

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

**Факультет ТВПШТСБ**

**Кафедра біотехнології та біоінженерії**  
**Спеціальність 162 – «Біотехнології та біоінженерія»**  
**Ступінь вищої освіти «Бакалавр»**

**Допустити до захисту**

**Декан \_\_\_\_\_ Михайло ГИЛЬ**

**“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2023 р.**

**Рекомендувати до захисту**

**В.о. зав. кафедри \_\_\_\_\_ Сергій ЛУГОВИЙ**

**“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2023 р.**

**ВИРОБНИЦТВО БІОГАЗУ В УМОВАХ СПРАТ "УКРАЇНА"**  
**ВОЗНЕСЕНСЬКОГО РАЙОНУ**  
**04.02. – КР. 048-О. 23 03 09. 012**

**Виконавець:**

**здобувач вищої**

**освіти IV курсу \_\_\_\_\_ Марина САВЧЕНКО**

**Науковий керівник:**

**доцент \_\_\_\_\_ Олена КАРАТЄЄВА**

**Рецензент:**

**доцент \_\_\_\_\_ Євген БАРКАРЬ**

**Миколаїв – 2023**

## ЗМІСТ

РЕФЕРАТ	3
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	4
ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ	8
1.1. Біогаз – вид біологічного палива	8
1.2. Перспективи біогазу та водню в Україні	10
1.3. Сировинна база для виробництва біогазу	13
1.4. Мікроорганізми, які використовуються при виробництві біогазу	14
РОЗДІЛ 2. МАТЕРІАЛИ, УМОВИ І МЕТОДИКА ВИКОНАННЯ РОБОТИ	18
2.1. Місце та об'єкт дослідження	18
2.2. Методика виконання роботи	20
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ	25
3.1. Технічне забезпечення процесу виробництва біогазу	25
3.2. Умови ведення технологічного процесу виробництва біогазу	29
3.3. Вплив режимів метанового бродіння на ефективність виробництва біогазу	36
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ	42
ВИСНОВКИ	47
ПРОПОЗИЦІЇ	49
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	50

## РЕФЕРАТ

Кваліфікаційну роботу виконано на 52 сторінках друкованого тексту, з використанням 33 бібліографічних джерел спеціальної, додаткової літератури та періодичних видань із них 2 латиницею. До роботи внесено 8 таблиць та 17 рисунків.

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

**Мета досліджень** – визначити ступінь впливу біотехнологічних факторів на ефективність виробництва біогазу, придатного для використання в енергетичних цілях з утворенням біодобрих.

**Об’єкт досліджень** – біогазова установка, що розташована у с. Мостове Вознесенського району Миколаївської області

**Предмет досліджень** – технології одностадійного періодичного режиму зброджування сировини при мезофільному режимі зброджування.

Для виконання мети були поставлені наступні завдання:

- проаналізувати основні характеристики генерування біогазу з відходів тваринництва на фермі СПРАТ «Україна», яка розташована у с. Мостове Вознесенського району Миколаївської області із визначенням екологічних показників експлуатації об’єкту;
- здійснити оцінку умов ведення технологічного процесу виробництва біогазу;
- проаналізувати вплив режимів метанового бродіння на ефективність виробництва біогазу.

**Методи дослідження** – загально-прийняті стандартні методи шляхом спостереження та аналізу.

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

$t$  – 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;

p – розрахункова величина;

ср – середі 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

Пошук альтернативних джерел сировини для виробництва енергії невинно зростає і наразі актуальним є питання збільшення частки відновних джерел в енергобалансі країн. Одним із найперспективніших напрямів для нашої країни є переробка біомаси з відходів тваринництва шляхом анаеробного зброджування з утворенням біогазу, який в подальшому можна використовувати для отримання палива та енергії [1].

Біотрансформація енергії біомаси в біогаз шляхом метанового зброджування дозволяє комплексно вирішувати енергетичні, соціальні, сільськогосподарські та екологічні питання. Важливою складовою ефективності метанової конвертації нарівні з отриманням біогазу та якісних добрив є перелік опосередкованих ефектів, значення яких засновується як на економічних показниках, так і на загальнодержавних пріоритетах. До них варто віднести: зниження енергетичної складової в собівартості сільськогосподарської продукції; економія енергоресурсів у високозатратному виробництві мінеральних добрив; зниження гербіцидного навантаження на ґрунти та інш. [2].

Актуальність використання таких установок передбачає:

1. раціональне використання енергії біомаси відходів сільської промисловості з отриманням біотоплива і залучення до енергобалансу додаткового нетрадиційного та поновлювального;
2. отримання високоякісних добрив і підвищення завдяки цьому врожайності;
3. охорону навколишнього середовища.

У контекстах економічного, екологічного, соціального, нормативно-правового аспектів та проблемами розвитку біоенергетичної галузі займаються багато зарубіжних і українських вчених: Г. Гелетуха, М. Калінчик, Ф. Ізермеєр, Г. Калетнік, О. Шпичак та інші науковці.

Мета досліджень – визначити ступінь впливу біотехнологічних факторів на ефективність виробництва біогазу, придатного для використання в енергетичних цілях з утворенням біодобрив.

Для виконання мети були поставлені наступні завдання:

- проаналізувати основні характеристики генерування біогазу з відходів тваринництва на фермі СПрАТ «Україна», яка розташована у с. Мостове Вознесенського району Миколаївської області із визначенням екологічних показників експлуатації об'єкту;
- здійснити оцінку умов ведення технологічного процесу виробництва біогазу;
- проаналізувати вплив режимів метанового бродіння на ефективність виробництва біогазу.

Отже на сьогодні, питання розвитку біологічних джерел для виробництва енергії в Україні є актуальним, у зв'язку з недосконалістю нормативно-правової бази регулювання, економічною та соціальною нестабільністю, що обмежує гарантії та стабільність постачальників енергетичних ресурсів на ринки [1].

Що і викликало наш інтерес в дослідженні ефективності виробництва біогазу, придатного для використання в енергетичних цілях з утворенням біодобрив в умовах СПрАТ «Україна» Вознесенського району Миколаївської області.

## РОЗДІЛ 1

### ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

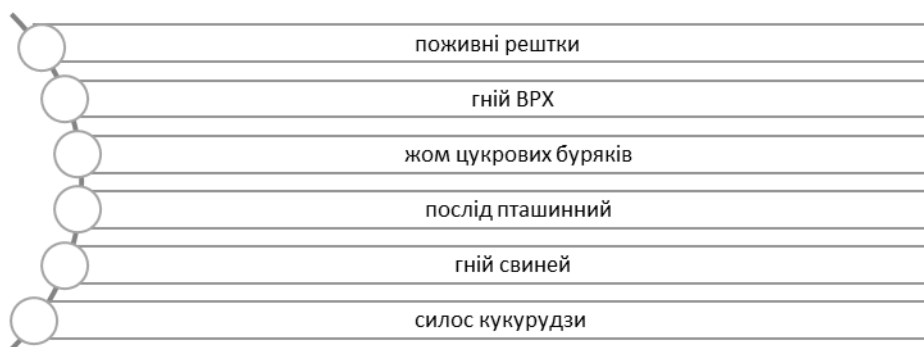
#### 1.1. Біогаз – вид біологічного палива

Біогаз – горючий газ, що утворюється при анаеробному метановому зброджуванні біомаси та складається переважно з метану (55-75%), двоокису вуглецю (25-45%) і домішок сірководню, аміаку, оксидів азоту та інших (менше 1%) речовин. Розкладання біомаси відбувається в результаті хіміко-фізичних процесів і симбіотичної життєдіяльності головним чином 3-х груп бактерій, які представлені на рис. 1, при цьому продукти метаболізму одних є продуктами харчування інших в певній послідовності [1].



*Рис. 1. Групи метаноутворюючих бактерій*

У якості сировини для виробництва біогазу можуть використовуватися як органічні агропромислові чи побутові відходи, так і рослинна сировина – силос кукурудзи, трав'яний силос, зерно і силос злакових культур. Найбільш придатні для виробництва біогазу види відходів сільського господарства наведені на рис. 2 [2].

