завантажують працівники в модуль дозування та подачі сухого субстрату. Відповідно, рідкий субстрат завантажують в модуль завантаження рідкого субстрату. Ці модулі являють собою великі підземні ємності, в які насипають необхідну кількість субстрату. Саме тут починається весь процес виробництва біогазу.

Після ретельної підготовки в модулях рідкий субстрат змішується з сухим субстратом у відповідних пропорціях і подається у ферментер (рис. 10).



*Рис. 10. Ферментер для виробництва біогазу в умовах СПрАТ  
«Україна»*

Далі починається основний процес виробництва біогазу, який відбувається у ферментері. Сировина подається в ферментер 4-6 разів на добу за допомогою спеціальних насосів для драглистих і рідких субстратів. Ферментер являє собою герметичний газонепрониклий резервуар.

Для підтримки стабільної внутрішньої температури ферментер оснащений системою внутрішнього підігріву стін. У холодну пору року ферментер теплоізолюють зовні, щоб запобігти втратам тепла.

У ферментері субстрат безперервно перемішують за допомогою низько швидкісної механічної мішалки для забезпечення повного та ретельного перемішування, якою обладнаний наш ферментер.

Вивантаження референтного субстрату відбувається автоматично з тією ж частотою, що і завантаження. Попередньо підігрітий у ферментері субстрат зберігається в анаеробних умовах від 20 до 35 днів (залежно від виду субстрату). Щоб ефективно виробляти газ і підтримувати життєдіяльність мікроорганізмів, які його виробляють, працівники підтримують постійну температуру в реакторі на рівні 35-70 °C та забезпечують постійне перемішування субстрату. Для цього встановлені безпосередньо в стінці реактора спеціальні мішалки та нагрівачі [9].

Вироблений біогаз зберігається в газгольдері, встановленому на даху метантенка. Метантенк необхідний для збільшення виробництва біогазу з біомаси шляхом продовженої витримки субстрату ще до 50-80 днів.

Газгольдер використовується як герметична кришка для ферментера і виконує функцію накопичення газу. Зовнішній купол має високу стійкість до УФ-променів, стійкий до горіння та має високу еластичність (рис. 11). Схема біогазової установки передбачає високу еластичність цього елемента і надійну фіксацію конструкції. Видалення біогазу здійснюється через трубопроводи, обладнані пристроями автоматичного видалення конденсату та запобіжними пристроями, що захищають газгольдер від перевищення допустимого тиску [19].



*Рис. 11. Загальний вигляд газгольдера в умовах СПрАТ «Україна»*

З газгольдера біогаз безперервно подається в когенераційну установку або в систему очищення біогазу (рис. 12).



*Рис. 12. Когенераційна установка енергогенерування на базі БГУ в умовах СПрАТ «Україна»*

Далі біогаз з газгольдера через систему очищення та осушення сірководню подається в когенераційну установку, де спалюється для виробництва тепла та електроенергії. В даній біогазовій установці, також передбачений факел для спалювання надлишкових газів або для аварійного скидання газу.

Вироблена електроенергія розподіляється в електричну мережу за «зеленим» тарифом, а тепло частково (до 30%) використовується для підігріву субстрату на вході у ферментер. Решта тепла використовується для виробництва теплоносіїв (гарячої води або пари) та використовується відповідно до потреб самого підприємства. Після переробки оброблений субстрат з установки подається в сепаратор. Механічна сепараційна система працює від 4 до 6 разів на добу і розділяє залишки бродіння після ферментера на тверді та рідкі біодобрива. При цьому контроль всього обладнання здійснюється автоматизованою системою [27].

Таким чином, конструкція та будова біогазової установки в умовах СПрАТ «Україна» Вознесенського району забезпечує мінімізацію людських затрат праці під час її експлуатації. При цьому людина витрачає час і зусилля лише на технічне обслуговування, додавання сировини в установку. Сама установка створює оптимальні умови для біохімічних процесів, що відбуваються під час ферментації та життєдіяльності метаноутворюючих бактерій і є важливим показником у визначенні параметрів процесу виробництва біогазу.

### **3.2. Розрахунок матеріального балансу та потреби в сировині**

Сучасні біогазові установки засновані на використанні реакторів з підігрівом, оскільки процес метаногенезу потребує безперервних витрат енергії. Ефективне виробництво біогазу можливе лише в тому випадку, якщо загальна енергія газу значно перевищує витрати енергії на її виробництво [13].

Оскільки основною умовою здійснення будь-якого процесу є його економічна ефективність, ми в першу чергу поставили собі за мету дослідити баланс маси даної біогазової установки за добовим споживанням сировини та виробленої продукції, відобразивши інформацію про вид та кількість сировини, що подається в реактор, використані допоміжні матеріали, проміжні та кінцеві продукти виробництва.



Як видно з даних таблиці 5, загальна потужність БГУ на добу становить 57 000 кг загальної сировини, що завантажується в реактор, включаючи 52 300 кг коров'ячого гною та 4 700 кг кукурудзяного силосу. В результаті анаеробного бродіння утворюється гомогенізований субстрат у кількості 56500 кг.

Таблиця 5

### Матеріальний баланс по добовим витратам

Використано		Отримано		
назва сировини та матеріалу	кількість	назва кінцевого продукту	кількість	
	кг		м <sup>3</sup>	кг
Гній ВРХ	52300	Гомогенізований субстрат		56500
Силос кукурудзи	4700			
Всього	57000			
Гомогенізований субстрат	56500	Зброджена маса		55700
		Біогаз	774,8	903,7
		Втрати		27,1
Всього	56500			56500
Зброджувана біомаса	55700	Тверда фракція		12533,6
		Рідка фракція		43166,4
Всього	55700			55700
Шлам	12533,6	Гранульовані добрива		8282,1
		Залишки вологості		4251,5
Всього	12533,6			12533,6

На другій стадії процесу бродіння отриманий гомогенізований субстрат за допомогою метаногенних бактерій перетворюється на біогаз в об'ємі – 774,8 м<sup>3</sup> і зброджену ферментаційну біомасу у кількості – 55700 кг. На цьому етапі спостерігаються втрати – приблизно на рівні 27,1 кг біогазу.

Крім того, в процесі зброджування отриманої біомаси утворюється тверда частина, а саме 12533,6 кг осаду та 43166,4 кг рідкої частини. Тверда

фракція у свою чергу поділяється на гранульоване біодобриво – 8282,1 кг і залишкову вологу – 4251,5 кг.

Як видно із даних таблиці, в процесі анаеробного бродіння, крім біогазу, утворюються і біодобрива у вигляді рідких і твердих фракцій, що містять фосфор, калій і аміак, які є дуже цінними у поживному відношенні. В умовах СПрАТ «Україна» рідку частину використовують для поливу земель, а тверду частину гранулюють, висушують і розкидають на полях.

Таким чином, матеріальний баланс маси біогазової установки в умовах СПрАТ «Україна» показує, що виробництво біогазу є економічно доцільним, оскільки загальна енергія виробленого газу значно перевищує витрати енергії на її виробництво. Що зумовлює подальшу необхідність в розрахунку потреби в сировині.

Оскільки, як сировина для анаеробного бродіння використовується коров'ячий гній, кукурудзяний силос та інші відходи сільського господарства, нами була обрахована добова та річна потреба в сировині та її порівняння з наявними її обсягами на фермі (табл. 6).

*Таблиця 6*

#### **Кількість сировини, необхідної для виробництва біогазу**

Назва субстрату	Потреба кількість, т		Наявна кількість, т		Фактичний вихід біогазу, м <sup>3</sup>	
	доба	рік	доба	рік	доба	рік
Гній ВРХ	60	21900,0	50,82	18549,0	105944,0	38669560
Силос кукурудзяний	4,7	1715,5	4,30	1569,50	77,40	28251

Так, з даних таблиці видно, що в умовах біогазової установки СПрАТ «Україна» добова потреба в сировині дещо нижча від її фактичної наявності, а різниця в коров'ячому гної становить 9,18 т між добовою потребою і 3351 т між річною потребою. Подібна тенденція спостерігалася і для кукурудзяного силосу – 0,3 т за добу або 146 т на рік з дефіцитом між наявністю та

потребами. Проте ця невідповідність у потребі та наявності сировини для виробництва біогазу суттєво не впливають на роботу даної БГУ, яка забезпечує виробництво біогазу на рівні 106021,4 м<sup>3</sup>/добу, або в перерахунку на фактично вироблений біогаз за рік об'ємом на рівні 38697811 м<sup>3</sup> біогазу.

Отже, в ході аналізу даних потреби в сировині і її фактичної наявності необхідної на виробництво біогазу, було виявлено дефіцит між фактичною наявністю та потребою – 9,48 т та 3497 т сировини, залежно від добового та річного навантаження на реактор відповідно. Однак ці відмінності в сировині для виробництва біогазу не є суттєвими і не впливають на роботу БГУ у мовах СПрАТ «Україна», забезпечуючи при цьому достатньо високі виходи біогазу.

### 3.3. Умови ведення технологічного процесу виробництва біогазу

Основною умовою здійснення технологічного процесу виробництва біогазу є створення оптимальних параметрів у біогазовій установці. Що забезпечує ефективний і стабільний перебіг процесу бродіння в реакторі. Тому нами було поставлено за мету дослідити основні технічні параметри при роботі з даною біогазовою установкою і у разі необхідності, якими діями вони коригуються.

Оскільки оптимальна вологість субстрату при виробництві біогазу повинна становити 82% або 93%. На базі біогазової установки в умовах СПрАТ «Україна» біогаз виробляється при вологості субстрату 93% (табл. 7).

*Таблиця 7*

#### Основні технологічні умови роботи біогазової установки СПрАТ «Україна»

Компонент середовища	Вологість, %	Вода, яку необхідно додати, л
Гній ВРХ	65	337
Силос кукурудзи	75	275

Як вказують дані в таблиці, що коли вологість вихідної сировини гною великої рогатої худоби становить 65%, а кукурудзяного силосу дорівнює 75%,

то її потрібно корегувати за рахунок додавання води у кількості – до гною 337 л на кожні 100 кг гною, а до силосу кукурудзяного 275 л води на кожні 100 кг силосу. Щоб забезпечити вихід біогазу заданою вологістю – 93%.

