

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

Інститут енергозбереження та енергоменеджменту

Кафедра інженерної екології

«На правах рукопису»

УДК 636.03:631.371

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ Ткачук К.К.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

« ____ » _____ 2019 р.

Магістерська дисертація

зі спеціальності (спеціалізація) 101 «Екологія», Інженерна екологія та
ресурсозбереження

на тему: Застосування відходів виробництва продукції птахівництва для
отримання біогазу

Виконала: студентка 2 курсу, групи ОЗ-81мп

_____ Столбова Катерина Сергіївна

(прізвище, ім'я, по батькові)

_____ (підпис)

Науковий керівник _____ професор, д.т.н., проф. Ремез Н.С.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

Консультант стартап-проекту _____ доц., к.т.н Шевчук Н.А.

(назва розділу) (науковий ступінь, вчене звання, , прізвище, ініціали)

_____ (підпис)

Рецензент _____ професор, д.т.н., проф. Зуєвська Н.В.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

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

Студент _____

(підпис)

Київ – 2019

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»

Інститут/факультет Інститут енергозбереження та енергоменеджменту
(повна назва)
 Кафедра Інженерної екології
(повна назва)
 Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою
 Спеціальність 101 Екологія
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Ткачук К.К.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

«__» _____ 2019 р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

_____ Столбовій Катерині Сергіївні

1. Тема дисертації Застосування відходів виробництва продукції птахівництва для отримання біогазу
 науковий керівник дисертації професор, д.т.н Ремез Наталя Сергіївна
 затверджені наказом по університету від «04» листопада 2019 р. № 3814-с
2. Строк подання студентом дисертації 13.12.2019 р.
3. Об'єкт дослідження процес отримання біогазу при застосуванні відходів виробництва продукції птахівництв
4. Предмет дослідження вихід та склад біогазу залежно від співвідношення між послідом та паперовими відходами при сумісному метановому бродінню
5. Перелік завдань, які потрібно розробити огляд літератури щодо проблеми утилізації курячого посліду на птахофермах; аналіз технології використання та

принцип роботи біогазових установок; впровадження нового способу застосування відходів виробництва продукції птахівництва для отримання біогазу; розробка стартап проекту.

6. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу 10 рисунків, 14 таблиць, 12 формул

7. Орієнтовний перелік публікацій стаття у збірнику матеріалів II Науково-технічної конференції магістрантів ІЕЕ (за результатами дисертаційних досліджень магістрантів)

8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Стартап-проект «Впровадження технології видобутку біогазу з курячого посліду з використанням паперових відходів»	Шевчук Н.А.		
Нормоконтроль	Репін М.В.		

9. Дата видачі завдання «02» вересня 2019 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1.	Огляд літератури щодо проблеми утилізації курячого посліду на птахофермах	09.09-22.09.2018	Виконано
2.	Аналіз технології використання та принцип роботи біогазових установок	23.09-06.10.2018	Виконано
3.	Вивчення методів та методик визначення характеристик субстратів та показників виходу біогазу	07.10-27.10.2018	Виконано
4.	Встановлення залежностей одержання біогазу при метановому зброджуванні пташиного посліду та відходів кукурудзи; пташиного посліду та паперових відходів	28.10-24.11.2018	Виконано
5.	Розробка стартапу	25.11-12.12.2018	Виконано

Студент

_____ Столбова К.С.
(підпис)

Науковий керівник дисертації

_____ Ремез Н.С.
(підпис)

РЕФЕРАТ

Обсяг магістерської дисертації – 70 сторінок. Кількість ілюстрацій – 10. Кількість таблиць – 14. Кількість джерел згідно з переліком посилань – 69.

Актуальність теми. Створення великих птахофабрик на промисловій основі викликає значні порушення екологічної рівноваги. В даний час у світовій практиці для утилізації посліду отримали досить широке поширення біогазові установки. Україна перебуває на початковому етапі запровадження відновлюваних джерел енергії, недостатньо вивченими є науково-технічні та економічні проблеми виробництва і використання біогазу. Серйозним сповільненням впровадження біогазових установок в сільське господарство України є їх відносно низька ефективність при виробництві біогазу. Через те, що основним субстратом для більшості біогазових установок є силос кукурудзи, виникає необхідність пошуку нових видів субстратів. Таким чином, підвищення ефективності роботи біогазових установок шляхом заміни силосу кукурудзи на більш доцільний вид субстрату в аграрних підприємствах України набуває особливої актуальності.

Мета дослідження – підвищення ефективності роботи біогазової установки шляхом сумісного бродіння посліду та паперових відходів.

Для досягнення визначеної мети в дисертації були поставлені та вирішені такі **основні завдання**:

- здійснити огляд літератури щодо проблеми застосування технологій виробництва біогазу з використанням пташиного посліду на птахофабриках;
- проаналізувати технології використання та принцип роботи біогазових установок;
- запропонувати новий спосіб отримання біогазу із застосуванням відходів виробництва продукції птахівництва та паперових відходів;
- розробити стартап-проект для отримання біогазу на ПрАТ «Оріль-Лідер».

Об'єкт дослідження – процес отримання біогазу при застосуванні відходів виробництва продукції птахівництва.

Предмет дослідження – вихід та склад біогазу залежно від співвідношення між послідом та паперовими відходами при сумісному метановому бродінню.

Методи дослідження: системний аналіз науково-технічної літератури; метод математичного моделювання та прогнозування; 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 застосування в якості сухої речовини субстрату при метановому бродінні паперових відходів. Встановлено, що ефективність виходу біогазу за цією технологією збільшується на 63,6 % в порівнянні з традиційним використанням силосу кукурудзи в якості косубстрату.

Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що використання паперових відходів в якості косубстрату пташиного посліду замість силосу кукурудзи дозволить збільшити ефективність виходу біогазу та зменшити кількість відходів целюлозно-паперової промисловості.

Апробація результатів дослідження. Основні теоретичні та практичні результати роботи доповідалися на II науково-технічній конференції магістрантів ІЕЕ (НТУУ «КПІ», м. Київ, 22.11.2019); за результатами дослідження опубліковано статтю у збірнику матеріалів II науково-технічної конференції магістрантів ІЕЕ.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ПТАХІВНИЦТВО, ПТАХОФАБРИКА, КУРЯЧИЙ ПОСЛІД, БІОГАЗ, БІОГАЗОВА УСТАНОВКА, АНАЕРОБНЕ БРОДІННЯ, СУБСТРАТ.

ABSTRACT

The volume of the master's thesis – 70 pages. Number of illustrations – 10. Number of tables – 14. Number of sources in accordance to the list of references – 69.

Actuality of theme. The creation of large poultry farms on an industrial basis causes significant disturbances in ecological balance. Currently, in the world practice for the disposal of manure have become widespread biogas plants. Ukraine is at the initial stage of introducing renewable energy sources, and the scientific, technical and economic problems of biogas production and use are insufficiently studied. A serious slowdown in the introduction of biogas plants into Ukrainian agriculture is their relatively low efficiency in biogas production. Due to the fact that maize silage is the main substrate for most biogas plants, there is a need to search for new types of substrates. Thus, increasing the efficiency of biogas plants by replacing corn silage with a more appropriate substrate type in agricultural enterprises of Ukraine is of particular relevance.

The purpose of this work is improving the efficiency of the biogas plant through the co-fermentation of manure and paper waste.

In order to achieve this goal, the following **main tasks** were set and solved in the dissertation:

- to review the literature on the problem of using biogas production technologies with the use of avian litter at poultry farms;
- to analyze the technologies of use and the principle of operation of biogas plants;
- to propose a new method of biogas production using poultry and paper waste;
- to develop a startup project for biogas production at "Oril-Leader".

The object of the research is the process of biogas production in the application of poultry production waste.

The subject of the research is output and composition of biogas depending on the ratio of poultry production waste to paper waste with compatible methane fermentation.

Research methods: systematic analysis of scientific and technical literature; method of mathematical modeling and prediction; mathematical statistics method for approximating data and establishing dependencies; methods of modern computer technologies of information processing, in particular, the package of applications of MS Excel; graphical-analytical analysis.

Scientific novelty of the research results. The use of a substrate for methane fermentation of waste from poultry production of paper waste was first proposed. It is found that the efficiency of biogas output by this technology is increased by 63,6 % compared to the traditional use of corn silage as substrate.

The practical implications of the results are that the use of paper waste as a co-substrate for poultry manure instead of corn silage will increase the efficiency of biogas output and reduce the amount of waste from the pulp and paper industry.

Validation of the research results. The main theoretical and practical results of the work were reported at the II Scientific and Technical Conference of IEE undergraduates (NTUU "KPI", Kyiv, November 22, 2019); 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.

KEYWORDS: POULTRY FARM, BIRD DROPPINGS, BIOGAS, BIOGAS PLANT, ANAEROBIC FERMENTATION, SUBSTRATE.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, СКОРОЧЕНЬ І	
ТЕРМІНІВ.....	10
ВСТУП.....	11
1 АНАЛІЗ НАУКОВИХ ТА ПРАКТИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ЩОДО	
ОТРИМАННЯ БІОГАЗУ.....	14
1.1 Сучасний стан виробництва біогазу в Україні та світі.....	14
1.2 Аналіз літературних досліджень застосування технологій	
виробництва біогазу з використанням пташиного	
посліду.....	17
1.3 Аналіз моделей, що описують динаміку виходу	
біогазу.....	18
Висновки до розділу 1.....	20
2 ПРОЦЕС УТВОРЕННЯ БІОГАЗУ В БІОГАЗОВИХ УСТАНОВКАХ....	21
2.1 Процес утворення біогазу.....	21
2.2 Схема та принцип роботи біогазової установки.....	25
2.3 Методика визначення характеристик субстратів та показників	
виходу біогазу	27
Висновки до розділу 2.....	31
3 ВИКОРИСТАННЯ ВІДХОДІВ ПТАХІВНИЦТВА ДЛЯ ОТРИМАННЯ	
БІОГАЗУ.....	33
3.1 Курячий послід як сировина для біогазової установки.....	33
3.2 Одержання біогазу при метановому зброджуванні пташиного	
посліду з целюлозовмісною сировиною.....	35
3.2.1 Дослідження метанового зброджування пташиного посліду	
та відходів кукурудзи.....	36
3.2.2 Одержання біогазу при метановому зброджуванні	
пташиного посліду та відходів паперу.....	39