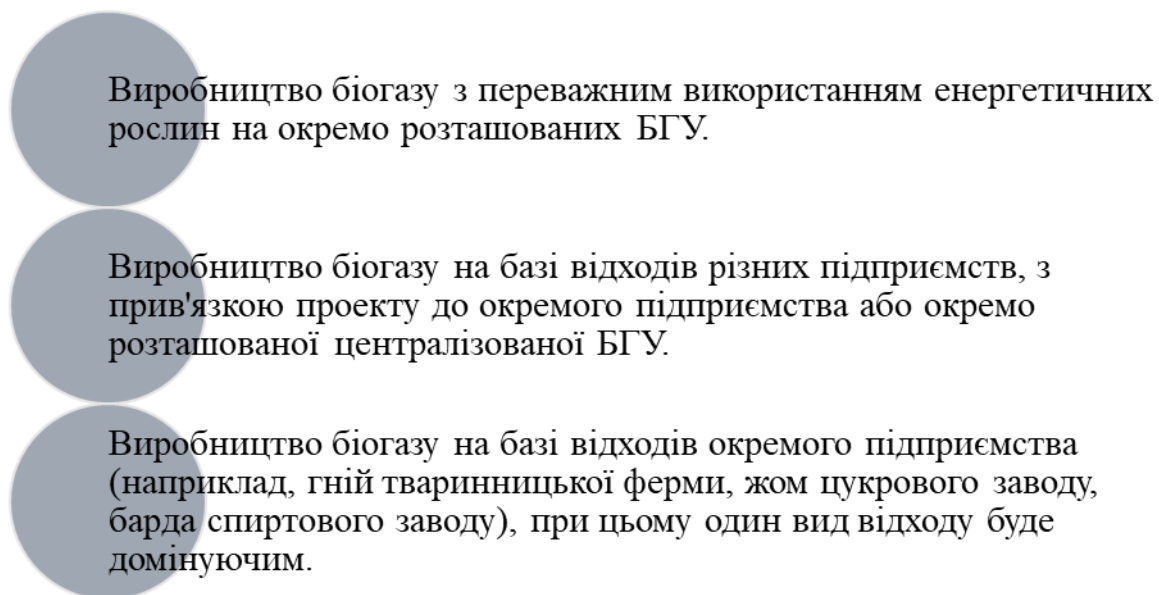


*Рис. 2. Сировина для виробництва біогазу*

Кількість субстратів/видів відходів, що використовуються для

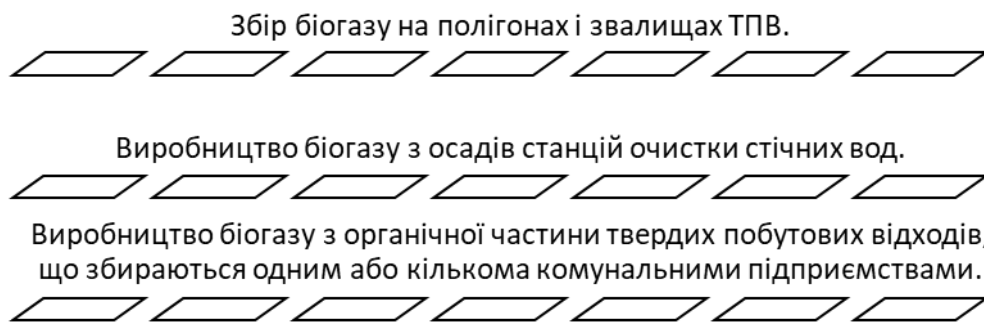


виробництва біогазу в межах однієї біогазової установки, може варіюватися від одного до десяти і більше. Залежно від типів і кількості видів застосовуваних субстратів існують різні варіанти технологічних схем біогазових станцій. У разі застосування декількох субстратів, що відрізняються властивостями, наприклад, рідких і твердих відходів, їх накопичення, попередня підготовка (подрібнення, біоактивізація, підігрів, гомогенізація або інша фізико-хімічна обробка) проводиться окремо, після чого вони або змішуються перед подачею в біореактори, або подаються роздільними потоками. Використання попередньої підготовки у ряді випадків дозволяє домогтися збільшення швидкості і ступеня розпаду сировини в біореакторах, а отже – загального виходу біогазу. Біогазові проекти в агропромисловому секторі можуть бути організовані за одним зі способів, які представлені на рис. 3 [2].



*Рис. 3. Біогазові проекти в агропромисловому секторі*

Біогазові проекти в житлово-комунальному секторі можуть бути організовані таким чином та представлені на рис. 4.



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

Найбільш поширеними способами енергетичного використання біогазу є спалювання в газопоршневих двигунах у складі міні-ТЕЦ, з виробництвом електроенергії та тепла (або холоду), або з виробництвом тільки електричної енергії (ТЕС) та пряме спалювання в котлах, печах й іншому технологічному обладнанні [2].

## **1.2. Перспективи біогазу та водню в Україні**

Від недавня ціна природного газу в ЄС уперше в історії перетнула позначку дві тисячі доларів за тис м<sup>3</sup>. Таке рекордне зростання змушує замислитися про альтернативні види палива та шукати резервні джерела постачання енергоносіїв [11].

Однією з відповідей на цей виклик може стати розвиток водневої генерації та біогазу. При такому різкому зростанні вартості природного газу ці ресурси здаються не такими дорогими [11].

Україна має чимало конкурентних переваг, щоб стати масштабним виробником водню для власних потреб та експорту його до країн ЄС. Це і наявність однієї з найбільших мереж газопроводів, і достатня кількість води, вітру та сонця для генерації водню шляхом електролізу, і близькість до європейських споживачів [11].

Також Україна як одна з найбільших аграрних країн Європи має великий потенціал генерації біогазу з відходів сільгоспвиробництва та енергетичних культур. Річний потенціал біогазу в Україні становить близько 8 млрд м<sup>3</sup>. Це дозволить замінити половину імпорту природного газу завдяки власному виробництву [16].

Биометан – це очищений біогаз, доведений до якості природного газу, що містить 95-98% метану. Найбільше біометану можна виготовляти з відходів та побічної продукції АПК (3,8 млрд куб м), із силосу кукурудзи (2,7 млрд куб м), з інших відходів тваринництва та переробної промисловості (1,3 млрд куб м) [16].

Сировинною базою для генерації біометану в Україні є різні види відходів сільського господарства, які представлені на рис. 2.

Потенціал виробництва водню в Україні оцінюють в еквіваленті 25-50 млрд м<sup>3</sup> газу на рік [16].

В Україні багато говорять про виробництво "зеленого" водню. Є кілька інвестиційних проєктів, але всі вони поки на папері, жодних потужностей з генерації в Україні немає. У найближчі 5 років такі потужності навряд чи з'являться, адже для цього потрібні не лише вільні потужності енергії з відновлювальних джерел, а й інфраструктура для транспортування [16].

Якщо водень є більш віддаленою перспективою, то біометан за своєю структурою не відрізняється від природного газу, і такі проєкти можна масштабувати в найближчій перспективі [16].

Тим паче, що в жовтні 2021 року Верховна Рада ухвалила Закон, спрямований на розвиток виробництва та експорту біометану і залучення інвестицій у цей напрямок [16].

Биометан дозволили подавати до газотранспортної системи та використовувати як моторне паливо. Раніше в газопровід не можна було закачувати нічого, крім природного газу [16].

В Україні більшість біогазових заводів орієнтовані на генерацію електроенергії та її продаж за "зеленим" тарифом. Галузь тільки починає

формуватися після ухвалення відповідного законодавства. У 2021 році "Регіональна газова компанія" почала підготовку газорозподільних мереж у Вінницькій, Хмельницькій та Чернігівській областях до підключення біометанових заводів. Це перший такий проєкт в Україні [16].

Загалом у рамках співпраці з Біоенергетичною асоціацією України планується під'єднати до газорозподільної мережі вісім біогазових заводів. Їх загальна потужність – близько 100 млн куб м газу на рік [16].

Однак уже зараз варто думати про модернізацію інфраструктури для транспортування синтетичних газів. У майбутньому зі зміною виду палива буде змінюватися і модель його транспортування [16].

Якщо зараз газ з родовищ чи підземних сховищ потрапляє одразу в магістральні газопроводи, а вже звідти надходить до мереж низького тиску для подачі споживачам, то джерела генерації водню і біогазу будуть розосереджені. Тому виробники будуть під'єднувати свої потужності до мереж низького тиску. Це потребує зміни архітектури мереж. Перспективу використання синтетичних газів важливо враховувати при плановій модернізації газогонів [16].

За оцінками директора із стратегії розвитку "Регіональної газової компанії" Станіслава Казди, повний редизайн розподільних мереж може коштувати понад 200 млрд грн. Річ у тім, що мережі будувалися переважно в радянські часи і були розраховані на більший обсяг транспортування газу. Відповідно, більша протяжність мереж, незалежно від обсягу перекачування газу, потребує більшої кількості обладнання і технологічного газу, що витрачається для підтримки тиску. Крім того, для обслуговування такої мережі залучається більше працівників, яким потрібно платити зарплату. Усі ці витрати зрештою лягають на плечі споживачів [3].

Зазвичай мережі будуються на 20-50 років, а в Україні є ділянки, які експлуатуються понад 80 років. Тому модернізацію варто проводити з урахуванням того, що мережі в майбутньому мають бути готовими для транспортування водню [3].

Наразі єдині дослідження в Україні з вивчення впливу водню та його сумішей на газове обладнання і мережі проводить РГК. За півтора року проведено понад сто експериментів на реальних моделях газопроводу у п'ятьох областях. У пілотних проєктах використовують газо-водневі суміші з концентрацією водню близько 20% [3].

Як показали дослідження, така пропорція оптимальна для транспортування в газопроводах і не впливає на роботу обладнання та приладів, що працюють на природному газі [3].

Експерименти ще тривають, але вже зараз зрозуміло, які ділянки мереж найбільш вразливі і потребують першочергової заміни для роботи з воднем. Дослідження дозволили розробити лінійку газоперекачувального обладнання RGC Production, яке вже встановлюється на ділянках мережі під час планової модернізації [3].

Тестування за участю незалежних експертів Bureau Veritas підтвердили, що обладнання готове до роботи з 20-відсотковою сумішшю водню та газу. У перспективі це дозволить на 20% скоротити споживання природного газу та зменшити викиди CO<sub>2</sub> [3].

Більша частина розподільних мереж в Україні давно вичерпала проєктний термін експлуатації, тому газопровід потребуватиме масштабної модернізації в найближчому майбутньому [3].

Результати експериментів можуть стати науковою основою для підготовки проєкту редизайну української мережі. Це важливо не лише для роботи з воднем, а й для безпечного транспортування природного газу та біогазу [3].

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

Сировинною базою для отримання біогазу є органічні відходи, які придатні для виробництва: гній, пташиний послід, зернова і мелассно-послеспиртова барда, пивна дробина, буряковий жом, фекальні опади, відходи

рибного і забійного цеху (кров, жир, кишки, канига), трава, побутові відходи, відходи молокозаводів – солонина і солодка молочна сироватка, відходи виробництва біодизеля – технічний гліцерин від виробництва біодизеля з ріпаку, відходи від виробництва соків – жом фруктовий, ягідний, овочевий, виноградна витримка, водорості, відходи виробництва крохмалю і патоки – мезга і сироп, відходи переробки картоплі, виробництва чіпсів – очищення, шкурки, гнилі бульби, кавова пульпа [2].