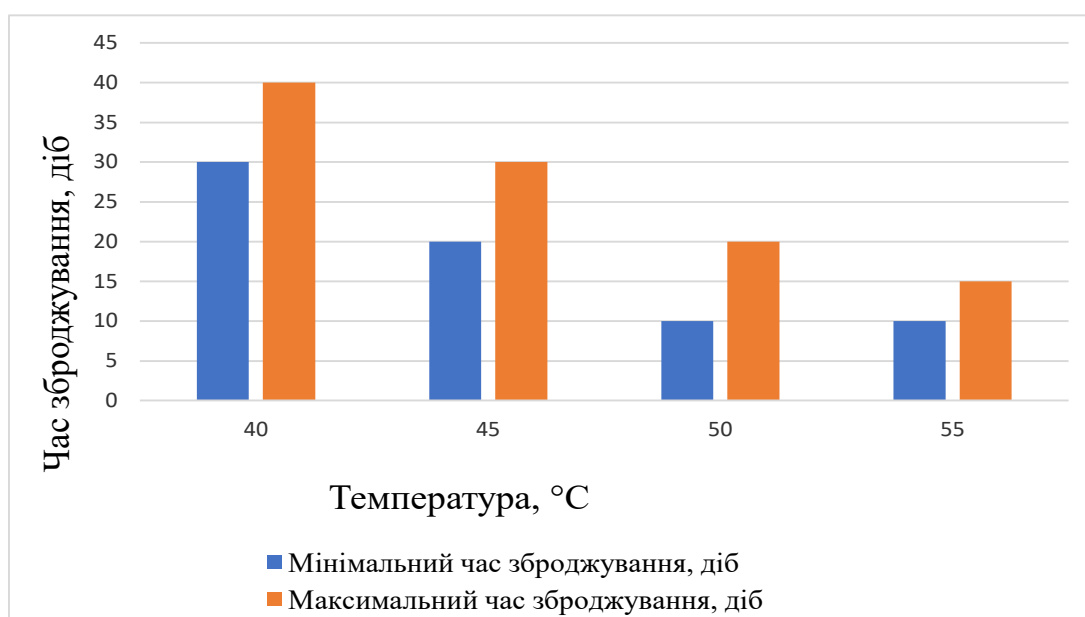
Ще одним важливим параметром повноцінного процесу бродіння сировини в реакторі є температура. У нашому випадку, за кислотності поживного середовища рН 6,5-8,5 од., використовуються різні температурні режими, а саме – 40, 45, 50 і 55 °С, тому ці температурні режими безпосередньо впливають на тривалість процесу бродіння (табл. 8).

Таблиця 8

**Вплив температурного режиму на тривалість зброджування при рН 6,5-8,5**

Температура, °С	Час зброджування, діб
40	30-40
45	20-30
50	10-20
55	10-15

А саме, використання нижчих температур – 40°С і 45°С (мезофільний режим) значно підвищується тривалість процесу бродіння в реакторі до 30-40 і 20-30 днів відповідно (рис. 13).



**Рис. 13. Вплив температури на тривалість процесу бродіння**

При підвищенні температури до 50 і 55 °С (термофільний режим), навпаки, період бродіння скорочувався до 10-20 та 10-15 днів відповідно, що може визначити економічну ефективність роботи даної біогазової установки.

При виробництві біогазу необхідно контролювати активну кислотність середовища реактора. Згідно з даними таблиці, в умовах досліджуваної нами біогазової установки активна кислотність підтримується на рівні рН=6,5-8,5 од. Тобто його слабколужна природа забезпечує активний розвиток анаеробних метаногеруючих бактерій.

Таким чином, технологічні умови роботи біогазової установки в умовах СПрАТ «Україна» відповідають вимогам технологічного процесу і при необхідності корегуються за вологістю за рахунок введення у субстрат води у відповідних концентраціях. А температурний режим, який використовується під час виробничого процесу, безпосередньо впливає на тривалість ферментації та виробництва біогазу, що також може бути скориговано у разі необхідності.

#### **3.4. Вплив режимів метанового бродіння на ефективність виробництва біогазу**

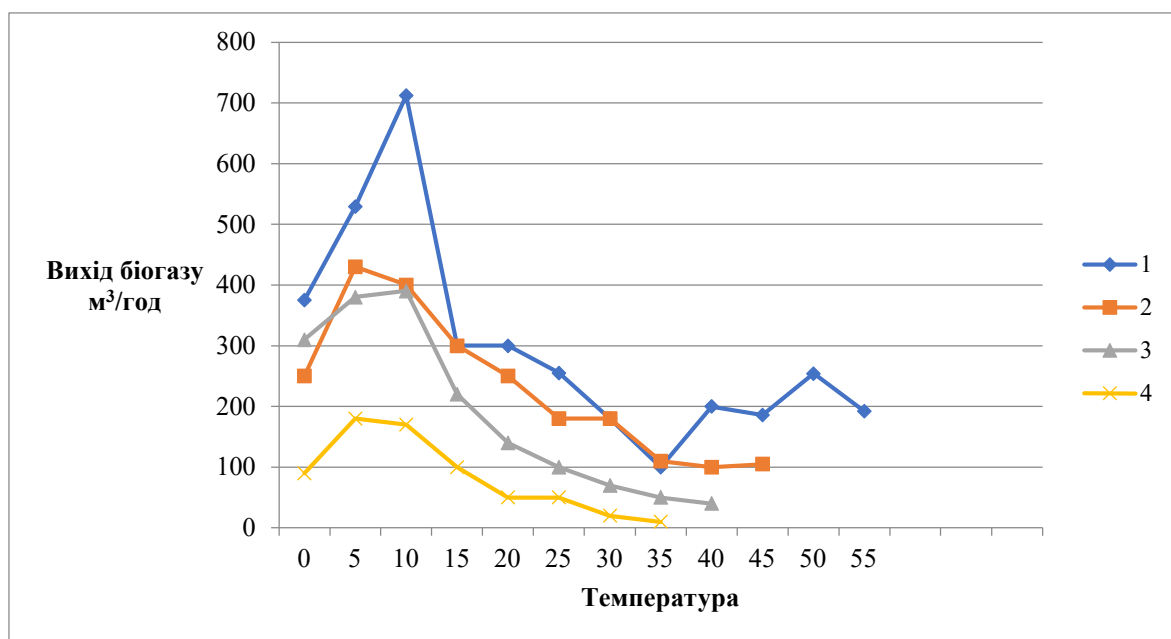
Ефективність виробництва біогазу багато в чому залежить від режиму роботи та особливостей біогазової установки. Для посилення процесу метанового бродіння необхідно оптимізувати умови, які максимізують швидкість ферментних реакцій всього процесу бродіння [13].

Склад біомаси гною та його властивості мають істотний вплив на процес метанового бродіння. Сучасні біогазові установки можуть переробляти субстрати з вмістом сухої речовини до 12% та вмістом стеблподібних або волокнистих частинок з максимальною довжиною не більше 30 мм [2].

Так нами встановлено, що ефективність виробництва біогазу залежить від виду сировини, наявності чи відсутності допоміжних субстратів,

температурного режиму біогазової установки, наявності чи відсутності перемішування субстратів.

Встановлено, ступінь впливу температурного режиму в метантенку на ефективність виробництва біогазу в умовах метанового зброджування коров'ячого гною вологістю 93,4 % за температур 55, 50, 45 і 40°C (рис. 14) Так, виробництво біогазу збільшується зі збільшенням температури метантенка (крива 1 і 2).

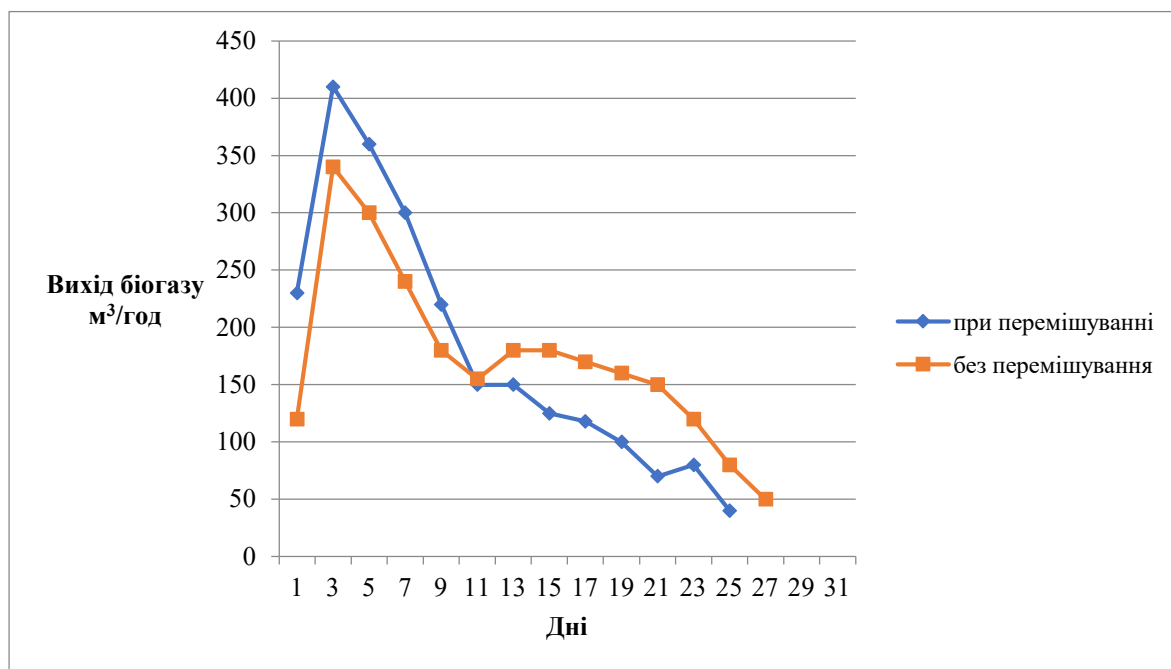


*Рис.14. Вплив різних температурних режимів на вихід біогазу при метановому зброджуванні гною ВРХ*

А саме, за низьких температур 40 та 45°C відмічався низький вихід біогазу на рівні 180 та 390 м³/год (крива 3 і 4). В той час коли виробничий процес метанового бродіння відбувався за більш вищих температур – 50-55°C, то відмічалось різке підвищення виходу біогазу – до 450 м³/год за температури 50°C (крива 2). А підвищення температури бродіння до 55°C сприяло отриманню максимальному виробництву біогазу до 710 м³/год (крива 1). При цьому відмічалось, що тривалість лаг-фази була мінімальною і тривала менше доби, за винятком бродіння при температурі 55°C, де тривалість лаг-фази становила 4 дні. За всіх температурних режимів сума часу експоненційної фази та фази уповільненого росту була в межах 14-15 діб. Коефіцієнт утворення біогазу протягом перших 14-15 діб і наступного часу

роботи реактора становив 2,1-3,3 дні. Тому, якщо основною метою зброджування відходів є отримання біогазу, то найбільш оптимальний час для процесу зброджування коров'ячого гною та утворення біогазу є 14-15 діб.

Нами було досліджено і вплив режимів перемішування субстрату чи його відсутності на вихід біогазу при метановому зброджуванні гною ВРХ. Результати дослідження відображені на рисунку 15.



