

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Інститут енергозбереження та енергоменеджменту  
(повне найменування інституту, факультету)

Кафедра геоінженерії  
(повна назва кафедри)

«На правах рукопису»

УДК 662.767.2

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Анатолій КРЮЧКОВ  
(підпис) (ім'я, прізвище)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 р.

**Магістерська дисертація  
на здобуття ступеня магістра  
зі спеціальності 101 Екологія**  
(код та назва спеціальності)

**на тему:** «Отримання біогазу з відходів тваринництва з використанням  
міскантуса в якості субстрату»

**Студентка групи** ОЗ-91мп \_\_\_\_\_  
(шифр групи) (прізвище та ініціали) (підпис)

**Науковий керівник** Ремез Н.С., д. т. н., професор \_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали, науковий ступінь, вчене звання, посада) (підпис)

**Консультант** Стартап-проекту Шевчук Н. А., к. т. н., доцент \_\_\_\_\_  
(назва розділу) (прізвище та ініціали, науковий ступінь, вчене звання) (підпис)

**Рецензент** Прокопенко В.В., к. т. н., доцент \_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали, науковий ступінь, вчене звання) (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації  
немає запозичень з праць інших авторів без  
відповідних посилань

Студентка \_\_\_\_\_  
(підпис)

Київ – 2020 року

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Інститут енергозбереження та енергоменеджменту  
(повне найменування інституту, факультету)

Кафедра геоінженерії  
(повна назва кафедри)

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою

Спеціальність (спеціалізація) – 101 Екологія («Інженерна екологія та ресурсозбереження»)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Анатолій КРЮЧКОВ  
(підпис) (ім'я, прізвище)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 р.

**ЗАВДАННЯ  
на магістерську дисертацію**

студенці \_\_\_\_\_ Докукіній Дар'ї Михайлівні  
(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема дисертації «Отримання біогазу з відходів тваринництва з використанням міскантуса в якості субстрату».

науковий керівник дисертації Ремез Наталя Сергіївна, д.т.н., професор  
(прізвище, ім'я, по-батькові, науковий ступінь, вчене звання, посада)

затверджені наказом по університету від « 03 » листопада 2020 р. №3199-с

2. Дата подання студентом дисертації « 17 » грудня 2020 р.

3. Об'єкт дослідження – процес отримання біогазу з гною свиней з застосуванням міскантуса в якості субстрату.

4. Предмет дослідження – вихід та склад біогазу при сумісному анаеробному зброджування гною свиней та міскантуса.

5. Перелік завдань, які потрібно розробити:

– проаналізувати наукові та практичні дослідження у сфері виробництва біогазу в світі та Україні;

– дослідити біохімічний процес утворення біогазу, схеми та принципи роботи біогазових установок;

– характеризувати свинячий гній як сировину для виробництва біогазу;

– встановити залежності виходу біогазу при анаеробному зброджуванні гною свиней та рослинної біомаси;

– розробити стартап-проект.

6. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: схема стадій процесу зброджування; технологічна схема одностадійної біогазової установки; схема різних конструкцій метантенків; графіки-залежності виходу біогазу та метану при сумісному анаеробному зброджуванні гною свиней та соломи кукурудзи, гною свиней та міскантуса.
7. Орієнтовний перелік публікацій: стаття у збірнику матеріалів III Науково-технічної конференції магістрантів ІЕЕ (за результатами дисертаційних досліджень магістрантів), стаття у збірнику наукових матеріалів XLIV Міжнародної науково-практичної інтернет – конференції «Розвиток науки в умовах пандемії».
8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали, посада	Дата, підпис	
		завдання видав	завдання прийняв
Нормоконтроль	Репін М.В., к.т.н., асистент		
Стартап-проект	Шевчук Н.А., к.т.н., доцент		

9. Дата видачі завдання: «01» вересня 2020 р.

#### Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1.	Аналіз наукових та практичних досліджень у сфері виробництва біогазу в світі та Україні	02.09-21.09.2020	Виконано
2.	Дослідження біохімічного процесу утворення біогазу, схем та принципів роботи біогазових установок	22.09-12.10.2020	Виконано
3.	Характеристика свинячого гною як сировини для виробництва біогазу	13.10-01.11.2020	Виконано
4.	Встановлення залежностей виходу біогазу при анаеробному зброджуванні гною свиней та соломи кукурудзи; гною свиней та міскантуса	02.11-22.11.2020	Виконано
5.	Розробка стартап-проекту	23.11-14.12.2020	Виконано

Студентка

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Дар'я ДОКУКІНА  
(ім'я, прізвище)

Науковий керівник

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Наталія РЕМЕЗ  
(ім'я, прізвище)

## РЕФЕРАТ

Обсяг магістерської дисертації – 81 сторінка. Кількість ілюстрацій – 13. Кількість таблиць – 19. Кількість джерел згідно з переліком посилань – 81.

**Актуальність теми.** На сьогоднішній день в сфері енергетики перспективним напрямком є використання відновлюваних джерел енергії. Різноманітні підприємства часто мають в своєму розпорядженні відходи виробництва, які можуть бути використані в якості поновлюваних вторинних енергетичних ресурсів. Концепція бережливого виробництва йде рука об руку з підвищенням екологічної безпеки. Зведення відходів виробництва до мінімуму, шляхом їх переробки, підвищує енергозберігаючий потенціал виробництва з одного боку, та показник екологічної безпеки з іншого. В даний час актуальною є проблема утилізації та подальшого використання гною тварин. Одним із варіантів ефективної переробки гною й отримання з нього цінних продуктів, є виробництво біогазу. Біогазові технології дозволяють найбільш раціонально конвертувати енергію хімічних зв'язків органічних відходів в енергію газоподібного палива. Тому пошук нових технологій отримання біогазу актуальне питання в наш час.

**Метою дослідження** є підвищення виходу біогазу в біогазових установках, які працюють на гної свиней, шляхом сумісного анаеробного зброджування гною та міскантуса.

Для досягнення зазначеної в дисертації мети необхідно вирішити наступні **завдання**:

- здійснити аналіз наукових та практичних досліджень у сфері виробництва біогазу в світі та Україні;
- дослідити біохімічний процес утворення біогазу, схеми та принципи роботи біогазових установок;
- охарактеризувати свинячий гній як сировину для виробництва біогазу;

- провести порівняльний аналіз залежності виходу біогазу при анаеробному зброджуванні гною свиней та різної рослинної біомаси;
- розробити стартап-проект, оцінити його рентабельність, економічність та можливість виходу на ринок України.

**Об’єкт дослідження** – процес отримання біогазу з гною свиней з застосуванням міскантуса в якості субстрату.

**Предмет дослідження** – вихід та склад біогазу при сумісному анаеробному зброджуванні гною свиней та міскантуса.

**Методи дослідження:** системний аналіз науково-технічної літератури; метод математичної статистики для апроксимації даних та встановлення залежностей; методи сучасних комп’ютерних технологій обробки інформації, зокрема, пакет прикладних програм MS Excel; графіко-аналітичний аналіз.

**Наукова новизна результатів дослідження.** Вперше запропоновано застосовувати міскантус в якості субстрату при виробництві біогазу на свинокомплексах, шляхом сумісного анаеробного зброджування з свинячим гноєм. Побудовано залежності концентрації метану та обсягу біогазу від часу зброджування при використанні свинячого гною та міскантуса у вигляді поліному 3 степеню, що дає змогу прогнозувати вихід біогазу в біогазових установках.

**Практичне значення одержаних результатів** полягає в тому, що при використанні міскантуса, в якості субстрату при сумісному анаеробному зброджуванні з гноєм свиней, підвищується вихід біогазу в 2,4 рази в порівнянні з традиційним субстратом – кукурудзою. Вирощування міскантуса на території України не тільки покращить стан малопродуктивних земель, на відміну від кукурудзи, а й залучить в обробіток маргінальні землі, чим позитивно вплине на економічну ситуацію в країні.

**Апробація результатів дослідження.** Основні теоретичні та практичні результати роботи доповідалися на III науково-технічній конференції магістрантів ІЕЕ (НТУУ «КПІ», м. Київ, 26.11.2020).

**Публікації.** За результатами дослідження опубліковано статтю у збірнику матеріалів II науково-технічної конференції магістрантів ІЕЕ та статтю у збірнику наукових матеріалів XLIV Міжнародної науково-практичної Інтернет – конференції «Розвиток науки в умовах пандемії»

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** БІОГАЗ, БІОГАЗОВА УСТАНОВКА, ВІДХОДИ ТВАРИННИЦТВА, ГНІЙ СВИНЕЙ, АНАЕРОБНЕ ЗБРОДЖУВАННЯ, СУБСТРАТ, МІСКАНТУС.

## ABSTRACT

The volume of the master's dissertation is 81 pages. Number of illustrations – 13. Number of tables – 19. Number of sources according to the list of links – 81.

**Actuality of theme.** Today in the field of energy a promising area is the use of renewable energy sources. Various enterprises often have production waste at their disposal that can be used as renewable secondary energy resources. The concept of lean production goes hand in hand with increasing environmental safety. Minimizing production waste by processing it increases the energy-saving potential of production on the one hand, and environmental safety on the other. Currently, the problem of disposal and subsequent use of animal manure is relevant. One of the options for efficient manure processing and obtaining valuable products from it is biogas production. Biogas technologies allow the most efficient conversion of the energy of chemical bonds of organic waste into the energy of gaseous fuels. Therefore, the search for new technologies for biogas production is a topical issue today.

**The aim of the study** is to increase biogas yield in biogas plants running on pig manure by joint anaerobic fermentation of manure and miscanthus.

To achieve the goal specified in the dissertation it is necessary to solve the following **tasks**:

- to analyze scientific and practical research in the field of biogas production in the world and in Ukraine;
- to study the biochemical process of biogas formation, schemes and principles of operation of biogas plants;
- to characterize pig manure as a raw material for biogas production;
- to conduct a comparative analysis of the dependence of biogas yield during anaerobic fermentation of pig manure and various plant biomass;
- to develop a startup project, evaluate its profitability, efficiency and the possibility of entering the Ukrainian market.

**The object of research** is the process of obtaining biogas from pig manure using miscanthus as a substrate.

**The subject of research** - the yield and composition of biogas in the combined anaerobic fermentation of pig manure and miscanthus.

**Research methods:** systematic analysis of scientific and technical literature; method of mathematical statistics for data approximation and establishment of dependencies; methods of modern computer technologies of information processing, in particular, MS Excel application package; graphical-analytical analysis.

**Scientific novelty of research results.** For the first time it is proposed to use miscanthus as a substrate in the production of biogas in pig farms, by compatible anaerobic fermentation with pig manure. The dependences of methane concentration and biogas volume on the fermentation time using pig manure and miscanthus in the form of a polynomial of degree 3 are constructed, which allows to predict the biogas yield in biogas plants.

**The practical significance of the obtained results** is that the use of miscanthus as a substrate for combined anaerobic fermentation with pig manure increases the biogas yield by 2.4 times compared to the traditional substrate – corn. Growing miscanthus on the territory of Ukraine will not only improve the condition of unproductive lands, in contrast to corn, but also attract marginal land for cultivation, which will positively affect the economic situation in the country.

**Approbation of research results.** The main theoretical and practical results of the work were reported at the III scientific and technical conference of IEE undergraduates (NTUU "KPI", Kyiv, November 26, 2020).

**Publications.** According to the results of the research, an article was published in the collection of materials of the II scientific and technical conference of IEE undergraduates and an article in the collection of scientific materials of the XLIV International scientific-practical Internet conference.

**KEY WORDS:** BIOGAS, BIOGAS PLANT, LIVESTOCK WASTE, PIG MANURE, ANAEROBIC FERTILIZATION, SUBSTRATE, MISCANTUS.



## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ.....	11
ВСТУП.....	12
1 АНАЛІЗ НАУКОВИХ ТА ПРАКТИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ У СФЕРІ ВИРОБНИЦТВА БІОГАЗУ .....	15
1.1 Виробництво біогазу в світі.....	16
1.1.1 Країни Європи .....	16
1.1.2 Країни Азії.....	19
1.1.3 Країни Африки та Латинської Америки.....	20
1.1.4 Сполучені Штати Америки.....	21
1.2 Стан на перспективи біогазової сфери в Україні.....	22
Висновки до розділу 1.....	25
2 УТВОРЕННЯ БІОГАЗУ В БІОГАЗОВИХ УСТАНОВКАХ.....	26
2.1 Біохімічний процес утворення біогазу.....	26
2.2 Схема та принцип роботи біогазової установки.....	30
Висновки до розділу 2.....	41
3 ВИКОРИСТАННЯ ВІДХОДІВ СВИНОФЕРМ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА БІОГАЗУ.....	42
3.1 Характеристика гною свиней як сировини для отримання біогазу...	44
3.2 Аналіз сумісного анаеробного зброджування гною свиней та рослинної біомаси.....	49
3.2.1 Дослідження процесу анаеробного зброджування свинячого гною та кукурудзи.....	50
3.2.2 Дослідження процесу анаеробного зброджування гною свиней та міскантуса.....	53
3.2.3 Порівняльний аналіз кукурудзи та міскантуса як субстратів при анаеробному зброджуванні з гноєм свиней.....	55

Висновки до розділу 3.....	57
4 РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ «ТЕХНОЛОГІЯ ВИДОБУТКУ БІОГАЗУ».....	59
4.1 Обґрунтування актуальності та новизни інноваційної ідеї стартап-проекту.....	59
4.2 Аналіз конкурентного середовища.....	60
4.3 Обґрунтування ресурсного забезпечення проекту.....	62
4.4 Ключові види діяльності та ключові партнери.....	62
4.5 Фінансове обґрунтування стартап-проекту.....	63
4.5.1 Прямі матеріальні витрати.....	64
4.5.2 Витрати на оплату праці.....	65
4.6 Обґрунтування собівартості інноваційної ідеї стартап-проекту.....	65
4.7 Обґрунтування рівня рентабельності інноваційної ідеї.....	66
4.8 Цільові групи потенційних споживачів.....	67
4.9 Канали збуту.....	67
4.10 Бізнес-модель проекту.....	68
4.11 Аналіз ризиків стартап-проекту.....	69
4.12 Оцінка ефективності впровадження стартап-проекту та пропозиції інвестору.....	69
Висновки до розділу 4.....	70
ВИСНОВКИ.....	72
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	74

## **ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ**

ПДж – петаджоуль ( $10^{15}$  Дж)

ККД – коефіцієнт корисної дії

ЄС – Європейський союз

ТЕЦ – теплоелектроцентрально

ТПВ – тверді побутові відходи

ЛЖК – летючі жирні кислоти

ТОВ – товариство з обмеженою відповідальністю

ЕЕ – електрична енергія

## ВСТУП

**Актуальність теми.** На сьогоднішній день в сфері енергетики перспективним напрямком є використання відновлюваних джерел енергії. Різноманітні підприємства часто мають в своєму розпорядженні відходи виробництва, які можуть бути використані в якості поновлюваних вторинних енергетичних ресурсів. Концепція бережливого виробництва йде рука об руку з підвищенням екологічної безпеки. Зведення відходів виробництва до мінімуму, шляхом їх переробки, підвищує енергозберігаючий потенціал виробництва з одного боку, та показник екологічної безпеки з іншого. В даний час актуальною є проблема утилізації та подальшого використання гною тварин. Одним із варіантів ефективної переробки гною й отримання з нього цінних продуктів, є виробництво біогазу. Біогазові технології дозволяють найбільш раціонально конвертувати енергію хімічних зв'язків органічних відходів в енергію газоподібного палива. Тому пошук нових технологій отримання біогазу актуальне питання в наш час.

**Метою дослідження** є підвищення виходу біогазу в біогазових установках, які працюють на гної свиней, шляхом сумісного анаеробного зброджування гною та міскантуса.

Для досягнення зазначеної в дисертації мети необхідно вирішити наступні **завдання**:

- здійснити аналіз наукових та практичних досліджень у сфері виробництва біогазу в світі та Україні;
- дослідити біохімічний процес утворення біогазу, схеми та принципи роботи біогазових установок;
- охарактеризувати свинячий гній як сировину для виробництва біогазу;
- провести порівняльний аналіз залежності виходу біогазу при анаеробному зброджуванні гною свиней та різної рослинної біомаси;

– розробити стартап-проект, оцінити його рентабельність, економічність та можливість виходу на ринок України.

**Об’єкт дослідження** – процес отримання біогазу з гною свиней з застосуванням міскантуса в якості субстрату.

**Предмет дослідження** – вихід та склад біогазу при сумісному анаеробному зброджуванні гною свиней та міскантуса.

**Методи дослідження:** системний аналіз науково-технічної літератури; метод математичної статистики для апроксимації даних та встановлення залежностей; методи сучасних комп’ютерних технологій обробки інформації, зокрема, пакет прикладних програм MS Excel; графіко-аналітичний аналіз.

**Наукова новизна результатів дослідження.** Вперше запропоновано застосовувати міскантус в якості субстрату при виробництві біогазу на свинокомплексах, шляхом сумісного анаеробного зброджування з свинячим гноєм. Побудовано залежності концентрації метану та обсягу біогазу від часу зброджування при використанні свинячого гною та міскантуса у вигляді поліному 3 степеню, що дає змогу прогнозувати вихід біогазу в біогазових установках.

**Практичне значення одержаних результатів** полягає в тому, що при використанні міскантуса, в якості субстрату при сумісному анаеробному зброджуванні з гноєм свиней, підвищується вихід біогазу в 2,4 рази в порівнянні з традиційним субстратом – кукурудзою. Вирощування міскантуса на території України не тільки покращить стан малопродуктивних земель, на відміну від кукурудзи, а й залучить в обробіток маргінальні землі, чим позитивно вплине на економічну ситуацію в країні.

**Апробація результатів дослідження.** Основні теоретичні та практичні результати роботи доповідалися на III науково-технічній конференції магістрантів ІЕЕ (НТУУ «КПІ», м. Київ, 26.11.2020).

**Публікації.** За результатами дослідження опубліковано статтю у збірнику матеріалів II науково-технічної конференції магістрантів ІЕЕ та статтю у

збірнику наукових матеріалів XLIV Міжнародної науково-практичної інтернет - конференції «Розвиток науки в умовах пандемії».

## **1 АНАЛІЗ НАУКОВИХ ТА ПРАКТИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ У СФЕРІ ВИРОБНИЦТВА БІОГАЗУ**

Енергозабезпечення є основною проблемою розвитку сучасного технологічного суспільства. В даний час ставиться питання про глобальну енергетичну безпеку та проведення антикризової енергетичної політики. Істотну та дедалі зростаючу роль у світовій енергетиці відіграють поновлювані джерела енергії. Постійне збільшення цін на окремі енергоресурси зумовило значний інтерес до отримання енергії при використанні технології біоконверсії органічних відходів [1].