Окрім використання цих відходів, біогаз можна виробляти із спеціально вирощених енергетичних культур, наприклад, з силосної кукурудзи або сільфії (ароматна та лікарська рослина з роду *Ferula*), а також водоростей. Вихід газу  $\text{CH}_4$  може досягати до  $300 \text{ м}^3$  з 1однієї тони енергетичних культур [3].

Вихід біогазу залежить від вмісту сухої речовини і виду використовуваної сировини. З тонни гною великої рогатої худоби виходить  $50\text{-}65 \text{ м}^3$  біогазу з вмістом метану 60%,  $150\text{-}500 \text{ м}^3$  біогазу з різних видів рослин з вмістом метану до 70%. Максимальна кількість біогазу – це  $1300 \text{ м}^3$  з вмістом метану  $\text{CH}_4$  до 87% – можна отримати з жиру [2].

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

Для ефективного виробництва біогазу з органічної сировини створюються комфортні умови для життєдіяльності декількох видів бактерій при відсутності доступу кисню. Таким чином біометаногенез здійснюється за три етапи, які представлені на рис. 5 [16].

На першому етапі розкладання органічних речовин здійснює група гідролітичних ацетогенних мікроорганізмів. Вони як субстрат використовують комплекс органічних речовин і продуктами їх життєдіяльності є вищі жирні кислоти (масляна, пропіонова, молочна) [16].

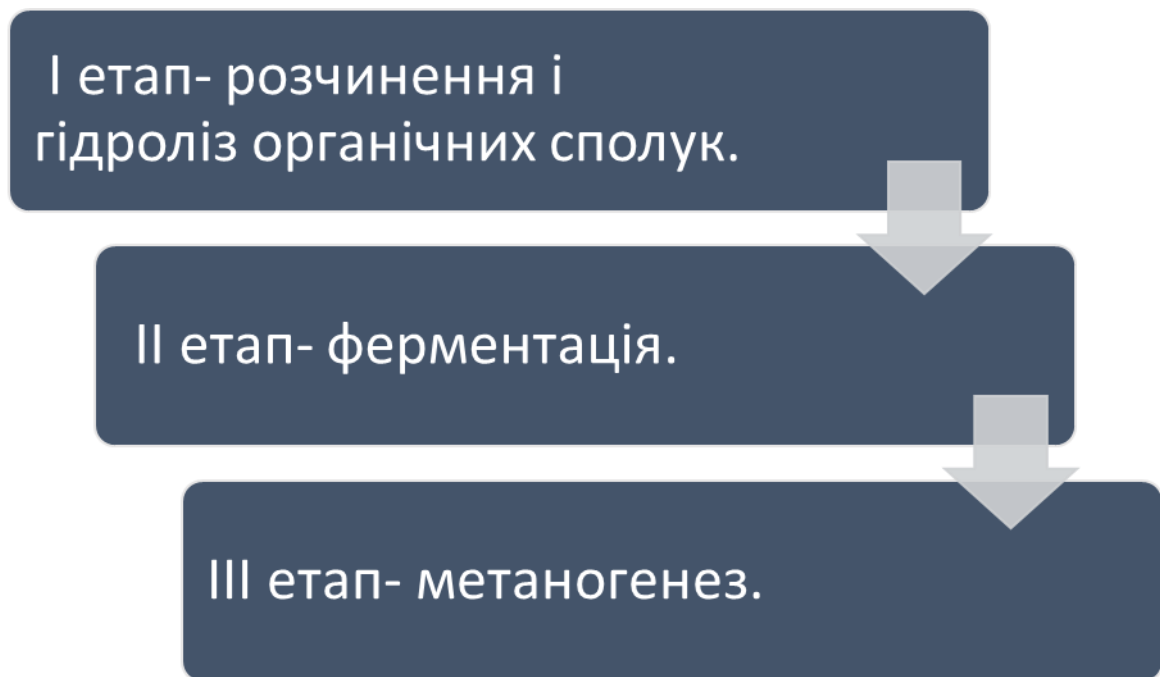


Рис. 5. Етапи біометаногенезу

Такий процес здійснюють мікроорганізми, для яких характерна целюлозолітична, протеолітична, ліполітична, сульфівідновлююча, денітрифікуюча та інші види активності. Склад домінуючої мікрофлори цієї фази залежить від складу мікрофлори вхідної сировини, а також від хімічної природи проміжних продуктів розпаду органічних речовин [16].

Серед протеолітичних бактерій виділяються штами роду *Clostridium*, *Peptococcus anaerobis*, *Bacterioides*, *Eubacterium*, *Bifidobacterium*. На другому етапі ферментації мікроорганізми використовують вищі жирні кислоти, що утворилися та утворюють водень, вуглекислий газ та оцтову кислоту. Тут процес здійснюють ацетоногенні і гідрогенпродукуючі бактерії. Вони перетворюють пропіонат в ацетат,  $\text{CO}_2$  та  $\text{H}_2$  [17].

На третьому етапі метаноутворюючі бактерії з продуктів, що утворились на попередній стадії, продукують метан та вуглекислий газ. Метаноутворюючі бактерії належать до древніх архебактерій, які виникли 3-3,5 млрд. років тому. Вони досить поширені у природі там, де утворюються анаеробні умови: в болотному та річному мулі, в осадах морів та океанів, в рубцях жуйних тварин та трактах живлення ряду інших

тварин. У таблиці 1 наведено деякі види метанобактерій та їх характеристику [14, 32].

Таблиця 1

## Таблиця характеристики 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

Клітини метаногенів мають різну форму, вони бувають: сферичні, ланцетовидні, паличкоподібні, нитчасті, деякі мають джгутики. Клітинна стінка бактерій не має муреїну, а ліпіди не містять жирних кислот. Велику частину нейтральних ліпідів становлять прості ефіри гліцерину та довголанцюгового



спирту – фітанолу. У метаболізмі метаноутворюючих бактерій беруть участь кофермент М (2 – меркаптоетансульфонова кислота), фактор Г420, який включає флавін та ряд інших сполук, не знайдених у інших організмів. Нуклеотидна послідовність у 16 р-РНК також відрізняє метаногенів від інших організмів. Вміст ГЦ основ у ДНК коливається від 30,7 до 61,0 мол. %. Всі метаноутворюючі бактерії – суворі анаероби. Деякі з них мезофіли, інші термофіли, які розмножуються при оптимальній температурі 60-80°C. (*M. thermoautotrophicum*). Оптимальне значення рН для різних видів 6,5-8,0. Деякі штами спроможні рости у середовищі з 5-7% та більше NaCl. Як джерело сірки бактерії найчастіше використовують сульфід, а як джерело азоту – амоній. Деякі види потребують наявності дріжджового автолізу або суміші вітамінів. Для росту деяких необхідний ацетат або інші органічні речовини [17].

Багато метаногенів можуть рости в автотрофних умовах при наявності єдиного джерела вуглецю – вуглекислого газу. Як субстрат більшість метаногенів споживають форміат, який трансформується до метану [14].

## РОЗДІЛ 2

### МАТЕРІАЛИ, УМОВИ І МЕТОДИКА ВИКОНАННЯ РОБОТИ

#### 2.1. Місце та об'єкт дослідження

Місце знаходження СПрАТ «Україна» – село Мостове Вознесенського району Миколаївської області. Господарство розташоване у 50 км від районного центру – м. Вознесенськ та 115 км від обласного центру. Найближча залізнична станція – Колосівка, розташована на відстані 12 км, найближчий порт – в місті Миколаєві [18].

Для популяризації та впровадження біогазових технологій в Україні на базі СПрАТ «Україна» у 2018 році був побудований біогазовий комплекс, що працює на відходах тваринництва і кукурудзяному силосі, який вирощують на полях господарства [9].

СПрАТ «Україна» є учасником українського ринку відновлюваної енергетики з 2018 року в ролі незалежного виробника електроенергії з відновлюваних джерел енергії (ВДЕ). Під управлінням господарства одна біоелектростанція на біогазі потужністю 0,4 МВт, введена в експлуатацію в 2018 році. Електроенергію, вироблену господарством викуповує Гарантований покупець за «зеленим» тарифом. Для виробництва енергії підприємство використовує в основному власну сировину [18].

СПрАТ «Україна» є одним із основних наповнювачів бюджету сільської ради, а також вирішує чотири нагальні проблеми – забезпечення електроенергією, біодобривами, переробкою відходів виробництва та збільшення рівня зайнятості населення. Вироблена електрична енергія господарства подається в загальну електромережу по «зеленому» тарифу, а тепла – використовується для опалення овочевих теплиць. Продукція теплиць реалізовується у роздрібних магазинах громади та області [9].

Щороку дане підприємство 5% свого прибутку виділяє на розвиток освіти та медицини в громаді. Аналіз економічних досліджень, забезпеченість виробничим фондами, енергетичними ресурсами, робочою силою СПрАТ «Україна» наведено у таблиці 2 [9].

Таблиця 2

### Показники розміру виробництва СПрАТ «Україна»

Показник	Рік			В середньому за три роки
	2020	2021	2022	
Валова продукція в порівняних цінах 2022 р. 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

Біогазовий комплекс має такі характеристики:

Розташування: Україна, с. Мостове, Вознесенський район Миколаївська обл.

Період будівництва: 2017/2018 (збудовано компанією «Бітек Біогаз»)

Субстрати: Відходи тваринництва (гній), силос кукурудзи.

Встановлена потужність: 400 кВт.