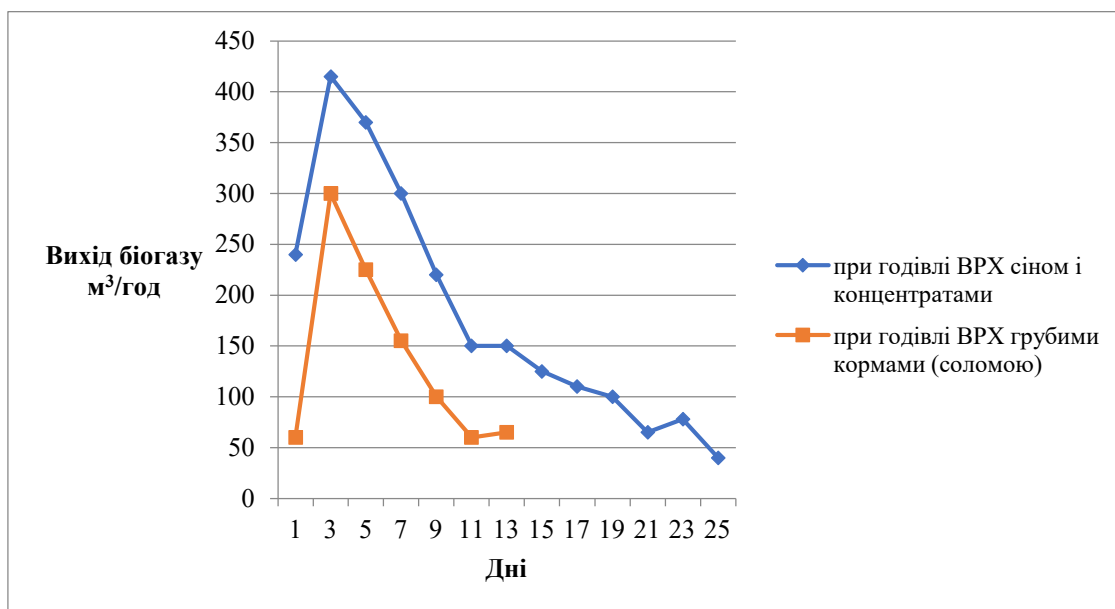
*Рис. 15. Вплив перемішування на вихід біогазу при метановому зброджуванні гною ВРХ*

Як видно на графіку, при метановому бродінні коров'ячого гною за відсутності процесу перемішування виробництво біогазу зменшилось майже в 1,3 рази та досягло рівня 350 м³/год. При цьому коли процес бродіння гною відбувався з використанням перемішування субстрату то вихід біогазу значно підвищився і складав 435 м³/год.

Таким чином, встановлено, що режим метанового бродіння безпосередньо впливає на ефективність процесу виробництва біогазу. Так, при підвищенні температури метантенку збільшується і виробництво біогазу, а коли температура підвищується до 55°C досягається максимальне виробництво біогазу, при цьому період метанового бродіння скорочується до 10-15 днів. Безперервне перемішування зброджувальної біомаси, також,

позитивно впливає на процес виробництва біогазу. Оскільки за відсутності перемішування виробництво біогазу зменшилося майже в 1,3 рази і досягло 350 м<sup>3</sup>/год, порівняно з використанням перемішування субстрату, яке збільшує виробництво біогазу до 435 м<sup>3</sup>/год.

В ході наших досліджень відносно впливу технологічних режимів на вихід біогазу, нами також було проаналізовано і раціон годівлі корів та як впливає кормовий склад гною худоби на виробництво біогазу. Так, в одному випадку основою корму були концентровані корми та сіно, а в іншому – солома. Дослідження впливу годівлі корів на виробництво біогазу представлено на рисунку 16. Дослідження проводили за температури бродіння 50°C та використанні режиму перемішування субстрату.



*Рис. 16. Вплив типу годівлі на вихід біогазу при метановому збродженні гною ВРХ*

Отримані розрахунки показали, що виробництво біогазу під час експоненціальної фази та фази уповільненого росту, які становили 11 діб, за згодовування тваринам концентрованих комбікормів та сіна було в 1,5-1,7 разів вище, порівняно, з раціонами де основу корму становила солома. При цьому і істотно відрізнявся і вихід біогазу, так при годівлі тварин сіном і концентратами вихід біогазу становив 435 м<sup>3</sup>/год, в той час коли при годівлі корів переважно грубими кормами вихід біогазу був значно меншим і

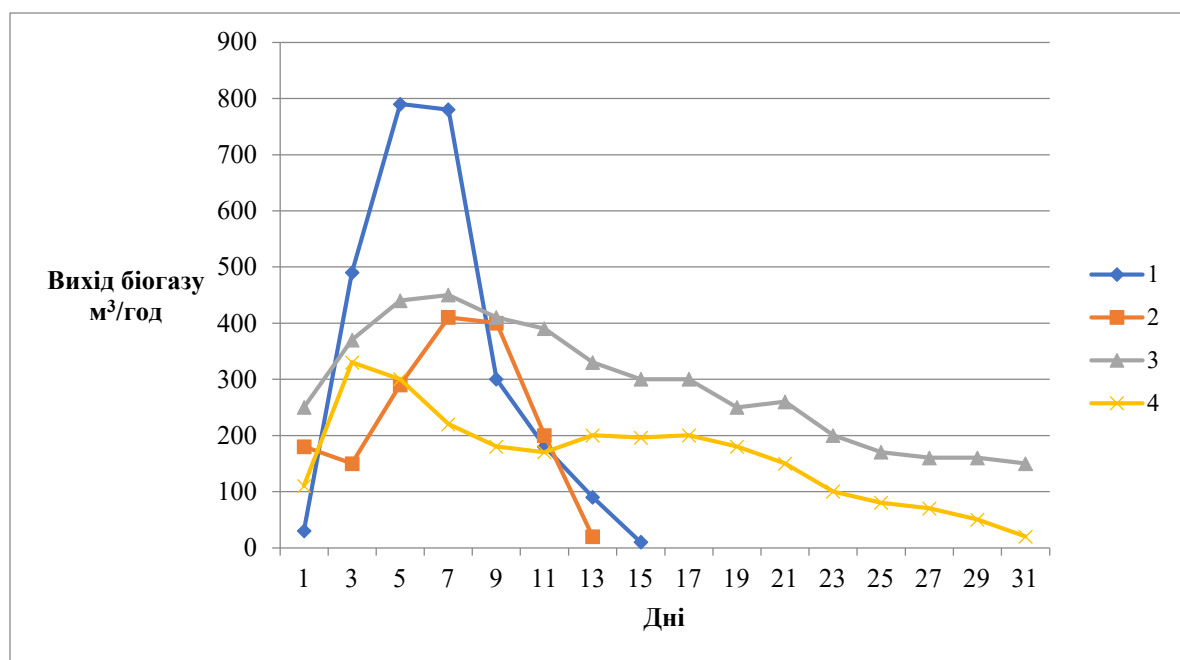


становив лише 300 м<sup>3</sup>/год. Це пояснюється наявністю в гної великої кількості неперетравленої целюлози та геміцелюлози, що впливає на виробництво біогазу та зменшує його виробництво в 1,7 рази.

Отже, проведені розрахунки показали, що на вихід біогазу впливає тип годівлі тварин, що в свою чергу, впливає на хімічний і фізичний склад гною. А виробництво біогазу під час експоненціальної фази та фази уповільненого росту (11 днів) при згодовуванні концентрованих комбікормів і сіна було в 1,5-1,7 разів вищим порівняно з соломою як основою корму і становило 435 м<sup>3</sup>/год та 300 м<sup>3</sup>/год відповідно.

У біогазовому виробництві ко-субстрати використовуються для різкого підвищення інтенсивності метанового бродіння. В досліджуваних умовах біогазової установки, як ко-субстрати використовували крохмаль і гліцерин.

Результати дослідження показали, що застосування ко-субстратів різко збільшило інтенсивність метанового бродіння (рис. 17).



**Рис. 17. Вплив використання ко-субстратів на вихід біогазу при метановому зброджуванні гною ВРХ**

При додаванні крохмалю та гліцерину до коров'ячого гною за температури бродіння 50°C загальний час логарифмічної фази та фази уповільненого росту становив приблизно 7 діб – з 4 по 11 добу (крива 1 і 3).

Стаціонарна фаза та фаза відмирання клітин були дуже короткими і тривали всього кілька днів, після чого процес бродіння швидко припинявся. При цьому найбільший вихід біогазу спостерігався саме при використанні крохмалю у якості ко-субстрату і становив  $798 \text{ м}^3/\text{год}$ . (крива 1). В той час додавання у якості додаткового субстрату гліцерину до біомаси гною (крива 3), підвищило вихід біогазу до  $430 \text{ м}^3/\text{год}$ . Загальний час логарифмічної фази та фази уповільненого росту під час зброджування коров'ячого гною за температури  $50^\circ\text{C}$  без додавання крохмалю та гліцерину становив приблизно 9 діб – з 1 по 9 добу (криві 2 і 4). У той же час непродуктивні фази, такі як стаціонарна фаза та фаза відмирання, були дуже тривалими і склали більше 23 днів. Слід відмітити, що вихід біогазу при використанні чистого субстрату гною становив 403 та  $340 \text{ м}^3/\text{год}$  відповідно.

Отже, додавання таких коферментів, як крохмаль і гліцерин до субстрату гною сприяло збільшенню виробництва біогазу. З додаванням крохмалю загальний час логарифмічної фази та фази уповільнення росту становив близько 7 днів, а стаціонарна фаза та фаза відмирання були скорочені лише до кількох днів. Під час зброджування коров'ячого гною без додавання крохмалю загальний час логарифмічної фази та фази затримки росту становив близько 9 днів, тоді як стаціонарна фаза та фаза відмирання були дуже тривалими, сягаючи понад 23 днів. При цьому найбільший вихід біогазу спостерігався саме при використанні крохмалю у якості ко-субстрату і становив  $798 \text{ м}^3/\text{год}$ .

### **3.5. Порівняння фізико-хімічних властивостей гною та біогазу**

Оскільки біогаз за своїми властивостями дуже схожий до природного газу і є продуктом анаеробного метанового бродіння та містить багато компонентів, які залежать від типу сировини, умов і тривалості бродіння, нами було поставлено за мету дослідити фізико-хімічні властивості отриманого біогазу та порівняти його фізико-хімічними властивостями гною.

Так нами встановлено, що температура спалаху становила 655°C, а об'ємне виділення тепла сягало 21,06 мДж/м<sup>3</sup>, що вплинуло на межу спалаху в повітрі, яка була в межах 9,0%. Такі характеристики повністю відповідають стандартному значенню для біогазу (табл. 9).