Одним з видів біоенергетичного палива є біогаз. Біогаз – горюча газова суміш, що отримується в результаті анаеробного мікробіологічного процесу при розкладанні органічних субстанцій. Сировиною для виробництва біогазу є великий спектр органічних відходів – рідкі та тверді відходи сільськогосподарського комплексу, тверді побутові відходи, відходи лісопромислового виробництва, стічні води [2].

Біогаз знаходиться на перетині двох найважливіших проблем сучасного життя: вирішення проблеми збільшення обсягу органічних відходів, вироблених сучасними товариствами, та нагальна необхідність скорочення глобальних викидів парникових газів.

Перетворюючи органічні відходи в поновлюваний енергетичний ресурс, виробництво біогазу відкриває вікно в світ, в якому ресурси безперервно використовуються та в якому можна задовольнити зростаючий попит на енергетичні послуги, забезпечуючи при цьому більш широкі екологічні вигоди.

Біогаз може бути цінним місцевим джерелом енергії та тепла, а також чистим паливом для приготування їжі, щоб витіснити залежність від традиційного використання твердої біомаси в багатьох країнах, що розвиваються. Існують також потенційні супутні вигоди з точки зору

підвищення продуктивності сільського господарства та скорочення масштабів збезліснення.

При модернізації біогаз не відрізняється від природного газу й тому може транспортуватися і використовуватися таким же чином. Він може забезпечити енергетичним системам переваги природного газу, займаючи при цьому нейтральну позицію у відношенні вуглецю.

Цінність біогазу підвищується в таких сценаріях, як сценарій сталого розвитку, який в повній мірі відповідає світовим цілям по боротьбі зі зміною клімату, поліпшення якості повітря і забезпечення доступу до сучасної енергетики. Біогаз має потенціал для підтримки всіх аспектів сталого розвитку, який намічає шлях, повністю відповідний Паризькій угоді, шляхом утримання зростання глобальних температур, а також відповідає цілям, пов'язаним з загальним доступом до енергії і чистішим повітрям.

### 1.1 Виробництво біогазу в світі

У країнах, що розвиваються біогаз в основному виробляється в невеликих домашніх котлах, щоб забезпечити паливо для приготування їжі або навіть освітлення, в порівнянні з розвиненими країнами, де розробки біогазу зосереджені на більш великих, фермерських та комерційних, електричних і теплових біогазових установках. Різні програми підтримки біогазу були реалізовані для розробки домашніх біогазових систем, щоб забезпечити людей біогазом для приготування їжі в якості альтернативного джерела енергії, щоб скоротити споживання дров і уникнути вирубки лісів, зменшити забруднення повітря в приміщеннях і поліпшити родючість ґрунту.

#### 1.1.1 Країни Європи

Сьогодні Європа поряд з Китаєм лідирує у розвитку біогазової енергетики.



На рисунку 1.1 зображено виробництво біогазу по регіонах і видам сировини за 2018 рік.

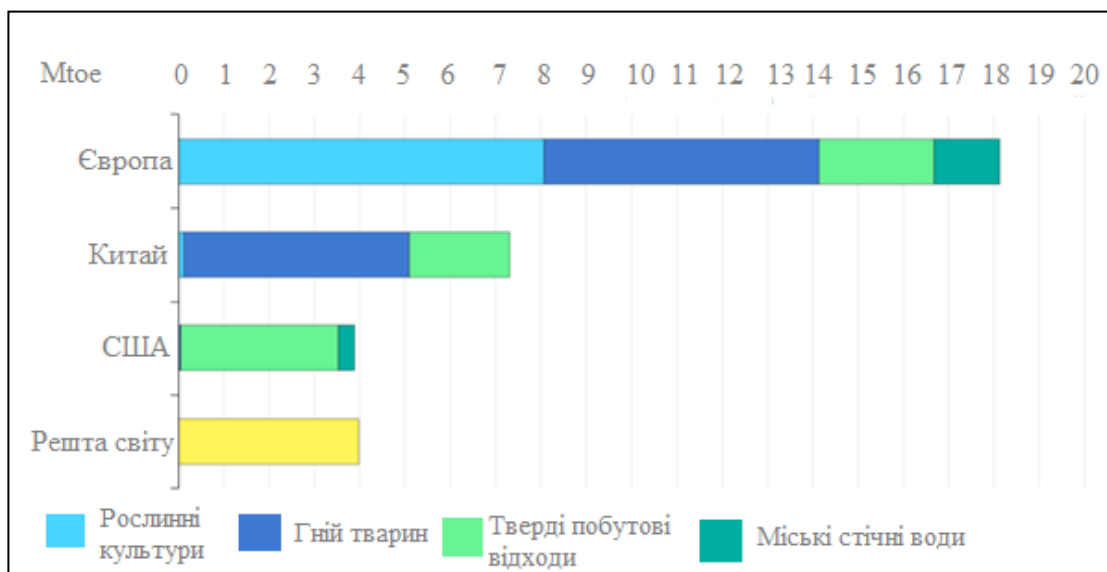


Рисунок 1.1 – Виробництво біогазу по регіонах за 2018 р. [3]

В останні роки виробництво біогазу в Європі значно зросло, в основному завдяки сприятливим схемами підтримки, чинним в декількох країнах-членах Європейського союзу. У 2015 році загальне виробництво біогазу в Європейському Союзі досягло 654 ПДж первинної енергії, це більше 18 мільярдів м<sup>3</sup> еквівалента природного газу [4] в результаті довгострокового розвитку, при цьому в 2000 році було вироблено 92 ПДж біогазу, 167 ПДж в 2005 році та 357 ПДж в 2010 році.

У той час як внесок утилізації звалищного газу в виробництво біогазу був майже незмінним протягом останнього десятиліття, основний внесок в це зростання було зроблено установками анаеробного зброджування і, в меншій мірі, газами від очищення стічних вод.

Велика частина біогазу в ЄС використовується як паливо для виробництва електроенергії на теплоелектроцентралях для максимального використання тепла з метою збільшення доходу і поліпшення економіки біогазових станцій. Найчастіше використовуються газові двигуни, електричний

ККД яких може досягати 35-40%, в залежності від типу і розміру газового двигуна [5].

Ситуація з виробництвом біогазу сильно розрізняється в різних країнах, як з точки зору виробництва біогазу, так і з точки зору джерела біогазу (звалищний газ, осад стічних вод, анаеробне зброджування або термохімічні процеси). Частка біогазу в споживанні природного газу в країнах дуже різноманітна, в середньому становить близько 4%, але в Німеччині вона досягла 12%. Провідними країнами з виробництва біогазу в ЄС є Німеччина, Великобританія, Італія, Чехія та Франція.

Якщо подивитися на джерела біогазу (рис.1.2), то найбільша кількість біогазу утворюється в результаті анаеробного зброджування в Німеччині, Італії, Чехії та Нідерландах, потім йде біогаз в результаті вилучення звалищного газу в Великобританії, Франції та Іспанії [4].

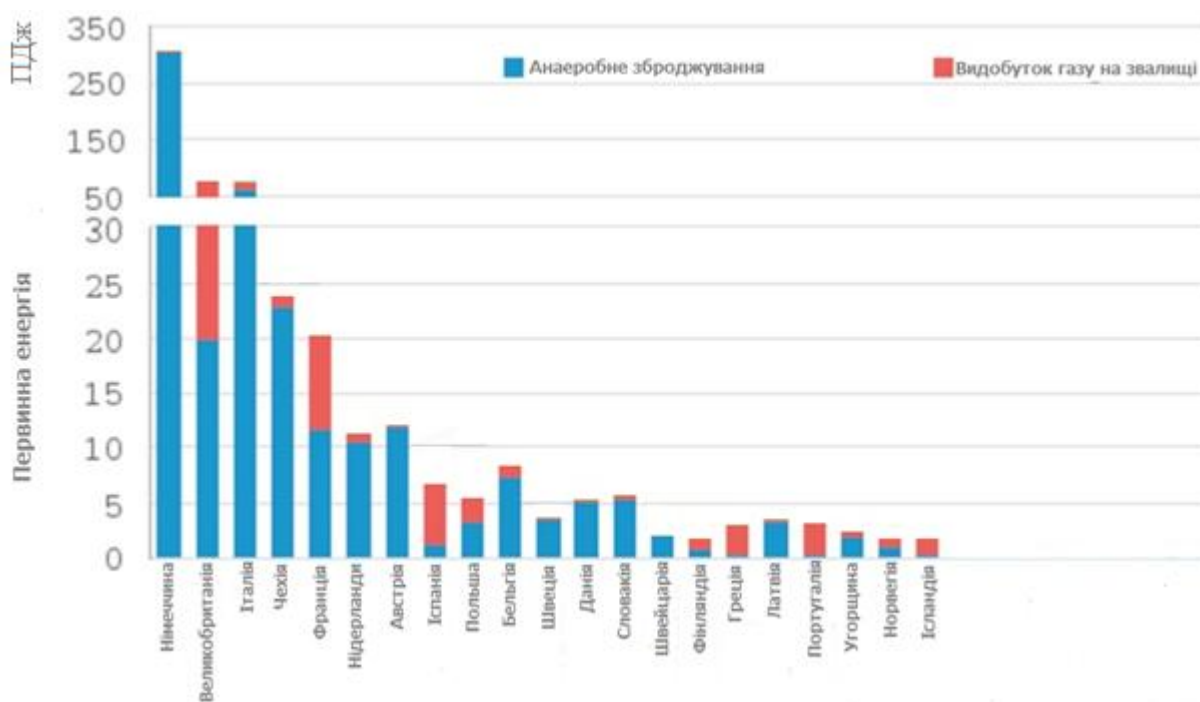


Рисунок 1.2 – Виробництво первинної енергії з біогазу в країнах Європи

За даними Європейської біогазової асоціації [6] в 2019 році число установок з подальшим виробленням теплової та електричної енергії досягло 18202 шт.(рис.1.3).



Рисунок 1.3 – Динаміка зростання числа біогазових установок в Європі

Лідерами за кількістю установок є Німеччина (11084) та Італія (1655). За ними йдуть Франція (837), Великобританія (715) та Швейцарія (634).

Сумарна встановлена потужність міні-ТЕЦ на біогазі перевищила 11 ГВт, при виробітку 63,5 тис. ГВт.год в рік, а річна продуктивність біометанових установок досягла 2,28 млрд. м<sup>3</sup>.

### 1.1.2 Країни Азії

У 2014 році в Китаї було близько 100 000 сучасних біогазових установок і 43 мільйони метантенків в житлових будинках, які виробляють близько 15 мільярдів м<sup>3</sup> біогазу. Середньостроковий і довгостроковий план розвитку відновлюваних джерел енергії вимагає досягнення до кінця 2020 року близько 80 мільйонів домашніх біогазових установок, 8000 великомасштабних біогазових проектів з встановленою потужністю 3000 МВт і річного виробництва біогазу в розмірі 50 мільярдів м<sup>3</sup>. Потенціал біогазу оцінювався в 200-250 млрд м<sup>3</sup> на рік [7,8]. В останні роки були побудовані сучасні біогазові установки, встановлена електрична потужність яких досягла 330 МВт в 2015 році та 350 МВт в 2016 році [9].

В Індії Національна програма управління біогазом і гноєм сприяє будівництву сімейних біогазових установок, щоб виробляти паливо для приготування їжі та органічні добрива. У 2014 році налічувалося близько 4,75 мільйона біогазових установок розміром з ферму в порівнянні з потенціалом будівництва близько 12 мільйонів біогазових установок, які могли б виробляти більше 10 мільярдів  $\text{м}^3$  біогазу на рік (близько 30 мільйонів  $\text{м}^3$  в день) [10].

Індія планувала встановити 110 000 біогазових установок з 2014 по 2020 роки. Встановлена електрична потужність біогазових установок досягла 179 МВт в 2015 році та 187 МВт в 2016 році [9]. У Непалі існує одна з найуспішніших біогазових програм в світі, де в рамках Програми підтримки біогазу встановлено більш 330 000 побутових біогазових установок, які забезпечують паливо для приготування їжі [7].

У В'єтнамі програма по біогазу з відходів тваринництва почалася в 2003 році з метою розробки комерційних біогазових установок, в результаті чого до кінця 2014 р було побудовано 183 000 біогазових установок [7, 10, 11]. У 2006 році була відкрита Національна програма з виробництва біогазу з гною для сільських і автономних районів Бангладеш, в результаті чого було побудовано близько 36000 побутових біогазових установок. За оцінками, близько 500-600 комерційних біогазових установок в даний час працюють в країні на середніх і великих тваринницьких фермах і виробляють електроенергію. До кінця 2020 року планується побудувати 100 000 малих біогазових установок. Близько 6000 побутових біогазових установок встановлено в Шрі-Ланці і 4000 біогазових установок в Пакистані [12, 13].

### 1.1.3 Країни Африки та Латинської Америки

В Африці є велика кількість відходів, але виробництво біогазу все ще менш розвинене, ніж в інших регіонах. Національні програми в даний час реалізуються в Руанді, Танзанії, Кенії, Уганді, Ефіопії, Камеруні, Беніні і Буркіна-Фасо [14]. В Африці Програма партнерства по біогазу за підтримки

Міністерства закордонних справ Нідерландів і Нідерландської Організації розвитку спрямована на розробку національних програм по біогазу в п'яти африканських країнах (Ефіопія, Кенія, Танзанія, Уганда і Буркіна-Фасо). Програма привела до встановлення майже 16000 біогазових установок в цих п'яти країнах (16 419 в Кенії, 13 584 в Ефіопії, 13 037 в Танзанії, 6504 в Уганді і 7518 в Буркіна-Фасо) [15]. Африканська ініціатива «Біогаз для кращого життя» спрямована на забезпечення до кінця 2020 року двох мільйонів побутових біогазових установок для заміни традиційних видів палива для приготування їжі (деревне паливо і деревне вугілля) і забезпечення чистою енергією для приготування їжі 10 мільйонів африканців [16]. Потенціал технічного біогазу в Африці, за оцінками, дозволить побудувати 18,5 мільйона біогазових установок в домашніх умовах [17].

У Латинській Америці побудовано кілька біогазових установок для сільських домогосподарств, і біогаз також витягується з декількох звалищ [10]. Болівія є лідером за кількістю встановлених біогазових установок в країні. Були побудовані великомасштабні біогазові установки для використання стічних вод заводів з виробництва пальмового масла і великих ферм в Колумбії, Гондурасі і Аргентині [12]. У Бразилії існує 127 біогазових установок, що використовують відходи сільського господарства і промисловості, біовідходи, осад стічних вод і газ зі звалищ, які дають майже 1,6 млн  $\text{Нм}^3$ /день (584 млрд  $\text{м}^3$  біогазу / рік), що становить 3835 ГВт-год енергії в 2015 році [7, 18]. Встановлена потужність біогазової електроенергії значно збільшилася за останні роки, досягнувши 196 МВт в 2016 році і 450 МВт в 2017 році [9].

#### 1.1.4 Сполучені Штати Америки

У США в 2017 році налічувалося понад 2100 біогазових установок, з яких 250 ферми по зброджуванню використовували гній худоби [19], 654 установки по утилізації біогазу зі звалищ [20]. З 15 000 очисних споруд стічних вод налічувалося близько 1240, що працюють з анаеробними метантенками, що

виробляють біогаз. Майже всі біогазові установки для стічних вод встановлені на великих підприємствах, що очищають від одного до декількох сотень мільйонів галонів стічних вод в день [5]. Встановлена електрична потужність біогазових установок становила 2400 МВт в 2015 році і 2438 МВт в 2016 році, а вироблення електроенергії склало 1030 ГВт-год [9, 20, 5].

Енергетичний потенціал біогазу в США оцінюється в 18,5 млрд м<sup>3</sup> біогазу на рік, з яких 7,3 млрд м<sup>3</sup> – гній, 8,0 млрд м<sup>3</sup> – зі звалищ і 3,2 млрд м<sup>3</sup> – на очисних спорудах. Було підраховано, що можна побудувати близько 13 000 біогазових установок, 8241 установку для анаеробного зброджування на фермах, 1086 установок на полігонах, 3681 установку на очисних спорудах [5].

## 1.2 Стан на перспективи біогазової сфери в Україні

Агропромисловий сектор України, виробляючи значні обсяги органічних відходів, потенційно володіє ресурсами для виробництва біогазу, здатними замінити 2,6 млрд.м<sup>3</sup> природного газу за рік (теоретичний потенціал). При подальшому розвитку сільського господарства і широкому використанні рослинної сировини цей потенціал може бути доведений за різними оцінками від 7,711 до 1812 млрд.м<sup>3</sup> на рік в перерахунку на природний газ [21].

На відміну від всіх інших країн світу, вітчизняні біогазові об'єкти на полігонах ТПВ мають досить високий зелений тариф на вироблювану електроенергію, що дозволяє окупати такі проекти за небувало привабливі термін (до 2-х років). Тому бажаючих взяти участь в тендерах, які влаштовуються місцевими органами влади, зазвичай вистачає. Хоча не всі наявні в Україні полігони залучають інвесторів, а лише ті, обсяги наявного біогазу в яких достатні для довгострокової стабільної вироблення електроенергії. А таких в Україні залишилося зовсім небагато і особливої перспективи для розвитку нових проектів в цій сфері явно не проглядається [22].

За повідомленням Державного агентства енергоефективності та енергозбереження [23], на кінець другого кварталу 2020 року в Україні працювало 51 генеруючих електроенергію біогазових комплексів, із загальною встановленою потужністю 97 МВт. З яких 67 МВт працювало на агровідходах, а 30 МВт - на полігонах побутових відходів (рис.1.4).



Рисунок 1.4 – Динаміка зростання біогазових потужностей в Україні

Основний доступний ресурс в Україні для вироблення біогазу – відходи та побічні продукти сільського господарства і підприємств харчової промисловості. Та ще енергетичні культури – сільськогосподарські культури, вирощені з метою виробництва енергії на відміну від рослин для виробництва продуктів харчування, кормових культур і технічних культур.

Потенційний обсяг біогазового ринку в Україні може бути освоєний протягом 10 років (до 2030 року). Необхідною передумовою реалізації даних проектів на першому етапі є запровадження економічно обґрунтованої законодавчої бази для електроенергії з біогазу.

Проблеми, які існують в біогазовій сфері:

- існуючий тариф на електроенергію з біогазу явно недостатній для інвестиційної привабливості біогазових проектів для переважної більшості сільськогосподарських підприємств;

- відсутнє стимулювання ефективного використання виробленої теплової енергії;
- відсутнє стимулювання переробки дігестата в якісні органічні добрива;
- відсутнє стимулювання виробництва поновлюваного природного газу – біометана – для використання в якості транспортного палива великовантажного транспорту;
- відсутнє суворе екологічне законодавство в сфері утилізації органічних відходів і побічних продуктів сільського господарства та підприємств харчової промисловості.