Застосування біогазу: Спалювання біогазу в когенераційній установці для генерування електричної енергії і продаж її в електромережу за «зеленим» тарифом та обігрів теплиць.

Особливості: 1 метантенк первинний з газгольдером, 1 лагуна, реалізація біодобрив, мезофільний режим зброджування.

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

Вихід (на рік):

Електрична енергія – 980 МВт/год.

Теплова енергія – 1160 МВт/год.

Тверді добрива (вологість 70%) – 3144 т.

Рідкі добрива (вологість 99%) – 6 359 т. [18].

Основне завдання біогазової установки, яка розташована на базі СПрАТ «Україна» – оптимальна робота з метою виробництва максимально досяжних обсягів біогазу.

## 2.2. Методика виконання роботи

Дослідження проводилися в умовах СПрАТ «Україна» на базі біогазового комплексу, в період 2022-2023 рр. під час переддипломної практики.

**Мета досліджень** – визначити ступінь впливу біотехнологічних факторів на ефективність виробництва біогазу, придатного для використання в енергетичних цілях з утворенням біодобрив.

**Об'єкт досліджень** – є виробничий процес біогазу біогазовою установкою, що розташована у с. Мостове Вознесенського району Миколаївської області.

**Предмет досліджень** – технології одностадійного періодичного режиму зброджування сировини при мезофільному режимі зброджування.

Для виконання мети були поставлені наступні завдання:

- проаналізувати основні характеристики генерування біогазу відходів тваринництва на фермі СПрАТ «Україна», яка розташована у с. Мостове Вознесенського району Миколаївської області із визначенням екологічних показників експлуатації об'єкту;
- здійснити оцінку умов ведення технологічного процесу виробництва біогазу;

- Проаналізувати вплив режимів метанового бродіння на ефективність виробництва біогазу.

**Методи дослідження** – загально-прийняті стандартні методи шляхом спостереження та аналізу.

Об'єктом дослідження є виробничий процес біогазу, який складається з чотирьох основних фаз, які представлені на рис. 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]:

$$V_{p.б} = PПТВ \times K_{л.о.} \times (1-Z) \times K_p \quad (1)$$

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

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

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

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

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

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  $V'_{р.б.}$  – 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]:

$$m_{\text{доб.}} = N_{\text{ж}} \times m_{\text{уд.}} \quad (3)$$

де:  $N_{\text{ж}}$  – кількість тварин, голів;

$m_{\text{уд.}}$  – 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]:

$$Q_{г.річ} = Q_{г.доб} \cdot t \quad (6)$$

де  $t$  – кількість днів 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]:

$$G_{доб} = \frac{Q_{з\ річ}}{t_{річ} - t_3} \quad (8)$$

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

$Q_{з\ річн.}$  – річна кількість гноєвої біомаси на фермі, т;

$t_{річн.}$  – кількість діб у році (365);

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

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

$$Q_{доб} = \frac{W_{з\ ф} \times Q_{з\ річ}}{W_{в. опт. в. з.} \times q_v} \quad (9)$$

де  $Q_{з. доб.}$  – добовий об'єм завантаження метантенка, м<sup>3</sup>;

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

$W_{в. опт. в. з.}$  – відносна оптимальна вологість гною (88-92%);

$Q_{з. доб.}$  – 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]:

$$V_{з. доб.} = \frac{P_{а. с. р.} \times Z}{100 \times K \times v} \quad (10)$$

де:  $V_{з. доб.}$  – 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]:

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

На заключному етапі досліджень, нами було поставлено за мету дослідити стан охорони праці в господарстві.



## РОЗДІЛ 3

### РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

#### 3.1. Технічне забезпечення процесу виробництва біогазу

Метою вивчення даного розділу є вивчення основних структурних елементів типової схеми біогазової установки та розрахунок переметрів виробництва біогазу з БГУ яка розташована у с. Мостове Вознесенського району Миколаївської області (рис. 8).



*Рис. 8. Схема біогазової установки*

Технологічні схеми БГУ бувають різними в залежності від виду і числа субстратів, від виду і якості кінцевих цільових продуктів, від того чи іншого використовуваного «ноу-хау» компанії постачальника технологічного рішення, і ряду інших чинників. Найбільш поширеними на сьогоднішній день є схеми з одноступінчастим бродінням декількох видів субстратів, одним з яких зазвичай є гній [8]. Одним із елементів біогазової установки є модуль зважування та подачі сухих та рідких видів субстрату, що представлений на рисунку 9.



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

Сухий субстрат завантажується в модуль зважування та подачі сухого субстрату. Рідкий субстрат відповідно завантажується в модуль завантаження рідкого субстрату. Модуль представляє собою велику ємність під землею, в яку насипом закидають потрібну кількість субстрату. З цього починається весь процес вироблення біогазу

Після ретельної підготовки в модулях рідкий субстрат перемішується з сухим, у відповідних пропорціях, та подається до ферментатора (рис. 10).



*Рис. 10. Ферментатор*

У ферментаторі відбувається основний процес вироблення біогазу. Подача сировини в ферментатор відбувається 4-6 разів на добу за допомогою спеціального насоса для рідких і драглистих субстратів.

Ферментатор є газонепроникним, герметичним резервуаром.

Для підтримки стабільної температури всередині ферментатор обладнується системою обігрівання стін. У холодних кліматичних умовах, щоб уникнути втрати теплоти, ферментатор теплоізолюється зовні.

Субстрат постійно перемішується за допомогою низько швидкісних механічних мішалок, що гарантує повне і дбайливе перемішування. В залежності від фізико-механічних властивостей субстрату, використовують різні види систем перемішування: механічні, гідравлічні або пневматичні. У нашому випадку механічні звичайні [33].

Вивантаження перебродженого субстрату відбувається автоматично з такою ж періодичністю, як і завантаження. У ферментаторі попередньо нагрітий субстрат витримується в анаеробних умовах протягом 20-35 днів (це залежить від конкретного субстрату). Для ефективного вироблення газу та підтримання життєдіяльності мікроорганізмів, які виробляють цей газ, в реакторі потрібно підтримувати постійну температуру від 35 до 70 °С та постійно перемішувати. Для цього й використовують спеціальні мішалки та підігрівачі встановлені безпосередньо всередині реактора на його боковій поверхні [9].

Вироблений біогаз накопичується в газгольдері, змонтованому на даху доброджувача. Доброджувач необхідний для підвищення виходу біогазу з біомаси шляхом продовження витримки субстрату до 50-80 днів.

Газгольдер використовується в якості газонепроникного покриття ферментатора і виконує функцію акумулювання газу. Зовнішній купол має високу стійкість до ультрафіолету, стійкий до підпалювання і є надзвичайно розтяжним (рис.11). Схема біогазової установки передбачає високу еластичність цього елемента і надійну фіксацію конструкції. Відведення біогазу відбувається по трубопроводу, який оснащений пристроями автоматичного відведення конденсату і запобіжними пристроями, які захищають газгольдер від перевищення допустимого тиску [19].



*Рис. 11. Загальний вигляд газгольдера*

З газгольдера йде безперервна подача біогазу на когенераційну установку (рис. 12), або подається у систему очищення біогазу.



*Рис. 12. Зображення когенераційної установки енергогенерування на базі біогазу*

Біогаз з газгольдера подається через систему очищення від сірководню і осушення в когенераційну установку, де спалюється з виробництвом теплоти та електроенергії. Також передбачений факел для спалювання надлишку газу або аварійного його скидання [22].

Електроенергія розподіляється в електромережу за «зеленим» тарифом, а теплота частково (до 30%) використовується для підігріву субстрату на вході в ферментатор. Інша частина теплоти може бути використана для виробництва теплоносія (нагрітої води, перегрітої води

або пари), і застосовується для власних потреб підприємства. Перероблений субстрат після установки подається на сепаратор. Система механічного поділу працює від 4-6 разів на добу і розділяє залишки бродіння після ферментатора на тверді та рідкі біодобрива. Все обладнання контролюється системою автоматики [27].

Таким чином, будова даної біогазової установки передбачає мінімізацію людської праці при її роботі. А людина витрачає свій час та зусилля лише на обслуговування, обладнання та додавання сировини в установку. В самій установці створені оптимальні умови для біохімічних процесів, що відбуваються при зброджуванні та життєдіяльності метаногенних бактерій і є важливими показниками, що визначають параметри процесу виробництва біогазу.

### **3.2. Умови ведення технологічного процесу виробництва біогазу**

Сучасні біогазові установки засновані на використанні реакторів, що підігріваються, оскільки для здійснення процесу метаногенеза необхідно постійно витрачати енергію. Ефективне виробництво біогазу можливе тільки у тому випадку, коли сумарна енергія газу буде значно вища за витрати енергії на його виробництво [13].

Оскільки основною умовою ведення будь-якого процесу є його ефективність, то нами було поставлено за мету, в першу чергу дослідити матеріальний баланс даної біогазової установки по добовій витраті сировини та отриманій продукції і відобразити інформацію про види і кількість сировини, що загрузається в реактор, допоміжних матеріалів, які використовуються, а також проміжних та кінцевих продуктів виробництва.

Так, загальна потужність БГК за добу становить 57000 кг загальної сировини, яка загрузається в реактор, в тому числі 52300 кг гною ВРХ та 4700 кг силосу кукурузного. В наслідок анаеробного бродіння буде утворюватися гомогенізований субстрат – 56500 кг (табл. 3).

**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 другому етапі процесу бродіння отриманий гомогенізований субстрат за допомогою метаноутворюючих бактерій перетвориться на біогаз – 774,8 м<sup>3</sup> та зброджену біомасу у кількості – 55700 кг. На цій стадії будуть втрати на рівні 27,1 кг.