3.2.3 Вплив співвідношення інокуляту та субстрату на технологічний процес метанового зброджування пташиного посліду.....	42
Висновки до розділу 3.....	44
4 СТАРТАП-ПРОЕКТ «ВПРОВАДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИДОБУТКУ БЮГАЗУ З КУРЯЧОГО ПОСЛІДУ З ВИКОРИСТАННЯМ ПАПЕРОВИХ ВІДХОДІВ».....	46
4.1 Обґрунтування актуальності та новизни інноваційної ідеї стартап-проекту.....	46
4.2 Аналіз конкурентного середовища.....	47
4.3 Обґрунтування ресурсного забезпечення проекту.....	49
4.4 Ключові види діяльності та ключові партнери.....	49
4.5 Фінансове обґрунтування стартап-проекту.....	51
4.5.1 Прямі матеріальні затрати.....	52
4.6 Обґрунтування собівартості інноваційної ідеї стартап-проекту....	52
4.7 Обґрунтування рівня рентабельності товару.....	53
4.8 Цільові групи потенційних споживачів.....	54
4.9 Канали збуту.....	55
4.10 Бізнес-модель проекту.....	56
4.11 Аналіз ризиків стартап-проекту.....	57
Висновки до розділу 4.....	61
ВИСНОВКИ.....	62
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	64

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

ПрАТ – Приватне акціонерне товариство

БГУ – біогазові установка

АПК – агропромисловий комплекс

с/г – сільське господарство, сільськогосподарський

ВРХ – велика рогата худоба

СР – суха речовина

СОР – суха органічна речовина

ВСТУП

У зв'язку з прогнозованим вичерпанням основних видобувних енергоносіїв у найближчі 50 років, енергія з відновлювальних ресурсів є однією з найбільш обговорюваних тем в Європі та в усьому світі. Величезні викиди вуглекислого газу і метану в атмосферу призводять до збільшення парникового ефекту [1].

Створення великих птахофабрик на промисловій основі викликає значні порушення екологічної рівноваги, забруднення навколишнього середовища територій підприємств та прилеглих територій. Забруднення повітряного середовища відбувається через те, що при зберіганні у чистому вигляді послід швидко злежується та випускає неприємний запах, обумовлений виділенням продуктів розкладу. У посліді розвиваються патогенна мікрофлора та яйця гельмінтів. Забруднюючі речовини потрапляють також у водні об'єкти та ґрунти поблизу підприємств.

В даний час у світовій практиці для утилізації посліду отримали досить широке поширення біогазові установки. Ці установки обробляють послід в анаеробних умовах, а продуктами їх переробки є біологічний газ і високоякісні органічні добрива.

Однак, незважаючи на позитивні ефекти анаеробної обробки посліду в біогазових реакторах, серйозним сповільненням їх впровадження в сільське господарство України є їх відносно низька ефективність при виробництві біогазу [2].

Після 2020 року країни ЄС фінансуватимуть виробництво лише такого біопалива, яке сприятиме зменшенню викидів парникових газів і буде вироблене з біомаси та нехарчових рослин. Через те, що основним субстратом для більшості біогазових установок є силос кукурудзи, виникає необхідність пошуку нових видів субстратів, прикладом якого можуть бути паперові відходи.

Україна перебуває на початковому етапі запровадження відновлюваних джерел енергії, недостатньо вивченими є науково-технічні та економічні проблеми виробництва і використання біогазу. Таким чином, вивчення іноземного досвіду щодо зазначених проблем і запровадження його в аграрних підприємствах України набуває особливої актуальності.

Мета та завдання дисертації. Метою роботи є підвищення ефективності роботи біогазової установки шляхом сумісного бродіння посліду та паперових відходів.

Для досягнення визначеної мети в дисертації були поставлені та вирішені такі основні завдання:

- здійснити огляд літератури щодо проблеми застосування технологій виробництва біогазу з використанням пташиного посліду на птахофабриках;
- проаналізувати технології використання та принцип роботи біогазових установок;
- запропонувати новий спосіб отримання біогазу із застосуванням відходів виробництва продукції птахівництва та паперових відходів;
- розробити стартап проект для отримання біогазу на ПрАТ «Оріль-Лідер».

Об'єкт дослідження – процес отримання біогазу при застосуванні відходів виробництва продукції птахівництва.

Предмет дослідження – вихід та склад біогазу залежно від співвідношення між послідом та паперовими відходами при сумісному метановому бродінню.

Методи дослідження: системний аналіз науково-технічної літератури; метод математичного моделювання та прогнозування; 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 застосування в якості сухої речовини субстрату при метановому бродінні

відходів виробництва птахівництва паперових відходів. Встановлено, що ефективність виходу біогазу за цією технологією збільшується на 63,6 % в порівнянні з традиційним використанням силосу кукурудзи в якості косубстрату.

Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що використання паперових відходів в якості косубстрату пташиного посліду замість силосу кукурудзи дозволить збільшити ефективність виходу біогазу та зменшити кількість відходів целюлозно-паперової промисловості.

Апробація результатів дослідження. Основні теоретичні та практичні результати роботи доповідалися на II науково-технічній конференції магістрантів ІЕЕ (НТУУ «КП», м. Київ, 22.11.2019); за результатами дослідження опубліковано статтю у збірнику матеріалів II науково-технічної конференції магістрантів ІЕЕ.

1 АНАЛІЗ НАУКОВИХ ТА ПРАКТИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ЩОДО ОТРИМАННЯ БІОГАЗУ

1.1 Сучасний стан виробництва біогазу в Україні та світі

Вирішення проблем переробки відходів сільськогосподарського походження, відкрили новий перспективний напрямок у конструюванні техніки та обладнання для агропромислового комплексу. Аналіз літературних джерел свідчить про швидкий процес впровадження у виробництво інноваційних ресурсозберігаючих технологій [3]. Німеччина, Австрія, Польща, Італія, Китай, та інші країни за останні 30 років зробили значний внесок у використанні поновлювальних джерел енергії та продовжують розвивати свої науково-технічні досягнення у галузі альтернативної енергетики.

За даними Всесвітньої ради з енергетики частка відновлюваних джерел енергії у світовому енергозабезпеченні становить 14 % станом на 2015 рік [4].

На сьогоднішній день ринок біогазу найбільш розвинений у Європі. Це пояснюється тим, що саме розвинені країни ЄС першими впровадили програми переходу до альтернативних джерел енергії та планомірно підтримували ініціативи, спрямовані на впровадження нових біогазових технологій [5]. Перше місце за кількістю діючих біогазових комплексів займає Німеччина – їх налічується понад 10 тисяч. Тільки 7% виробленого цими підприємствами біогазу надходить в газопроводи, решта – використовується для потреб виробника. За масштабами застосування біогазу лідирує Данія, у якій даний вид палива забезпечує майже 25% енергоспоживання країни. У європейській практиці 75% біогазу виробляється з відходів сільського господарства, 17% – з органічних відходів приватних домогосподарств і підприємств, ще 8% – з муніципальних каналізаційних стоків та каналізаційних стоків окремих виробництв [6].

В Україні потужності біогазових установок зросли майже втричі за останні три роки. Наприкінці 2014 року потужність біогазових установок, які виробляють електроенергію за «зеленим» тарифом становила 14 МВт_{ел}, а

станом на січень 2018 року – 39 МВт_{теп} таких потужностей. Прийняття державної програми «Національний план дій з відновлюваної енергетики до 2020 року» позитивно сприяло впровадженню біогазових проектів. На даний час вітчизняні промислові біогазові установки працюють переважно на закордонному обладнанні. В цих установках сировиною є свинячий та коров'ячий гній, курячий послід, рослинні рештки та кукурудзяний силос [7-9].

Діючі біогазові установки агропромислового комплексу України наведено в табл.1.1.

Таблиця 1.1 – Діючі біогазові установки АПК [10]

Підприємство	Рік запуску	Поголів'я	Види сировини	Сировина, т/добу	Об'єм реактора, м ³	Елект. потужність, кВт _{теп}	Технологія
Свиноферма комбінату «Запоріжсталь», м. Запоріжжя	1993	8000 - 12000	Гній свиней	20 - 22	595	-	Bigadan Ltd", Данія
Свиноферма корпорації «Агро-Овен», с. Єленівка, Дніпропетровська обл.	2003	15000	Гній свиней, жирові відходи забою птиці	80	2 x 1000	180	BTG, Голландія
С/г компанія «Еліта», Терезино, Київська обл.	2009	1000	Гній ВРХ	60	1500	250	LIPP, Германия
Ферма ВРХ «УМК», смт В. Крупіль, Київська обл.	2009	4000 + 2000	Гній ВРХ	400	3 x 2400 + 1000	625	Зорг, Україна/ Германия
МХП, птахоферма «Оріль-Лідер», Дніпропетровська обл.	2012	30 млн голів на рік	Пташиний послід + силос	140 т посліду + 80 т силосу	10 x 3500	2000	NVT, Голландія
Свиноферма компанії «Даноша», с. Копанки, Івано-Франківської обл.	2013	550000	Гній свиней + силос	245 т гною + 27 т силосу	-	1000	Danoshka / Poldanor

Першу демонстраційну біогазову установку промислового типу для переробки гною на свинофермі було введено в дію 1993 року на комбінаті «Запоріжсталь». Вироблену теплову енергію використовували на власні потреби підприємства [11].

Першу промислову біогазову установку спорудили в 2003 році для переробки гною свиноферми з поголів'ям 15 тисяч у селі Єленівка Дніпровської області. Добове завантаження реакторів становить 80 тонн свинячого гною з додаванням незначної кількості відходів цеху забою. Встановлені електрична та теплова потужності когенераційної установки становлять $150 \text{ кВт}_{\text{ел}}$ та $300 \text{ кВт}_{\text{т}}$ [12,13].

Біогазова станція «Української молочної компанії» введена в дію в 2009 році в смт Велика Крупіль для переробки гною корів. Вона складається з трьох реакторів об'ємом 2400 м^3 кожний. Добове завантаження реакторів становить 400 тонн гною на добу. Встановлені електрична та теплова потужності когенераційної установки становлять $630 \text{ кВт}_{\text{ел}}$ та $660 \text{ кВт}_{\text{т}}$ відповідно [8].

Біогазову станцію на птицефабриці «Оріль-Лідер» (рис 1.1), що знаходиться в селі Єлизаветівка Дніпровської області, було збудовано в 2013 році. Електрична потужність установки складає $5 \text{ МВт}_{\text{ел}}$ [14].