Для реалізації ефективних енергетичних біогазових проєктів важливо стимулювати виробництво електроенергії з біогазу, отриманого не тільки з відходів, а й з спеціально вирощеної рослинної сировини – енергетичних культур [24].

За даними Державної служби статистики України потенціал малопродуктивних земель в Україні, які придатні для вирощування енергетичних культур становить 4 млн. га, що в свою чергу дорівнює 20 млрд.м<sup>3</sup> потенціалу заміщення газу.

Переваги поширення практики вирощування та використання енергетичних рослин:

- заміщення природного газу;
- декарбонізація – зменшення викидів CO<sub>2</sub>;
- зменшення вартості тарифів на тепло;
- відновлення родючості земель;
- залучення інвестицій;
- нові робочі місця;
- економічне зростання.

В цілому біогазовий ринок в Україні можна оцінити як перспективний, з досить широкою обізнаністю учасників, що очікує сигналів з боку держави.

З таблиці 1.1 наведено ініціативи в сфері розвитку біоенергетики станом на листопад 2020 року [25].



Таблиця 1.1 – Ініціативи в сфері розвитку біоенергетики

Законопроекти	Основні положення
Розвиток торгівлі твердими біопаливом	<ul style="list-style-type: none"> <li>• створення єдиної системи електронної торгівлі</li> <li>• введення вимог до якості біопалива</li> </ul>
Сприяння вирощуванню енергокультур	<ul style="list-style-type: none"> <li>• покращення умов для вирощування енергорослин</li> <li>• передбачення державної підтримки</li> </ul>
Розвиток ринку біометану	<ul style="list-style-type: none"> <li>• запровадження механізму торгівлі біометаном</li> <li>• введення гарантій походження біометану</li> </ul>
Розвиток ринку рідких біопалив на транспорті	<ul style="list-style-type: none"> <li>• введення обов'язкової частки біопалива</li> <li>• введення критеріїв сталості для біопалива</li> </ul>
Звільнення біопалива від податку на CO <sub>2</sub>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• зниження податкового навантаження біоенергетики</li> <li>• покращення інвестиційної привабливості проектів</li> </ul>

## Висновки до розділу 1

1. Розглянуто тенденції виробництва біогазу в світі. Визначено, що лідерами є країни Європи (Німеччина, Великобританія, Італія, Чехія Франція), Китай та США. Більшу частину сировини для виробництва біогазу в Європі займають рослинні культури та гній тварин, в Китаї – гній тварин та тверді побутові відходи, в США – тверді побутові відходи.

2. Розглянуто стан виробництва біогазу в Україні. Визначено, що станом на 2020 рік в країні працює 51 біогазовий комплекс, із загальною встановленою потужністю 97 МВт. Сировиною для виробництва є відходи та побічні продукти сільського господарства, харчової промисловості та зміттезвалища.

3. Проаналізовано перспективні напрямки розвитку у біогазовій сфері. Виявлено, що Україна має 4 млн. га малопродуктивних земель, які можна використовувати для вирощування енергетичних культур. Це в свою чергу призведе до відновлення родючості землі, зменшення викидів парникових газів, збільшення виробництва біогазу та економічного зростання країни.

## 2 УТВОРЕННЯ БІОГАЗУ В БІОГАЗОВИХ УСТАНОВКАХ

Останнім часом у всьому світі все більшу увагу приділяють нетрадиційним з технічної точки зору, відновлюваним джерелам енергії, одним з яких є біогаз.

Біогаз – суміш газів, основними компонентами якої є: метан ( $\text{CH}_4$ ) – 55-70% і вуглекислий газ ( $\text{CO}_2$ ) – 28-43%, а також в дуже малих кількостях інші гази, наприклад – сірководень ( $\text{H}_2\text{S}$ ).

Вироблення біогазу – доступна кожному сільськогосподарському підприємству операція. Вона відрізняється високою рентабельністю, так як дозволяє збирати й утилізувати відходи в екологічно замкнутій енергетичній системі.

Основою технологією отримання біогазу є анаеробний процес ферментації – специфічний природний біоценоз анаеробних бактерій різних фізіологічних груп. Анаеробне зброджування викликає зростаючий інтерес з точки зору зниження викидів парникових газів та сприяння сталому розвитку енергопостачання.

### 2.1 Біохімічний процес утворення біогазу

Анаеробне зброджування – це технологія з доведеною ефективністю, яка широко використовується для стабілізації промислових стічних вод, міських твердих побутових відходів, гною тварин і осаду стічних вод [26]. Є багато переваг, пов'язаних з технологією анаеробного зброджування, які включають зменшення маси, видалення запаху, зменшення кількості патогенних мікроорганізмів, менше споживання енергії і, що більш важливо, відновлення енергії у формі метану [27].

Аеробне зброджування вважається недорогим і екологічно безпечним процесом управління відходами, оскільки знижує викиди парникових газів.

Однією з основних переваг аеробного зброджування є його здатність працювати з широким спектром органічних субстратів. Вироблений біогаз може використовуватися для виробництва електроенергії і тепла або може бути поліпшений та використаний в якості автомобільного палива в транспортному секторі. Крім того, побічний продукт анаеробного зброджування можна в подальшому використовувати в якості добрива на сільськогосподарських угіддях [28].

Анаеробне зброджування включає бактеріальну ферментацію органічних відходів за відсутності вільного кисню. Ферментація метану – складний процес, який призводить до розпаду складних органічних речовин в чотиристадійному процесі (рис.2.1): гідроліз, ацидогенез, ацетогенез і метаногенеза [29].

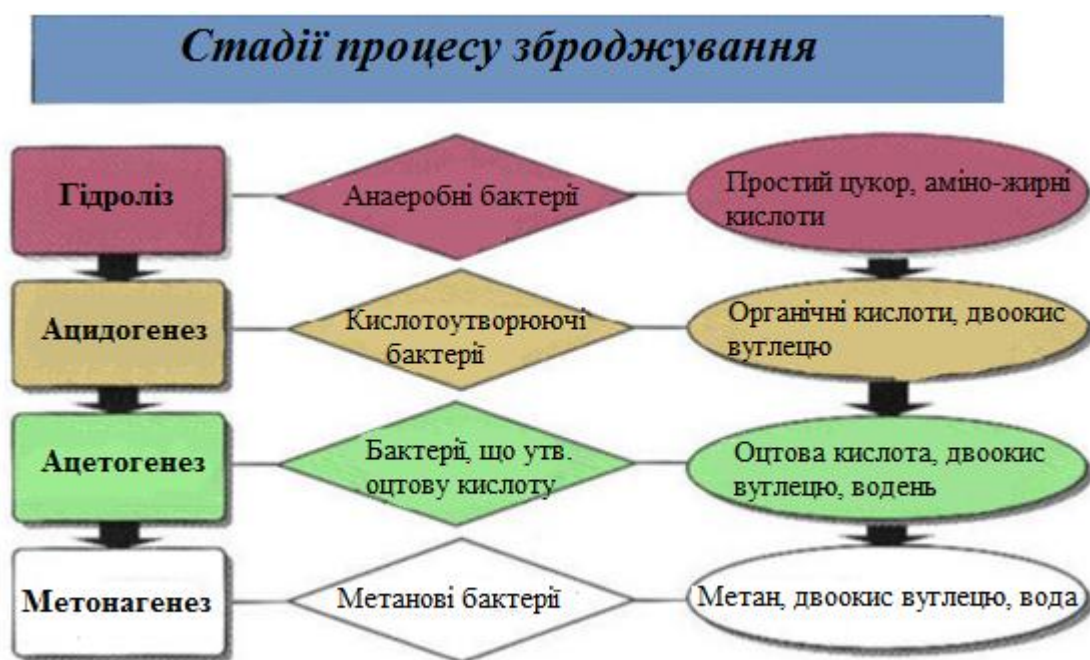


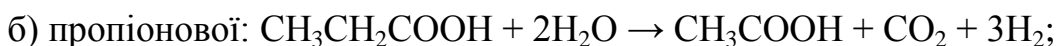
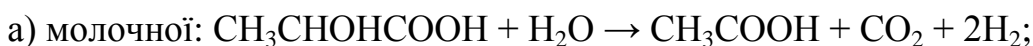
Рисунок 2.1 – Стадії процесу зброджування

Перша стадія (процес гідролізу): гетерогенна група анаеробних бактерій, так звані «первинні» анаероби, піддають ферментативному гідролізу складні багато вуглеводні речовини, що представляють собою основні класи органічних сполук – білки, ліпіди і полісахариди. При цьому разом з бактеріями, які

здійснюють гідроліз полімерів, функціонують мікроорганізми, які розщеплюють моносахариди, органічні кислоти, спирти та метанол. Результатом діяльності цих мікроорганізмів є утворення водню, вуглекислого газу, низькомолекулярних жирних кислот і спиртів, а також деяких інших з'єднань [30].

Другий етап (процес ацидогенезу): продукти, отримані на першому етапі, потім ферментують за допомогою ацидогенезу з утворенням летючих жирних кислот, пропіонової, молочної, і масляної [31]. Реакції проходять за наступними рівняннями:

1) окислення органічних кислот [32]:



Третя стадія (ацетогенез): бактерії поглинають ці продукти ферментації і виробляють оцтову кислоту, водень і вуглекислий газ. На цій стадії діють ацетогенні бактерії, включаючи як облігатні, так і факультативні види, здатні зброджувати органічні кислоти і нейтральні з'єднання до водню і оцтової кислоти, і гомоацетогенні бактерії, здатні зброджувати одно- і багатовуглеводновмістні з'єднання тільки до оцтової кислоти [33].

Четверта стадія (метаногенез): організми харчуються воднем, ацетатом і деякою кількістю вуглекислого газу для утворення метану [34]. Для цього метаногени використовують три біохімічних шляху:



Розпад органічної речовини на останній стадії здійснюється метаноутворюючими мікроорганізмами, які використовують метаболіти, що утворюються на перших стадіях. На заключному етапі анаеробного руйнування

органічної речовини в екосистемах з низьким вмістом сульфатів утворюються головним чином  $\text{CH}_4$  і  $\text{CO}_2$  і незначна кількість  $\text{H}_2\text{S}$  [35].

На виробництво біогазу при анаеробному зброджуванні впливають різні чинники:

#### 1. Концентрація водневих іонів (pH).

Концентрація водневих іонів в перетравлюваному середовищі безпосередньо впливає на зростання мікроорганізмів, яким може перешкоджати надлишкова кислотність [36]. Метаногени краще ростуть в нейтральному або трохи лужному середовищі, а у кислому вони гинуть. Після стабілізації процесу аеробного зброджування оптимальні значення pH в системі повинні бути в діапазоні 7-8,5 зі значеннями, близькими до 7 для оптимальної активності [37].

#### 2. Температура.

Температура впливає на успіх процесу зброджування, так як активність анаеробів, що викликають розкладання відходів, залежить від температури. Оптимальна продуктивність системи аеробного зброджування в значній мірі залежить від робочих температур реактора.

Існує три основних діапазони температур, кожен з яких сприяє певному типу мікроорганізмів, включаючи:

- психрофільні: близько 10-20 °C або менше (<30 °C);
- мезофільні: близько (30-40 °C);
- термофільні: близько (50-55 °C) або може досягати 60 °C [38].

Існуючі дослідження показали, що анаеробні бактерії проявляють найвищу активність в мезофільному і термофільному діапазонах [39]. Екстремальні випадки дуже високих або дуже низьких температур вбивають анаероби, тим самим пригнічуючи весь процес анаеробного зброджування [40]. Швидкість розкладання і газоутворення чутлива до температури, і, як правило, процес прискорюється при високих температурах [41]. Оптимальна температура 35 °C [42].

#### 3. Співвідношення вуглецю та азоту (C/N).

Концентрації вуглецю та азоту визначають ефективність анаеробного зброджування. Для оптимальної роботи біогазової установки співвідношення вуглецю до азоту в сировині повинно становити близько 30:1. Метаноутворюючі бактерії використовують азот для задоволення своїх потреб у білку, тобто для посилення росту. У той час як вуглець є джерелом енергії для мікроорганізмів. Якщо кількість азоту обмежено, мікробні популяції залишаться невеликими і буде потрібно більше часу для розкладання доступного вуглецю [43].

Отже, у випадках високого співвідношення C/N, що перевищує оптимальні діапазони, азот буде швидко споживатися бактеріями і, таким чином, не буде реагувати на надлишок вуглецю в сировині, що призведе до зниження виходу біогазу. У випадках більш низьких співвідношень, ніж обмежений діапазон, надлишок азоту призведе до утворення аміаку, тим самим збільшуючи робочий рН до 8,5, пригнічуючи мікроби і, нарешті, знижуючи швидкість утворення газу [39,40].

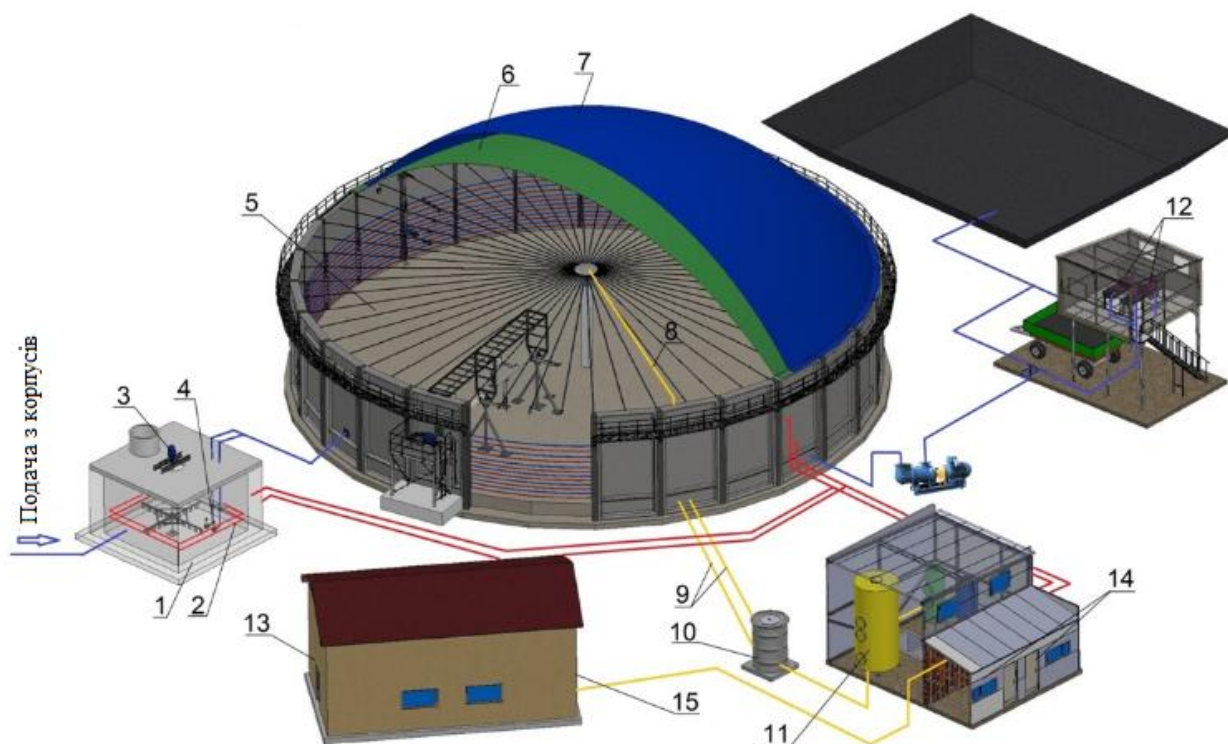
#### 4. Розмір частинок субстрату.

Біомаса повинна бути попередньо оброблена для зменшення розміру часток, щоб під час спільного зброджування відбулося збільшення виробництва біогазу [44]. Субстрат для анаеробного зброджування повинен складатися з легкозасвоюваних частинок. Більш дрібні частинки збільшують площу поверхні для дії метаноутворюючих бактерій, в результаті виникає підвищення здатності вихідної сировини до біорозкладання, тим самим підвищуючи швидкість утворення біогазу [45,46].

### 2.2 Схема та принцип роботи біогазової установки

В даний час в світі розроблені та успішно використовуються різні біогазові технології. Існують двостадійні і одностадійні біогазові комплекси. Одностадійна технологія використовується для більшості субстратів і таку технологію можна вважати базовою.

Схема типової одностадійної біогазової установки зображена на рисунку 2.2.



1 – приймальний резервуар; 2 – система обігріву; 3 – система механічного переміщення – мішалки; 4 – система подачі субстрату; 5 – метантенк; 6 – газгольдер; 7 – купол; 8 – система газовідведення; 9 – система газоподачі; 10 – система відводу конденсату; 11 – система сіркоочищення; 12 – сепаратор; 13 – система автоматики процесів та управління; 14 – теплопункт; 15 – когенератор

Рисунок 2.2 – Схема одностадійної біогазової установки [47]

Принцип роботи біогазової установки пропонує максимальну автоматизацію та зведення до мінімуму затрат людської праці. Відходи поступають в приймальний резервуар – корзину (барабан, решітку) для усунення великих частинок, в ньому відбувається їх попереднє накопичення, усереднення та бажано підігрів, ретельне перемішування, осадження та видалення важких фракцій. Подача сировини в метантенк відбувається 4-6 разів на добу за допомогою спеціального насосу для рідких та в'язких субстратів, які за необхідності проходять через подрібнювач.

Метантенк є газонепроникним, герметичним резервуаром. Для підтримання стабільної температури, всередині метантенк (ферментатор) обладнаний системою обігріву дна та стін. Також метантенк може бути теплоізований ззовні. Субстрат постійно переміщується за допомогою низько швидкісних мішалок, що гарантує повне переміщування. В залежності від фізико-механічних властивостей субстрату, використовують різні види систем переміщування: механічні, гідравлічні, пневматичні. Вивантаження перебродженого субстрату відбувається автоматично с такою ж періодичністю, як і загрузка.

Управління всією біогазовою установкою відбувається за командами системи автоматики. Біогаз збирається у газгольдері, який використовується в якості газонепроникного покриття метантенку та виконує функції акумулювання газу.

Внутрішній купол виготовляють із тканини з мінімальною дифузією метану та стійкістю до ультрафіолету. Зовнішній купол має високу стійкість до ультрафіолету, стійкий до підпалу. Відведення біогазу відбувається по газопроводу, який оснащений приладами автоматичного відводу конденсату та запобіжними приладами, які захищають газгольдер та купол від перевищення допустимого тиску. Також можуть бути встановлені вентилятори для підтримання тиску в міжкупольному просторі. Із газгольдера йде непереривна подача біогазу на станцію очистки, а далі на когенераційну установку або котельню. Перероблений субстрат подається на механічне розділення на тверду та рідку фракції [47].