Таблиця 9

### Фізико-хімічні властивості біогазу

Показник	Дані	
	фактичні	норма
Об'ємна доля, %	100	100
Об'ємна теплота, мДж/м <sup>3</sup>	21,6	21,5
Температура спалаху °С	655	650-750
Межа спалаху(вміст в повітрі), %	9,0	6-12
Критичний тиск, МПа	8,2	7,5-8,9
Критична температура °С	-2,5	-2,5
Оптимальна густина, г/л	1,2	1,2
Критична густина, г/л	319	320
Густина відносно повітря, г/л	0,83	0,83

Крім того, критичний тиск, який може витримати досліджуваний біогаз, становить 8,2 МПа при критичній температурі замерзання -2,5°C. Показники щільності та густини, також, відповідають стандартам на біогаз. Тобто нормальна густина біогазу становила 1,2 г/л, а критична щільність була на межі 319 г/л, при цьому густина біогазу відносно повітря становила 0,83 г/л.

Отже, досліджуваний нами біогаз, отриманий в умовах біогазової установки СПрАТ «Україна», за основними фізико-хімічними властивостями повністю відповідає нормативним показникам стандарту і гарантує високу енергетичну цінність.

Оскільки в даному господарстві годівля худоби складається з різних типів раціонів, а саме годівля сіном та концентратами, і згодовування лише

грубих кормів, переважно соломи, що буде впливати на фізико-хімічний склад коров'ячого гною. Тому нами було поставлено за мету дослідити фізико-хімічний склад гною великої рогатої худоби залежно від їх типів раціону (табл. 10).

Таблиця 10

### Фізико-хімічний склад гною

Компонент	Вміст, % у сухій речовині	
	гній від годівлі сіном та концентратами	гній від годівлі тільки грубими кормами
Органічна речовина	77	84
Сира клітковина	32,2	50,3
Жири	4,3	2,9
Білки	20,7	11,2
Лігнін	16,2	28,8
Азот	4,3	2,7
Фосфор	0,3	0,2
Калій	2,4	2,3
Кальцій	3,4	2,7
C:N	21:1	21:1

Як видно з даних таблиці, вплив типу годівлі суттєво впливає на фізико-хімічний склад коров'ячого гною. Так, тварини, годівля яких здійснювалася сіном і концентратами, мали більше жиру, протеїну, азоту, фосфору, калію і кальцію, тоді як велика рогата худоба, яку годували тільки грубими кормами, мали більше органічних речовин, сирої клітковини і лігніну, оскільки більшу частину їх раціону становила солома.

Тому гнойові субстрати, отримані з різних видів кормів, мають різний фізико-хімічний склад, що впливає на тривалість процесу зброджування біогазу. Оскільки до складу гною з різними фізико-хімічними показниками входить різна кількість мікроорганізмів, у тому числі і метаноутворюючих

мікроорганізмів і відповідно буде міститися різна кількість мікро- та макроелементів, які необхідні для повноцінної життєдіяльності цих мікроорганізмів.

Використання коров'ячого гною як єдиного субстрату має певні недоліки, які знижують ефективність БГУ та зменшують виробництво біогазу. В умовах даного підприємства використовуються різні допоміжні субстрати: кукурудзяний силос, гліцерин і крохмаль. Це сприяє створенню оптимального співвідношення основних компонентів живильного середовища та оптимального співвідношення C:N, необхідних для інтенсивного росту мікроорганізмів, запобігає накопиченню амонію, МАФ та інших інгібіторів, які сприяють дестабілізації мікроорганізмів. Процес бродіння.

Таким чином, використання ко-субстратів як каталізаторів ферментації запобігає дестабілізації виробничого процесу та сприяє створенню оптимальних умов для максимальної активності мікроорганізмів, що в цілому підвищує ефективність виробництва біогазу.

### **3.6. Економічна частина**

Біогаз є одним із найперспективніших альтернативних джерел енергії в Україні завдяки наявності великої кількості сільськогосподарської сировини. Технологія отримання енергії шляхом переробки органічної сировини служить принципам циркулярної економіки підприємства. Тобто ви одночасно отримуєте біогаз, органічні добрива, виробляєте тепло та електроенергію для власних виробничих потреб або для продажу в зовнішні мережі за «зеленим тарифом». Біогаз, очищений від вуглекислого газу, перетворюється на природний газ (біометан) і використовується як автомобільне паливо [25].

Україна має великий потенціал для виробництва біогазу завдяки наявності значних ресурсів сільськогосподарської біомаси та відходів органічного виробництва, які використовуються для виробництва метану під час реалізації біоенергетичних проектів в аграрному секторі. За експертними

оцінками, сьогодні на енергетичні потреби використовується лише 5% польових відходів. Ключовими елементами біогазового проекту є вибір сировини, розуміння її характеристик, наявні обсяги та логістика [14].

Вихідні дані для обрахунку економічної ефективності виробництва біогазу в умовах досліджуваної нами БГУ відображено в таблиці 11. Динаміка грошових надходжень від реалізації біотехнологічної продукції в умовах СПрАТ «Україна свідчить, що спостерігалось нерівномірне виробництво продукції (біогазу) за останні три роки та її реалізація.

*Таблиця 11*

**Динаміка грошових надходжень від реалізації біотехнологічної продукції**

Показник	2021 рік	2022 рік	2023 рік	В середньому за 3 роки
Кількість реалізованої продукції, Мвт	9800	9600	10320	9907
Середня ціна реалізації 1 Квт продукції, грн	3,56	3,78	3,22	3,66
Грошова виручка від реалізації продукції, тис. грн	34888	36288	33230,4	36259,62

Найбільша її кількість була вироблена та реалізована у 2023 році – 10320 Мвт. При чому ціна реалізації порівняно з минулими роками була найнижчою і становила лише 3,22 гривні за 1 Квт виробленої енергії. Що пояснюється військовим станом і зниженням цін на ринку на енергоносії при реалізації їх державі за «зеленим тарифом». А відповідно найнижча ціна на продукцію і знизила грошову виручку до найнижчої позначки у розрізі 3-х останніх років до лише 33230,4 тис. грн за рік.

Виходячи з вище наведених даних маємо економічну ефективність виробництва біогазу в умовах СПрАТ «Україна» (табл. 12).

**Економічні показники виробництва біотехнологічної продукції**

Показник	2021 рік	2022 рік	2023 рік
Вартість обладнання для виробництва біогазу, грн/рік	89758,200	0	0
Інші виробничі та експлуатаційні витрати, грн/рік	10958,0	9740,043	8432,220
Дохід від продажу електроенергії за зеленим тарифом, грн/рік	0	42402,675	40282,541
Прибуток, грн/рік	-89769,158	32662,632	31850,321
Період окупності (PP), років	2,82		
Чиста теперішня вартість (NPV) при $i=12\%$ , грн.	122065,406		
Чиста теперішня вартість (NPV) при $i=28\%$ , грн.	21027,253		
Внутрішня норма рентабельності (IRR), %	35		

Як видно із даних таблиці у 2021 році підприємство взагалі не здійснювало продаж електроенергії державі при цьому було переоснащення біогазової установки на суму 89758,200 грн, що призвело до недоотримання прибутку на рівні -89769,158 грн. В подальшому переобладнання устаткування не відбувалося, а підприємство почало реалізовувати продукцію державі у 2022 році було отримано доходу від продажу електроенергії за зеленим тарифом на рівні 42402,675 гривень, а у 2023 році на рівні 40282,541 гривень. Що дозволило отримати прибуток у розмірі 32662,632 грн та 31850,321 грн відповідно. При цьому період окупності біогазової установки становить 2,82 роки, а рівень рентабельності за останні три роки зберігається на рівні 32%.

Таким чином, робота біогазової установки в умовах СПрАТ «Україна» є добрим джерелом альтернативної енергії, яка забезпечує виробництва біогазу, його генерацію в електричну енергію та реалізацію її державі і використання у власних цілях. Крім того дана БГУ є економічно доцільною, оскільки щорічно

підприємство отримує прибуток від реалізації електроенергії в середньому 32256,476 грн, що підтверджено рівнем рентабельності галузі на рівні 35% щорічно. Крім того додаткові продукти які отримуються в процесі метанового бродіння такі як – теплова енергія, тверді та рідкі добрива використовуються для потреб господарства, що є додатковим резервом економічної ефективності галузі біогазового виробництва.



## РОЗДІЛ 4

### ОХОРОНА ПРАЦІ

На сучасних біогазових установках в анаеробних варильних котлах переробляються різноманітні органічні матеріали, включаючи сільськогосподарські відходи, рослинні речовини, харчові відходи та побічні продукти виробництва цукру, вина та пива. Матеріали піддаються ферментації в герметичних контейнерах, де спеціалізовані бактерії процвітають без кисню. У процесі ферментації внаслідок розпаду органічних компонентів утворюється біогаз [6].

Біогазова установка – це комплекс для видобутку біогазу з сільськогосподарських, виробничих та побутових відходів. Вона містить не менше 60% метану, та високоякісні добрива. Після очищення біогазу отримують біометан, який використовують як природний газ. Більшість керівників сільськогосподарських об'єктів готові використовувати біогазові установки для отримання електроенергії та тепла [1].

Біогаз є сумішшю метану (55-70%), діоксиду вуглецю або вуглекислого газу (27-45%) і невеликих кількостей азоту (0-3%), водню (0-1%) і сірководню (0-3%), перелічені компоненти якої мають різну щільність. При тривалому зберіганні біогазу в силу різної щільності його складових відбувається розшарування, причому важкий вуглекислий газ опускається в нижню частину, а у верхній частині накопичуються горючі компоненти – метан і водень [3].

Горючі гази характеризуються верхньою та нижньою межами вибуховості та температурою самозаймання. Суміш газу з повітрям, що має вибуховість у вказаних межах, вибухає при зовнішньому джерелі енергії (вогонь, електрична іскра) певної потужності. Вище температури самозаймання газ починає окислюватися, і цей процес набуде вибухового характеру, якщо концентрація знаходиться всередині межі вибуховості. Розглянемо небезпечні газові складові біогазової установки [1].

Метан ( $\text{CH}_4$ ) – безбарвний, горючий газ; щільність 0,717 г/л при  $0^\circ\text{C}$  та тиску 760 мм рт. ст. З повітрям утворює вибухонебезпечну суміш. Присутність метану в повітрі негативно позначається на самопочутті людини. Знижується працездатність, виникає швидка втома [6].

Водень ( $\text{H}_2$ ) – безбарвний, горючий газ, легше повітря, легко займається від іскор та полум'я, щільність 0,090 г/л при  $0^\circ\text{C}$  та тиску 760 мм рт. ст. Може вибухати від нагрівання, іскор, полум'я. Пари утворюють із повітрям вибухонебезпечні суміші. Небезпека вибуху газу на повітрі та в приміщенні. Ємності можуть вибухати під час нагрівання. У порожніх ємностях утворюються вибухонебезпечні суміші. Ступінь токсичності – 4. Для людини не становить небезпеки на відкритому повітрі. При більших концентраціях викликає кисневе голодування [6].