Рисунок 1.1 – Біогазова установка на ПрАТ «Оріль-Лідер»

У 2011 році на базі свинокомплексу, який належить сільськогосподарській компанії «Даноша» в селі Копанки Івано-Франківської області було збудовано біогазову установку. Підприємство переробляє 90 тисяч тонн на рік гною свиней та 10 тисяч тонн на рік кукурудзяного силосу для необхідної потужності установки 1 МВ_{Тел} [15].

В 2017 році в Україні були добудовані і почали виробляти біогаз відразу 4 біогазових комплекси. Найбільший з них – біогазовий комплекс «Миронівський хлібопродукт», який має потужність 5,7 МВ_{Тел} [9].

Станом на 1 січня 2018 року в Україні введено в експлуатацію 39,2 МВ_{Тел} потужностей об'єктів, що виробляють електроенергію з біогазу за "зеленим" тарифом. При цьому 24,8 МВ_{Тел} загального обсягу встановлених потужностей – це установки, що виробляють біогаз із відходів сільського господарства [9].

1.2 Аналіз літературних досліджень застосування технологій виробництва біогазу з використанням пташиного посліду

Вагомий внесок у експериментальні та теоретичні дослідження процесу метанового бродіння, математичне моделювання процесу бродіння зробили вітчизняні вчені Дубровін В.О., Голуб Н.Б., Семененко І.В., Матвєєв Ю.Б. Мовсєсов Г.Е. та ін., а також зарубіжні вчені Баадер В., Шульц Х., Батстоун Д.Ж., Вавілін В.О., Ангелідакі І., Калюжний С.В. та ін.

У праці [16] здійснено огляд розвитку та використання технології анаеробного зброджування відходів тваринництва для отримання біогазу та біодобрих. А також приведені статистичні дані з використання різних технологій анаеробного зброджування у країнах ЄС.

Аналіз стану і перспектив використання біогазових установок для переробки пташиного посліду показав, що в Україні біогазові технології не мають широкого поширення у промислових масштабах. Наявні лише поодинокі випадки їх використання, в режимі дослідних установок без підтвердження їх економічної ефективності на рівні експертних висновків.

У роботі [17] розглянуто сучасний технічний рівень біогазових технологій, зокрема в Україні. Досліджено біогазові установки безперервної дії та методи інтенсифікації процесів одержання біогазу.

У науковій роботі [18] розглядається підвищення ефективності переробки пташиного посліду на основі обґрунтування параметрів технологічного процесу і обладнання біогазової установки. У роботі встановлено залежності впливу температури зброджування, вологості сировини і тривалості переробки посліду на вихід біогазу.

Б.Б. Идигенов, А.В. Садчиков у своїй роботі [19] обґрунтовують використання мікробіологічної обробки пташиного посліду для підвищення ефективності БГУ.

У праці [20] Свалова М.В. пропонує можливість об'єднання в єдиний цикл трьох стадій зброджування пташиного посліду, з урахуванням мікробіологічних закономірностей анаеробного зброджування відходів птахівництва.

Науковими дослідженнями щодо стійкості моделей процесу бродіння у реакторі біогазової установки займалися В. Едвардс, Ж. Ендрюс, Д. Стейер та Г. К'елі. Результати даних досліджень викладені в роботах [21-26].

1.3 Аналіз моделей, що описують динаміку виходу біогазу

Головним інструментом для дослідження метанового бродіння органічних речовин є математична модель та експериментальні дані. Математична модель будь-якого біотехнологічного процесу складається з трьох рівнянь:

- рівняння, що описує зростання популяції мікроорганізмів;
- рівняння, що описує споживання субстрату;
- рівняння, що описує утворення продуктів метаболізму [27- 30].

Найбільш повно описує процес метанового бродіння модель ADM-1 [31]. Ця модель складається з 32 змінних величин концентрацій, що описують 19 біохімічних процесів. Для застосування даної моделі необхідна значна кількості

дослідів для визначення коефіцієнтів кінетичних параметрів, які визначають умови проведення процесу бродіння [31].

Математичне моделювання процесу метанового бродіння дозволяє передбачити значення концентрацій субстратів мікробних популяцій, живлення та продуктів метаболізму в реакторі біогазової установки в будь-який момент часу. Це дає змогу:

- контролювати процес бродіння;
- обчислити продуктивність біогазової установки та склад біогазу;
- отримати залежності виходу біогазу від значень технологічних параметрів.

В роботі [15] запропоновано метод чисельного дослідження показників виходу метану для реактора біогазової установки, які отримують за результатами дослідження показників виходу метану в періодичному процесі бродіння.

Для визначення виходу та складу біогазу без описання зростання мікробних популяцій найбільше підходить модель Гомпертца [32, 33]:

$$Y_{BG}(\tau) = P \cdot \exp\left(-\exp\left(\frac{I_{max} \cdot e \cdot (L - \tau)}{P} + 1\right)\right)$$

де Y_{BG} – вихід біогазу з одиниці об'єму реактора або з одиниці СОР, $\text{дм}^3/\text{дм}^3$ або $\text{дм}^3/\text{г СОР}$;

P – метановий потенціал субстрату, $\text{дм}^3/\text{дм}^3$ або $\text{дм}^3/\text{г СОР}$;

I_{max} – максимальна інтенсивність виходу метану, $\text{дм}^3/\text{дм}^3 \cdot \text{доба}$ або $\text{дм}^3/\text{г СОР} \cdot \text{доба}$;

L – тривалість лаг-фази, доба;

τ – тривалість бродіння, доба.

Висновки до розділу 1

1. Розглянуто проблему забруднення навколишнього середовища відходами птахофабрик. Для вирішення проблеми переробки відходів сільськогосподарського походження більшість країн світу використовує біогазові установки.
2. Розглянуто потужності біогазових установок в Україні за останні 20 років. Встановлено, що за останні 5 років потужність біогазових установок, які виробляють електроенергію за «зеленим» тарифом збільшилась з 14 МВ_{Тел} до 39 МВ_{Тел}.
3. Проаналізовано експериментальні та наукові дослідження процесу метанового бродіння вітчизняних та закордонних вчених.
4. Розглянуто математичні моделі, що описують динаміку виходу біогазу. Серед яких модель ADM-1 найбільш повно описує процес метанового бродіння, а для визначення виходу та складу біогазу використовують модель Гомпертца.

2 ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ РОБОТИ БІОГАЗОВИХ УСТАНОВОК

2.1 Процес утворення біогазу

Біогаз – газ, одержуваний водневим або метановим бродінням біомаси. Метанове розкладання біомаси відбувається під впливом трьох видів бактерій. У ланцюжку харчування наступні бактерії харчуються продуктами життєдіяльності попередніх. Перший вид – бактерії гідролізні, другий – кислотоутворюючі, третій – метаноутворюючі.

Суть процесу утворення газу полягає в анаеробному бродінні (без доступу повітря), яке відбувається внаслідок життєдіяльності мікроорганізмів і супроводжується рядом біохімічних реакцій [34].

Біогаз складається в основному з метану (вміст від 50 до 85%), вуглекислого газу (вміст від 15 до 50%) та інших газів у меншому відсотковому співвідношенні (рис 2.1).

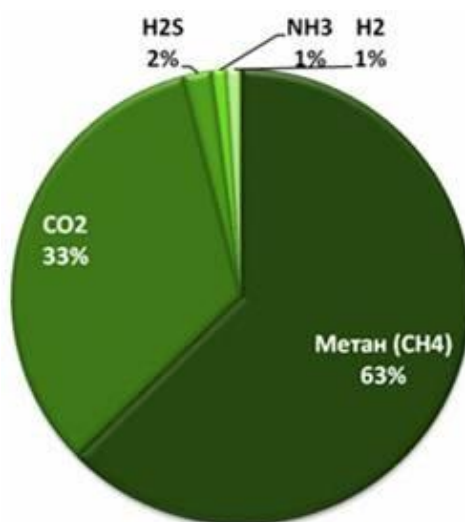


Рисунок 2.1 – Склад біогазу у відсотковому співвідношенні [35]

За своїми властивостями біогаз найбільш близький до природного газу. Він немає кольору та запаху.

Біогаз може використовуватись для спалювання в котлах та двигунах внутрішнього згоряння без збагачення. Найбільш поширене використання біогазу – вироблення електричної енергії [8].

Основні характеристики біогазу наведені в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Основні характеристики біогазу

Запас енергії в 1 м ³ біогазу	6-6,5 кВт
Теплотвірна здатність	4500-6300 ккал/м ³
Щільність біогазу	1,16-1,27 кг/м ³
Температура згоряння	650-750°C
Тиск біогазу в реакторі	0,05 атм.
Тиск біогазу перед споживанням	Піднімається до питомого тиску

Процес розкладання біомаси метаногенами можна розділити на чотири етапи.

Перший етап. Аеробні гідролізні бактерії перебудовують високомолекулярні органічні субстанції (білки, жири, вуглеводи, целюлозу) на низькомолекулярні з'єднання (амінокислоти, жирні кислоти, цукор та воду) за допомогою ферментів. Ферменти, виділені гідролізними бактеріями, прикріплюються до зовнішніх стінок бактерій (так звані екзоферменти) і при цьому розщеплюють органічні складові субстрату на малі водорозчинні молекули. Багатомолекулярні утворення (полімери) перетворюються на окремі молекули (одномери). Процес гідролізу проходить повільно і залежить від позаклітинних ферментів, таких як амілази, протеази, ліпази тощо. На процес впливає рівень рН і час перебування в резервуарі.

Другий етап. Далі розщепленням займаються кислотоутворюючі бактерії. Деякі молекули проникають в клітини бактерій та продовжують розкладатися. У цьому процесі частково беруть участь аеробні бактерії, що споживають залишки кисню, створюючи при цьому необхідні для метанових бактерій анаеробні умови. При рівні рН 6-7,5 в першу чергу виробляються нестійкі жирні кислоти (оцтова, мурашина, масляна, пропіонова), низькомолекулярні

алкоголі (етанол), вуглець і газ - вуглекислий газ, водень, сірководень і аміак. Цей етап називають фазою окислення (рівень рН знижується).

Третій етап. Після цього воднепродукуючі бактерії з органічних жирних кислот створюють вихідні продукти для утворення метану: оцтову і мурашину кислоту, водень та вуглекислий газ. Бактерії, які знижують кількість вуглецю в складі органічних кислот є дуже чутливими до температури.