Двостадійна технологія використовується в основному для субстратів, які здатні до розщеплення за відносно короткий проміжок часу, в наслідок чого мають підвищену схильність до окислення. Перевагою даної технології є підтримка ефективності бактерій через створення оптимальних умов їх життєдіяльності, в першу чергу рівня рН. Це забезпечує підвищене виробництво біогазу. Головна відмінність двухстадійного анаеробного зброджування від одностадійного – в додатковому метантенку гідролізу [48].

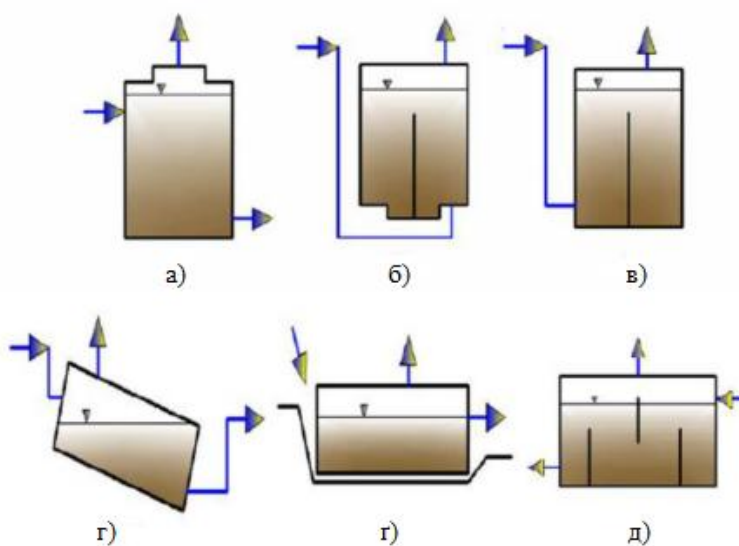


Хоча розділ фаз найкращим чином відповідає умовам життєдіяльності бактерій і має свої переваги, такі двоступеневі технології не мають великого поширення. Додаткові капітальні вкладення на другий резервуар, витрати потужності на системи змішування, опалення та насоси вимагає проведення глибокого техніко-економічного аналізу.

Розглянемо різні технології виконання основного обладнання біогазових установок.

### 1. Реактор.

Метантенк є головним вузлом біогазової установки. Реактори виконуються із залізобетону, сталі або пластмаси. У ньому повинні бути обладнані системи завантаження, опалення, перемішування, і вивантаження відпрацьованого субстрату. Розроблена велика кількість конструкцій метантенків, які відрізняються режимами завантаження біомаси (проточні або періодичні) і способами завантаження (безперервні або періодичні) (рис.2.3) [49].



а – циліндричний з верхнім завантаженням; б – циліндричний з нижнім завантаженням; в – циліндричний двосекційний; г – похилий; г – траншейний з плаваючим покриттям; д – горизонтальний секційний.

Рисунок 2.3 – Різні конструкції метантенків

При безперервній схемі субстрат завантажується до 10 разів на добу, при цьому відбувається одночасне вивантаження перебродженої маси. Такий спосіб завантаження забезпечує максимальний вихід біогазу при дотриманні всіх умов зброджування. При періодичній схемі, необхідно як мінімум два метантенки, які завантажують по черзі. Біогаз починає утворюватися після закінчення 5-6 доби і при досягненні максимального його виходу поступово знижується. Потім переброджений субстрат вивантажують, і метантенки знову завантажують свіжим субстратом.

За обсягом реактора біогазові установки можна розділити на наступні типи [50]:

- 1) малої потужності – обсяг реактора 5 - 20 м<sup>3</sup>;
- 2) середньої потужності – обсяг реактора 20 - 1000 м<sup>3</sup>;
- 3) великої потужності 1000 - 10000 м<sup>3</sup>;

Ферментатор можна розташувати або в вертикальному положенні, або в горизонтальному. Горизонтальна установка має перевагу в тому, що на неї можна підключати механічні мішалки. Вони забезпечують перемішування, спрямоване перпендикулярно по відношенню до течії, при цьому не здійснюючи перемішування у напрямку течії, що забезпечує більш високу якість та ступінь розкладу субстрату.

Завантажувальний та розвантажувальний отвори повинні розташовуватися на протилежних кінцях реактора для рівномірного розподілу субстрату по всьому об'єму реактора і ефективного видалення переробленого шламу. Для забезпечення герметичності метантенка в процесі завантаження і вивантаження субстрату вхідний і вихідний патрубки мають бути встановлені під нахилом вгору до вертикальної осі. Завдяки цьому створюється гідравлічний затвор, що перешкоджає проникненню повітря в реактор.

## 2. Мішалки.

Процес анаеробного зброджування є складним технологічним процесом. Для нормального протікання зброджування необхідна підтримка оптимальних умов в апараті: достатня концентрація поживних речовин, необхідна

температура в усьому обсязі метантенка, відсутність або низька концентрація токсичних речовин, відсутність кисню, допустимий діапазон значень рН. [51]. Досягнення цих умов безпосередньо пов'язано з організацією якісного перемішування в реакторі.

Система перемішування субстрату в реакторі підвищує ефективність роботи біогазової установки і повинна забезпечувати:

- вивільнення біогазу в усьому обсязі метантенка;
- перемішування свіжого субстрату та зброджуваної речовини для підтримання популяції бактерій;
- запобігання утворенню кірки й осаду;
- запобігання появи зон різної температури всередині метантенка;
- рівномірний розподіл популяції бактерій за обсягом субстрату;
- запобігання утворенню пустот в метантенку.

Перемішування є головним фактором ефективної роботи біогазової установки. При виборі способу перемішування необхідно враховувати, що процес анаеробного зброджування – це взаємодія різних штамів бактерій. Оптимальним є повільне перемішування сировини кожні 4-6 годин [52].

Основними способами перемішування субстрату є:

- 1) механічні мішалки – механічне перемішування;
- 2) пневматичне перемішування – біогаз, пропускається через обсяг субстрату, що призводить до перемішування;
- 3) гідравлічне перемішування – перекачування сировини за обсягом метантенку з метою перемішування субстрату.

До недоліків механічних мішалок можна віднести: порівняно високу енергоємність; складність ремонту; зниження ефективності роботи та недостатнє руйнування плаваючої кірки при певних умовах; наявність рухомих частин пристрою, що знижує надійність роботи.

Пневматичне перемішування здійснюється шляхом пропускання біогазу через товщу субстрат. Бульбашки газу, які піднімаються будуть створювати лише вертикальний рух в субстраті. Такий тип мішалок придатний тільки в разі

якщо зброджувана маса сильно розріджена та не утворює кірки на вільній поверхні.

Найпростішим варіантом виконання гідравлічного перемішування є монтаж усередині реактора перегородок, що утворюють сполучені між собою камери. Процес перемішування субстрату в реакторі може здійснюється без енерговитрат на перемішування за рахунок різниці в тисках, в ємності і циркуляційному трубопроводі, яка створюється під час бродіння.

### 2.3 Методика технологічного розрахунку біогазової установки

Обґрунтування параметрів біогазової установки слід починати з оцінки сировинних можливостей підприємства.

Середньодобовий вихід (кг) відходів тваринництва (гній, послід) визначають за формулою [53]:

$$M_n = n m_n,$$

де  $n$  – середньорічне поголів'я тварин або птиці, гол .;

$m_n$  – середньодобовий вихід гною або посліду від однієї голови, кг.

Біогазові установки рідко використовують тільки один вид сировини і в більшості випадків переробляють багатокомпонентні субстрати, що складаються з суміші гною, посліду і 25-30 % рослинної маси.

Добову потребу біогазової установки в рослинній сировині (кг) визначають за формулою:

$$M_p = (0,25 \dots 0,30) \cdot M_n$$

Річна потреба в рослинній сировині складає (т):

$$M_p^{\text{рік}} = \frac{365}{1000} M_p$$

Із співвідношення:

$$C_B = \frac{M_H C_H + M_P C_P}{M_H + M_P + M_B}$$

визначають масу добової порції води, що додається в субстрат (кг):

$$M_B = \frac{M_H C_H + M_P C_P}{C_{CB}} - M_H - M_P,$$

де  $C_H$  – вміст сухої речовини в гною або посліді, %;

$C_P$  – вміст сухої речовини в рослинній масі, %;

$C_{CB}$  – необхідний вміст сухої речовини в субстраті, %.

Обсяг добової порції свіжого субстрату ( $\text{м}^3$ ) розраховують наступним чином:

$$V_c = \frac{M_H + M_P + M_B}{\gamma_c},$$

де  $\gamma_c$  – об'ємна маса субстрату,  $\text{кг} / \text{м}^3$ .

Робочий об'єм метантенка ( $\text{м}^3$ ) розраховують виходячи з тривалості процесу бродіння субстрату:

$$V_\Phi = V_c D_6 k_{3,\Phi},$$

де  $D_6$  – тривалість бродіння субстрату, дн.;

$k_{з.ф}$  – коефіцієнт запасу обсягу ферментатора,  $k_{з.ф} = 1,2$ .

Масу органічної сухої речовини (кг о.с.р.), яка надходить в метантенк за добу, обчислюють за формулою:

$$M_{о.с.р.} = M_H \frac{C_H}{100} \frac{C_{н.о.с.р.}}{100} + M_P \frac{C_P}{100} \frac{C_{р.о.с.р.}}{100},$$

де  $C_{н.о.с.р.}$  – вміст органічної субстанції в сухій речовині відходів, %;

$C_{р.о.с.р.}$  – вміст органічної субстанції в сухій речовині рослинної сировини, %.

Питоме завантаження метантенку (кг о.с.р./м<sup>3</sup>) розраховують за формулою:

$$q_{\phi} = \frac{M_{о.с.р.}}{V_{\phi}}$$

Мінімальну кратність завантаження метантенку свіжою сировиною на добу, при якій коливання температури субстрату будуть перебувати в допустимих межах, обчислюють за формулою:

$$Z_{\phi} = \frac{V_c(t_{\phi}-t_0)}{V_{\phi} \Delta t},$$

де  $t_{\phi}$  – температура субстрату в ферментаторі, °С;

$t_0$  – початкова температура субстрату, °С;

$\Delta t$  – допустимі коливання температури субстрату в ферментаторі, °С.

Для більш рівномірного виробництва біогазу слід виконувати завантаження свіжого субстрату не рідше 2-3 разів на добу.

Місткість (м<sup>3</sup>) приймальної ємності для рідкої сировини визначають за формулою:

$$V_{\Pi} = \frac{V_c k_{3.\Pi}}{z_{\Phi}},$$

де  $k_{3.\Pi}$  – коефіцієнт запасу обсягу приймальні ємності,  $k_{3.\Pi} = 1,1$ .

Добову потребу в тепловій енергії (МДж) для підігріву свіжого субстрату, що надходить в ферментатор, визначають за формулою:

$$Q_c = 10^{-6} c_b (M_H + M_P + M_B) \left(1 - \frac{c_{cb}}{100}\right) (t_{\Phi} - t_0),$$

де  $c_b$  – питома теплоємність води,  $c_b = 4200$  Дж / (кг · °С).

Добовий вихід біогазу ( $W_{\text{б}}$ , м<sup>3</sup>) та необхідний обсяг газгольдера ( $V_{\Gamma}$ , м<sup>3</sup>) обчислюють за формулами:

$$W_{\text{б}} = M_{\text{о.с.р.}} \cdot w_{\text{б}}$$

$$V_{\Gamma} = W_{\text{б}} k_{\Gamma},$$

де  $w_{\text{б}}$  – питомий вихід біогазу, м<sup>3</sup>/ кг о. с. р.;

$k_{\Gamma}$  – коефіцієнт місткості газгольдера, при використанні біогазу для цілодобової вироблення електроенергії,  $k_{\Gamma} = 0,2-0,5$ .

Нижчу теплоту згоряння біогазу (МДж/м<sup>3</sup>) розраховують за формулою:

$$q_{\text{б}} = \frac{C_{\text{м}} q_{\text{м}}}{100},$$

де  $C_{\text{м}}$  – вміст метану в біогазі, %;

$q_{\text{м}}$  – нижча теплота згоряння метану,  $q_{\text{м}} = 35,9$  МДж/м<sup>3</sup>

Потужність процесу газоутворення (кВт) обчислюють за наведеною нижче формулою:

$$N_6 = \frac{W_6 q_6}{3,6 * 24}$$

Фактичні значення електричної ( $N_e$ , кВт) і теплової ( $N_T$ , кВт) потужностей когенераційного блоку розраховують за формулою:

$$N_e = N_6 \frac{\eta_e}{100}$$

$$N_T = N_6 \frac{\eta_T}{100},$$

де  $\eta_e$ ,  $\eta_T$  – електричний та тепловий ККД моделі газового двигуна відповідно.

Річне вироблення електричної ( $Q_e$ , МВт·год) та теплової ( $Q_T$ , Гкал) енергії когенераційним блоком визначають за такими залежностями:

$$Q_e = \frac{8760}{1000} N_e$$

$$Q_T = \frac{8760}{1000} (N_T - N_{\text{п}}) k_{\text{кал}},$$

де 8760 – число годин у році, год;

$k_{\text{кал}}$  – перекладний коефіцієнт,  $k_{\text{кал}} = 0,86$  Гкал/МВт · год.

Річну економію паливно-енергетичних ресурсів (т у.п.) розраховують за формулою:

$$E_{\text{ПЕР}} = Q_e k_e + Q_T k_T$$



де  $k_e$ ,  $k_T$  – перекладні коефіцієнти,  $k_e = 0,28$  т у.п./МВт · год,  $k_T = 0,175$  т у.п./Гкал.

## Висновки до розділу 2

1. Проаналізовано чотири фази процесу анаеробного зброджування: гідроліз, ацидогенез, ацетогенез і метаногенез. Виявлено, що основними чинниками, які впливають на процес утворення біогазу є: концентрація водневих іонів, температура, співвідношення вуглецю та азоту, розмір частинок субстрату.

2. Розглянуто схему біогазової установки, принцип її роботи та технології виконання основного обладнання (метантенк, мішалки).

3. Розглянуто методику технологічного розрахунку біогазової установки, за якою можна встановити її раціональні параметри, обрахувати масу необхідної рослинної та тваринної сировини, масу органічно сухої речовини, робочий об'єм метантенку, добовий вихід біогазу, необхідний обсяг газгольдера, електричну та теплову потужність когенераційного блоку та економію паливо-енергетичних ресурсів.

### 3 ВИКОРИСТАННЯ ВІДХОДІВ СВИНОФЕРМ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА БІОГАЗУ

Відповідно до офіційної статистики, станом на 1 січня 2020 року в Україні працює 1700 свинокомплексів, в яких налічується 3,3 млн. голів свиней. На рисунку 3.1 показано ТОП-15 свинокомплексів України та кількість поголів'я свиноматок у них [54].

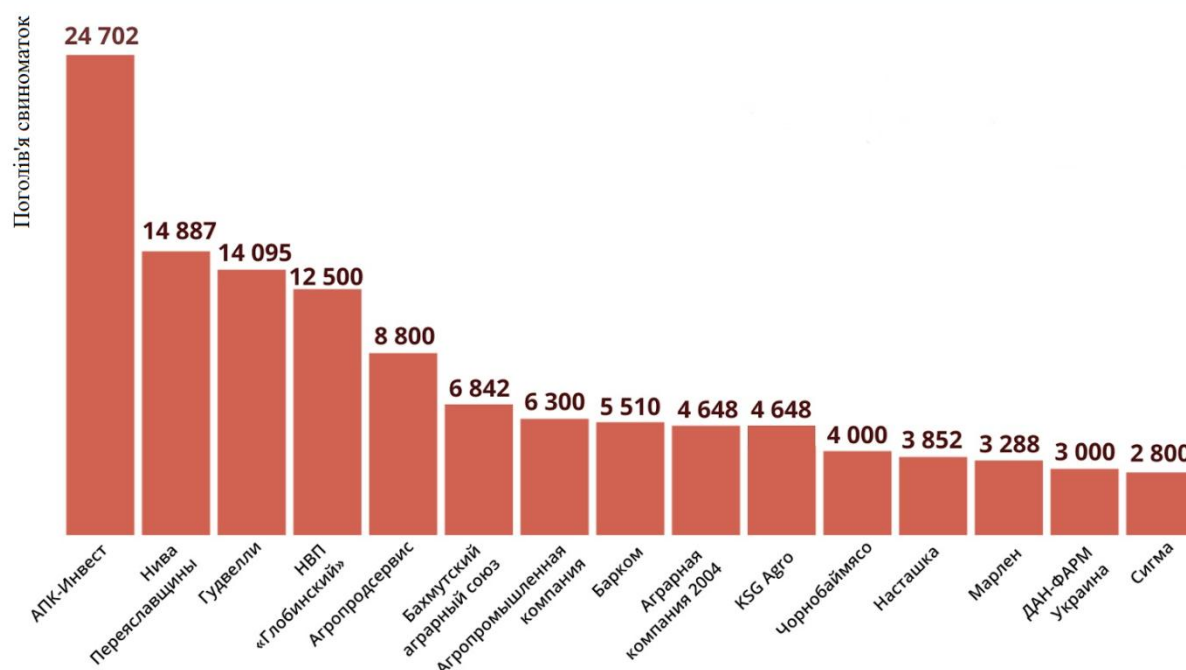


Рисунок 3.1 – ТОП-15 свинокомплексів України

Потенціал України у розвитку виробництва біогазу величезний. Наша держава має добре розвинене сільське господарство, відходи від діяльності якого дають відмінну сировинну базу. За даними Державного агентства з енергоефективності та енергозбереження, використання тільки 37% відходів від роботи тваринницьких і рослинницьких господарств дозволить отримати понад 10 млрд. м<sup>3</sup> газу [55].

Виробництво продуктів тваринництва створює значну кількість відходів тваринного походження, в основному у вигляді неперетравлених біогенних

речовин, що виділяються у формі гною. Наприклад, доросла свиня виділяє в середньому 67% білків, що містяться в кормі, з сечею і фекаліями.

Гній містить азот, фосфор й інші речовини, що можуть призводити до викиду в повітря аміаку та інших газів та виникнення ризику забруднення поверхневих водних ресурсів і підземних вод за рахунок вилуговування та стоку. Гній також містить збудників захворювань, включаючи бактерії, патогенні мікроорганізми, віруси, паразити, які також можуть впливати на ґрунти, воду і рослини, які споживають люди, сільськогосподарські та дикі тварини [56].

Важливо встановлювати біогазові станції на базі тваринницьких комплексів, оскільки загальноприйнята практика зберігання відходів виробництва (гною) у відкритих буртах або лагунах призводить до погіршення екології в довколишніх районах. Утилізацію гною великими партіями робити дорого, штрафи за порушення санітарних норм теж складають великі суми. Отримання біогазу з гною стає не тільки виходом з ситуації, що склалася, а й способом отримання додаткового прибутку від продажу теплової та електричної енергії.