Далі в процесі зброджування отриманої біомаси буде утворюватися тверда фракція, тобто, шлам – 12533,6 кг та рідка фракція – 43166,4 кг. Тверда фракція в свою чергу поділяється на гранульоване біодобриво – 8282,1 кг та залишкову вологу 4251,5 кг.

Як ми бачимо, в процесі анаеробного бродіння окрім біогазу утворюються і біодобрива у вигляді рідкої та твердої фракцій, які в своєму складі містять фосфор, калій та аміак, що робить їх дуже цінним. В даному

господарстві рідку фракцію використовують для поливу, а тверду, за гранулюють та висушують і розкидають на поля.

Таким чином матеріальний баланс біогазової установки показує, що виробництво біогазу є доцільним, оскільки сумарна енергія газу що виробилася значно вища за витрати енергії на його виробництво. Це зумовлює подальшу необхідність розрахунку потреби в сировині.

Оскільки в якості сировини для анаеробного зброджування використовується гній ВРХ, силос кукурудзяний та інші види відходів, ми розрахували добову та річну потребу в сировині та порівняли її з наявною кількістю в господарстві (табл. 4)

Таблиця 4

**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, із даних таблиці видно, що добова потреба в сировині в умовах БГУ ПрАТ «Україна» дещо нижча за її реальну наявність, різниця по гною ВРХ становить 9,18 т між добовою потребою та 3351 т між річною потребою. По силосу кукурудзяному відмічається потісна тенденція, його дефіцит між наявною кількістю і потребою становить – 0,3 т за добу та 146 т за рік. Але такі розбіжності в потребі і наявності сировини для виробництва біогазу суттєво не вплинуть на роботу даної БГУ і забезпечать вихід біогазу на рівні – 106021,4 м<sup>3</sup> за добу, що в перерахунку річного фактичного біогазу на рівні 38697811 м<sup>3</sup> біогазу.

Тож, аналіз даних потреби в сировині і її фактичної потреби необхідної для виробництва біогазу, встановив дефіцит між наявною кількістю і потребою – 9,48 та 3497 т сировини за добовим та річним об'ємом загрузки реактора. Але ці розбіжності в сировини для виробництва біогазу не суттєві та не вплинуть на роботу даної БГУ і забезпечать достатньо високий вихід біогазу.

Головною умовою ведення технологічного процесу виробництва біогазу є створення в біогазовій установці оптимальних параметрів, які б забезпечували ефективно та стабільне протікання процесу бродіння в реакторі. Що викликає необхідність дослідити основні технологічні параметри роботи БГУ та за допомогою яких операцій вони корегуються у разі потреби.

Оскільки оптимальна вологість при виробництві біогазу повинна бути 82 або 93%, на біогазовій установці ПрАТ «Україна» біогаз виробляється вологістю 93%. Дані таблиці 5 вказують, що при вологості вихідної сировини гною ВРХ – 65%, а силосу кукурудзяного – 75% 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.

*Таблиця 5*

#### **Основні технологічні умови роботи біогазової установки**

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

Що забезпечить вихід біогазу заданою вологістю – 93%.

Іншим важливим параметром процесу повноцінного бродіння сировини в реакторі є температура. Оскільки в нашому випадку використовуються різні температурні режими, а саме – 40, 45, 50 та 55 °С, то такі температурні режими безпосередньо впливають на тривалість процесу зброджування (табл. 6). Так при використанні більш низьких температур – 40 та 45 °С (мезофільний режим)



значно подовжується процес зброджування в реакторі до 30-40 та 20-30 днів відповідно.

Таблиця 6

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

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

При підвищенні температури до термофільних режимів – 50 та 55 °C тривалість зброджування, навпаки, скорочується до 10-20 та 10-15 днів відповідно, що може визначати економічну ефективність роботи галузі.

При виробництві біогазу необхідно дотримуватися і активної кислотності середовища в реакторі. Згідно даних таблиці в умовах досліджуваної нами біогазової установки активна кислотність підтримується на рівні рН=6,5-8,5 од. тобто слабколужне, що забезпечить активний розвиток анаеробних метаноутворюючих бактерій.

Таким чином, технологічні умови роботи досліджуваної нами біогазової установки відповідають вимогам технологічного процесу і при необхідності коректуються по вологості за рахунок введення у субстрат води у відповідних концентраціях. А температурний режим який використовується під час виробничого процесу, напряму впливає на тривалість зброджування і виробництва біогазу, що теж при необхідності можна корегувати.

Оскільки за своїми властивостями біогаз дуже схожий до природного газу і, як продукт анаеробного метанового бродіння, в своєму складі містить багато компонентів, які залежать від виду сировини, умов та тривалості бродіння,

нами було поставлено за мету в цьому підрозділі дослідити і фізико-хімічні властивості отриманого біогазу.

Так, температура спалаху становила  $655^{\circ}\text{C}$ , при об'ємній теплоті яка виділялася  $21,06 \text{ мДж/м}^3$ , що вплинуло на межу спалаху в повітрі, яка становила в межах  $9,0 \%$ , що повністю відповідає стандартним значенням біогазу (табл. 7).

Таблиця 7

### 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 <sup>0</sup> С	655	650-750
Межа спалаху(вміст в повітрі), %	9,0	6-12
Критичний тиск, МПа	8,2	7,5-8,9
Критична температура <sup>0</sup> 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 досліджений біогаз –  $8,2 \text{ МПа}$ , при критичній температурі замерзання  $-2,5^{\circ} \text{ C}$ . Показники густини, також, знаходяться в межах стандарту на біогаз. А саме, нормальна густина біогазу становила  $1,2 \text{ г/л}$ , в той час коли критична густина знаходилася на межі  $319 \text{ г/л}$ , а густина біогазу відносно повітря була  $0,83 \text{ г/л}$ .

Таким чином, отриманий біогаз в умовах досліджуваної нами БГУ за основними фізико-хімічними властивостями, повністю відповідає стандартним значенням і забезпечить високу його енергетичну цінність.

Оскільки в даному господарстві годівля великої рогатої худоби складається з різних типів раціонів, а саме годівля сіном і концентратами та годівля тільки грубими кормами, переважно соломою, що в свою чергу буде позначатися на фізико-хімічному складі гною ВРХ. Тому нами було поставлено за мету дослідити фізико-хімічний склад гноївки ВРХ залежно від їх типу годівлі (табл. 8).

Таблиця 8

**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 із даних таблиці, вплив типу годівлі має істотний вплив на фізико-хімічний склад гною ВРХ. Так тварини, яких годували сіном і концентратами мають вищі значення вмісту жирів, білків, азоту, фосфору, калію, кальцію, в той час коли вміст органічної речовини, сирі клітковини,

лігніну вищий у корів, які в складі свого раціону мали лише тільки грубі корми, переважно соломі.

Таким чином, субстрати гною отримані за різних типів годівлі тварин різняться за фізико-хімічним складом, що буде впливати на тривалість процесу зброджування біогазу, оскільки в складі гноївки за різних фізико-хімічних показників буде міститися різна кількість мікроорганізмів, в тому числі і метаноутворюючих та різна кількість мікро- та макроелементів, необхідних для повноцінної життєдіяльності цих бактерій.

Використання гноївки ВРХ, як моно-субстрату має певні вади та недоліки, які зменшують ефективність роботи БГУ та знижують вихід біогазу. В умовах даного підприємства використовують різні ко-субстрати, такі як силос кукурудзяний, гліцерин та крохмаль. Це сприяє створенню оптимального співвідношення основних складових поживного середовища, необхідних для інтенсивного росту мікроорганізмів та оптимального співвідношення C:N, та дозволяє уникнути накопичення амонію, ЛЖК та інших інгібіторів, які сприяють дестабілізації процесу бродіння.

Таким чином використання ко-субстратів у якості каталізаторів процесу бродіння запобігає дестабілізації виробничого процесу, сприяє створенню оптимальних умов для максимальної життєдіяльності мікроорганізмів, що в цілому підвищує ефективність виробництва біогазу.

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

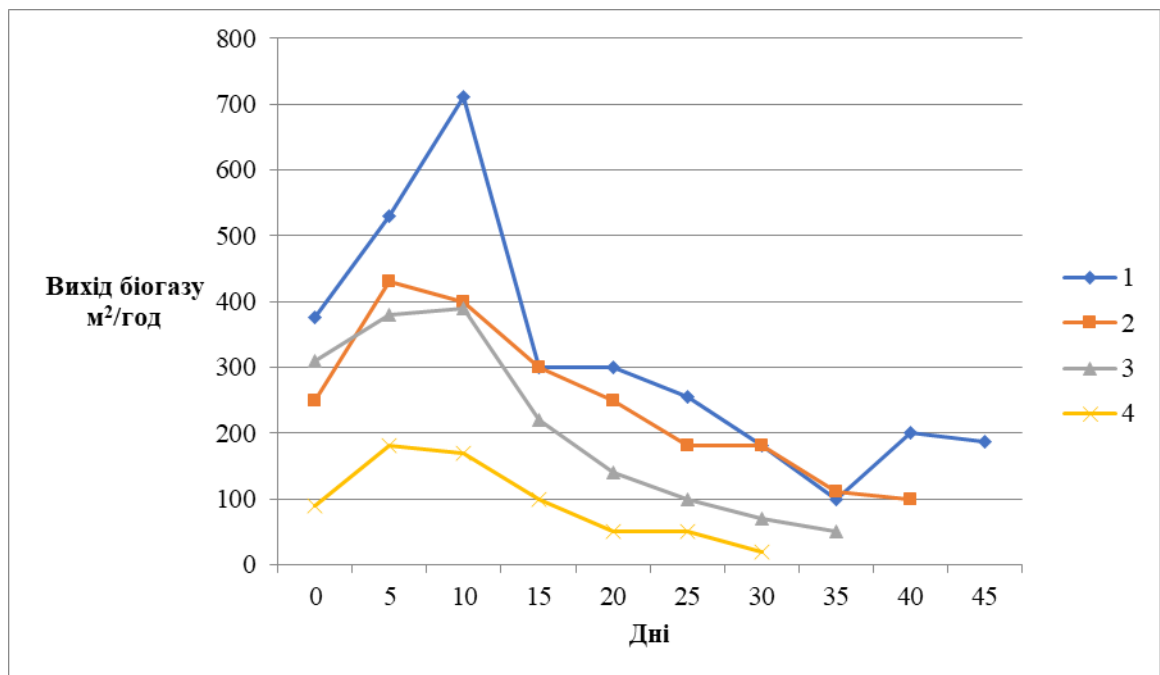
Ефективність виробництва біогазу значною мірою залежить від режимів роботи біогазової установки. Для інтенсифікації процесу метанового зброджування необхідна оптимізація умов, при яких швидкість ферментних реакцій була б максимальною [13].