Четвертий етап. За допомогою метаноутворюючих бактерій з оцтової і мурашиної кислоти, вуглецю і водню утворюється метан, вуглекислий газ і вода. На цьому етапі виробляється 90% всього метану, причому 70% метану утворюється з оцтової кислоти. Таким чином, утворення оцтової кислоти, тобто третій етап є фактором, що визначає швидкість утворення метану. Метаноутворюючі бактерії є виключно анаеробними [1].

В процесі розщеплення продукти обміну речовин кожної групи бактерій виступають живильними речовинами для наступної групи бактерій. Оскільки бактерії переробляють речовини лише в розчиненому вигляді, розщеплення органіки на окремі складові та перетворення на метан повинно відбуватись лише у вологому середовищі. Таким чином, для бродіння твердих субстратів існує потреба у додаванні води [36].

Ефективний перебіг метанової ферментації органічних речовин потребує виконання чотирьох основних умов:

- відповідної температури маси, що зброджується;
- безкисневої атмосфери;
- присутності бактерій, що виробляють метан;
- слаболужної реакції середовища.

Дуже важливим фактором ефективного протікання процесу ферментації є температура маси, що зброджується. За оптимальною температурою життєдіяльності метаноутворюючі бактерії можна розділити на три групи:

- термофільні (55-60 °C);
- мезофільні (30-35 °C);
- психофільні (5-20 °C.)

Виділення метану із речовини, що піддається ферментації, проходить лише за умови відсутності кисню (повітря). Тому ферментація повинна протікати у спеціальних резервуарах.

Суттєве значення у процесі бродіння мають мікроорганізми. Для забезпечення метанової ферментації необхідна наявність у речовині метаногенних мікроорганізмів. Ці мікроорганізми розвиваються лише у сприятливих умовах – в анаеробному середовищі з слаболужною реакцією.

Важливою умовою забезпечення регулярного протікання біохімічних процесів в метантенку є слаболужна реакція бродильного середовища. При цьому оптимальне значення знаходиться в межах 7-7,5 рН. Надто лужна реакція сприяє ферментації через патогенне гниття та викликає небажане виділення сірководню. У надто кислому середовищі метанове бродіння може заблокувати виділення біогазу [1].

Для оптимальної роботи БГУ на пташиному посліді повинно підтримуватись задане співвідношення вуглецю до азоту C:N, оскільки воно відповідає за оптимальний розвиток культури метаногенів, які відіграють головну роль в утворенні біогазу [37-39]. Мікроорганізми в 20–35 разів більше споживають вуглецю ніж азоту (в залежності від рН), тому оптимальним співвідношенням C:N є 30:1. При цьому співвідношенні, за використання в якості субстрату посліду птиці, спостерігали вихід метану до 70 % при рН = 7 [40], вихід біогазу до 300 см³/г СР при температурі 35°C [41]. Критично допустимим співвідношенням, за якого може проходити розвиток мікроорганізмів (метаногенез) приймають C:N=8:1 при використанні в якості субстрату пташиного посліду. При перевищенні цього співвідношення токсичні сполуки амонію інгібують розвиток мікроорганізмів [42].

Важливість співвідношення C:N полягає у визначенні оптимальної кількості пташиного посліду до целюлозовмісних відходів, яка забезпечить раціональні показники проходження процесу метаногенезу.

2.2 Схема та принцип роботи біогазової установки

Принципова схема біогазової установки наведена на рис. 2.2.

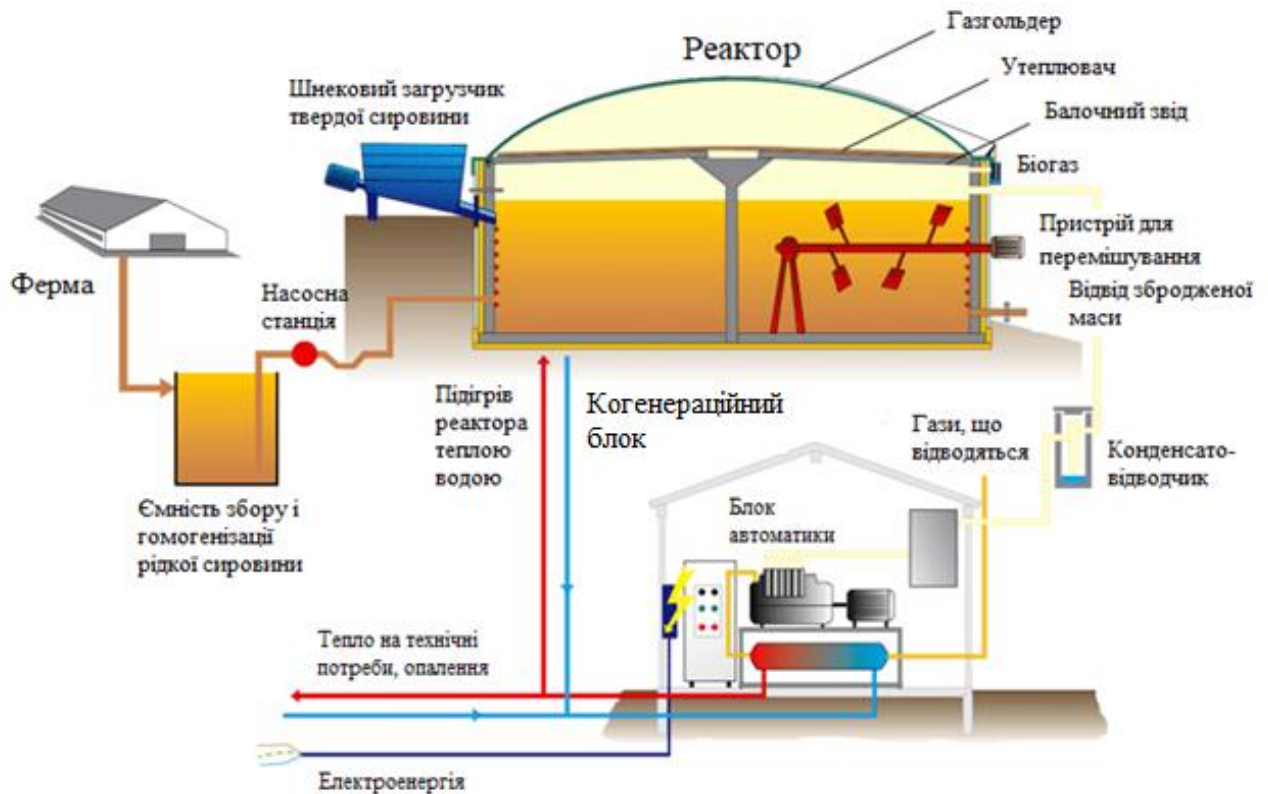


Рисунок 2.2 – Схема біогазової установки [18]

Біогазова установка складається з:

- Перехідна ємність, в яку потрапляє сировина на початку переробки для підігріву.
- Міксери, для подрібнення великих часток гною та посліду.
- Ємність для газу (газгольдер), в якій зберігається отриманий газ, необхідна для підтримки запасів і тиску в системі.
- Біореактор, головна частина біогазової установки, в якій відбувається бродіння сировини і виробляється газ.
- Газова система, набір труб і шлангів подачі і відведення отриманого газу.

- Сепаратори, що сортують перероблену сировину на тверді і рідкі добрива.
- Насоси для перекачування сировини і води.
- Прилади вимірювання і контролю за тиском в реакторі і температурою підігрівача рідини.
- Когенераційна станція, служить для розподілу отриманого газу.
- Аварійні пальники для спалювання зайвого газу з реактора і газгольдера, необхідні для підтримки заданого тиску.

Принцип роботи біогазової установки полягає у наступному:

1. *Доставка продуктів переробки та відходів в установку.* У тому випадку, якщо відходи рідкі їх доцільно доставляти в реактор за допомогою спеціалізованих насосів. Більш тверді відходи можуть доставлятися в реактор вручну, або транспортною стрічкою. У деяких випадках доцільно підігрівати відходи, щоб збільшити їх швидкість бродіння і розпаду в біореакторі. Для підігріву відходів використовується перехідна ємність, в якій продукти переробки доводяться до потрібної температури.

2. *Переробка в реакторі.* Після перехідної ємності, підготовлені і підігріті відходи потрапляють в реактор. Біореактор є герметичною конструкцією, виготовленою з особливо міцної сталі, або з бетону, що має спеціальне антикислотне покриття. В обов'язковому порядку, реактор повинен мати ідеальну теплову та газову ізоляцію. Навіть найменше попадання повітря або зниження температури спричинить зупинку процесу бродіння і розпаду. Підігрів реактора здійснюється за допомогою трубок з гарячою водою. Нагрівання води відбувається за допомогою вироблення біогазу. Реактор працює без доступу кисню, в повністю замкнутому середовищі. Кілька разів в день, за допомогою насоса в нього можна додавати нові порції речовин, що переробляються. Для того, щоб прискорити процес бродіння використовується спеціальний міксер. Цей пристрій перемішує субстанцію в реакторі через певний проміжок часу.

3. *Вихід готового продукту.* Після певного часу (від декількох годин, до декількох днів) з'являються перші результати бродіння. Це біогаз і біологічні добрива. В результаті отриманий біогаз потрапляє в газгольдер (бак для зберігання газу). Тиск газу в газгольдері регулюється за допомогою клапанів. У разі надмірного тиску будуть задіяні аварійні пальники, які просто спалять зайвий газ, і тим самим стабілізують тиск. Окремо слід сказати, що для підтримки роботи біогазової установки потрібно близько 15% одержуваного газу. У свою чергу біологічні добрива потрапляють в спеціально підготовлений бак з сепаратором. Відбувається поділ на тверді і рідкі добрива. Власне, добрива відразу можуть бути використані за призначенням. Додаткової переробки вони не вимагають. Робота біогазової установки неперервна [43].

2.3 Методика визначення характеристик субстратів та показників виходу біогазу

Вихід біогазу залежить від вмісту сухої речовини (СР) та сировини, що використовується. З однієї тонни курячого посліду виходить 50-65 м³ біогазу з вмістом метану 60%. З 1 кг сухої речовини отримують від 300 до 500 літрів біогазу [34].

Вміст СР в субстраті визначається за методикою, наближеною до вимог ДСТУ EN 12048:2005 [44]. Вміст золи у сухому залишку вимірюють за методикою, наближеною до вимог ГОСТ 26714-86 [45].