Діоксид вуглецю ( $\text{CO}_2$ ) – безбарвний, інертний, негорючий газ, важчий за повітря, щільність 1,977 г/л при  $0^\circ\text{C}$  і тиску 760 мм рт. ст. Накопичується в нижніх ділянках поверхні, підвалах, тунелях. Ступінь токсичності – 4. Для людини не становить небезпеки на відкритому повітрі, при великих концентраціях викликає кисневе голодування. У приміщеннях викликає ядуху. При отруєнні спричиняє сонливість, розлад координації руху, втрату свідомості [3].

Сірководень ( $\text{H}_2\text{S}$ ) – безбарвний, горючий газ із неприємним запахом; щільність 1,539 г/л при  $0^\circ\text{C}$  і тиску 760 мм рт. ст. Отруйний газ нервової дії. Викликає параліч дихання вже за концентрації 1 г/м<sup>3</sup>. Сірководень важчий за повітря і може накопичуватися в поглибленнях, підвальних приміщеннях, шахтах, колодязях [1].

Біогаз (суміш газів) – безбарвний горючий газ; щільність 1,2 г/л при  $0^\circ\text{C}$  і тиску 760 мм рт. ст. Є серйозною небезпекою при ремонтних роботах у підвальних приміщеннях, шахтах, колодязях [6].

Вибухонебезпечність і токсичність біогазу – це два фактори, які повинні враховуватись при його експлуатації [6].

При використанні біогазу необхідно дотримуватись усіх діючих норм і правил роботи з установками для спалювання природного газу. У приміщенні, де розташований реактор, слід передбачити вентиляцію. У приміщенні об'ємом до 300 м<sup>3</sup> вентиляція має забезпечувати восьмиразовий об'єм повітря на годину [1, 3].

Перед початком роботи реактор, газгольдер і газопроводи підлягають заземленню для захисту від вторинних проявів блискавки та зарядів статичної електрики. Заземлення виконується із сталевій труби діаметром 25 мм або сталевого стрижня діаметром 19-25 мм, що забиваються в землю на глибину не менше 0,5 м [3].

Біоустановку не слід розміщувати поблизу джерела полум'я, іскор та високонагрітих тіл. Мінімальна відстань від стінки газгольдера до джерела полум'я встановлено – 5 м [1].

Поблизу установки повинен бути встановлений протипожежний щит із засобами пожежогасіння (вогнегасник, бочка з водою, цебра, багри, лопати тощо), а також розміщений попереджувальний напис «Небезпечно – газ» [6].

Робітники, зайняті експлуатацією біоустановки повинні бути проінструктовані за технікою безпеки і кожні три місяці під розписку ознайомитися зі змістом інструкції, якою вони зобов'язані керуватися у своїй роботі. Проходження газу контролювати рідинним гідрозатвором [3, 6].

Під час експлуатації шукати місця витоку газу тільки за допомогою піноутворюючих розчинів. Експлуатувати установку дозволяється за температури навколишнього середовища не нижче +5<sup>0</sup>С [1].

Категорично забороняється:

- вести ремонтні роботи під час знаходження біогазу в реакторі та газгольдері;
- користуватися сталевим слюсарним інструментом (при веденні газонебезпечних робіт і у вибухонебезпечних приміщеннях використовувати вибухонебезпечний слюсарний інструмент, виготовлений з кольорових металів, що не дають іскор при роботі);

- обслуговувати біогазову установку в одязі із синтетичних тканин;
- шукати місця витоку газу вогнем [6].

Системи блискавкозахисту (LPS) та конструкції захисту від перенапруги не є обов'язковими, а є найважливішими вимогами, передбаченими різними правилами та стандартами безпеки, які наголошують на гострій необхідності захистити життя, майно та електронне обладнання від руйнівного впливу ударів блискавки та стрибків напруги [1].

Дотримання міжнародних стандартів, наприклад: IEC 62305 в Україні є обов'язковими, Система захисту від блискавки – це не просто юридичне зобов'язання, а й фундаментальна відповідальність. Дотримання цих стандартів гарантує, що конструкції оснащені сертифікованими системами захисту від блискавки та пристроями захисту від перенапруг, що забезпечують комплексний захист від пошкоджень конструкції, відмови електронного обладнання та пожеж, викликаних блискавкою [1, 6].

Згідно зі вітчизняними стандартами, стрибки напруги та електромагнітні поля, спричинені блискавкою, можуть завдати значної шкоди чутливому обладнанню та пристроям. Індуковані стрибки напруги можуть призвести до перехідних напруг, пошкодити схеми та порушити роботу. Крім того нормативно-правові акти з безпеки праці та пожежної й техногенної безпеки наголошує на ризики виникнення пожежі, викликані ударами блискавки. Пожежі, викликані блискавкою, можуть виникати у різних місцях, включаючи житлові, комерційні та промислові приміщення. Надмірне тепло, що виникає під час удару блискавки, може спалахнути легкозаймисті матеріали, що призведе до руйнівних пожеж, які загрожують життю та майну [3].

Наприклад, при ударі блискавки напруга може піднятися рівня 300 кВ на метр, а струм може зрости до десятків тисяч ампер за мікросекунди. Швидкий стрибок напруги і струму може індукувати потужні електромагнітні поля, що призводять до перехідних напруг у провідних системах. За відсутності належного блискавкозахисту чутливе електронне обладнання біогазових установок може зазнавати стрибків напруги в кілька тисяч вольт, що значно

перевищує допустимі рівні, що призводить до непоправного пошкодження [3, 6].

Безпека біогазу насамперед передбачає охорону будівлі анаеробного зброджування, ферментерних установок та інших супутніх споруд. Удари блискавок можуть викликати надзвичайно високу напругу, що досягає 100 мільйонів вольт, і силу струму від 30,000 до 50,000 ампер та більше. Ці величезні електричні розряди можуть завдати руйнівної шкоди будь-якій конструкції або системі на своєму шляху [3].

У протидії ризикам вирішальну роль відіграють зовнішні пристрої блискавкозахисту, особливо блискавковідводи та системи блискавковідводу. Стратегічно розташовані на пагорбах, громовідводи перехоплюють удари блискавки, безпечно спрямовуючи електричну енергію на землю через добре продуману систему заземлення. Поглинаючи та розсіюючи надмірну енергію, він допомагає пристроям захистити критично важливі компоненти від пошкоджень, забезпечуючи безперебійну роботу підприємства. Пристрої захисту від блискавки діють як надійний бар'єр, зберігаючи цілісність компонентів точного електричного обладнання біогазової установки, такого як ферментери, анаеробні варильні котли та електронні системи управління [1].

## РОЗДІЛ 5

### БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Забезпечуючи безперебійну роботу підприємства треба подбати про життєздатність окремих об'єктів та обладнання біогазової установки, так і працюючого персоналу. Для цього потрібні різні ступеня захисту насамперед ферментерів з фольгованим дахом [2].

Ферментери на сучасних біогазових установках часто накриваються фольгою через властиві їй переваги. Дахи з фольги, які довговічні та стійкі до атмосферних впливів, здатні протистояти УФ-випромінюванню та волозі, забезпечують довготривалу надійність та створюють герметичну оболонку, необхідну для контрольованого анаеробного зброджування у ферментерах з фольгованим дахом. Підтримка точних внутрішніх умов прискорює процес ферментації, максимізуючи вихід біогазу. Деякі фольговані матеріали також забезпечують передачу природного світла, зменшуючи потребу у штучному освітленні та підвищуючи енергоефективність [6].

Для захисту ферментерів з фольгованим дахом від прямих ударів блискавки застосовуються два ефективні методи. Один з підходів передбачає встановлення сталевих телескопічних блискавко-щогл. Щогли можна адаптувати для природного ґрунту і ґрунтового фундаменту, досягаючи вражаючої висоти більше 25 метрів в індивідуальних версіях [3].

Альтернативно використання провідників пропонує інше життєздатне рішення. Високовольтні провідники, ізольовані та оснащені унікальною зовнішньою оболонкою, виконують функцію ізольованих струмовідводів, що відповідають вітчизняним стандартам безпеки. Щоб забезпечити дотримання необхідної відстані, відстань розраховується відповідно до стандартів та звіряється з еквівалентною відстанню провідника [1, 2].

Щогли блискавки з попередньо зібраними провідниками встановлюються всередині. Загальна довжина блискавкоприймача від рівня вирівнювання потенціалів до наконечника блискавкоприймача обмежена 15,5

метрами. Через механічні обмеження вільна довжина над верхнім краєм ферментера не повинна перевищувати 8,5 метрів [6].

В іншому випадку щогли блискавки з попередньо зібраними силовими проводами встановлюються всередині будівлі. Загальна довжина блискавкоприймача від рівня вирівнювання потенціалів до наконечника блискавкоприймача обмежена 18 метрами). Як і у першому випадку, максимальна довжина над верхнім краєм ферментера залишається на рівні 8,5 метрів [2].

Металеві листи є відмінним вибором для ферментерів завдяки їхній чудовій провідності, міцності, довговічності, однорідності та простоті установки. Відповідно вітчизняним стандартам, товщина від 0,7 мм до 1,2 мм забезпечує баланс між міцністю та гнучкістю, забезпечуючи довговічність та відповідність стандартам безпеки під час ударів блискавки [1].

Адекватна провідність має вирішальне значення для ефективного розсіювання електричних зарядів, що значно знижує ризик пошкоджень, спричинених блискавкою. Вкрай важливо переконатися, що металеві листи, що використовуються у ферментерах, відповідають суворим вимогам стандартам електропровідності. Адекватна провідність життєво важлива для ефективного розсіювання електричних зарядів, що суттєво знижує ризик пошкоджень, спричинених блискавкою [1, 3].

Недостатня провідність може призвести до виділення надмірного тепла, плавлення або навіть спалаху в місці удару під час удару блискавки. Такі сценарії створюють суттєвий ризик пожежі, вибуху чи структурного ушкодження як ферментера, і біогазової установки загалом [6].

Якщо резервуар для біогазу, оточений повністю звареними сталевими листами – упор на блискавкозахист є обов'язковим. Конструкції, які вразливі до ризику вибуху повинні обов'язково мати системи захисту від блискавки. Примітно, що якщо вибухонебезпечні зони, пов'язані з витяжними отворами, потрапляють у зону, що захищається, захищену струмоведучими металевими елементами корпусу, установка додаткових блискавкоприймачів не потрібна.

Однак, якщо вирівнювання не дотримується, стає необхідним впровадження додаткових систем приймача. Ці системи життєво важливі захисту вихлопних отворів від прямих ударів блискавки [2].