Склад гнойової біомаси та її властивості значною мірою впливають на процес метанового збродження. У сучасних біогазових установках можуть

перероблятися субстрати із вмістом сухої речовини до 12% і максимальній довжині волокнистих або стеблевидних частинок, яка не перевищує 30 мм [2].

Нами встановлено, що ефективність виробництва біогазу визначається залежно від типу сировини, наявності косубстратів, температурного режиму біогазової установки, наявності або відсутності перемішування субстрату. Вплив температурного режиму.

Ступінь впливу температурного режиму метантенка на ефективність виробництва біогазу досліджувалася на прикладі метанового зброджування гною ВРХ вологістю 93,4% при температурах 40, 45 50 і 55°C. Результати дослідження представлені на рис. 13, з якого видно, що при збільшенні температури метантенка вихід біогазу збільшується.

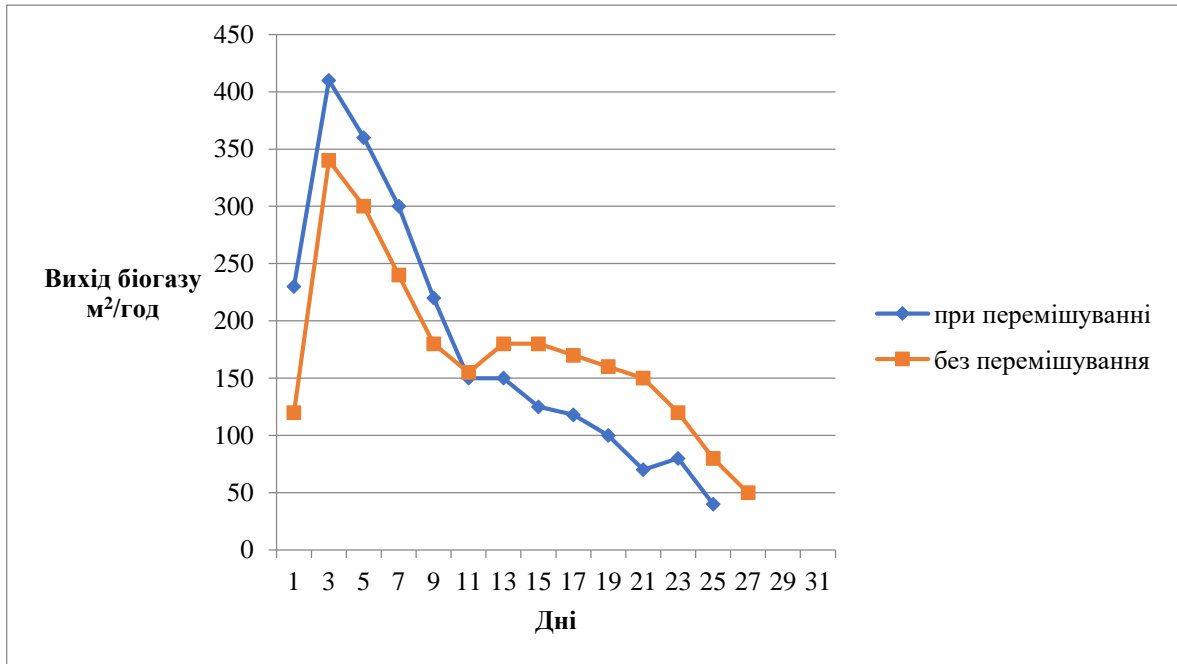


*Рис.13. Вихід біогазу при метановому зброджуванні гною ВРХ при різних температурних режимах*

Нами встановлено, що тривалість лаг-фази була мінімальна і становила менше доби (крім бродіння при температурі 55°C, коли через зміну температурного режиму і субстрату тривалість лаг-фази становила 4 доби). Для всіх температурних режимів сума часу експоненціальної фази і фази уповільнення росту знаходилась в межах 14-15 діб. Співвідношення виходу біогазу в перші 14-15 діб і наступний час роботи реактора становили 2,1-3,3 дні,

з чого випливає, що якщо головною метою зброджування відходів є отримання біогазу, раціональний час процесу бродіння гною ВРХ становить 14-15 діб.

При дослідженні впливу перемішування субстрату на вихід біогазу в якості субстрату використовувався гній ВРХ. Результати досліджень представлені на рис 14.



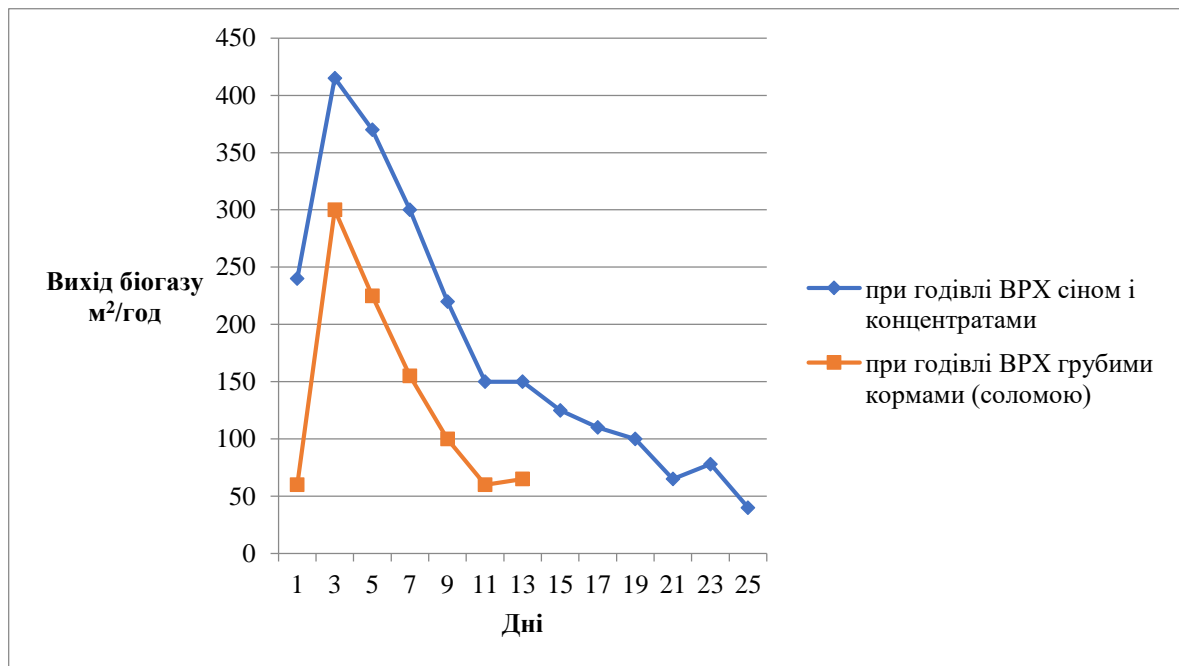
*Рис. 14. Вихід біогазу при метановому зброджуванні гною ВРХ при перемішуванні та без перемішування*

Як показує графік, що за відсутності перемішування вихід біогазу зменшувався, майже в 1,3 рази і становив 350 м³/год. до 435 м³/год. з використанням перемішування.

При дослідженні впливу гною ВРХ на вихід біогазу, також, брався до уваги раціон корму: в одному випадку основу корму складали концкорми і сіно, в іншому випадку – солома. Дослідження впливу годівлі ВРХ на вихід біогазу представлене на рис. 15. Дослідження проводилися при температурі бродіння 50<sup>0</sup>С з перемішуванням субстрату.

Проведені розрахунки показують, що вихід біогазу за час експоненціальної фази і фази уповільнення росту (11 діб) при годівлі концкормами і сіном вихід газу був більший у 1,5-1,7 рази, порівняно з раціоном, де основу корму становила солома. Це пояснюється наявністю в

гноєві великої кількості неперетравленої целюлози і геміцелюлози, що вплинуло на вихід біогазу і зменшило його вихід в 1,7 рази.