Вміст СОР в субстраті (f_{COP}) обчислюють за залежністю [46-47]:

$$f_{\text{COP}} = \frac{m_{\text{CP}} - m_{\text{A}}}{m_{\text{S}}} \cdot 100\%,$$

де m_{CP} – вага сухої речовини, г;

m_{A} – вага золи у сухому залишку, г;

m_{S} – вага свіжого субстрату, г.

Визначення вмісту СОР проводиться у свіжому субстраті та у збродженій масі.

Об'єм виробленого біогазу визначається за допомогою методу витискання еквівалентного об'єму рідини. Вимірювання об'єму біогазу здійснюється візуально за показами рухомої частини газгольдера. Об'єм виробленого біогазу приведено до нормальних умов для сухого газу [48]:

$$V_{\text{БГ,н.у.}} = \frac{T_0}{T_{\text{л}}} \cdot \frac{P_{\text{л}}}{P_0} \cdot \left(1 - \frac{P_{\text{н}}}{P_{\text{л}}}\right) \cdot V_{\text{БГ}},$$

де T_0, P_0 , кПа – температура та атмосферний тиск за нормальних умов відповідно;

$T_{\text{л}}, P_{\text{л}}$, кПа – температура та атмосферний тиск в лабораторному приміщенні, за яких виконується вимірювання об'єму виробленого біогазу;

$V_{\text{БГ}}$ – об'єм виробленого біогазу за умов навколишнього середовища, дм³;

$P_{\text{н}}$ – тиск насиченої водяної пари, кПа.

Об'ємну концентрацію вуглекислого газу в біогазі визначають за допомогою хімічного газоаналізатора.

Максимальне значення об'ємної концентрації інших газів становить 2,5 %, що свідчить про прийнятність такого методу визначення концентрації метану в біогазі.

Об'ємну концентрацію метану в біогазі визначають виходячи з того, що за умов збалансованого та стійкого виділення біогазу справедливо [49]:

$$C_{\text{CH}_4} + C_{\text{CO}_2} = 95..100\%, C_{\text{ін}} \leq 2,5\%,$$

$$\text{тобто } C_{\text{CH}_4} = (97,5 \pm 2,5\%) - (C_{\text{CO}_2} \pm 0,05\%),$$

де C_{CH_4} – об'ємна концентрація метану в біогазі, %;

C_{CO_2} – об’ємна концентрація вуглекислого газу в біогазі, %;

$C_{ін}$ – об’ємна концентрація інших газів у біогазі, крім метану та вуглекислого газу, яка приймається за 2,5 %.

Із субстрату, для окиснення органічних речовин якого потрібно 1 г кисню, може теоретично утворитись 350 мл CH_4 [50]. З урахуванням приросту клітинної біомаси, що становить 7 % для метанового бродіння [51], теоретично можливий метановий потенціал зазначеного субстрату становить 325 мл CH_4 .

Максимальну інтенсивність виходу метану та тривалість лаг-фази визначають з використанням апроксимації експериментальних даних до математичної моделі Гомпертца.

Кумулятивний вихід біогазу ($Y_{БГ}(\tau_n)$), вихід метану ($Y_M(\tau_n)$) за час бродіння визначають за залежностями [40-41,46]:

$$Y_{БГ}(\tau_n) = \sum_{i=1}^{i=n} V_{БГ}(\tau_i), Y_M(\tau_n) = \sum_{i=1}^{i=n} V_M(\tau_i),$$

де $V_M(\tau_i) = V_{БГ}(\tau_i) \cdot C_M(\tau_i)$ – об’єм біогазу для i -го зняття показів, $дм^3$.

Інтенсивність виходу біогазу $I_{БГ}(\tau_n)$ та інтенсивність виходу метану $I_M(\tau_n)$ з одиниці об’єму корисного реактора, наповненого субстратом на момент часу τ_n визначають за залежністю [46-47,52]:

$$I_{БГ}(\tau_n) = \frac{Y_{БГ}(\tau_n)}{V_S \cdot \tau_n}, I_M(\tau_n) = \frac{Y_M(\tau_n)}{V_S \cdot \tau_n},$$

де V_S – об’єм реактора, наповненого субстратом, $дм^3$.

Частину COP свіжого субстрату, яка розкладається в процесі бродіння обчислюють як різницю між значенням COP у свіжому та переробленому субстратах [51]:

$$\text{COP}_d = \text{COP}_{\text{св}} - \text{COP}_п ,$$

де $\text{COP}_{\text{св}}$ – значення COP свіжого субстрату, г;

$\text{COP}_п$ – значення COP переробленого субстрату, г.

Для метанового бродіння, згідно з опублікованими літературних даними, приріст клітинної біомаси становить 7 %. Частину COP субстрату, яка конвертується в біогаз, обчислюють за залежністю, що враховує приріст клітинної біомаси [51]:

$$\text{COP}_k = 0,93 \cdot \text{COP}_d .$$

Ефективність перероблення субстрату характеризується ступенями деструкції та конверсії COP. Ступінь деструкції COP субстрату $k_{d,\text{COP}}$ визначають за залежністю [46-47,52]:

$$k_{d,\text{COP}} = \frac{\text{COP}_{\text{св}} - \text{COP}_п}{\text{COP}_{\text{св}}} \cdot 100\% .$$

Ступінь конверсії COP субстрату $k_{k,\text{COP}}$ з урахуванням приросту клітинної біомаси визначають за залежністю [46-47,52]:

$$k_{k,\text{COP}} = 0,93 \cdot k_{d,\text{COP}} .$$

Вихід метану з відходів та ступінь їх переробки було оцінено, виходячи з припущень:

1) вихід біогазу із летких жирних кислот, що можуть бути присутніми в початковому стані рідкої фази субстрату приймаємо за 0;

2) явища синергетичного ефекту та незворотних змін у процесі біологічної конверсії органічної речовини не мають місця, тобто має місце рівність:

$$Y_M(S_1 + S_2 + S_3) = Y_M(S_1) + Y_M(S_2) + Y_M(S_3),$$

де $Y_M(S_1 + S_2 + S_3)$ – вихід метану з субстрату, дм^3 ;

$Y_M(S_1)$ – вихід метану з органічної речовини, дм^3 ;

$Y_M(S_2)$ – вихід метану з СОР посліду, дм^3 ;

$Y_M(S_3)$ – вихід метану з СОР органічної речовини, дм^3 ;

3) питомий вихід метану з переробленої сухої органічної речовини в усіх субстратах однаковий.

Висновки до розділу 2

1. Розглянуто процес утворення, склад та основні характеристики біогазу, виробленого в біореакторі з відходів птахівництва. Встановлено, що важливими факторами ефективного протікання процесу ферментації є температура маси, що зброджується, анаеробне середовище, присутність бактерій, що виробляють метан та слаболужна реакція середовища.

2. Наведено схему та принцип роботи біогазових установок.

3. Розглянуто методики визначення характеристик субстратів та показників виходу біогазу. Визначено, що вихід біогазу залежить від вмісту сухої речовини (СР). Об'єм виробленого біогазу визначається за допомогою методу витискання еквівалентного об'єму рідини. Виявлено, що із субстрату, для окиснення органічних речовин якого потрібно 1 г кисню, може теоретично утворитись 350 мл CH_4 . Максимальну інтенсивність виходу метану та

тривалість лаг-фази визначають з використанням апроксимації експериментальних даних до математичної моделі Гомпертца. Ефективність перероблення субстрату характеризується ступенями деструкції та конверсії COP .

3 ВИКОРИСТАННЯ ВІДХОДІВ ПТАХІВНИЦТВА ДЛЯ ОТРИМАННЯ БІОГАЗУ

Особливістю сучасного стану розвитку галузі птахівництва впродовж останніх 20 років є динамічне зростання чисельності поголів'я птиці усіх видів, нарощування обсягів виробництва, збільшення внутрішнього попиту та експорту продукції.

На початку 2000 року в усіх категоріях господарств налічувалося лише 123,7 млн голів птиці, а вже в 2018 р. її чисельність зросла майже в 1,7 разів і становить 214,6 млн голів. Найбільше поголів'я птиці сьогодні зосереджено у Вінницькій і Київській областях, відповідно 27,0 млн голів і 27,3 млн голів. За останні 5 років виробництво яєць в Україні зросло на 15,2 %, і досягло 19,6 млрд шт. у 2018 р., що цілком задовольняє науково обґрунтовані потреби споживання населенням цього харчового продукту [53].

Але разом зі зростаючим обсягом споживання зростає і кількість відходів, що утворюються в процесі виробництва на птахофабриках.

3.1 Курячий послід як сировина для біогазової установки

Птиця використовує приблизно 40 % спожитих нею поживних речовин корму на приріст живої маси, роботу внутрішніх органів, підтримання температури тіла, решта виділяється разом з послідом. Кількість посліду, яку виділяє одна птиця за добу в 1,5 разів більша за кількість з'їденого нею корму.

Кури виділяють два основних типи посліду – клітковий та підстилковий. Клітковий послід не містить сторонніх домішок, крім води та незначної кількості пір'я, пуху та часток кормів. Даний послід отримують в основному від яєчних курей, які утримуються в кліткових батареях. Клітковий послід поділяють на рідкий, натуральної вологості та підсушений. Поголів'я м'ясної птиці утримують на підлозі на глибокій підстилці. Так отримують підстилковий послід, який складається із суміші посліду та підстилкових матеріалів (соломи,

стружки, лущиння соняшника торфу) на різних ступенях мікробіологічного розкладу [54].

До складу пташиного посліду входять органічні та неорганічні сполуки. До органічних відносять азотисті сполуки (білки, амінокислоти, пептиди) та сполуки вуглецю (вуглеводи, ліпіди, жирні кислоти, гліцерини, у тому числі цукри, клітковина, целюлозолігнін, спирти). До неорганічних сполук відносять воду, аміак, деякі сполуки міді, цинку, калію, марганцю, фосфору тощо. Різні види птиці мають відмінності у своєму хімічному складі. Він залежить від умов годівлі та утримання птиці [54].