Свинарство в загальній структурі тваринництва України за обсягами викидів парникових газів (зокрема, метану –  $\text{CH}_4$  і закису азоту –  $\text{N}_2\text{O}$ ) посідає друге місце після скотарства. На коефіцієнт викидів метану з гною впливає поголів'я тварин в розрізі видів, структурно-вікових груп стада і категорій господарств, а також розподіл гною в системах збирання, зберігання та використання [57].

Комплексно вирішувати проблему забруднення навколишнього природного середовища викидами метану та азоту в процесі виробництва свинини можна шляхом впровадження інноваційних технологій з утилізації відходів виробництва, зокрема біогазових установок. Такі установки широко використовуються на європейських підприємствах сільського господарства і промисловості.

Нажаль, в даний час в Україні, на базі свиноферм, існує всього декілька біогазових установок [58] це:

1. Біогазова установка на свинофермі Металургійного комбінату «Запоріжсталь» потужністю 50 кВт, яка за добу може переробляти 20-22 т свинячого гною від 10000 свинок в 600 м<sup>3</sup> біогазу, частина з якого витрачається на електрогенерацію.

2. Біогазова установка корпорації «Арго-Овен» на їх свинофермі в Дніпропетровській області, яка за добу переробляє 80 т свинячого гною в 3300 м<sup>3</sup> біогазу.

3. Біогазова установка компанії «Даноша», потужністю 1,1 МВт на свинокомплексі в Калушському районі.

### 3.1 Характеристика гною свиней як сировини для отримання біогазу

Основними складовими свинячого гною є кал і сеча. Середньодобовий зміст сухих речовин в гної становить 0,62 кг, органічних речовин – 0,53 кг в екскрементах однієї тварини. Залежно від вмісту сухої речовини в свинячому гної, його поділяють на:

- твердий гній, з вмістом СР більше 27%;
- напівтвердий, СР – 17-27 %;
- напіврідкий, СР – 8-17 %;
- рідкий, СР – 3-8 %;
- гнойові стоки, з вмістом сухої речовини менш 3,0 % [59].

Склад свинячого гною включає в себе мінеральні, органічні, біогенні і біологічні речовини (рис. 3.2).

Компонентами органічного походження є органічні речовини, що знаходяться в розчиненому стані, у вигляді частинок різного розміру та різного ступеня розкладання, які надходять з екскрементами, підстилкою і кормами. Білки, жири, вуглеводи володіють енергетичною цінністю та здатні розкладатися анаеробними мікроорганізмами з утворенням біогазу.

Вміст біогенних речовин в екскрементах залежить головним чином від раціону та віку тварин.

До біологічних компонентів відносяться бактерії, мікроби, віруси, яйця гельмінтів. Використання непідготовленого гною може стати джерелом зараження навколишнього середовища [60].

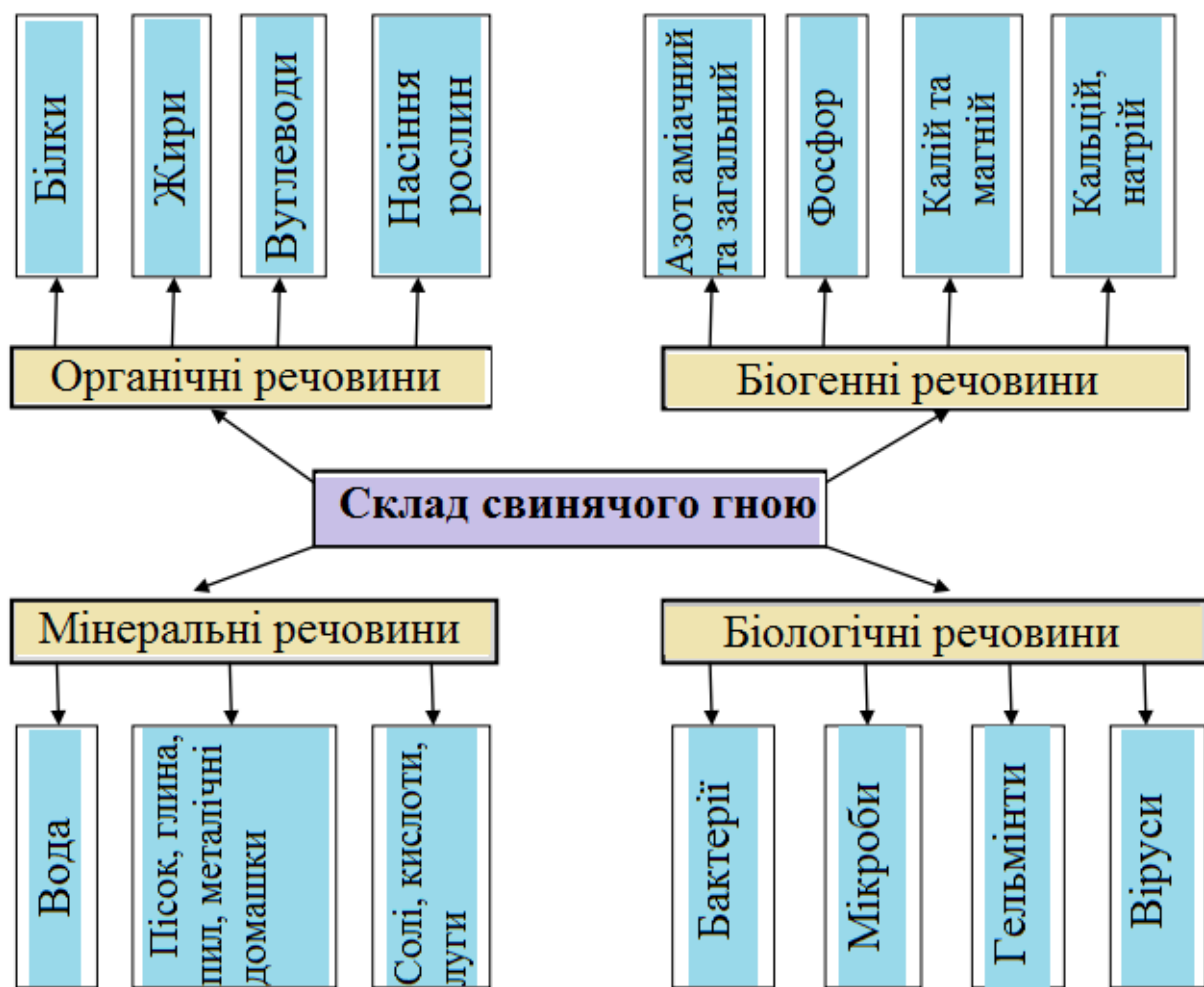


Рисунок 3.2 – Склад свинячого гною

Огляд складу свинячого гною дозволяє визначити його властивості як сировинну біомасу для виробництва біогазу та добрив.

Свинячий гній і гнойові стоки характеризуються фізичними, теплотехнічними, механічними, хімічними, біологічними, дисперсійними (дисперсними) і мікробіологічними властивостями (табл.3.1).

Таблиця 3.1 – Властивості свинячого гною [61]

Властивості	Характеристика
Фізичні	<ul style="list-style-type: none"> <li>– вологість;</li> <li>– щільність (об'ємна маса);</li> <li>– питома вага;</li> <li>– питомий об'єм;</li> </ul>
Хімічні	<ul style="list-style-type: none"> <li>– органічні і сухі речовини;</li> <li>– біологічні речовини;</li> <li>– мікроелементи;</li> </ul>
Теплотехнічні	<ul style="list-style-type: none"> <li>– температура;</li> <li>– питома теплопровідність;</li> <li>– питома теплоємність;</li> </ul>
Механічні	<ul style="list-style-type: none"> <li>– гранулометричний склад;</li> <li>– в'язкість;</li> <li>– максимальне напруження зсуву;</li> </ul>
Біологічні	<ul style="list-style-type: none"> <li>– бактеріальні включення;</li> <li>– яйця гельмінтів;</li> <li>– насіння бур'янів;</li> </ul>
Дисперсійні і дисперсні	<ul style="list-style-type: none"> <li>– органічні сполуки;</li> <li>– розчини мінеральних солей, кислот, лугів;</li> <li>– розчинені гази;</li> <li>– нерозчинені органічні і мінеральні речовини;</li> </ul>
Мікробіологічні	<ul style="list-style-type: none"> <li>– фаза гідролізу біополімерних молекул;</li> <li>– фаза ферментації мономерів до нижчих кислот та спиртів, аміаку і сірководню;</li> <li>– ацетатогенна фаза (утворення <math>H_2</math>, форміату і ацетату);</li> <li>– метаногенна фаза (метан + вуглекислий газ = біогаз)</li> </ul>

Одним з основних показників, що характеризує властивості свинячого гною, є його вологість, що залежить від системи його видалення з тваринницьких приміщень та наявності підстилки (табл.3.2).

Таблиця 3.2 – Залежність вологості гною свиней від способу його видалення [61]

Тип гною	Найменування	Спосіб видалення гною	Вологість, %
I	Підстилковий	Механічно, сезонно	60
	Безпідстилковий	Механічно, щодня	85-88
II	Самосплавна система видалення гною	Механічно в канал з мінімальним додаванням води, щодня	94-96
III	Система видалення гною – гідрозмив	Змив великою кількістю води	99

У таблиці 3.3 наведено залежність складу свинячого гною від способу його видалення.

Таблиця 3.3 – Залежність складу свинячого гною від способу його видалення [62]

Добриво	Азот N, %	Фосфор P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , %	Калій K <sub>2</sub> O, %	Кальцій CaO, %	Магній MgO, %	Сірка SO <sub>2</sub> , %	Органічна речовина, %
Свинячий гній на солом'яній підстилці	0,84	0,58	0,47	0,18	0,09	0,08	21,9
Безпідстилковий гній	0,57	0,27	0,44	0,28	0,08	—	12
Рідкий свинячий гній	0,46	0,23	0,2	—	—	—	—

Теплотехнічні властивості гною характеризуються температурою, питомою теплоємністю і теплопровідністю. При вологості гною понад 95 % і температурі 32 °С теплопровідність дорівнює 0,0712 Н/м. Також, слід зазначити, що вміст сухої речовини в гної характеризує його хімічні

властивості. Суха речовина складається з органічної (75-85 %) і неорганічної (15-25 %) частин [63].

Вміст біогенних речовин в екскрементах залежить головним чином від раціону годівлі та віку тварин. За даними літературних джерел, при вологості екскрементів 88,1 % у відсотках до сухої речовини характеризується наступними величинами: азот загальний – 5 %; азот аміачний – 3,5 %; фосфор – 2,1 %; калій – 2,1 %; магній – 0,8 %; кальцій – 1,6 %; натрій – 0,8 %. Значний вміст біогенних речовин дозволяє використовувати свинячий гній як цінне органічне добриво [63].

Біологічні властивості свинячого гною залежать від змісту бактеріальних включень, яєць гельмінтів і насіння бур'янів. Мікробіологічними дослідженнями встановлено, що мікробне число в гної, взятого відразу після внесення культур в вихідну біомасу, дорівнювало 17 млн./мл, колі-титр –  $10^6$ , *E. coli* – (0,41) -  $1 \times 10^6$  [60].

Дисперсійні та дисперсні властивості свинячого гною характеризуються розчинними та нерозчинними сполуками, що знаходяться в екскрементах.

Однак один тільки свинячий гній – поганий субстрат для виробництва біогазу через надмірний вміст азоту в порівнянні з доступним органічним вуглецем. Крім того, високий вміст азоту може призвести до токсичного рівня аміаку. Тому в цьому випадку для отримання біогазу з гною свиней рекомендується використовувати гній тварин при спільному зброджуванні разом з рослинними залишками, з метою підтримки збалансованого співвідношення C/N, прискорення росту бактерій та зниження ризику їх пригнічення та підкислення аміаку. Об'єднання різних органічних відходів для спільного анаеробного зброджування призводить до кращої збалансованості субстрату, та до значного збільшення виробництва біогазу. Значне збільшення виробництва біогазу в процесі перетравлення відбувається за рахунок об'єднання багатих вуглецем сільськогосподарських відходів зі свинячим гноєм.



### 3.2 Аналіз сумісного анаеробного зброджування гною свиней та рослинної біомаси

Структура відходів сільськогосподарських культур складна і включає лігноцелюлозу (лігнін, геміцелюлози і целюлозу). У свою чергу, основними компонентами целюлози та геміцелюлози є гексоза і пентоза, відповідно, розкладання яких відбувається під час анаеробної ферментації. Окрема ферментація рослинних відходів має тривалий цикл ферментації, низьку ефективність розкладання, та утворення кислого середовища. Гній худоби має більш низьке співвідношення вуглецю і азоту та містить безліч азотистих речовин, включаючи білок, які розкладаються до аміачного азоту, впливаючи на падіння рН, викликане летючими жирними кислотами (ЛЖК).

Сумісне анаеробне зброджування гною свиней з рослинною біомасою призводить до збільшення виходу метану, що обумовлено синергетичним ефектом взаємодії ко-субстратів [64].

Перевагами сумісного зброджування є:

- підтримка величини рН на придатному рівні, для оптимального протікання процесу метаноутворення, завдяки накопиченню більшої кількості ЛЖК та збільшенню буферної ємності [65] ;
- зниження високої концентрації аміаку, який утворюється при зброджуванні лише гною свиней, завдяки високому співвідношенню C:N в рослинній сировині [66];
- підвищення виходу метану та інтенсивності виходу біогазу завдяки утворенню оптимального співвідношення C:N [67].

Отже, спільне перетравлення гною та рослинної біомаси може вирішити вищевказані проблеми, підвищити ступінь їх використання, збільшити вихід біогазу та скоротити цикл ферментації.

### 3.2.1 Дослідження процесу анаеробного зброджування свинячого гною та кукурудзи

Найчастіше при сумісному зброджуванні відходів тваринництва з рослинною сировиною в світовій практиці застосовується кукурудза.

Кукурудза – один з найважливіших зернових в світі, вироблення якої за останнє десятиліття сягає в середньому 840 мільйонів тонн в рік [68]. З огляду на середній індекс врожаю 50%, потенційно може бути досягнута аналогічна частка врожайності соломи, що робить кукурудзу найбільш поширеним джерелом соломи злакових.

Кукурудзяна солома складається в основному з целюлози, геміцелюлози, лігніну, золи [69]. Деякі країни заохочують більш ефективне використання соломи кукурудзи, тому що деякі дрібні виробники схильні спалювати її в полі, щоб підготуватися до наступного посіву. Спалювання може викликати проблеми із забрудненням повітря, зменшуючи при цьому органічні речовини ґрунту.

Розглянемо застосування соломи кукурудзи в якості субстрату при анаеробному зброджуванні свинячого гною та порівняємо результати з іншою рослинною біомасою.

У таблиці 3.4 наведено характеристику вхідної сировини: свинячого гною та кукурудзяної соломи, які використовувалися в дослідженні [70].

Таблиця 3.4 – Характеристика вхідної сировини

Характеристики	Свинячий гній	Солома кукурудзи
pH	$5,33 \pm 0,23$	–
Вологість, %	$69,87 \pm 3,27$	$8,80 \pm 0,10$
Загальна тверда речовина, %	$25,89 \pm 0,09$	$90,95 \pm 0,05$
Летюча тверда речовина, %	$82,02 \pm 0,18$	$95,13 \pm 0,25$
Загальний вуглець, %	$13,30 \pm 1,40$	$41,95 \pm 0,25$
Загальний азот, %	$1,25 \pm 0,11$	$0,49 \pm 0,03$
Целюлоза, (мас. /%)	8,10	46,10
Лігнін, (мас. /%)	3,31	10,97

Умови дослідю:

- розмір частинок кукурудзяної соломи – 2,6 см;
- робочий об'єм біореактора – 1,38 л (3 шт. з різним співвідношенням гною та кукурудзи, завантажені на 0,89 кг);
- температура становила 38 °С (мезофільний режим);
- об'єм біогазу та метану вимірювався кожні 4 дні;
- тривалість дослідю – 84 дні.

На рисунку 3.3 зображено залежність виходу біогазу при різному співвідношенні гною свиней та соломи кукурудзи [70].

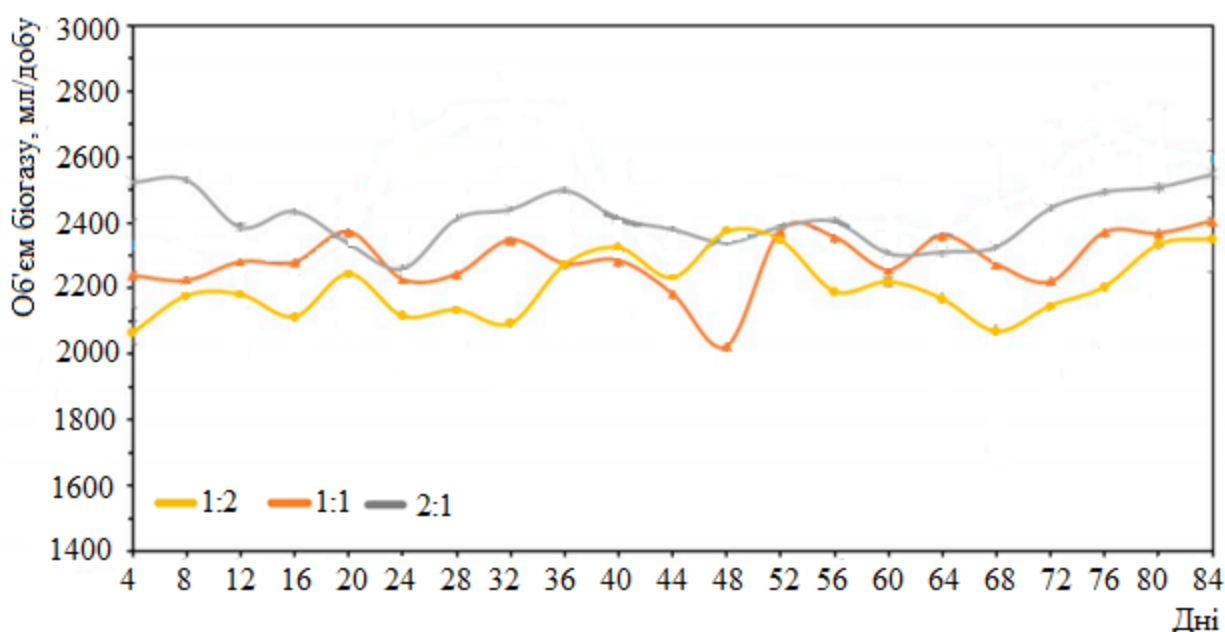


Рисунок 3.3 – Об'єм біогазу при різному співвідношенні гною свиней та соломи кукурудзи

Найбільший об'єм біогазу утворюється при співвідношенні гною свиней до соломи кукурудзи як 2:1. Найвищі показники спостерігаються на 8, 36 та 76 днях дослідю і становлять відповідно 2550 мл/добу ( $0,00255 \text{ м}^3/\text{добу}$ ), 2500 мл/добу ( $0,00250 \text{ м}^3/\text{добу}$ ), 2490 мл/добу ( $0,00249 \text{ м}^3/\text{добу}$ ).