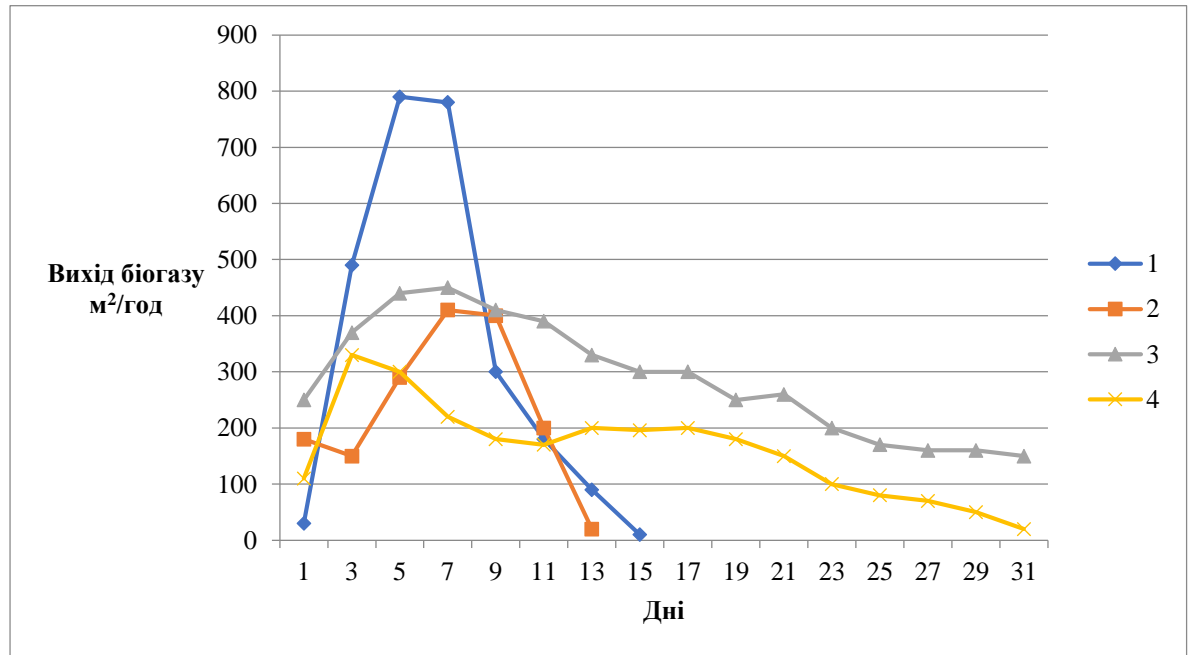
*Рис. 15. Вихід біогазу при метановому зброджуванні гною ВРХ при температурі 50 °С за різних типів годівлі*

Для різкого збільшення інтенсивності метанового зброджування в біогазовій промисловості використовуються косубстрати. В якості косубстратів в умовах досліджуваної біогазової установки застосовувалися крохмаль і гліцерин.

Результати досліджень показали, що використання косубстратів призводить до різкого збільшення інтенсивності метанового зброджування (рис. 16).

При додаванні до гною ВРХ крохмалю при температурі зброджування 50<sup>0</sup>С загальний час логарифмічної фази і фази уповільнення росту становив близько 7 діб – з 4 по 11 добу, крива 1, 2. Стаціонарна фаза і фаза відмирання були дуже короткими і склали всього декілька днів, після чого бродіння швидко припинялося. При зброджуванні гноївки ВРХ при температурі 50<sup>0</sup>С без додавання крохмалю загальний час логарифмічної фази і фази уповільнення росту становив приблизно 9 діб – з 1 по 9 добу, крива 3, 4. При цьому непродуктивні фази такі, як стаціонарна і відмирання були дуже довгими і

складали 23 доби і більше.



*Рис. 16. Вихід біогазу при метановому зброджуванні гною ВРХ при використанні косубстратів і без них*

Встановлено, що режими метанового бродіння мають безпосередній вплив на ефективність процесу виробництва біогазу. Так, при збільшенні температури метантенка вихід біогазу збільшується і максимальне виробництво біогазу досягається при підвищенні температури до 55<sup>0</sup>С, а його тривалість скорочується до 10-15 діб. Позитивний вплив на виробничий процес має і постійне перемішування зброджувальної маси, оскільки за відсутності перемішування вихід біогазу зменшувався, майже в 1,3 рази і становив 350 м<sup>2</sup>/год, порівняно з використанням перемішування він збільшувався до 435 м<sup>2</sup>/год.

Проведені розрахунки показують, що вихід біогазу за час експоненціальної фази і фази уповільнення росту (11 діб) при годівлі концкормами і сіном був більший у 1,5-1,7 рази порівняно з раціоном, де основу корму становила солома, тобто на вихід біогазу впливає тип годівлі тварин, що позначається на хіміко-фізичному складі гною.

Збільшенню виходу біогазу сприяло додавання до субстрату коферментів, таких як, крохмаль та гліцерин. При додаванні крохмалю загальний час логарифмічної фази і фази уповільнення росту становив близько 7 діб,



стаціонарна фаза і фаза відмирання скорочувалися і склали всього декілька днів. В той час коли при зброджуванні гноївки ВРХ без додавання крохмалю загальний час логарифмічної фази і фази уповільнення росту становив приблизно 9 діб при цьому стаціонарна фаза і відмирання були дуже довгими і склали 23 доби і більше.

## РОЗДІЛ 4

### ОХОРОНА ПРАЦІ

На виробництві виготовлення біогазу у СПрАТ «Україна» працюють особи, що пройшли спеціальну підготовку, медичний огляд, інструктаж з техніки безпеки та безпосередньо їх дотримуються. Не допускаються до роботи вагітні жінки та годуючі матері [30].

Обов'язковими на виробництві є регулярні інструктажі з техніки безпеки, першої медичної допомоги при травмах та пошкодженнях. Також є необхідним перевірка знань персоналу будови і принципів експлуатації апаратів виробництва. Також обов'язковим є знання всіх вимірювальних приладів, їх роботи, способів безпечного підключення та методи запобігання виникненню аварій та неполадок.

Доступ до вогнегасників є швидким і простим. Кількість вогнегасників врахована в залежності від норм безпеки.

Робочі місця підтримуються в належному стані. Всі прилади та апарати регулярно перевіряються на справність. У разі виникнення будь-яких проблем, неполадок або пошкоджень вони терміново усунені, деталі замінені.

У разі виникнення відкритого полум'я для гасіння пожежі використовують сухий пісок та вогнегасники з вуглекислим газом [31].

При роботі на гноєсховищах, робота виконується в респіраторях. Роботи насосів, обладнання під тиском та клапанів виконуються належним чином згідно інструкцій та внутрішніх правил виробництва.

Неочищений біогаз є дуже отруйною речовиною для людини через присутність в ньому сірководню, що має сильну токсичну дію і спричиняє задуху. Біогаз, навіть очищений від сірки, може призвести до смерті через нестачу кисню [29].

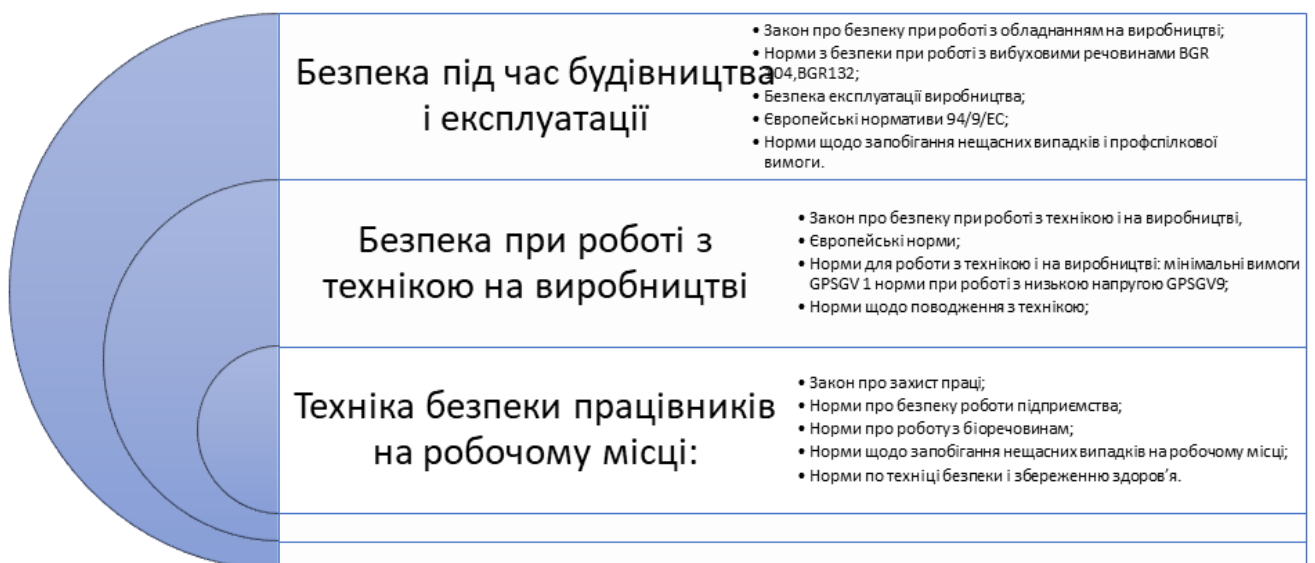
Вміст біогазу в повітрі від 5% до 15% може призвести до вибуху, за наявності джерела спалаху з температурою 600°C. Відкритий вогонь чинить велику небезпеку за концентрації біогазу в повітрі від 12%. Суворо

забороняється куріння та розведення вогню біля установки, зварювальні роботи дозволяється проводити на відстані як мінімум 10 м від газового обладнання [30].

Також є ризик виникнення небезпечної або аварійної ситуації від електроприладів, обертових елементів, труб та обладнання що працює під тиском.

Наявність у достатній кількості вогнегасників, встановлення пожежної сигналізації, а особливо клапанів спуску надлишку газу із метантенку є обов'язковими при проектуванні, будівництві та роботі на виробництві з отримання біогазу, через те, що таким чином можна знизити ступінь небезпеки, що виникає при роботі з обладнанням [31].

Нормативно-правові документи по роботі з біогазовими установками з питань техніки безпеки наведені на рис. 17.