Крім того, інтеграція додаткових систем захисту від блискавки вимагає ретельного підключення до корпусу контейнера без порушення існуючих антикорозійних заходів. У сценаріях, де безшовна інтеграція виявляється складним завданням, слід розглянути можливість використання ізольованої системи захисту від блискавки, наприклад, провідника. Такий підхід забезпечує комплексний блискавкозахист при збереженні цілісності структурних та антикорозійних заходів біогазового резервуару, сприяючи розвитку зеленої енергетики [3].

Коли виникає блискавка і напруга зростає, система заземлення, що добре зарекомендувала себе на біогазовій установці, виконує безліч важливих функцій і є частиною цілісної системи заземлення. Він забезпечує безпеку персоналу, що працює на об'єкті, забезпечуючи безпечний шлях для безпечного розсіювання струмів ушкодження в землю. Одночасно, конструкція значно знижує ризик ураження електричним струмом, створюючи безпечне середовище для працівників. Паралельно система заземлення має вирішальне значення для захисту електрообладнання станції, перенаправляючи струми пошкодження від чутливих пристроїв, таких як панелі керування та двигуни [1].

Крім системи заземлення, вирівнювання потенціалів є ще одним обов'язковим елементом інфраструктури заземлення, що легко інтегрується в повну систему блискавкозахисту. Еквіпотенційне з'єднання спрямоване усунення різниці потенціалів між провідними частинами, забезпечуючи збереження однакового електричного потенціалу. Система запобігає ураженню електричним струмом та знижує ризик виникнення іскор у разі несправності. На біогазовій установці різні металеві конструкції, трубопроводи та обладнання з'єднані разом для підтримки однакового рівня напруги [1, 3].



Отриманий біогаз зазвичай використовується у газових двигунах або двигунах з пілотним упорскуванням для виробництва електроенергії та тепла. Ці двигуни позначаються як теплоелектростанції (ТЕЦ). Об'єкти ТЕЦ розташовані у межах окремої операційної структури. У цьому будинку електрообладнання, шафи розподільного пристрою та шафи керування або розташовані в одному приміщенні, або розміщуються окремо. Електроенергія, що виробляється ТЕЦ, інтегрується у громадську енергосистему [2].

Як зазначалося раніше, дуже важливо встановити еквіпотенційне з'єднання відповідно до встановлених стандартів і протоколів для всіх струмопровідних систем, що входять до будівлі [2].

Пристрої захисту від перенапруги – це важливі електричні компоненти, призначені для захисту електронного обладнання та приладів від стрибків напруги. Стрибки напруги можуть виникнути в результаті ударів блискавки, коливань електромережі або операцій перемикання всередині електричної системи. Коли напруга перевищує певний поріг, зазвичай відомий як «напруга обмеження», вона починає проводити електричний струм [1, 3].

На головних електричних вступних лініях змінного струму низьковольтного розподільного щита встановлюється пристрій захисту від перенапруг типу 400, відомий своїми надійними можливостями, являє собою знімний пристрій захисту від перенапруги змінного струму, який може витримувати струм 25 кА. Завдяки своїй унікальній конструкції він може ефективно вирішити проблему ізоляції та гасіння дуги, що значно знижує ризик виникнення пожежі [2].

На розподільчому щиті ТЕЦ встановлено модульний багатополюсний комбіноване пристрій захисту від перенапруг, що витримує перевищення струму. Встановлення пристрою захисту від перенапруги (УЗІП) на відстані до 5 метрів від навантаження потребує додаткового захисту кінцевого обладнання [3].

Сучасні біогазові установки складаються з різноманітного набору точних компонентів, які ретельно розроблені для безперебійної спільної

роботи, що сприяє злагодженому виконанню виробничого процесу. Управління цими складнощами може бути непростим завданням. Тому використання систем віддаленого моніторингу має важливе значення. Віддалений моніторинг не тільки підвищує ефективність виробничого процесу, а й оптимізує управління, надаючи цінну інформацію в режимі реального часу, дозволяючи приймати запобіжні рішення та забезпечувати оперативне вирішення проблем, оптимізуючи загальну продуктивність підприємства [6].

Віддалений моніторинг з використанням сучасних датчиків та інтерфейсів, таких як Ethernet або RS 485, важливі дані, такі як температура та швидкість видобутку газу, передаються в режимі реального часу централізовану систему. Ця технологія забезпечує віддалений доступ операторів та обслуговуючого персоналу через комп'ютери та модеми. Можливе негайне вирішення проблем, зводячи до мінімуму час простою та забезпечуючи безперервне виробництво біогазу. Крім того, прогнозна аналітика виявляє потенційні проблеми ще до їх виникнення, оптимізуючи графіки технічного обслуговування та скорочуючи витрати. Ретельно відстежуючи тенденції виробництва, оператори можуть приймати рішення з урахуванням даних, підвищуючи загальну ефективність. Інтерфейс зв'язку захищений комбінованим пристроєм захисту від перенапруг [2, 3].

У біогазових системах складна мережа управління процесом забезпечує безперервну роботу, збираючи дані в реальному часі, включаючи температуру, тиск, склад газу та обсяг. Зібрану інформацію буде оперативно проаналізовано, що дозволить системі автономно регулювати параметри та оптимізувати умови мікробного розщеплення для максимального виробництва газу. Прогнозний аналіз заздалегідь виявляє потенційні проблеми, забезпечуючи попереджувальне обслуговування та зводячи до мінімуму час простою. Пильна система управління процесами ефективно управляє обсягом даних, вносячи значний внесок у досягнення цілей сталого розвитку та зусиль з енергозбереження [1, 3].

Стрибки напруги, що виникають в результаті коливань електромережі, несправностей обладнання або перемикачів пристроїв, є значною загрозою стабільності систем управління технологічними процесами на біогазових установках. Коли стрибки напруги порушують механізми контролю, складні виробничі процеси зупиняються. Складність усієї системи посилює вплив, викликаючи тривалі перерви в роботі та незаплановані простої. Простої не лише порушують виробництво біогазу, а й запускають ланцюгову реакцію ускладнень [1].

Вирішення цих проблем та відновлення нормальної роботи системи може зайняти багато часу, що призведе до значних затримок та потенційних фінансових втрат для операторів станції. Перетворювачі частоти та приводи вимагають захисту за допомогою пристрою захисту від перенапруги якомога ближче до точки входу до будівлі. Доцільно встановити пристрій захисту від перенапруг, що відповідають максимальному тривалому робочому напрузі, номінальному струму розряду та імпульсному струму, характеристикам робочого місця та типу передачі сигналу [3].

## РОЗДІЛ 6

### ОХОРОНА ДОВКІЛЛЯ

Українська держава взяла курс на інтеграцію в європейський простір. Час асоційованого членства вже минув, і сьогодні Україна набула статусу кандидата в члени Європейської спільноти. Це зобов'язує нас впроваджувати європейське законодавство, поглиблювати інтеграційні курси і розвивати свої власні. Проблема утилізації побутових відходів актуальна як для України, так і для Європи, для всіх українських спільнот. Переробка відходів-перспективний напрямок економічної діяльності. Щороку всі українці виробляють від 300 до 500 кг сміття. Якщо говорити про всі відходи в цілому, то накопичено понад 35 000 тонн сміття, а на звалищах зберігаються мільярди тонн сміття. Насправді проблема зберігання та переробки сміття стосується кожного. Переробляється лише 6 %. Деякі компанії були оштрафовані за порушення законів Про охорону навколишнього середовища [21].

З приєднанням країн-асоційованих членів ЄС та країн-кандидатів на вступ до ЄС загострюються такі питання, як заходи з охорони навколишнього середовища та енергозбереження. Ці заходи спрямовані на економне використання природних ресурсів і зниження енергоспоживання в цілому при одночасному збільшенні виробництва. У той же час частка викопних ресурсів знизиться з 2015 року до 96 %, до 2035 року – до 75 %, а частка відновлюваних ресурсів за той же період збільшиться з 4 % до 25 %. Водночас роль біомаси, біопалива та відходів у відсотковому співвідношенні енергетичної структури держави зросла з 2015 року до 2,3 %, у 2035 році – до 11,5 % [11].

Найбільший екологічний вплив на навколишнє середовище сьогодні надають відходи тваринництва. В даний час в Україні дуже гостро стоїть проблема утилізації та безпечної переробки відходів птахофабрик, свиноферм і ферм з розведення великої рогатої худоби. З іншого боку, переробку органічних відходів тваринництва (окремо або в поєднанні з

сільськогосподарськими відходами) можна вважати найсучаснішою технологією, оскільки переробка відходів у біогаз на спеціалізованих заводах значно зменшує вплив на навколишнє середовище та має значну економічну перевагу у вигляді розподіленого виробництва «зелених» продуктів (рис. 18). Екологічні наслідки виробництва біогазу можна пояснити екологічно безпечним виробництвом органічних відходів та побічних продуктів тваринного походження на агропромислових підприємствах з переробки за допомогою процесу виробництва біометану [21].



**Рис.18 . Схема роботи біогазової установки на відходах тваринницьких ферм [21]**

До прямих екологічних переваг біогазового комплексу відносяться:

1. Перш за все, біогазові установки є ефективним способом вирішення проблеми утилізації відходів сільського господарства, в тому числі побічних продуктів тваринного походження (добрив і підгодівлі для рослин). Сировиною для виробництва біогазу можуть бути відходи сільськогосподарських підприємств. Але найбільший екологічний ефект полягає в тому, що за допомогою функцій біогазових установок вирішується проблема утилізації гною і птишиного посліду. Перетворення органічних залишків в біогаз відбувається в результаті цілого комплексу складних

біохімічних перетворень (ферментації біомаси). На виході з такого обладнання фермери отримують екологічно чисте рідке або тверде Біодобриво, що не містить шкідливих речовин. А постійний доступ органічної речовини забезпечує постійне і безперервне виробництво біогазу.

2. Вирішити проблему зберігання і транспортування сировини. З впровадженням біогазових комплексів стане можливим не тільки переробка відходів тваринництва, а й експлуатація анаеробних ставків. Тому гній, видалений з тваринницьких приміщень, слід зберігати в анаеробних резервуарах протягом 6 місяців для молочних ферм і 12 місяців для свинарських ферм. Крім того, дно анаеробного резервуара повинно бути вистелене матеріалами, що запобігають потраплянню добрив в ґрунтові води. На додаток до того, що ставки та водойми є основним джерелом забруднюючих речовин, що потрапляють в атмосферу, і можуть бути забруднювачами ґрунту та ґрунтових вод, вони також забезпечують великі площі для біогазових проєктів, що дозволяють повністю відмовитися від зберігання цього виду добрив та підгодівлі шляхом скорочення площ для зберігання відходів або подачі їх відразу на біогазові установки, замість того, щоб відкривати ставки та водосховища. Накопичений метан спалюється в когенераторі або факелі.