Цінність посліду як органічного визначається перш за все вмістом таких хімічних елементів, як азот, фосфор та калій. Вміст цих хімічних елементів у посліді різних видів та виробничих груп птиці наведено в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Хімічний склад пташиного посліду у відсотках

Вид птиці	Тип посліду	Вода	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Дорослі кури	Свіжий послід натуральної вологості	65-73	1,7-1,3	0,9-0,6	0,8-0,6
	Отриманий в кліткових батареях з скребковим прибиранням	83-95	0,8-0,2	0,4-0,1	0,4-0,1
	Отриманий в кліткових батареях з стрічковим прибиранням без системи підсушування	65	1,6-1,7	0,9-1,0	0,8
	Отриманий в кліткових батареях з стрічковим прибиранням та системою підсушування	50	2,4-2,6	1,2-1,3	1,0-1,1
	Клітковий послід після року зберігання в послідосховищі	77-94	0,9-0,2	0,5-0,2	0,5-0,2
	Висушений свіжий послід	14	4,1	2,1	1,8
	Підстилковий послід після 12 місяців накопичення у пташнику: торф + солома стружка солома	35-42 23-31 35-60	3,1-2,5 2,6-1,7 2,9-1,4	2,5-1,9 2,1-1,1 3,7-1,8	1,5-1,4 1,3-1,1 1,5-1,1
Молодняк яєчних та м'ясних курей	Свіжий послід (клітковий)	66-74	1,7-1,2	1,0-0,6	0,6-0,5
	Підстилковий послід	22-58	3,3-2,5	3,8-1,1	1,4-1,1
Бройлери	Свіжий послід	66-74	1,7-1,2	0,6-0,4	0,4-0,3
	Підстилковий послід	22-60	1,8-0,8	0,9-0,4	1,3-0,7

Курячий послід є ідеальною сировиною для біогазової установки і дає високий вихід біогазу. Свіжий послід циплят, несушок та бройлерів при клітковому удержанні дає приблизно однаковий вихід біогазу 130-140 м³/т. Послід з підстилкою, що прибирається раз на 40 днів, забезпечує вихід біогазу приблизно 80 м³/т. Послід також багатий на мікроелементи: 100 г сухої речовини містить марганцю 15-38 мг, цинку – 12-39 мг, кобальту – 1-1,3 мг, міді – 0,5 мг, заліза – 367-900 мг [9].

3.2 Одержання біогазу при метановому зброджуванні пташиного посліду з целюлозовмісною сировиною

Проблема утилізації посліду з метою одержання біогазу полягає в тому, що через значний вміст іонів амонію чистий послід погано піддається процесам метанової ферментації. Для підвищення швидкості бродіння, виходу біогазу та зниження концентрації іонів амонію застосовують процес коферментації з целюлозовмісною сировиною.

Вибір технології переробки посліду птахів ґрунтується на підборі оптимальних параметрів (температура, рН, вологість, співвідношення C:N, концентрація мікроелементів) проходження процесу анаеробного бродіння [55-56]. За допомогою косубстратів, які використовують для реалізації процесу бродіння посліду регулюється вміст іонів амонію у середовищі. В результаті оптимізації параметрів та правильно підбраного косубстрату, процес переробки сировини зумовлює менші енергетичні затрати, адже проходить за більш короткий проміжок часу. При цьому підвищується вміст метану в біогазі.

Для збільшення ефективності виходу біогазу з пташиного посліду та покращення його якості потрібно позбутися негативного впливу аміачних сполук, які інгібують процес метаногенезу. Для цього необхідно підібрати оптимальну кількість целюлозовмісного косубстрату, який би змінив співвідношення C:N до значень, раціональних для проходження ферментативного процесу переробки посліду з утворенням метану.

3.2.1 Дослідження метанового зброджування пташиного посліду та відходів кукурудзи

Оскільки у світовій практиці відходи кукурудзи найчастіше використовуються в технології отримання біогазу, було обрано саме цю сировину, як целюлозовмісного косубстрату. Результати застосування кукурудзи як косубстрату порівняємо з іншим видом целюлозовмісної сировини.

Вихід біогазу в процесі ферментації при різному співвідношенні компонентів субстрату наведено на рис. 3.1.

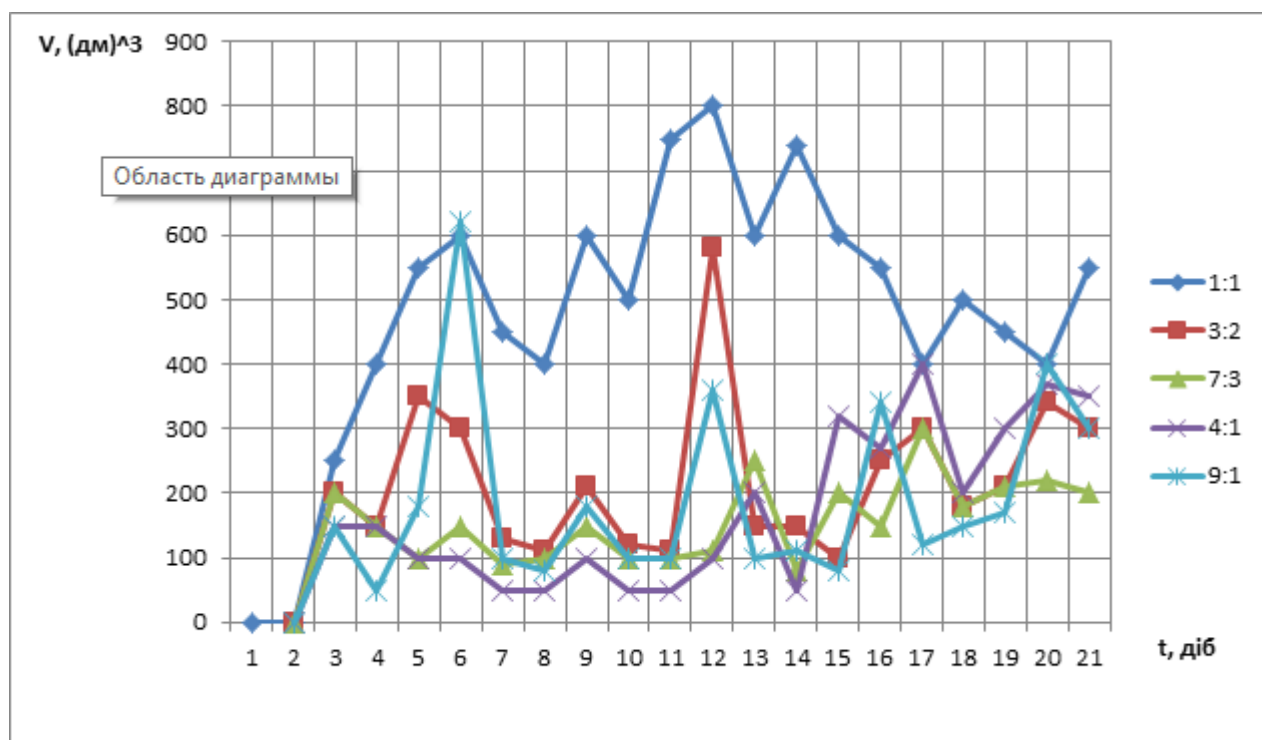


Рисунок 3.1 – Вихід біогазу (V) у процесі зброджування (t) пташиного посліду з відходами кукурудзи як целюлозовмісним косубстратом при співвідношенні послід:кукурудза

З графіку на рис. 3.1 видно, що найбільший вихід біогазу спостерігається при співвідношенні посліду до кукурудзи 1:1. Це пояснюється тим, що за більшої кількості целюлозовмісної сировини зменшується кількість іонів

амонію у середовищі, які є інгібіторами розвитку мікроорганізмів та процесу метанового бродіння. Цей фактор є вирішальним для внесення целюлозовмісного косубстрату не менше 70 % за СОР, що використовується в сучасних технологіях. Слід зауважити, що більша кількість (за об'ємом) біогазу не є показником кількісного виходу цільового енергетичного продукту – метану, оскільки одночасно утворюється CO_2 та інші гази. Після підвищення температури до 37 ± 2 °C на 12-ту добу спостерігався різкий приріст об'ємного виходу біогазу (див. рис. 3.1). Підвищення виходу біогазу пояснюється тим, що при підвищеній температурі зменшується розчинність водню та CO_2 , що підвищує значення рН і сприяє утилізації ацетату. Активність ферментів, що приймають участь в деструкції сировини та подальшому її перетворенні також підвищується [58].

Стрибкоподібний вихід біогазу можна пояснити періодичним закисненням середовища зброджування, що відбувається внаслідок надлишкової концентрації ацетату та розчинення карбон (IV) оксиду, що утворюється. При сповільненні процесу метаногенезу, відбувається зниження рівня рН, що сприяє кращому проходженню процесу гідролізу. В процесі гідролізу та подальшого перетворення сировини утворюються нейтральні продукти: цукри, амінокислоти, спирти, що призводить до зміни рН до лужного середовища при одночасному споживанні ацетату, нормалізуючи його для кращого проходження метаногенезу.

Невід'ємним та важливим показником, що характеризує процес проходження метанового бродіння, є вихід біогазу на одиницю сухої органічної речовини, яка знаходиться в метантенку. На рис. 3.2 наведено вихід біогазу з 1 г СОР при тривалості процесу бродіння 21 доба.

З графіку на рис. 3.2 видно, що зразок з співвідношенням послід:кукурудза 1:1 найкраще піддається мікробній деструкції з утворення біогазу. Збільшення вмісту посліду призводить до різкого зниження виходу біогазу на одиницю СОР.