На рисунку 3.4 наведено об'єм метану, який утворюється при різному співвідношенні гною свиней та соломи кукурудзи [70].

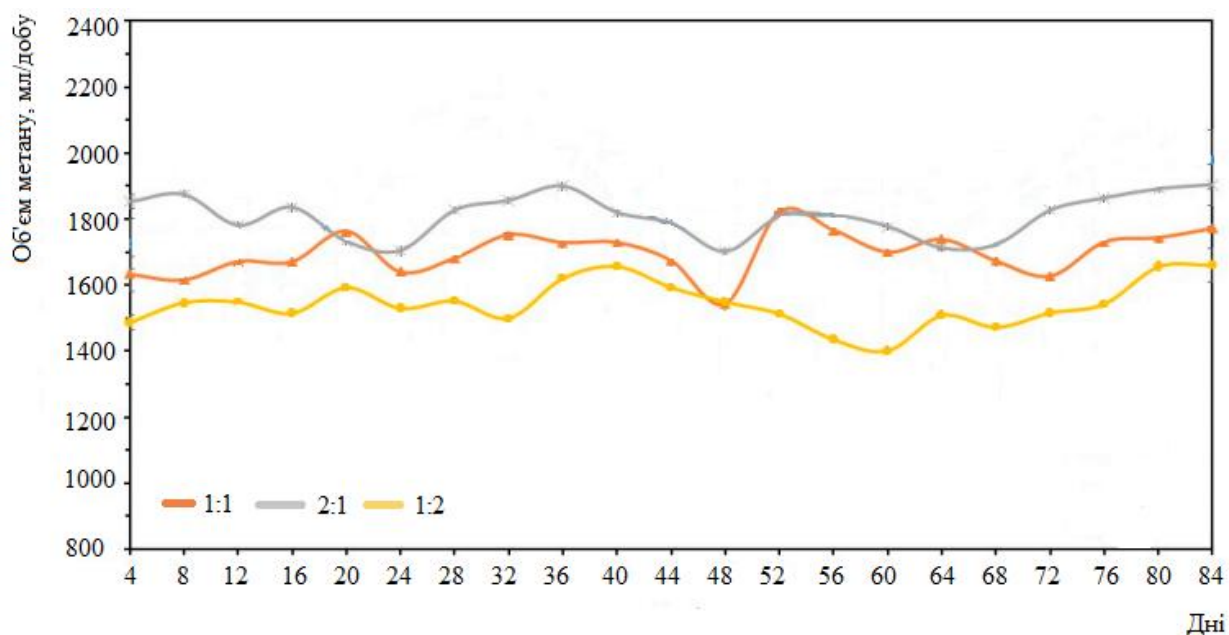


Рисунок 3.4 – Об'єм метану при різному співвідношенні гною свиней та соломи кукурудзи

Як видно з рисунку 3.4 найбільший об'єм метану утворюється при співвідношенні гною до соломи як 2:1, та становить 1900 мл/добу ( $0,0019 \text{ м}^3/\text{добу}$ ) на 36 день дослідження. Також високі показники отримані на 8 та 80 дні зброджування, і відповідно становлять 1850 мл/добу ( $0,00185 \text{ м}^3/\text{добу}$ ) та 1860 мл/добу ( $0,001860 \text{ м}^3/\text{добу}$ ).

Спільне перетравлення свинячого гною з кукурудзяною соломкою показує стабільність анаеробного зброджування та підвищення вироблення метану за рахунок забезпечення відповідного співвідношення C/ N. Однак, вирощування кукурудзи, для використання її в якості субстрату при виробництві біогазу має своє недоліки:

- культура ослаблює ґрунти, так як витягує з них досить багато поживних речовин і вологи, зменшуючи родючість до мінімальних значень.
- відведення оброблюваних родючих земель під її вирощування для виробництва біогазу призведе до зменшення площі для вирощування продовольчих культур.

Для України виходом із ситуації може бути вирощування енергетичних культур, на землях, що зазнали забруднення і непридатні для використання в сільськогосподарському виробництві.

### 3.2.2 Дослідження процесу анаеробного зброджування гною свиней та міскантуса

Енергетична культура міскантус – це багаторічна трав'яниста рослина. Він демонструє відмінну фотосинтетичну ефективність та відносно низький рівень споживання води. Має дуже низькі вимоги до удобрення ґрунту, морозо- та посухостійкий, володіє високим рівнем засвоєння азоту. Забезпечує удобрення ґрунту, через велику кількість підземної біомаси. Термін існування плантації становить 15-25 років, середній врожай становить 10-15 сух.т/га.

Оскільки рослина невибаглива до ґрунтових умов, рекомендовано вирощувати її на маргінальних або малопродуктивних землях. В Україні таких земель налічується від 3 до 5 млн. га, що виведені з обробки через низьку родючість чи схильність до ерозійних процесів [71].

Розглянемо процес анаеробного зброджування гною свиней та міскантуса. У таблиці 3.5 наведено біохімічну характеристику міскантуса.

Таблиця 3.5 – Біохімічна характеристика міскантуса [72]

Характеристика	Показник, %
Целюлоза	41,70–53,60
Лігнін	20,13–23,81
Пектозани	18,57–25,33

Умови дослідження [73]:

- розмір частинок міскантуса – 2-5 см;
- співвідношення гною свиней до міскантуса становить 16 кг : 2,5 кг;
- робочий об'єм біореактора – 60 л (завантаження сировиною 32,5 кг (10 кг вода)) ;

- температура становила 37 °С (мезофільний режим);
- об'єм виробленого метану та біогазу вимірювали кожен день;
- тривалість досліду – 14 днів.

На рисунку 3.5 зображено залежність зміни концентрації метану, отриманого в процесі анаеробного зброджування гною свиней та міскантуса, протягом 14 днів.

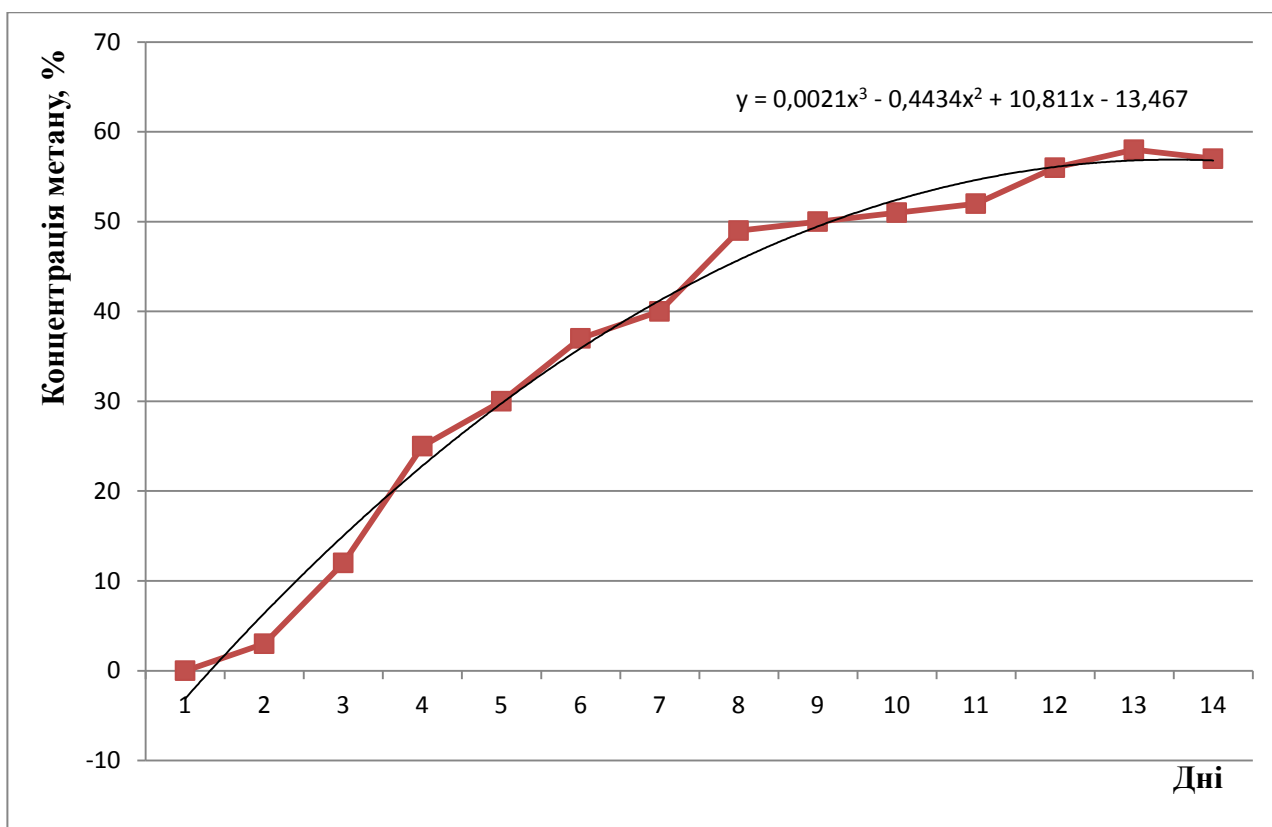


Рисунок 3.5 – Залежність концентрації метану від часу зброджування

На рисунку 3.5 ми бачимо, що в перші дні досліду відбувається затримка початку виробництва біогазу, це відбувається через фазу відставання росту бактерій, необхідну для адаптації клітин до нових умов. Найвища концентрація метану при анаеробному зброджування свинячого гною та міскантуса була на 13 день досліду, та становила 58 %.

На рисунку 3.6 наведено об'єм виробленого біогазу у кожен день досліду.

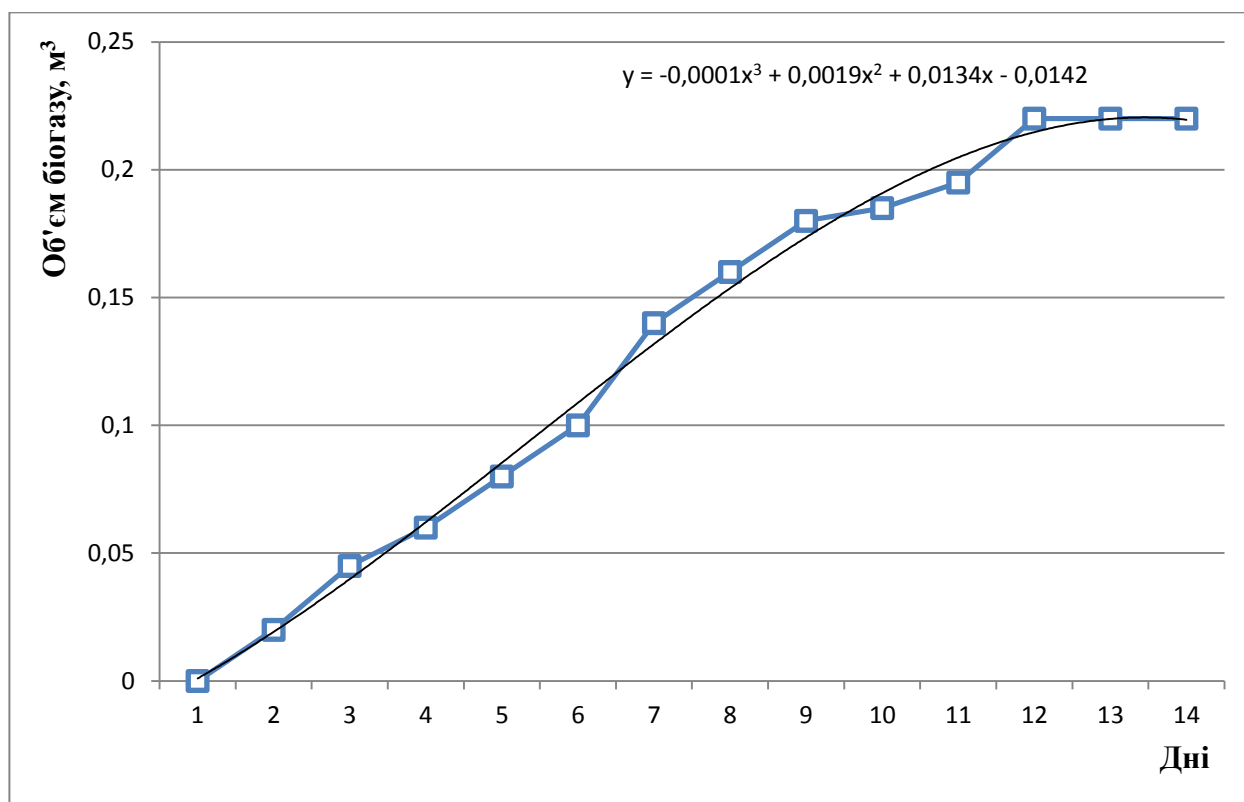


Рисунок 3.6 – Залежність обсягу біогазу від часу зброджування

Найбільший об'єм біогазу при анаеробному зброджуванні свинячого гною та міскантуса утворюється на 12-14 день дослідів і становить 0,220 м³ за добу.

### 3.2.3 Порівняльний аналіз кукурудзи та міскантуса як субстратів при анаеробному зброджуванні з гноєм свиней

Солома кукурудзи та міскантус мають майже однаковий вміст целюлози, як ми можемо побачити з таблиці 3.4 та 3.5, однак у міскантуса вищий вміст лігніну, тому це трохи сповільнює процес ферментації та відповідно утворення біогазу.

Як вже було визначено, найбільша кількість біогазу утворюється при співвідношенні соломи кукурудзи до гною свиней як 1:2, тому порівнюємо ці результати з найвищим показником виходу біогазу, отриманим при анаеробному зброджуванні міскантуса та гною свиней.

Для порівняння доцільно визначити вихід біогазу на 1 кг сировини в обох випадках, оскільки у досліді з міскантусом, робочий об'єм біореактора становив 60 літрів, а з кукурудзою – 1,38 л. Оскільки анаеробне зброджування за участі міскантуса відбувалося при завантаженні 32,5 кг суміші, а найвищий рівень виходу біогазу становив  $0,220 \text{ м}^3$ , то на 1 кг утворювалося  $0,0067 \text{ м}^3$ . У випадку з кукурудзою на 0,89 кг найвищий показник виходу біогазу  $0,00255 \text{ м}^3$ , отже відповідно на 1 кг він буде становити  $0,0028 \text{ м}^3$ . У таблиці 3.6 узагальнено показники порівняння.

Таблиця 3.6 – Показники порівняння

Показник	Сировина	
	Солома кукурудзи + гній свиней	Міскантус + гній свиней
Робочий об'єм біореактора, л	1,38	60
Маса завантаженої сировини, кг	0,89	32,5
Найвищий показник виходу біогазу на всю масу завантаженої сировини, $\text{м}^3$	0,00255	0,220
Найвищий показник виходу біогазу на 1 кг завантаженої сировини, $\text{м}^3$	0,0028	0,0067

Як видно з таблиці вихід біогазу вищий при використанні в якості субстрату міскантуса, а ніж соломи кукурудзи. Звичайно, ці показники не є достатньо точними, оскільки суміш з міскантусом розводили водою, а з соломою ні. Також на вихід біогазу міг вплинути робочий об'єм біореактора, бо у випадку з міскантусом він значно більший. Також у дослідженнях використовуються різні співвідношення гною та рослинної біомаси.

На мою думку, застосування міскантуса в якості субстрату при виробництві біогазу є прекрасною альтернативою кукурудзі. За його участі у процесі анаеробного зброджування вихід біогазу показує високі значення.

Також використання та вирощування міскантуса на території України не тільки покращить стан малопродуктивних земель, на відміну від кукурудзи, а й



залучить в обробіток маргінальні землі, чим позитивно вплине на економічну ситуацію в країні.

Нажаль, енергетичні культури в нашій країні поки можна розглядати як перспективний сировину, оскільки в Україні практично немає енергетичних плантацій, за винятком декількох експериментальних ділянок. Основними перешкодами на шляху створення такої нетрадиційної для України галузі землекористування є недолік науково-практичних досліджень в цьому напрямку. Однак досвід європейських країн показує, що при сприятливій ситуації цей сектор енергетики може розвиватися високими темпами [74].

### Висновки до розділу 3

1. Розглянуто найбільші свинокомплекси України за кількість поголів'я свиней, та існуючі на них біогазові установки. Описано негативний вплив відходів свиноферм на довкілля: викид в повітря аміаку, та інших газів; виникнення ризику забруднення ґрунту, поверхневих та підземних вод бактеріями, патогенними мікроорганізмами, вірусами, паразитами; наявність неприємного запаху.

2. Охарактеризовано свинячий гній як сировину для отримання біогазу: його склад, властивості, залежність вологості від способу його видалення. Визначено, що гній свиней є поганим субстрат для виробництва біогазу при монозброджуванні, оскільки в ньому відсутнє збалансоване співвідношення C/N (надмірний вміст азоту в порівнянні з доступним органічним вуглецем), тому необхідно змішувати його з рослинною сировиною.

3. Визначено переваги сумісного анаеробного зброджування гною свиней та рослинної біомаси.

4. Розглянуто процеси анаеробного зброджування гною свиней з соломою кукурудзи та міскантусом. Визначено, що найкращим співвідношення свинячого гною та соломи кукурудзи є 2:1, найбільший вихід біогазу на 1 кг сировини при цьому спостерігається на 8 день та становить 0,0028 м<sup>3</sup>. У

випадку з використанням міскантуса найбільший вихід біогазу спостерігається на 12-14 день зброджування та становить  $0,0067 \text{ м}^3$  на 1 кг сировини, тобто у 2,4 рази більше, ніж при використанні соломи кукурудзи.

5. Побудовано залежності концентрації метану та обсягу біогазу від часу зброджування при використанні свинячого гною та міскантуса у вигляді поліному 3 степеню, що дає змогу прогнозувати вихід біогазу в біогазових установках.

## **4 РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ «ТЕХНОЛОГІЯ ВИДОБУТКУ БІОГАЗУ»**

Головною ідеєю даного стартап-проекту є впровадження технології виробництва біогазу в біогазових установках з гною свиней з використанням енергетичної рослини – міскантуса в якості субстрату. Впровадження даної технології полягає в заміні існуючих субстратів, таких як сільськогосподарські культури харчового призначення, кормові культури, тощо на міскантус, оскільки його доцільно вирощувати на маргінальних та малопродуктивних землях України. Це призведе до покращення стану земель, екологічної та економічної обстановки в Україні.