3. Виробництво електроенергії в результаті спалювання біогазу на когенераційній установці - це вирішення проблеми енергетичної незалежності підприємства і України. Гнучка система використання енергоресурсів дозволяє максимально ефективно використовувати одержувану теплову та електричну енергію.

4. Залишки бродіння, що утворюються при виробництві біогазу на біогазових установках, є високоякісними добривами, які можна продавати або використовувати замість мінеральних добрив, які значно подорожчали через подорожчання енергоресурсів [21].

Використання біогазу в розподілених системах енергопостачання сприяє скороченню імпорту енергії та підвищенню надійності енергопостачання,

особливо в сільській місцевості. Завдяки децентралізації ризик виникнення надзвичайних ситуацій нижче, ніж в результаті використання традиційних видів палива, гідроелектростанцій або ядерної енергії. В даний час весь етап виробництва вимагає певних удосконалень. Основним завданням є вибір найбільш досконалої сировини і методів його переробки. Необхідно всебічно вивчити наслідки використання біомаси для виробництва біогазу. Необхідно визначити характер впливу всіх речовин, присутніх на електростанціях, що працюють на біомасі, і встановити рівні впливу. Максимально можливий рівень слід порівняти з уже встановленим пороговим значенням і співвідношенням "отримана доза-реакція організму людини" для деяких речовин (наприклад, радіоактивних речовин, берилію, свинцю, кадмію). Також важливо враховувати перспективи громадського здоров'я при порівнянні впливу цього виду виробництва енергії з іншими видами, такими як викопне паливо та інші відновлювані джерела енергії. Важке біопаливо зменшує викиди парникових газів порівняно з викопним паливом, але призводить до неефективного використання деревини [11].

## ВИСНОВКИ

1. Конструкція та будова біогазової установки в умовах СПрАТ «Україна» Вознесенського району забезпечує мінімізацію людських затрат праці під час її експлуатації. При цьому людина витрачають час і зусилля лише на технічне обслуговування, додавання сировини в установку. Сама установка створює оптимальні умови для біохімічних процесів, що відбуваються під час ферментації та життєдіяльності метаноутворюючих бактерій і є важливим показником у визначенні параметрів процесу виробництва біогазу.

2. Матеріальний баланс маси біогазової установки в умовах СПрАТ «Україна» показує, що виробництво біогазу є економічно доцільним, оскільки загальна енергія виробленого газу значно перевищує витрати енергії на її виробництво.

3. В ході аналізу даних потреби в сировині і її фактичної наявності необхідної на виробництво біогазу, було виявлено дефіцит між фактичною наявністю та потребою – 9,48 т та 3497 т сировини, залежно від добового та річного навантаження на реактор відповідно. Однак ці відмінності в сировині для виробництва біогазу не є суттєвими і не впливають на роботу БГУ у мовах СПрАТ «Україна», забезпечуючи при цьому достатньо високі виходи біогазу.

4. Технологічні умови роботи біогазової установки в умовах СПрАТ «Україна» відповідають вимогам технологічного процесу і при необхідності корегуються за вологістю за рахунок введення у субстрат води у відповідних концентраціях. А температурний режим, який використовується під час виробничого процесу, безпосередньо впливає на тривалість ферментації та виробництва біогазу, що також може бути скориговано у разі необхідності.

5. Встановлено, що режим метанового бродіння безпосередньо впливає на ефективність процесу виробництва біогазу. Так, при підвищенні температури метантенку збільшується і виробництво біогазу, а коли температура підвищується до 55°C досягається максимальне виробництво



біогазу, при цьому період метанового бродіння скорочується до 10-15 днів. Безперервне перемішування зброджувальної біомаси, також, позитивно впливає на процес виробництва біогазу. Оскільки за відсутності перемішування виробництво біогазу зменшилося майже в 1,3 рази і досягло 350 м<sup>3</sup>/год, порівняно з використанням перемішування субстрату, яке збільшує виробництво біогазу до 435 м<sup>3</sup>/год.

6. Проведені розрахунки показали, що на вихід біогазу впливає тип годівлі тварин, що в свою чергу, впливає на хімічний і фізичний склад гною. А виробництво біогазу під час експоненціальної фази та фази уповільненого росту (11 днів) при згодовуванні концентрованих комбікормів і сіна було в 1,5-1,7 разів вищим порівняно з соломою як основою корму і становило 435 м<sup>3</sup>/год та 300 м<sup>3</sup>/год відповідно.

7. Додавання таких коферментів, як крохмаль і гліцерин до субстрату гною сприяло збільшенню виробництва біогазу. З додаванням крохмалю загальний час логарифмічної фази та фази уповільнення росту становив близько 7 днів, а стаціонарна фаза та фаза відмирання були скорочені лише до кількох днів. Під час зброджування коров'ячого гною без додавання крохмалю загальний час логарифмічної фази та фази затримки росту становив близько 9 днів, тоді як стаціонарна фаза та фаза відмирання були дуже тривалими, сягаючи понад 23 днів. При цьому найбільший вихід біогазу спостерігався саме при використанні крохмалю у якості ко-субстрату і становив 798 м<sup>3</sup>/год.

8. Досліджуваний нами біогаз, отриманий в умовах біогазової установки СПрАТ «Україна», за основними фізико-хімічними властивостями повністю відповідає нормативним показникам стандарту і гарантує високу енергетичну цінність.

9. Робота біогазової установки в умовах СПрАТ «Україна» є добрим джерелом альтернативної енергії, яка забезпечує виробництва біогазу, його генерацію в електричну енергію та реалізацію її державі і використання у власних цілях. Крім того дана БГУ є економічно доцільною, оскільки щорічно

підприємство отримує прибуток від реалізації електроенергії в середньому 32256,476 грн, що підтверджено рівнем рентабельності галузі на рівні 35% щорічно. Крім того додаткові продукти які отримуються в процесі метанового бродіння такі як – теплова енергія, тверді та рідкі добрива використовуються для потреб господарства, що є додатковим резервом економічної ефективності галузі біогазового виробництва.

## ПРОПОЗИЦІЇ

Для ефективної та рентабельної роботи біоенергетичної галузі СПрАТ «Україна» рекомендуємо:

1. Для прискорення процесу виробництва біогазу та скорочення виробничого циклу повністю перейти на високотемпературний режим роботи БГУ в діапазоні 50-55°C (термофільний режим).
2. З метою покращення економічних, екологічних та санітарно-епідеміологічних аспектів галузі та забезпечення природоохоронних і ресурсозберігаючих функцій в якості субстрату, крім гною та кукурудзяного силосу, використовувати відходи сільського господарства, спиртової, харчової промисловості та інші тверді відходи.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Айкен. Управління проектами енергетики. [Електронний ресурс]. URL: <https://iknet.com.ua/uk/articles/useful-to-know/biogas-power/> (дата звернення: 20.09.2024).
2. Бітеко Енерджі. Схема біогазової установки. [Електронний ресурс]. URL: <https://biteco-energy.com/ua/help/1575899636/id39> (дата звернення: 20.09.2024).
3. Голуб Г. А., Газова автономія / Голуб Г. А., Кухарець С.М. // *The Ukrainian Farmer*. –2016. – С. 181-182.
4. Голуб Г. А., Дубровіна О. В., Войтенко В. О., Гох В. В. Аналіз метаноутворення в біогазових установках. *Сучасні проблеми збалансованого природокористування – Збірник наукових праць / Подільський державний аграрнотехнічний університет (ПДАТУ) / Науковий редактор : Бахмат М. І. – Кам'янець Подільський, 2012. – Спеціальний випуск до VII науковопрактичної конференції. – С. 141-145.*
5. Гуменюк О. Б., Семенюк Н. В. Технічні науки. Вісник Хмельницького національного університету. [Електронний ресурс] : URL: [http://journals.khnu.km.ua/vestnik/pdf/tech/2012\\_6/25gum.pdf](http://journals.khnu.km.ua/vestnik/pdf/tech/2012_6/25gum.pdf). 2012 – 6 с. (дата звернення: 28.09.2024).
6. Грибан В. Г. Охорона праці: Навчальний посібник / В. Г. Грибан, О. В. Негодченко // К. : Центр учбової літератури. – 2009. – 280 с.
7. Деркач С. М. Оптимізація мікробіологічних процесів при компостуванні субстратів на основі курячого посліду : дис. канд. с.-г.н. : 03.00.07 / С. М. Деркач.– Чернігів, Інститут сільськогосподарської мікробіології та агропромислового виробництва, 2019. – 219 с.
8. Джеджула В. В. Альтернативні джерела енергозабезпечення фермерських господарств / В. В. Джеджула, Л. Л. Демченко // Індивідуальний житловий будинок. Книга за матеріалами третьої республіканської науково-технічної конференції. – Вінниця. – 2001. – С. 137-141.

9. Доронін А. В. Ефективність виробництва біогазу в сільськогосподарських підприємствах галузі скотарства України. *Науковий вісник Херсонського державного університету*. – 2015. – Вип. 11. – Ч. 3. – С. 52-55.
10. ДСТУ 7721:2015 «Газоподібне паливо. Біогаз. Технічні вимоги і методи контролю». Прийнятий наказом № 45 від 28.05.2015. Діючий ДСТУ ISO 13443:2015 «Гази горючі природні для промислового і комунально-побутового призначення» Прийнятий наказом №61 від 22,06,2015. Діючий.
11. Екодевелоп. Принцип роботи біогазової установки. [Електронний ресурс]. URL: <https://ecodevelop.ua/ruskiiprintsiyprabotybiogazovojustanovki/> (дата звернення: 29.09.2024).
12. Каратєєва О. І. Технологія переробки побутових відходів та відходів сільського господарства : методичні рекомендації для вивчення дисципліни та самостійної роботи для здобувачів вищої освіти освітньої спеціальності 162-«Біотехнології та біоінженерія» СВО «Бакалавр» денної форми навчання / О. І. Каратєєва. – Миколаїв : МНАУ, 2021. – 28 с.
13. Керсанюк Ю. Біогазова альтернатива розвитку АПК України. *Агробізнес сьогодні*. – 2013. – № 18. – С. 50-53.
14. Кернасюк Ю. В. Науково-методологічні підходи до визначення собівартості виробництва та економічної ефективності продукції біоенергетичної утилізації гною. *Наукові праці Кіровоградського національного технічного університету*. – 2010. – Вип. 17. – С. 164-171.
15. Кернасюк Ю. В. Оцінка біогазового енергетичного потенціалу галузі скотарства у сільськогосподарських підприємствах. *АгроІнКом*. – 2010. № 4-6. – С. 46-49.
16. Кернасюк Ю. В. Потенціал виробництва біогазу в галузі тваринництва України. *Продовольчі ресурси*. – 2019. – № 12. – С. 202-209.
17. Козловець О. А. Біотехнології одержання біогазу при коферментації посліду птахів : дис. канд. техн. наук : 03.00.20 / Козловець Олександр Анатолійович. – Київ, КПІ ім. І. Сікорського, 2017. – 189 с.