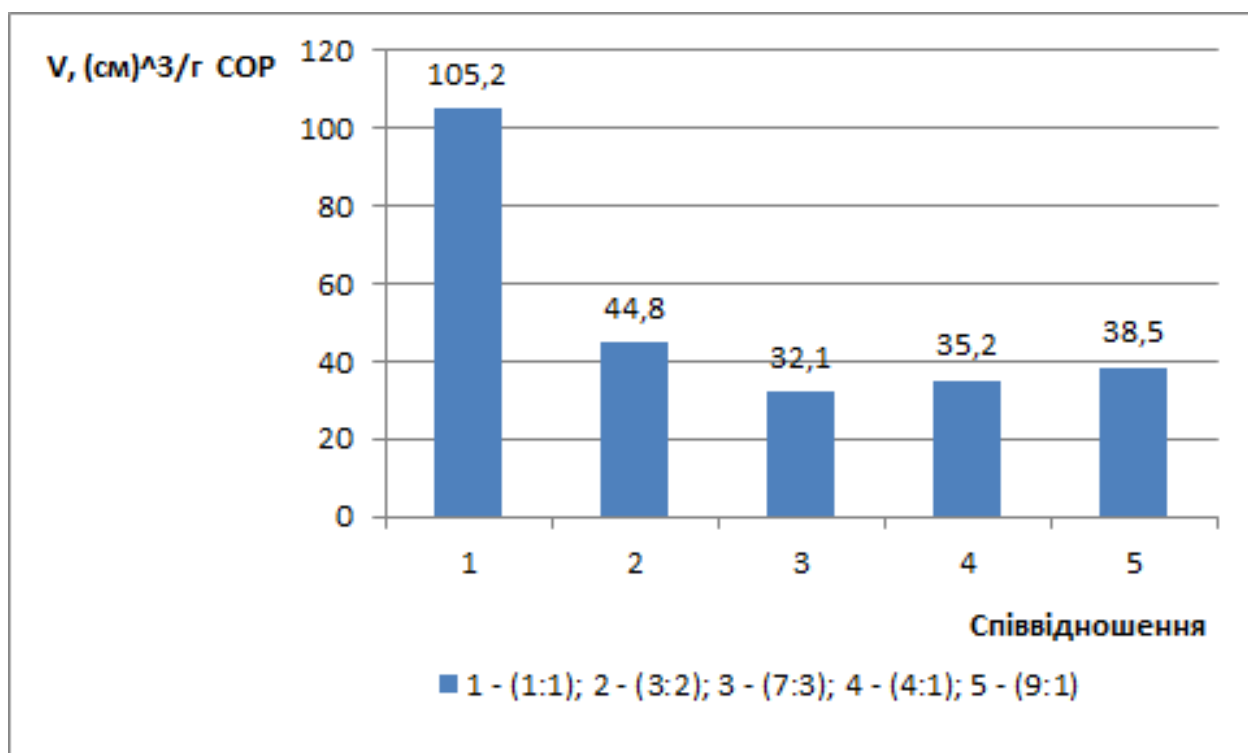


Рисунок 3.2 – Вихід біогазу (V) на одиницю СОР при різному співвідношенні косубстратів послід:кукурудза

Найкращий вихід метану спостерігається за співвідношення послід:кукурудза – 1:1, і становить $53 \pm 2,7$ %. Однак, цей показник в межах похибки відрізняється від результатів зброджування послід:кукурудза за співвідношення 3:2 – $52,2 \pm 2,6$ %.

Останнє співвідношення компонентів субстрату з огляду на поставлену мету підвищення вмісту пташиного посліду при ферментації є більш оптимальним з економічної точки зору, оскільки при додаванні меншої кількості косубстрату маємо вміст метану відповідний до співвідношення компонентів 1:1. Проте, загальний вихід біогазу значно нижчий при співвідношенні компонентів послід/кукурудза 3:2 не є рентабельним при використанні кукурудзи як косубстрату.

Майже однаковий вміст метану під час зброджування різного співвідношення посліду до целюлозовмісної сировини, пояснюється тим, що співвідношення С:N при зброджуванні зразків 1:1 та 3:2 знаходяться в допустимому діапазоні. Тобто, додавання більшої кількості целюлозовмісного

косубстрату має більший вплив на проходження процесу ферментації, про що свідчить зменшення швидкості розкладу сировини та утворення біогазу при співвідношенні посліду до відходів кукурудзи 3:2. Також при співвідношенні косубстратів 1:1 збільшується кількість іонів амонію від $74,7 \pm 3,5$ мг/дм³ до $138,7 \pm 7,1$ мг/дм³. Окрім метану в біогазі спостерігаються концентрації водню. Наявність водню в біогазі свідчить про те, що за співвідношень послід/кукурудза 7:3 та 1:1 неорганічні сполуки (CO_2 та H_2) використовуються не повністю для утворення метану або водень споживається іншими видами мікроорганізмів. Можливо, це відбувається за рахунок невеликих об'ємів лабораторних реакторів, в яких газова фракція не затримується в середовищі зброджування і одразу надходить в газгольдер, що зменшує процес утворення метану з CO_2 та H_2 [57].

3.2.2 Одержання біогазу при метановому зброджуванні пташиного посліду та відходів паперу

Вибір паперових відходів як косубстрату базувався на його великій кількості утворення. Кількісний складу твердих побутових відходів в Україні станом на 2018 рік наведено на рис. 3.3. Під паперовими відходами мається на увазі макулатура необроблена, зіпсована, забруднена або не ідентифікована, та її залишки, які не можуть бути використані за призначенням. Обсяг утворення таких відходів складає 47 тис. тонн/рік [59].

Також на відміну від інших целюлозовмісних субстратів папір майже не містить лігніну. Процес деструкції лігніну мікроорганізмами потребує багато часу [60], тому необхідно визначити вихід біогазу при використанні целюлозовмісної сировини без наявності лігніну при коферментації з послідом.

Вихід біогазу в процесі зброджування наведено на рис. 3.4.



Рисунок 3.3 – Кількісний складу твердих побутових відходів в Україні станом на 2017-2018 роки, у %.

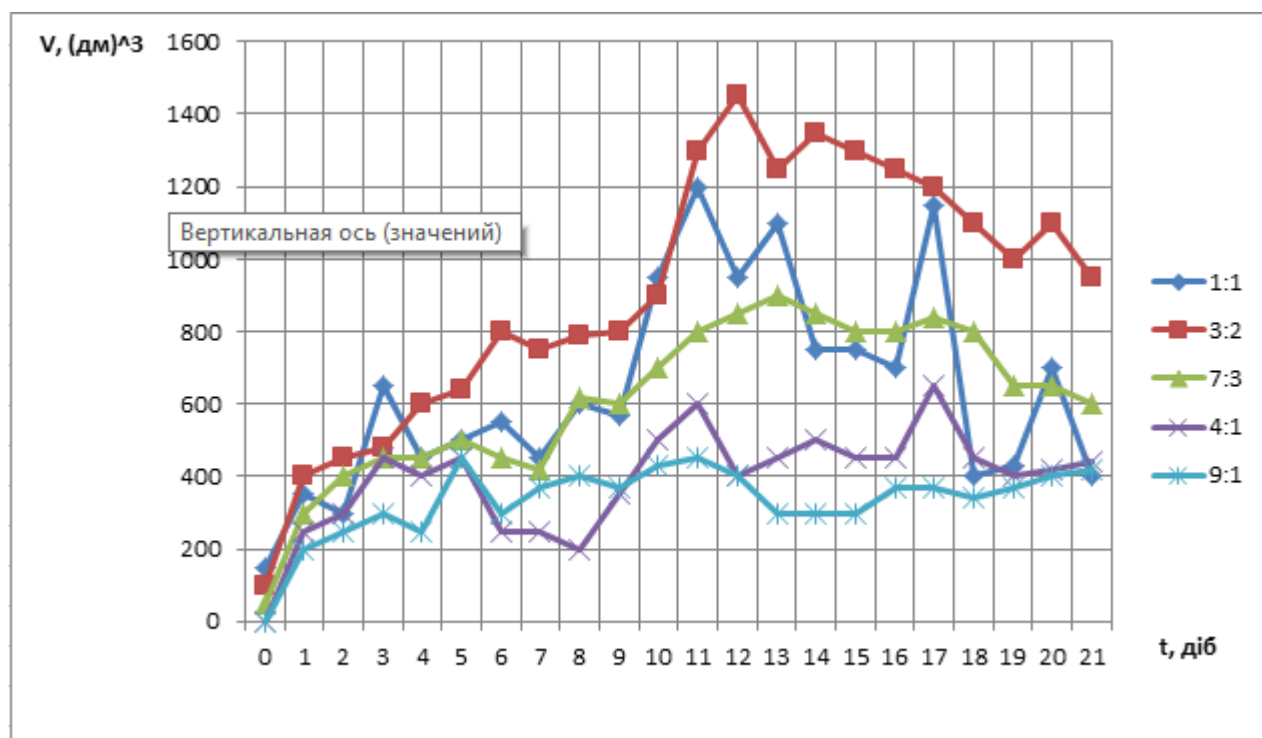


Рисунок 3.4 – Вихід біогазу (V) у процесі зброджування (t) пташиного посліду з паперовими відходами при співвідношенні послід:паперові відходи

З графіка на рис. 3.3 видно, що при зброджуванні целюлозовмісного косубстрату подрібнених паперових відходів, вихід біогазу вищий для усіх співвідношень компонентів субстрату, ніж при використанні кукурудзи. Така залежність пояснюється відсутністю лігніну у папері на відміну від целюлозовмісних відходів рослинного походження. Це підвищує доступ мікроорганізмів-деструкторів до целюлози та інших поживних речовин, що в свою чергу підвищує швидкість деструкції та утворення продуктів метаболізму, в тому числі і біогазу.

Окрім меншої кількості лігніну подрібнені відходи паперу мають більшу площу контакту з мікроорганізмами, що є одним із ключових факторів при зброджуванні. Також структура волокон паперу за рахунок адсорбції газів сповільнює вихід біогазу із середовища, що сприяє контакту водню з карбон (IV) оксидом та збільшує вихід метану.

Результати виходу біогазу при коферментації посліду та паперових відходів з одиниці COP наведено на рис. 3.5 при тривалості процесу 21 доба.