### **4.1 Обґрунтування актуальності та новизни інноваційної ідеї стартап-проекту**

Актуальність та новизна ідеї стартап-проекту полягає у використанні енергетичної культури – міскантуса в якості субстрату при виробництві біогазу в біогазових установках з гною свиней.

Швидкий розвиток промисловості призводить до ще більшого забруднення навколишнього середовища. Йому піддаються повітря, вода і ґрунт, який деградує. На забруднених територіях неможливо вирощування культур харчового призначення і обмежене вирощування кормових культур. Ці території потребують рекультивації, в чому може допомогти вирощування міскантуса для енергетичних цілей. Такий спосіб рекультивації призведе до систематичного зниження рівня забруднення території.

Інша загроза докільню з боку промисловості, головним чином паливно-енергетичної, – викиди в атмосферу великої кількості CO<sub>2</sub>. Наслідок цього – збільшення так званого парникового ефекту. У світовому масштабі головним абсорбентом CO<sub>2</sub> є рослини. Вирощування енергетичної рослини – міскантус,

який інтенсивно зв'язує вуглекислий газ і дає високий урожай біомаси, дозволило б значно зменшити емісію CO<sub>2</sub>.

В табл. 4.1 описано переваги застосування міскантуса в якості субстрату при виробництві біогазу з гною свиней та вигоди споживача.

Таблиця 4.1 – Актуальність та новизна ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Переваги та вигоди споживача
Виробництво біогазу з гною свиней з використанням міскантуса в якості субстрату	Використання отриманого біогазу для вироблення електричної енергії	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Покращення стану малопродуктивних земель;</li> <li>– Зниження кількості відходів підприємства;</li> <li>– Виробництво власної теплової енергії та електричної, яку до того ж можна продавати державі за «зеленими тарифами».</li> </ul>
	Використання отриманого біогазу для вироблення теплової енергії	

## 4.2 Аналіз конкурентного середовища

Аналіз конкурентного середовища дозволяє зрозуміти:

- місце нашого проекту в обраному сегменті;
- загрози, які існують або можуть з'явитися;
- переваги вашого продукту перед конкурентами.

На ринку України є невелика кількість компаній, які виготовляють біогаз зі змішаної сировини (відходи тваринництва та рослинна біомаса). Наприклад, компанія «Миронівський хлібопродукт» в якості сировини використовує курячий послід та силос цукрового сорго; ТОВ «Українська молочна компанія» в якості сировини використовує гній ВРХ та силос кукурудзи; ТОВ «Галс Агро» – гній ВРХ та жом цукрових буряків.

Підприємствами конкурентами в даному випадку є ті, які застосовують для виробництва біогазу гній свиней, це свинокомплекс компанії «Даноша» та свиноферми корпорації «Агро-Овен». Переваги ідеї стартап-проекту наведено в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Переваги ідеї проекту

Техніко-економічні характеристики ідеї	Стартап проект (гній свиней + міскантус)	Свинокомплекс компанії «Даноша» (гній свиней)	Свиноферми корпорації «Агро-Овен» (гній свиней)
Технічні (вихід біогазу), л/кг вологої біомаси [75]	80	30	30
Екологічні	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Зменшення кількості відходів (гній свиней);</li> <li>– Використання малопродуктивних земель (при вирощуванні міскантуса);</li> <li>– Зниження рівня парникових газів</li> </ul>	Зменшення кількості відходів (гній свиней)	Зменшення кількості відходів (гній свиней)
Економічні	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Зниження витрат на задоволення власних потреб в електричній та тепловій енергії;</li> <li>– Зниження витрат на утилізацію відходів;</li> <li>– Продаж надлишку ЕЕ, виробленої з біогазу, державі за «зеленим тарифом».</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Зниження витрат на задоволення потреб підприємства в електричній та тепловій енергії;</li> <li>– Зниження витрат на утилізацію відходів.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Зниження витрат на задоволення потреб підприємства в електричній та тепловій енергії;</li> <li>– Зниження витрат на утилізацію відходів.</li> </ul>

SWOT-аналіз – це метод оцінки внутрішніх і зовнішніх факторів, які впливають на розвиток проекту. Ця методика допомагає оцінити сильні і слабкі сторони проекту, знайти нові можливості і визначити можливі загрози [76]. SWOT-аналіз розділяє фактори впливу на проект на чотири категорії, що допомагає оцінити його з усіх боків. Результати SWOT-аналізу даного стартап-проекту узагальнено в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Матриця SWOT-аналізу

Сильні сторони	Слабкі сторони
1. Зменшення кількості відходів свиноферм та вирішення проблеми їх утилізації. 2. Підвищення ефективності виходу біогазу. 3. Можливість застосування технології на існуючих біогазових установках, без заміни обладнання та зміни параметрів. 4. Покращення економічної та екологічної ситуації в країні.	1. В Україні енергетичні культури відсутні в класифікаторі сільськогосподарських культур (створення юридичних проблем для їх виробників). 2. Відсутність державної підтримки при вирощуванні енергокультур (відсутність пільг).
Можливості	Загрози
1. Використання даної технології можливо не лише на свинофермах, а і на будь-яких підприємствах де наявні відходи тваринництва. 2. Залучення інвестицій та утворення нових робочих місць.	1. Небажання підприємств впроваджувати нові технології. 2. Не прийняття законопроектів щодо підтримки виробників енергетичних рослин.

#### 4.3 Обґрунтування ресурсного забезпечення проекту

Для забезпечення проекту необхідне використання наступних ресурсів:

- матеріальних – солома міскантуса;
- капітальних – витрати на придбання міскантуса, та його доставку до підприємства;
- трудових – персонал, який обслуговує біогазові установки;
- інтелектуальних – наукову інформацію щодо виробництва біогазу з гною свиней з використанням міскантуса.

#### 4.4 Ключові види діяльності та ключові партнери

У таблиці 4.4 наведено короткий опис видів діяльності за допомогою який буде досягнута мета проекту.

Таблиця 4.4 – Ключові види діяльності

Назва діяльності	Опис діяльності	Результат діяльності
Придбання міскантуса	Підписання угод на купівлю та доставку соломи міскантуса з підприємствами, які займаються вирощуванням енергетичних культур	Наявність сировини, яка готова до використання в біогазових установках
Виробництво біогазу	Завантаження в біогазову установку гною свиней та міскантуса	Отримання біогазу
Виробництво електричної та теплової енергії	Утворена електрична та теплова енергія використовується на потреби підприємства. Залишок електричної енергії продається державі за «зеленим тарифом»	Підприємство отримує додатковий прибуток та скорочує свої витрати
Керування процесом виробництва	Управління всіма видами робіт, моніторинг роботи біогазової установки, оплата праці персоналу	Ефективна робота установки, злагоджена робота персоналу

У таблиці 4.5 наведено ключових партнерів, як постачальників необхідних ресурсів.

Таблиця 4.5 – Ключові партнери

Інформація	Партнер 1	Партнер 2
Назва організації-партнера	ТОВ «Агро-Овен»	ТОВ «Енерго-Аграр»
Місце розташування	м. Дніпро, вул. Набережна Леніна, 53	Київська обл., с.Старі Петрівці, вул.Польова,5
Юридичний статус	Юридична особа	Юридична особа
Офіційна адреса	51100, Дніпропетровська обл., смт. Магдалинівка, вул. Радянська, 2	07353, Київська обл., с. Старі Петрівці, вул. Польова, 5
Контактна особа	Віктор Петрович Заворотній	Чернишов Віталій Валерійович
Телефон	+ 38 (056) 233-45-91	+38(063) 205-07-77
Електронна адреса	infomanager@agrooven.com.ua	office@miscanthus-ukraine.com
Роль та залученість до цього проекту	Ключова	Постачання необхідних матеріалів
Завдання, які покладаються на організацію партнера в реалізації проекту	Постачання гною свиней та забезпечення біогазовою установкою	Постачання соломи міскантуса

#### 4.5 Фінансове обґрунтування стартап-проекту

Обґрунтування необхідних витрат для реалізації стартап-проекту передбачає їх класифікацію за п'ятьма економічними елементами [77]:

- прямі матеріальні затрати;
- прямі затрати на оплату праці;
- соціальні відрахування до пенсійного фонду;
- амортизація основних фондів та нематеріальних активів для власного виробничого призначення;
- інші прямі витрати;
- загальновиробничі витрати.

#### 4.5.1 Прямі матеріальні витрати

До прямих матеріальних витрат відносять витрати на сировину, основні і допоміжні матеріали, покупні напівфабрикати, енергію та інші матеріальні ресурси, використані безпосередньо в процесі виробництва продукції [78]. У таблиці 4.6 наведено прямі матеріальні витрати, які використовуються в даному стартап-проекті.

Таблиця 4.6 – Прямі матеріальні витрати

Назва ресурсу	Одиниця вимір.	Ціна	Кількість ресурсу	Потреба на місяць	Потреба на рік
Солома міскантуса*	грн/м <sup>3</sup>	60	40 т/день	257 400 грн	3 088 800 грн
Доставка**	грн/км	23	436 км/день	300 840 грн	3 610 080 грн
Всього:				558 240 грн	6 698 880 грн

\* Об'єм тюка міскантуса становить 1 м<sup>3</sup>, щільність тюків – 280 кг/м<sup>3</sup>, тому для забезпечення 40 т необхідно 143 м<sup>3</sup> (143 тюки в день).

\*\* Доставка дорівнює 23 грн/ км, відстань з села Нові Петрівці до смт. Магдалинівка становить 436 км. На разі на ринку України представлено лише одну компанію, яка продає міскантус, коли з'являться інші представники, які будуть розташовані ближче, вартість доставки може бути знижена.



#### 4.5.2 Витрати на оплату праці

Для моніторингу роботи біогазової установки потрібно 2 людини на добу, які працюють по 12 годин. Форма оплати праці погодинна. Мінімальна заробітна плата станом на листопад 2020 року становить 4723 грн, а мінімальна тарифна ставка 28,31 грн. [79].

Пряма погодинна система оплати праці обчислюється за формулою:

$$ЗП_{погод}^{пряма} = ТС \times t, \text{ грн.}$$

де  $t$  – кількість відпрацьованих працівником годин, год;

ТС – тарифна ставка оплати праці, грн/год.

$$ЗП_{погод}^{пряма} = 28,31 \times 12 = 337,4 \text{ грн.}$$

Отже, витрати на оплату праці одного працівника становлять 337,4 грн за день, для двох – 674,8 грн. Витрати за оплату праці за місяць становлять 20244 грн.

#### 4.6 Обґрунтування собівартості інноваційної ідеї стартап-проекту

Розрахунок собівартості інноваційної ідеї стартап-проекту наведено в табл 4.7. У собівартість включено прямі матеріальні витрати, та витрати на оплату праці.

Таблиця 4.7 – Обґрунтування собівартості товару

Статті витрат	Джерела даних	Витрати, грн		
		На місяць	На квартал	На рік
Собівартість	Прямі матеріальні витрати (табл.4.6) + оплата праці	578 484	1 735 452	6 941 808

#### 4.7 Обґрунтування рівня рентабельності

Рівень рентабельності ідеї обчислюється за формулою:

$$N_{\text{пр.}} = \frac{\Pi}{ВВ} * 100\%$$

де  $\Pi$  – прибуток підприємства;

$ВВ$  – валові витрати.

Прибутком ТОВ «Агро-Овен» є зекономлені кошти на оплату електричної та теплової енергії для задоволення власних потреб, таких як обігрів свинарників та адміністративних будівель, забезпечення роботи установки. Під час переробки підприємством лише гною свиней дві когенераційні установки виробляють щодня 160 кВт електроенергії та 240 кВт теплової енергії за годину, вихід біогазу становить 3300 м<sup>3</sup>/добу. Річне виробництво електроенергії становить 57,6 МВт, а теплової енергії – 1782,97 Гкал.[80].

Тариф на послуги з передачі електричної енергії, що діє з 01 серпня 2020 року дорівнює 240,23 грн/МВт\*год., тариф на теплову енергію – 1251,92 грн. Отже за рік підприємство економить 13 837,2 грн на електричній енергії, та 2 232 135,8 грн на тепловій енергії. Всього економія в рік становить – 2 245 973 грн.

При використанні нової технології виробництва біогазу з застосування міскантуса в якості субстрату вихід біогазу може збільшитися на 10-25%, в залежності від співвідношення гною та міскантуса. Отже зросте і виробництво теплової та електричної енергії. При збільшенні виробництва біогазу на 21 % економія від впровадження нової технології становить 2 722 156,89 грн.

Рентабельність проекту становить:

$$N_{\text{пр.}} = \frac{2\,722\,156,89}{6\,941\,808} * 100\% = 39,2 \%$$

#### 4.8 Цільові групи потенційних споживачів

Ідея стартап-проекту може бути запропонована наступним цільовим групам (табл.4.8).

Таблиця 4.8 – Вибір цільових груп потенційних споживачів

Опис цільової групи потенційних клієнтів	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
Свиноферми	Високий	Низька	Легко
Ферми ВРХ	Високий	Середня	Легко
Пташині фабрики	Високий	Низька	Легко

Стратегією охоплення ринку обрано концентрований маркетинг, оскільки ідея стартап-проекту зосереджена на сегменті ринку, який виробляє відходи тваринництва. Обраний сегмент ринку передбачає розроблення базової стратегії розвитку (табл.4.9).

Таблиця 4.9 – Визначення базової стратегії розвитку

Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентні позиції відповідно до обраної стратегії
Ринкові можливості посилення ідеї стартап-проекту	Концентрований маркетинг	Підвищення виходу біогазу, зменшення витрат на електричну та теплову енергію, підтримка ринку енергетичних культур

#### 4.9 Канали збуту

Канал збуту – система розподілу товарів, що складається з фірм, що беруть участь в покупці, переміщенні і продажу товарів в міру їх просування від виробника до споживача.

У випадку даного стартап-проекту каналом збуту є продаж надлишку електричної енергії, виробленої з біогазу державі (табл. 4.10).

Таблиця 4.10 – Формування системи збуту

Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Оптимальна система збуту
Збут надлишку виробленої електричної енергії в загальні електромережі за «зеленим тарифом»	Має підключити свої потужності з вироблення електричної енергії до загальної мережі	Традиційна

#### 4.10 Бізнес-модель проекту

Бізнес-модель стартап-проекту – це компактне, спрощене уявлення про бізнес, джерела його доходів і створенні вигоди для користувачів [81].

В таблиці 4.11 наведено структуру бізнес-моделі інноваційної технології.

Таблиця 4.11 – Структура бізнес моделі технології

<u>Ключові партнери</u>	<u>Ключові види діяльності</u>	<u>Цінність пропозиції</u>	<u>Взаємовідносини з клієнтами</u>	<u>Споживачі сегменти</u>
ТОВ «Енерго-Аграр» ТОВ «Агро-Овен»	Виробництво біогазу з гною свиней з використанням міскантуса в якості субстрату	Підвищення виходу біогазу; зменшення відходів ферми; зменшення витрат на електричну та теплову енергію; підтримка ринку енергетичних культур	Дотримання всіх домовленостей, термінів поставок. Надання якісних послуг. Відповідність та дотримання всіх норм та законів у сфері природоохоронної діяльності.	Свиноферми, ферми ВРХ, птишині фабрики
	<u>Ключові ресурси</u> Матеріальні: солома міскантуса. Фінансові: витрати на закупівлю міскантуса та його доставку до підприємства. Трудові: персонал, який обслуговує біогазові установки.		<u>Прямий канал збуту</u> Збут надлишку виробленої електричної енергії в загальні електромережі за «зеленим тарифом»	

## Продовження таблиці 4.11

<u>Структура собівартості</u>	<u>Потоки надходження доходу</u>
Постійні витрати: 578 484 грн/міс	Кошти, які підприємство економить на електричній та тепловій енергії, для задоволення власних потреб та кошти від продажу електроенергії державі за «зеленими тарифами»

## 4.11 Аналіз ризиків стартап-проекту

До ризиків, які можуть торкнутися даного стартап-проекту при його реалізації відносяться:

- фінансові: відсутність коштів у підприємств для запровадження нової технології;
- логістичні: неефективна система постачання сировини (міскантуса), через малу кількість на ринку України виробників енергетичних культур.
- інноваційні: виробництво відновлюваних джерел енергії зараз набуває популярності, і дуже швидко можуть з'явитися конкуренти, які запропонують кращі технології, ефективніші або дешевші.
- політичні: проблеми законодавства у сфері виробництва енергетичних культур, які гальмують розвиток ринку енергокультур.
- виробничі: несправність обладнання біогазової установки, яке призведе до зниження планованих обсягів виробництва.

## 4.12 Оцінка ефективності впровадження стартап-проекту та пропозиції інвестору

Термін окупності  $T_{ок}$  – період, за який інвестиції окупаються за рахунок збільшення прибутку, або економії річних експлуатаційних витрат [78]:

$$T_{ок} = \frac{K}{\Delta \Pi_r}$$

Термін окупності даного стартап-проекту становить:

$$T_{\text{ок}} = 6\,698\,880 / 2\,722\,156,89 = 2,46 \text{ роки}$$

Коефіцієнт ефективності  $E$  – це відношення приросту прибутку до капіталовкладень, які викликали цей приріст [78]:

$$E = \frac{\Delta \text{Пр}}{K} = \frac{1}{T_{\text{ок}}} = \frac{1}{2,46} = 0,40$$

#### Висновки до розділу 4

Ринкова комерціалізація проекту можлива, бо наявний високий попит, оскільки в Україні існує велика кількість свиноферм, які можуть свої відходи перетворити в прибуток, та багато малопродуктивних земель, на яких можна вирощувати міскантус. Рентабельність проекту становить 39,2 %.

З огляду на потенційних груп клієнтів: свиноферми, ферми ВРХ та птахофабрики виробництво біогазу з відходів тваринництва та міскантуса є перспективним, оскільки конкуренція низька, і бар'єри входження також.

Для ринкової реалізації доцільно обрати стратегією охоплення ринку – концентрований маркетинг, оскільки ідея стартап-проекту зосереджена на сегменті ринку, який виробляє відходи тваринництва.

У таблиці 4.12 наведено підсумки підготовки інноваційного стартапу та узагальнюючі техніко-економічні показники.

Таблиця 4.12 – Узагальнюючі техніко-економічні показники

Показники	Значення
Річний випуск продукції, од.	69,8 МВт електричної енергії 2160,95 Гкал теплової енергії
Капіталовкладення, грн.	6 698 880
Собівартість продукції, тис. грн.	6 941 808

Проводження таблиці 4.12

Показники	Значення
Ціна продукту, грн	240,23 грн/МВт*год – ЕЕ 1251,92 грн/Гкал – теплова енергія
Прибуток, тис. грн.	2 722 156,89
Рентабельність, %	39,2
Коефіцієнт економічної ефективності	0,40
Період повернення капіталовкладень, років	2,46

## ВИСНОВКИ

1. У роботі розглянуто тенденції виробництва біогазу в світі. Визначено, що лідерами є країни Європи (Німеччина, Великобританія, Італія, Чехія Франція), в яких більшу частину сировини для виробництва біогазу складають рослинні культури та гній тварин, Китай – сировина: гній тварин та тверді побутові відходи та США – сировина: тверді побутові відходи.