*Рис.17. Нормативно-правові документи по роботі з біогазовими установками*

При влаштуванні на роботу, роботодавець повинен надати документи із зазначеними у них зонами підвищеної небезпеки і переліком наступної інформації, а саме:

- Ступінь та місце можливого виникнення ризику вибухонебезпечної ситуації на виробництві;
- Перелік заходів щодо мінімізації даного ризику [29].

Робота на виробництві з отримання біогазу вимагає чіткого дотримання переліку правил.

1. Кожен співробітник зобов'язаний чітко виконувати належну йому роботу у встановленому місці;
2. Тримати сторонні предмети на робочому місці заборонено;
3. Працівник зобов'язаний працювати тільки у спеціальному захисному одязі та з належним зовнішнім виглядом;
4. Чітко дотримуватися правил стерильності та техніки роботи під час роботи з культурами мікроорганізмів;
5. Уся техніка та прилади, що використовуються в роботі з живими культурами мікроорганізмів, мають бути незаражені, або спалені у вогні, або продезінфіковані у відповідних розчинах;
6. Всі пробірки та чашки Петрі стерилізують в автоклаві;
7. Заборонено їсти, пити, палити та надмірно рухатись в лабораторії.

Трубопроводи, що містять газ, на підприємстві позначені відповідними знаками із позначенням напрямку потоку, а сам трубопровід – жовтого кольору [30].

Конденсатозбірники та запобіжники встановлені у легкодоступних місцях. Забезпечено доступ до обладнання під тиском для простоти обслуговування, і ці пристрої повинні бути захищені від замерзання та витоків рідини [29].

У газгольдерах встановлені обмежувачі надлишкового тиску газу всередині, а також захищені від замерзання та протікань [31].

Установка блочних теплоелектростанцій відповідає технічним регламентам з монтажу газового обладнання. Місце для таких генераторів у зоні, де є повноцінний вільний доступ до генератора з усіх сторін [29].

Приміщення, із обладнанням і генераторами, забезпечено перехресною вентиляцією. Вимикачі до обладнання, приміщень та вентиляцій розташовані на доступному місці для швидкого припинення роботи споруд [30].

Для початку експлуатації метантенку, підприємство отримало

експертний висновок та сертифікат про перевірку герметичності установки із уточненнями до міцності на розрив та стійкості до перепадів температур [29].

Працівники виробництва також стежать за якістю повітря використовуючи газоаналізатори. У випадку виявлення витоку газу повинні будуть здійснювати негайні міри по усуненню проблеми та за необхідності провести евакуацію персоналу. Виявлення витоку газу у трубопроводах відбувається шляхом використання мильного розчину, де на 1 м<sup>3</sup> води приходить 25-30 г мила. За такого методу, на витік газу вказуватиме утворення бульбашок із мильного розчину [30].

Щодо санітарної безпеки, то слід зауважити що на 1 дм<sup>3</sup> рідкого гною завжди налічується до ста яєць гельмінтів, а також кишкова паличка *Escherichia coli*. Також, наявність збудників хвороб у вихідній сировині залежить від стану здоров'я тварин [29].

При дотриманні техніки безпеки знижується небезпека роботи з газовим обладнанням і це допомагає запобігати отриманню виробничих травм [29].

Під захистом навколишнього середовища мається на увазі дії, щодо підтримання чистоти повітря, водних ресурсів та захисту від шуму [30].

Чистота повітря перш за все стосується мінімізації викидів запахів, пилу та шкідливих речовин. Будівництво біогазової установки СПрАТ «Україна» здійснювалося таким чином, щоб її експлуатація не забруднювала водойми та ґрунтові води. Сировинні матеріали, що використовуються для анаеробного зброджування (гній та інше) становлять собою речовини першого класу небезпеки. З метою запобігання забрудненню всі майданчики, резервуари, трубопроводи й насосні лінії на підприємстві є водонепроникними. Усі побічні гази, що утворюються при виробництві та спалюванні біогазу перед викиданням в атмосферу очищуються [31].

Джерелом шуму на виробництві є робота механізмів, приладів та техніки. Для запобігання розповсюдження шуму збудовані звуконепроникні будівлі [30].

Таким чином в умовах біогазової установки підприємства СПрАТ

«Україна», створені всі необхі умови для безпечної та ефективної роботи біоенергетичної галузі, а працівники забезпечені всіма необхідними засобами охорони праці та безпечної їх життєдіяльності [29].

## ВИСНОВКИ

1. Будова даної біогазової установки передбачає мінімізацію людської праці при її роботі. А людина витрачає свій час та зусилля лише на обслуговування, обладнання та додавання сировини в установку. В самій установці створені оптимальні умови для біохімічних процесів, що відбуваються при зброджуванні та життєдіяльності метаногенних бактерій і є важливими показниками, що визначають параметри процесу виробництва біогазу.

2. Матеріальний баланс біогазової установки показує, що виробництво біогазу є доцільним оскільки сумарна енергія газу що виробилася значно вища за витрати енергії на його виробництво. Що зумовлює подальшу необхідність розрахунку потреби в сировині.

3. Аналіз даних потреби в сировині і її фактичної потреби необхідної для виробництва біогазу, встановив дефіцит між наявною кількістю і потребою – 9,48 та 3497 т сировини за добовим та річним об'ємом загрузки реактора. Але ці розбіжності в сировині для виробництва біогазу не суттєві та не вплинуть на роботу даної БГУ і забезпечать достатньо високий вихід біогазу.

4. Задля ефективної роботи БГУ, при вологості вихідної сировини гною ВРХ – 65%, а силосу кукурудзяного – 75% 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.

5. При підвищенні температури до термофільних режимів – 50 та 55°C тривалість зброджування, навпаки, скорочується до 10-20 та 10-15 днів відповідно, що може визначати економічну ефективність роботи галузі.

6. Отриманий біогаз в умовах досліджуваної нами БГУ за основними фізико-хімічними властивостями, повністю відповідає стандартним значенням і забезпечить високу його енергетичну цінність.

7. Субстрати гною отримані за різних типів годівлі тварин різняться за фізико-хімічним складом, що буде впливати на тривалість процесу

зброджування біогазу, оскільки в складі гноївки за різних фізико-хімічних показників буде міститися різна кількість мікроорганізмів, в тому числі і метаноутворюючих та різна кількість мікро- та макроелементів, необхідних для повноцінної життєдіяльності цих бактерій.

8. Використання ко-субстратів у якості каталізаторів процесу бродіння запобігає дестабілізації виробничого процесу, сприяє створенню оптимальних умов для максимальної життєдіяльності мікроорганізмів, що в цілому підвищує ефективність виробництва біогазу.

9. Встановлено, що режими метанового бродіння мають безпосередній вплив на ефективність процесу виробництва біогазу. Так, при збільшенні температури метантенка вихід біогазу збільшується і максимальне виробництво біогазу досягається при підвищенні температури до 55<sup>0</sup>С, а його тривалість скорочується до 10-15 діб. Позитивний вплив на виробничий процес має і постійне перемішування зброджувальної маси, оскільки за відсутності перемішування вихід біогазу зменшувався, майже в 1,3 рази і становив 350 м<sup>2</sup>/год, порівняно з використанням перемішування він збільшувався до 435 м<sup>2</sup>/год.

10. Проведені розрахунки показують, що вихід біогазу за час експоненціальної фази і фази уповільнення росту (11 діб) при годівлі концкормами і сіном був більший у 1,5-1,7 рази порівняно з раціоном, де основу корму становила солома. Тобто на вихід біогазу впливає тип годівлі тварин, що позначається на хіміко-фізичному складі гною.

11. Збільшенню виходу біогазу сприяло додавання до субстрату коферментів, таких як, крохмаль та гліцерин. При додаванні крохмалю загальний час логарифмічної фази і фази уповільнення росту становив близько 7 діб, стаціонарна фаза і фаза відмирання скорочувалися і складали всього декілька днів. В той час коли при зброджуванні гноївки ВРХ без додавання крохмалю загальний час логарифмічної фази і фази уповільнення росту становив приблизно 9 діб, при цьому стаціонарна фаза і відмирання були дуже довгими і складали 23 доби і більше.



## ПРОПОЗИЦІЇ

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

1. Для прискорення процесу виробництва біогазу та задля скорочення циклу виробництва повністю перейти на термофільні режими роботи БГУ в діапазоні 50-55 °С.
2. Для покращення економічних, екологічних та санітарно-епідеміологічних аспектів галузі та забезпечення природоохоронної і ресурсозберігальної функції в якості субстратів, крім гною та силосу кукурудзяного, використовувати та утилізувати відходи сільськогосподарського, спиртового, харчового та інших виробництв.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Айкен. Управління проектами енергетики. [Електронний ресурс]. URL: <https://iknet.com.ua/uk/articles/useful-to-know/biogas-power/> (дата звернення: 20.05.2023).
2. Бітеко Енерджі. Схема біогазової установки. [Електронний ресурс]. URL: <https://biteco-energy.com/ua/help/1575899636/id39> (дата звернення: 20.05.2023).
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: 28.05.2023).
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/russkij - printsiprabotybiogazovojustanovki/> (дата звернення: 29.05.2023).

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 : І 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 – 46с.

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: 02.06.2023).

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. Установа 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» / [Електроннийресурс] 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: 20.05.2023).
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: 06.06.2023).
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 : УкрНДІПВТ 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 В. and Schulz Н. Biogas Praxis / Grundlagen, Planung, Anlagenbau, Beispiele Wirtschaftlichkeit. // Ökobuch Magnum. Staufen – 2007. – P. 268.
33. Ward А. Optimization of the anaerobic digestion of agricultural resources / А. Ward, Р. Hobbs, Р. Holliman. // Bioresource Technology. – 2008. – №99. – С. 7928 -7940.