18. Кухарець С. М., Голуб Г. А., Медведський О. В., Лозовий А. С. Напрямки використання біогазових установок в умовах аграрного виробництва. *Біоенергетичні системи в аграрному виробництві: I всеукраїнська науково-практична конференція*, м. Житомир, 16-17 листопада 2017 р. : тези доповіді. Житомир, 2017. С. 4-11.

19. Лінник М. К. Технології і технічні засоби виробництва та використання органічних добрив / М. К. Лінник, М. М. Сенчук. – Київ : Інститут механізації та електрифікації сільського господарства, – 2012 – 46 с.

20. Мироненко В. Г. Технології виробництва біогазу: [курс лекцій для студ. сільськогосп. вузів] / В. Г. Мироненко, В. О. Дубровін, В. М. Поліщук. – Київ : Холтех, 2010. – 84 с.

21. НКРЕКП, Постанова від 07.02.2017 № 173 "Про внесення зміни до постанови Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг, від 26 травня 2016 року № 837" [Електронний ресурс]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0173874-17#Text> (дата звернення: 02.10.2024).

22. Поліщук В. Конструктивні особливості метантенків / В. Поліщук, С. Тарасенко – Київ : К.: MOTROL, 2011. – С. 56-61.

23. Процеси та апарати біотехнологічних виробництв. Частина 1. Установка для одержання біогазу. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисциплін "Процеси та апарати біотехнологічних виробництв" для студентів сільськогосподарських вищих навчальних закладів 3-4 рівнів акредитації освітньо-кваліфікаційного рівня „Магістр” зі спеціальності 8.10010203 – “Механізація сільського господарства” / [В. М. Поліщук, В.О. Дубровін, С. В. Драгнєв, М. М. Лободко, О. В. Дубровіна]. – К. : АграрМедіаГруп, 2013. – 16 с.

24. Процеси, системи та обладнання виробництва біогазу: монографія / В. М. Поліщук, С. А. Шворов, В. Д. Войтюк, В. О. Мірошник. Київ : НУБіП України. 2019. –544 с.

25. Охота Ю. В. Основні тенденції ефективного використання біогазу в Україні / Ю. В. Охота, К. В. Козак // *Ефективна економіка*. – 2014. – № 4. – С. 9.
26. Сайт СПрАТ «Україна» / [Електронний ресурс] URL: <http://sprat-ukraina.com.ua/> (дата звернення: 22.05.2023).
27. Семенов В. Біодизель в Україні чи з України? / Володимир Семенов // [Електронний ресурс] / ZN.UA//URL:[http://gazeta.dt.ua/ECONOMICS/biodizel\\_v\\_ukrayini\\_chi\\_z\\_ukrayini.html](http://gazeta.dt.ua/ECONOMICS/biodizel_v_ukrayini_chi_z_ukrayini.html) (дата звернення: 20.09.2024).
28. Стаття. Екологічна безпека. [Електронний ресурс]. URL: [http://www.kdu.edu.ua/EKB\\_jurnal/2018\\_1\(25\)/PDF/46\\_-51.pdf](http://www.kdu.edu.ua/EKB_jurnal/2018_1(25)/PDF/46_-51.pdf) (дата звернення: 06.10.2024).
29. Таргоня В. С. Використання біомаси на енергетичні потреби в сільському господарстві. Біогазові технології / Таргоня В. С., Клименко В. П., Луценко М.М., Бабинець Т.Л. // Видавництво: ім. В. І. Кравчука. / Дослідницьке : УкрНДПВТ ім. Л. Погорілого – 2009. – 72 с.
30. Ткачук К. К. Дослідження впливу деструкції біомаси на процес утворення біогазу / Ткачук К. К., Ополінський І. О. // *Екологічна безпека*. – 2018. – №1(25). – С.46-51.
31. Щурська К. О. Біоенергетика: підручник для студ. спеціальности 162 «Біотехнології та біоінженерія» / К. О. Щурська, Є. В. Кузьмінський. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 306 с.
32. Eder B. and Schulz H. Biogas Praxis / Grundlagen, Planung, Anlagenbau, Beispiele Wirtschaftlichkeit. // *Ökobuch Magnum. Staufen* – 2007. – P. 268.
33. Ward A. Optimization of the anaerobic digestion of agricultural resources / A. Ward, P. Hobbs, P. Holliman. // *Bioresource Technology*. – 2008. – №99. – С. 7928 -7940.

## ДОДАТОК А

October 18, 2024;  
Cambridge, United Kingdom

SECTION 9.  
BIOLOGY AND BIOTECHNOLOGY

DOI 10.36074/logos-18.10.2024.035

## BIOGAS, AS ONE OF THE TYPES OF PROMISING BIOLOGICAL FUEL

Savchenko Maryna<sup>1</sup>  
Supervisor: Olena Karatieieva<sup>2</sup>

1. A student of the 2nd year of the master's degree at the Faculty of TVPPTSБ  
Mykolaiv National Agrarian University, UKRAINE

2. Ph.D., docent, docent of the Department of Biotechnology and Bioengineering  
Mykolaiv National Agrarian University, UKRAINE

Biogas is a combustible gas produced during the anaerobic methane fermentation of biomass and mainly consists of methane (55-75%), carbon dioxide (25-45%) and impurities such as hydrogen sulphide, ammonia and nitrogen oxides (less than 1%) is substance. Decomposition of biomass occurs mainly as a result of chemical and physical processes and symbiotic life activity of three groups of bacteria, which are shown in fig. 1., while the products of metabolism of some are food products of others in a certain sequence [1, 7].

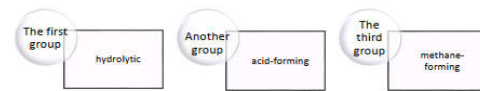


Fig. 1. Groups of methane-forming bacteria

Organic agricultural, industrial or household waste, as well as vegetable raw materials (corn silage, grass silage, grain and grain silage) can be used as raw materials for biogas production. The most suitable types of agricultural waste for biogas production are shown in fig. 2 [2, 6].

In biogas production, the number of substrate/waste types used for biogas production can vary from 1 to 10 or more. Depending on the type and amount of

139

www.logos-science.com

All rights reserved | CC BY-SA 4.0



Education and science of today: intersectoral  
issues and development of sciences

SECTION 9.  
BIOLOGY AND BIOTECHNOLOGY

substrates used, there are many variations of the technological scheme of biogas plants [4].



Fig. 2. Raw materials for biogas production

When using several substrates with different properties, for example, liquid and solid waste, their accumulation, preliminary preparation (grinding, bioactivation, heating, homogenization or other physical and chemical treatment) is carried out separately, and then mixed before serving. Send to a bioreactor or provide as a separate stream. In many cases, the use of pretreatment can increase the total biogas production by increasing the rate and degree of decomposition of the feedstock in the bioreactor. Biogas projects in the agro-industrial sector can be structured in different ways, as shown in Figure 3 [3, 5].

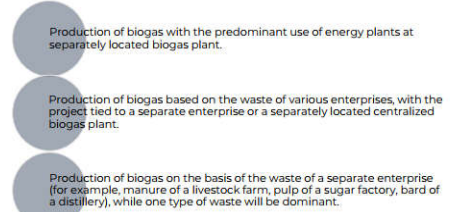


Fig. 3. Biogas projects in the agro-industrial sector

All rights reserved | CC BY-SA 4.0

www.logos-science.com

140

October 18, 2024;  
Cambridge, United Kingdom

SECTION 9.  
BIOLOGY AND BIOTECHNOLOGY

Biogas projects in the residential and utility sectors can be structured in different ways as shown in Figure 4.

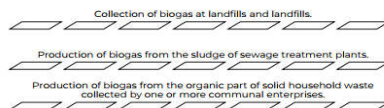


Fig. 4. Biogas projects in the residential and communal sector

The most common methods of energy use are combustion in a gas-piston engine, which is part of a mini CHP plant, which produces electricity and heat (or cold), or only produces electrical energy (TPP) and burns directly in a boiler, furnace or other technical equipment [6].

**Conclusions:** Thus, the conversion of biomass energy into biogas with the help of methane fermentation makes it possible to comprehensively solve energy, social, agricultural and environmental problems. Along with obtaining biogas and high-quality biological fertilizers, an important component of methane conversion efficiency is a list of indirect effects, the value of which is determined by economic indicators and national priorities. This includes reducing the energy component of the cost of agricultural products. It saves energy resources during the expensive production of mineral fertilizers, and allows to reduce the herbicide load of soils, etc.

### REFERENCES:

- [1] Аймен. Управління проектами енергетики. [Електронний ресурс]. URL: <https://knet.com.ua/uk/article/useful-to-know/biogas-proves/> (дата звернення: 20.09.2024).
- [2] Бібко. Енерджі. Схема біогазової установки. [Електронний ресурс]. URL: <https://biogas-energy.com/ua/help/1575899636/439> (дата звернення: 20.09.2024).
- [3] Голуб Г. А., Газова автономія / Голуб Г. А., Кухарець С.М. // *The Ukrainian Farmer*. – 2016. – С. 181-192.
- [4] Голуб Г. А., Дубровіна О. В., Войтенко В. О., Гох В. В. Аналіз метаноутворення в біогазових установках. *Сучасні проблеми збалансованого природокористування – збірник наукових праць / Подільський державний аграрно-технічний університет (ПДАТУ) / Науковий редактор: Бахмат М. І. – Кам'янець Подільський, 2012. – Спеціальний випуск до VII науковопрактичної конференції. – С. 141-145.*

141

www.logos-science.com

All rights reserved | CC BY-SA 4.0



Education and science of today: intersectoral  
issues and development of sciences

SECTION 9.  
BIOLOGY AND BIOTECHNOLOGY

- [5] Гуменюк О. Б., Семенов Н. В. Технічні науки. Вісник Хмельницького національного університету. [Електронний ресурс]. URL: [http://journals.khnu.km.ua/Vestnik/pdf/tech/2012\\_6/25gum.pdf](http://journals.khnu.km.ua/Vestnik/pdf/tech/2012_6/25gum.pdf). 2012. – 6 с. (дата звернення: 28.09.2024).
- [6] Каратєєва О. І. Технологія переробки побутових відходів та відходів сільського господарства: методичні рекомендації для вивчення дисципліни та самостійної роботи для здобувачів вищої освіти спеціальності 162-біотехнології та біоінженерія СВО «Бакалавр» денної форми навчання / О. І. Каратєєва. – Миколаїв: МНАУ, 2021. – 28 с.
- [7] Керсанюк Ю. Біогазова альтернатива розвитку АПК України. *Агробізнес сьогодні*. – 2013. – № 18. – С. 50-53.

All rights reserved | CC BY-SA 4.0

www.logos-science.com

142