2. Проаналізовано стан виробництва біогазу в Україні та перспективні напрямки розвитку. Встановлено, що станом на 2020 рік в країні працює лише 51 біогазовий комплекс, із загальною встановленою потужністю 97 МВт.

3. Проаналізовано чотири фази процесу анаеробного зброджування. Виявлено, що основними чинниками, які впливають на процес утворення біогазу є: концентрація водневих іонів, температура, співвідношення вуглецю та азоту, розмір частинок субстрату. Розглянуто схему біогазової установки, її принцип роботи, технології виконання основного обладнання, та методику технологічного розрахунку біогазової установки, за допомогою якої можна встановити її раціональні параметри.

4. Охарактеризовано гній свиней як сировину для отримання біогазу: його склад, властивості, залежність вологості від способу його видалення. Визначено, що гній свиней є поганим субстрат для виробництва біогазу при монозброджуванні, що викликає необхідність змішувати його з рослинною біомасою. Встановлені переваги сумісного анаеробного зброджування.

5. Розглянуто процеси анаеробного зброджування гною свиней з соломою кукурудзи та міскантусом. Визначено, що найкращим співвідношення свинячого гною та соломи кукурудзи є 2:1, найбільший вихід біогазу на 1 кг сировини при цьому спостерігається на 8 день та становить  $0,0028 \text{ м}^3$ . У випадку з використанням міскантуса найбільший вихід біогазу спостерігається на 12-14 день зброджування та становить  $0,0067 \text{ м}^3$  на 1 кг сировини, тобто у 2,4 рази більше, ніж при використанні соломи кукурудзи.



6. Побудовано залежності концентрації метану та обсягу біогазу від часу зброджування при використанні свинячого гною та міскантуса у вигляді поліному 3 степеню, що дає змогу прогнозувати вихід біогазу в біогазових установках.

7. Розроблено стартап-проект технології виробництва біогазу з гною свиней та міскантуса. Визначено, що ринкова комерціалізація проекту можлива, оскільки в Україні існує велика кількість свиноферм, які можуть свої відходи перетворити в прибуток. З огляду на потенційні групи клієнтів та низьку конкуренцію даний стартап є перспективним. Рентабельність проекту – 39,2 %. Термін повернення капіталовкладень становить 2,46 роки.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Майстренко А. Ю., Курис Ю. В., Власенко В. Н. Эффективность способов повышения получения биоэнергетического топлива. *Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит*. 2010. № 4(74). С. 48-55.
2. Салова Т. Ю., Громова Е. А. Способ получения возобновляемых энергетических ресурсов. *Современные материалы, техника и технология: материалы 4-й Международной научно-практической конференции*. 2014. С.80-85.
3. МЭА. Производство биогаза по регионам и типам сырья. Париж. 2018. URL: <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts>
4. Eurostat. Products Catalogues. 2017. URL: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-catalogues>
5. American biogas council. Operational biogas systems in the U.S. 2017. URL: <https://www.americanbiogascouncil.org/>
6. EBA. Statistical Report 2019. URL: <https://www.europeanbiogas.eu/eba-statistical-report-2019/>
7. Adib R. Renewables: 2015 Global status report. Paris, France. 2015. P. 162.
8. Jingming L. The future of Biogas in China. *China Biogas Society Berlin Germany*. 2014. URL: [https://www.dbfz.de/fileadmin/user\\_upload/Vortraege/BiogasWorld2014/02\\_Jiming.pdf](https://www.dbfz.de/fileadmin/user_upload/Vortraege/BiogasWorld2014/02_Jiming.pdf)
9. Statistics R. C. International Renewable Energy Agency (IRENA). 2016. URL: <https://www.irena.org/publications/2016/Jul/Renewable-Energy-Statistics-2016>
10. Ministry of new and renewable energy. Renewable energy for rural applications, annual report 2013-2014. 2014. URL: <http://mnre.gov.in/file-manager/annual-report/2013-2014/EN/rerp.html>
10. Vögelı Y., Lohri C. R., Gallardo A., Diener S., Zurbrügg C. Anaerobic digestion of biowaste in developing countries. *Eawag/Sandec*. 2014. URL:

[https://www.researchgate.net/publication/264727438\\_Anaerobic\\_Digestion\\_of\\_Biowaste\\_in\\_Developing\\_Countries\\_-\\_Practical\\_Information\\_and\\_Case\\_Studies](https://www.researchgate.net/publication/264727438_Anaerobic_Digestion_of_Biowaste_in_Developing_Countries_-_Practical_Information_and_Case_Studies)

11. Rakotojaona L. Domestic biogas development in developing countries. 2013. URL: [https://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig\\_q=RN:47009658](https://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig_q=RN:47009658)

12. Kapoor R., Vijay V. D. Evaluation of existing low cost gas bottling systems for vehicles use adaption in developing economies. 2013.

13. Marro P., Bertsch N. Making renewable energy a success in Bangladesh: getting the business model right. 2015.

14. Austin G., Morris G. Biogas production in Africa. Bioenergy for sustainable development in Africa. Springer, Dordrecht. 2012. P. 103-115.

15. Clemens H., Bailis R., Nyambane A., Ndung'u V. Africa biogas partnership program: A review of clean cooking implementation through market development in East Africa. *Energy for Sustainable Development*. 2018. № 46. P. 23-31.

16. Van Nes W. J., Nhete T. D. Biogas for a better life: An African initiative. *Appropriate Technology*. 2007. № 34(4). P. 58.

17. F. ter Heegde, K. Sonder Biogas for better life. An African initiative: domestic biogas in Africa; a first assessment of the potential and need. 2007. P. 1-17.

18. Gustafsson M., Ammenberg J., Murphy J. D. IEA Bioenergy Task 37—country reports summaries 2019. URL: [http://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2015/01/IEA-Bioenergy-Task-37-Country-Report-Summary-2014\\_Final.pdf](http://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2015/01/IEA-Bioenergy-Task-37-Country-Report-Summary-2014_Final.pdf)

19. United States Environmental Protection Agency (US EPA). AgStar Program biogas recovery in the agriculture sector. 2017. URL: <https://www.epa.gov/agstar>

20. United States Environmental Protection Agency (US EPA). Landfill methane outreach program: basic information. 2017. URL: <https://www.epa.gov/agstar>

21. Гелету́ха Г. Г., Кучеру́к П. П., Матвеев Ю. Б., Хо́даковская Т. В. Перспективы производства биогаза в Украине. Возобновляемая энергетика. 2011. №3. С. 73-77.

22. Биогаз Украины. Текущая ситуация и туманные перспективы. 2019. URL: <https://thepage.ua/experts/biogaz-ukrainy-tekushaya-situaciya-i-tumannye-perspektivy>
23. Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України. Презентація "Пропозиції для законодавчої підтримки виробництва і споживання біометану в Україні". 2020. URL: [https://saee.gov.ua/sites/default/files/Biomethane\\_SAEЕ\\_29\\_09\\_2020.pdf](https://saee.gov.ua/sites/default/files/Biomethane_SAEЕ_29_09_2020.pdf)
24. Гелетуха Г. Г., Кучерук П. П., Матвеев Ю. Б. Перспективы производства и использования биогаза в Украине. Аналитическая записка БАУ 2013. №4.
25. Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України. Потенціал біоенергетики при заміщенні природного газу. 2020. URL: <https://saee.gov.ua/uk/documents/3528>
26. Treichel H., Fongaro G. Improving biogas production: Technological challenges, alternative sources, future developments. *Biofuel and biorefinery technologies*. Cham, Switzerland. 2019.
27. Mudhoo A. Anaerobic digestion: pretreatments of substrates. *Biogas production: pretreatment methods in anaerobic digestion*. New Jersey. 2012. P. 199-212.
28. Tabatabaei M., Ghanavati H. Biogas: fundamentals, process, and operation. 2018. № 6. P. 135-140.
29. Abbasi T., Tauseef S. M., Abbasi, S. A. Biogas energy. *Springer science and business media*. 2011. № 2.
30. Daniels L. Biological methanogenesis: physiological and practical aspects. *Trends biotechnol.* 1984. № 2. P. 91-98.
31. Панцхава Е.С. Применение метанового брожения для очистки сточных вод. *Микробиология очистки воды*. Киев. 1982. С. 167-168.
32. Дубровский В. С., Виестур У. Э. Метановое сбраживание сельскохозяйственных отходов. Рига: Зинатне, 1988.

33. Zeikus I.G. Microbial populations in digesters. Proc. 1st Intern, symp. on anaerobic digestion. Amsterdam. 1982. P. 61-87.
34. Rapport J., Zhang R., Jenkins B.M., Williams R.B. Current anaerobic digestion technologies used for treatment of municipal organic solid waste. Contractor report to the california integrated waste management board. Department of biological and agricultural engineering, University of California: Davis. 2008.
35. Winfrey M. R., Zeikus J. G. Effects of sulfate on carbon and electron flow during microbial methanogenesis in freshwater sediments . *Environmental Microbiol.* 1977. № 33. P. 275-281.
36. Viessman W.Jr., Hammer M.J. Water supply and pollution control. New York: Harper collins college publishers. 1993. P. 513-679.
37. Weiland P. Biogas production: Current state and perspectives. *Applied microbiology and biotechnology.* 2010. P. 849-860.
38. Choorit W., Wisarnwan P. Effect of temperature on the anaerobic digestion of palm oil mill effluent. *Electronic journal of biotechnology.* 2007. № 10. P. 376-385.
39. Kumar S. Biogas. Croatia. 2012. URL: [www.intechopen.com/books/biogas](http://www.intechopen.com/books/biogas)
40. Kigozi R., Muzenda E., Aboyade A.O. Biogas technology: Current trends, opportunities and challenges. *Renewable energy and environmental engineering.* 2014. P. 311-317.
41. Maciejewska A.K., Veringa H., Sanders J.P., Peteves S.D. Co-firing of biomass with coal: constraints and role of biomass pretreatment. *Office for official publications of the european communities.* 2006.
42. Kahaynian M., Lindenauer K., Hardy S., Tchobanoglous G. Two-stage process combines anaerobic and aerobic methods. *Biocycle.* 1991. № 32. P. 48-53.
43. Igoni A.H., Ayotamuno M.J., Eze C.L., Probert S.D. Designs of anaerobic digesters for producing biogas from municipal solid-waste. *Applied energy.* 2008. №85. P. 430-438.
44. Chozhavendhan S., Gnanavel G., Karthiga D.G., Subbaiya R., Bharathiraja B. Enhancement of feedstock composition and fuel properties for biogas production.

Biomass valorization to bioenergy. *Energy, environment, and sustainability*. Singapore. 2020. P. 113-131.

45. Mshandete A., Bjornsson L., Kivaisi A.K., Rubindamayugi M.S., Mattiasson B. Effect of particle size on biogas yield from sisal fibre waste. *Renewable Energy*. 2006. № 31. P. 2385-2392.

46. Sharma S.K., Mishra I.M., Sharma M.P., Saini J.S. Effect of particle size on biogas generation from biomass residues. *Biomass*. 1988. № 17. P. 251-263.

47. Биогазовые станции. Схема биогазовой установки. URL: <http://www.eeb.com.ua/biogaz/sxema-biogazovoj-ustanovki/>

48. Добрынина О. М., Калинина Е. В. Технологические аспекты получения биогаза. *Вестник Пермского государственного технического университета. Охрана окружающей среды, транспорт, безопасность жизнедеятельности*. 2010. С. 33-40.

49. Веденев А. Г. Руководство по биогазовым технологиям: учебник / А. Г. Веденев, Т. А. Веденева. Бишкек : ДЭМИ. 2011. С. 84.

50. Караева Ю. В. Обзор биогазовых технологий и методов интенсификации процессов анаэробного сбраживания. *Труды Академэнерго*. 2010. №3. С.109-127.

51. Гюнтер Л.И. Метантенки: учебник. М: Стройиздат. 1991. С. 128.

52. Ахмедов Р. Б. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: учебник. Москва: Знание. 1988. С. 46.

53. Ключков А. В., Пузевич К. Л., Крупенин П. Ю. Основы энергосбережения. Производство и использование биогаза: методические указания по выполнению практической работы. Горки : БГСХА. 2019. С. 32.

54. Latifundist.com Головный сайт про агробізнес. Топ-15 свинокомплексів України. URL: <https://latifundist.com/rating/top-15-svinokompleksov-ukrainy-v-2019-g>

55. Біоенергетика. Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження. URL: <https://saee.gov.ua/ae/bioenergy>

56. Руководство по охране окружающей среды, здоровья и труда для животноводческого производства. Руководство по подготовке проекта руководства по ОСЗТ для промышленного сектора. 2007. С. 3-4.

57. Эволюция свинофермы или биогаз и электричество из навоза. Зерно – журнал сучасного агропромисловця. URL: <https://www.zerno-ua.com/journals/2010/oktyabr-2010-god/evolyuciya-svinofermy-ili-biogaz-i-elektrichestvo-iz-navoza/>

58. О применении трансформаторов SEA SpA в биоэнергетике. SEA Инновации и эффективность. URL: <https://www.sea.com.ua/oborudovanie-dlya-energetiki/news/o-primenenii-transformatorov-sea-spa-v-bioenergetike/>

59. Дубровский В. С. Анаэробная переработка навозных стоков на свиноводческих комплексах с получение биогаза. Автореф. дисс. на соиск. учен. степен. канд. техн. наук. Елгава. 1987. с. 18.

60. Пузанков А. Г. Метод биологической обработки сельскохозяйственных отходов. *Мех. и эл. сельского хозяйства*. 1987. № 11. С. 56-57.

61. Ермоленко В. Технология подготовки навозных стоков к использованию. *Свиноводство*. 1989. №2. С. 33-35.

62. Эдер Б., Шульц Х. Биогазовые установки. Практическое пособие. 1996. 268 с. URL: <http://www.zorg-biogas.com>.

63. Ковалев Н., Матяш И., Смирнов П. О составе и свойствах навоза, получаемого на свинокомплексах. *Свиноводство*. 1981. №10. С. 3-33.

64. Mata-Alvarez J., Macé S., Llabres P. AD of organic solid wastes. An overview of research achievements and perspectives. *Bioresource Technology*. 2000. № 74. P. 3-16.

65. Brummeler E. T., Koster I. W. Enhancement of dry anaerobic batch digestion of the organic fraction of municipal solid waste by an aerobic pretreatment step. *Biological Wastes*. 1990. №. 31. P. 199 – 210.

66. Campos E., Palatsi J., Flotats X. Co-digestion of pig slurry and organic wastes from food industry. *Proceedings of the Second international symposium on anaerobic digestion of solid waste*. 1999. № 2. P. 192 – 195.

67. Lehtomaki A., Huttunen S., Rintala J.A. Laboratory investigation on codigestion of energy crops and crop residues with cow manure for methane production: effect of crop to manure ratio. *Resour Conserv Recycl.* 2007. №51. P. 591-609.

68. Sekhon R. S., Breitzman M. W., Silva R. R., Santoro N., Rooney W. L., de Leon N., Kaeppler S. M. Stover composition in maize and sorghum reveals remarkable genetic variation and plasticity for carbohydrate accumulation. *Frontiers in plant science.* 2016. № 7. 822 p.

69. Spyridon M., Keri B. C., Francisco J. A., Kipling S. B., Jeff M. N., James R. F. Carbohydrate and nutrient composition of corn stover from three southeastern USA locations. *Biomass Bioenergy.* 2016. № 85. P. 153–158.

70. Haipeng Wang, Teng Teeh Lim, Cuong Duong, Wei Zhang , Congfeng Xu, Lei Yan, Zili Mei and Weidong Wang. Long-term mesophilic anaerobic co-digestion of swine manure with corn stover and microbial community analysis. *Microorganisms.* 2020. № 8(2). 17 p.

71. Planting and growing miscanthus. Best practice guidelines. URL: <http://adlib.eversite.co.uk/resources/000/023/838/miscanthus-guide.pdf>

72. Гисматулина Ю. А. Сравнительный химический состав пяти урожаев мискантуса сорта сорановский: растение в целом, лист, стебель. *Успехи современного естествознания.* 2016. № 4. С. 23-26.

73. Moiceanu G., Voicu G., Ferdeş M., Paraschiv G., Dincă M. N., Vlăduţ V., Chiţoiu M. Comparative study on biogas production using cow and swine manure mixed with *Miscanthus x giganteus* as substrate. *Romanian Biotechnological Letters.* 2016. № 21(5). P. 11968-11973.

74. Долинский А. А. Энергоплантации: барьеры и компромиссы. *Энергия из биомассы: материалы VI междунар. конф.* Киев. 2008. URL: <http://www.biomass.kiev.ua/conf 2008>

75. Цавкелова Е. А., Нетрусов А. И. Получение биогаза из целлюлозосодержащих субстратов. *Прикладная биохимия и микробиология.* 2012. том 48, № 5, С. 469–483.



76. Genius Marketing. SWOT-Анализ. URL: <https://geniusmarketing.me/lab/swot-analiz-5-glavnyx-pravil-kotoryx-stoit-priderzhivatsya/>

77. Положення (стандарт) бухгалтерського обліку 16 «Витрати» зі змінами і доповненнями, внесеними наказом Міністерства України від 11.12.2006 р. № 1176.

78. Круш П. В., Шевчук Н. А., Андрусь О.І. Стартап-проект: Рекомендації до виконання розділу магістерської дисертації «Розроблення стартап-проекту»: навч. посібник для студ. спеціальностей: 101 «Екологія», 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», 144 «Теплотехніка», спеціалізацій: «Інженерна екологія та ресурсозбереження», «Інжиніринг електротехнічних комплексів», «Електромеханічні та мехатронні системи енергоємних виробництв», «Системи електропостачання», «Енергетичний менеджмент та енергоефективність» «Енергетичний менеджмент та інжиніринг». КПІ ім. Ігоря Сікорського. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського. 2019. 50 с.

79. EBS. Мінімальна заробітна плата і прожитковий мінімум у 2020 році. URL: <https://www.ebskiev.com/uk/minimalna-zarobitna-plata-i-prozhitkovij-minimum-u-2020-rotsi/>

80. Сокрут О. В., Чернявський С. Є. Використання різних компонентів органічної сировини для біогазових установок. Бюлетень Інституту сільського господарства степової зони. 2014. № 6. С. 146-150.

81. Венчурный Акселератор. Какие бизнес-модели существует и как выбрать подходящую твоему стартапу. URL: <https://1va.vc/webinars/kakie-biznes-modeli-suschestvuet-i-kak-vybrat-podhodyaschuyu-tvoemu-startapu.html>