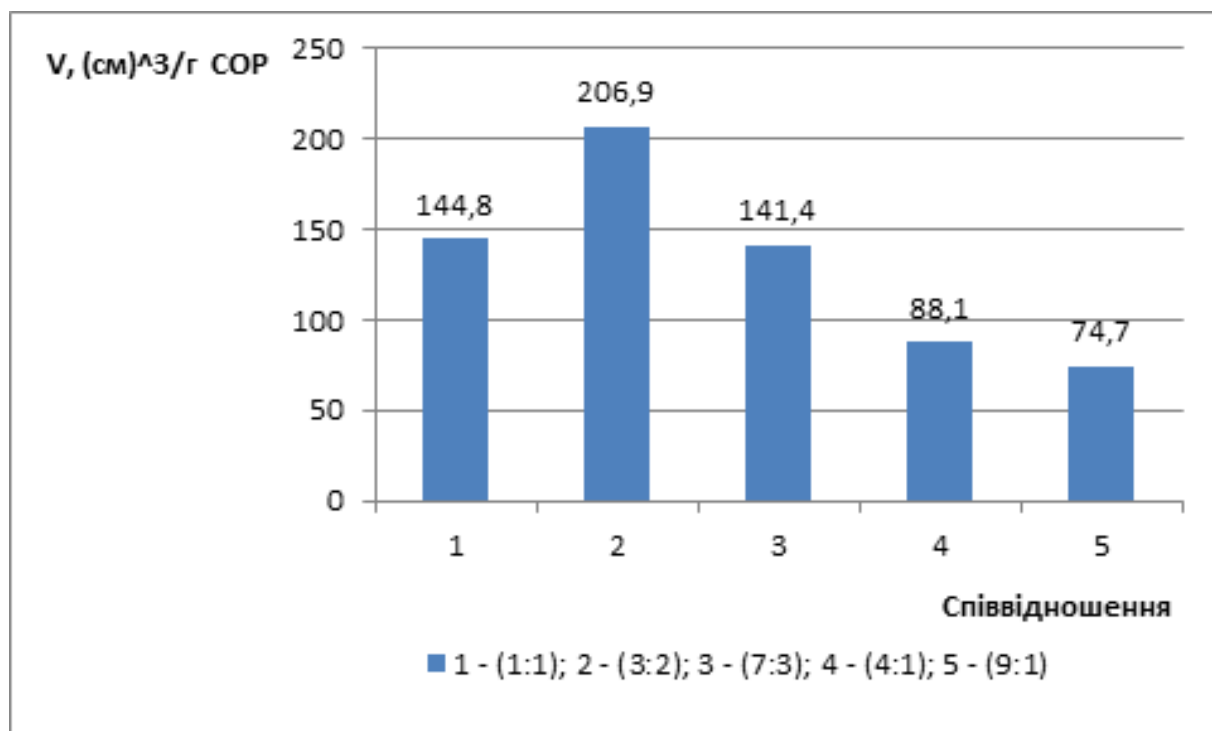


Рисунок 3.5 – Вихід біогазу (V) на одиницю COP при різному співвідношенні косубстратів послід:паперові відходи

Як видно з рис. 3.5 найвищий вихід біогазу при використанні паперових відходів спостерігається при використанні співвідношення послід:косубстрат – 3:2 і становить $208,8 \pm 10,4$ см³/г СОР.

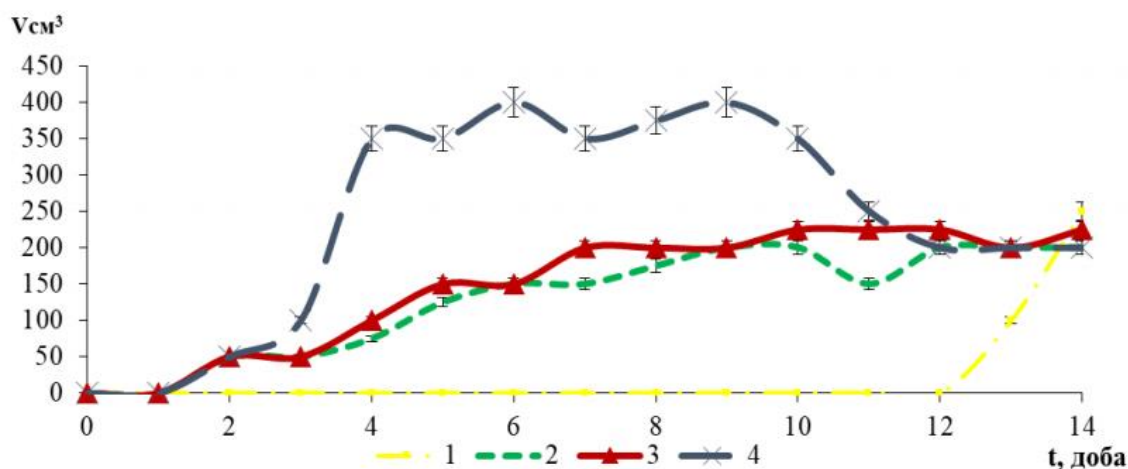
За результатами сумісного зброджування посліду та паперових відходів можна стверджувати, що при використанні такого целюлозовмісного косубстрату вихід біогазу та вміст метану в ньому високий і характеризується найбільшим ступенем перетворення сировини. Виявлено, що ефективність виходу біогазу при використанні паперових відходів в якості косубстрату підвищується на 63,6 % на відміну від використання силосу кукурудзи.

3.2.3 Вплив співвідношення інокуляту та субстрату на технологічний процес метанового зброджування пташиного посліду

На ряду з СОР, рН та співвідношення (C:N) важливим параметром для процесу метанового зброджування пташиного посліду з целюлозовмісним косубстратом є кількість інокуляту, оскільки у посліді птахів міститься менше метаногенних бактерій в порівнянні, наприклад, з гноєм ВРХ [61]. Від цього співвідношення також залежить зміна рН середовища, оскільки збільшення вмісту інокуляту призводить до швидкого утворення кислот, наслідком чого є інгібування розвитку метаногенних мікроорганізмів і припинення утворення метану. Вміст інокуляту впливає на швидкість виходу процесу в стаціонарний режим та на кількісний склад біогазу в процесі періодичного бродіння [62]. На рис. 3.6 наведено залежність виходу біогазу від співвідношення інокулят:субстрат в ферментері за сухою органічною речовиною.

Як видно з рис. 3.6 незалежно від кількості інокуляту процес отримання біогазу починається на другу добу ферментації. У випадку його відсутності (крива 1) вихід біогазу починається після 12 діб знаходження субстрату в ферментері. Вихід біогазу був однаковим при вмісті інокуляту 20 та 40 %. При збільшенні інокуляту до 60 % вихід біогазу з 3 по 11 добу перевищував у два рази вихід біогазу за інших концентрацій інокуляту. Починаючи з 11 доби

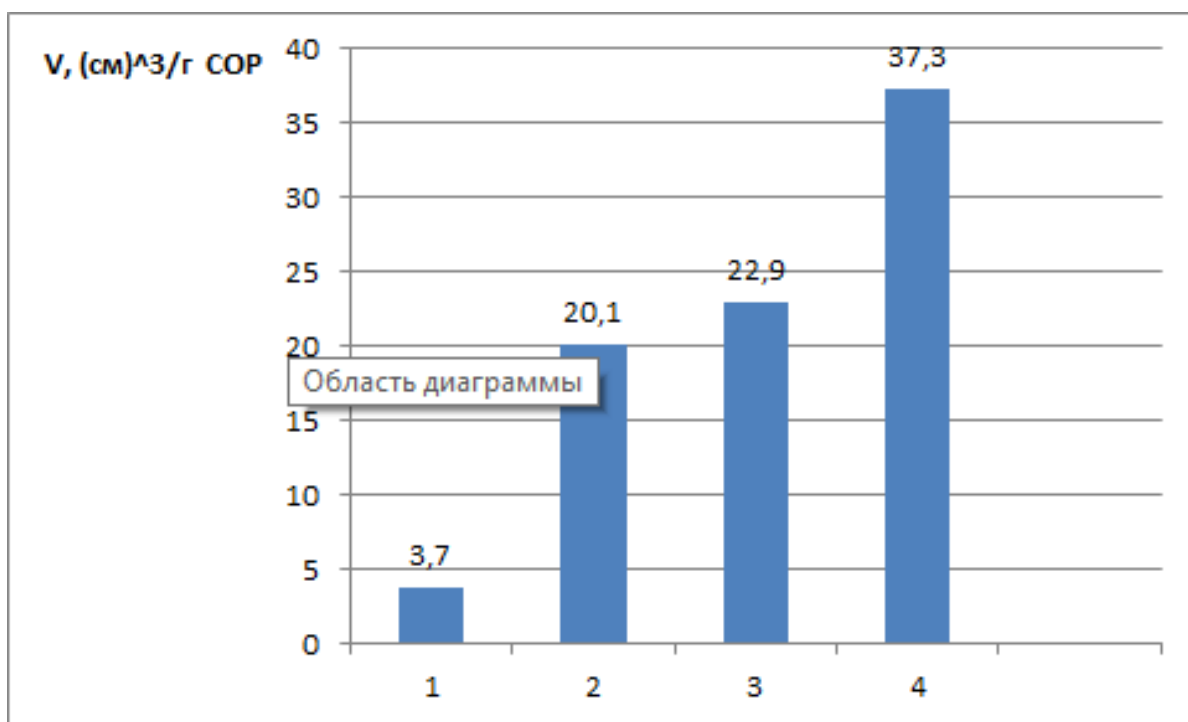
інтенсивність утворення біогазу в пробі з 60 % інокуляту знизилась до показників проб з вмістом інокуляту 20 % та 40 %.



1 – без інокуляту, 2 – 20 ± 1 % інокуляту, 3 – 40 ± 2 % – інокуляту,
4 – 60 ± 3 % – інокуляту

Рисунок 3.6 – Динаміка виходу біогазу (V) в процесі ферментації (t) в залежності від співвідношення інокуляту та субстрату в перерахунку на СОР

На початкових етапах бродіння проходить деструкція високомолекулярних речовин з утворенням вуглекислоти та сполук, які беруть участь в подальшому утворенні метану в процесі ферментації. Цим пояснюються великий вміст метану в біогазі при кількості інокуляту 60 %. Отже, для підвищення швидкості деструкції целюлозовмісної сировини та утворення біогазу процес анаеробного зброджування потрібно проводити при співвідношенні інокуляту:субстрат – 3:2. За цих умов швидкість перетворення субстрату і вихід біогазу на одиницю СОР збільшується (рис. 3.7). За 12 діб відбувається нарощування кількості мікроорганізмів, які були наявні в субстраті (виходячи з даних утворення біогазу без внесення інокуляту), що при початковій концентрації інокуляту 60 % призводить до зниження рН розчину і, як наслідок, відбувається збільшення вмісту водню в біогазі та зниження швидкості утворення метану.



1 – без інокуляту, 2 – 20 ± 1 % інокуляту, 3 – 40 ± 2 % – інокуляту, 4 – 60 ± 3 % – інокуляту

Рисунок 3.7 – Вихід біогазу (V) на одиницю СОР за 14 діб ферментації при різному початковому вмісті інокуляту

Тобто для збільшення швидкості переробки сировини раціональним є співвідношення інокулят/субстрат – 3:2.

Висновки до розділу 3

1. Курячий послід є ідеальною сировиною для біогазової станції і дає високий вихід біогазу. Однак чистий послід погано піддається процесам метанової ферментації. Рішенням даної проблеми є застосування процесу коферментації з целюлозовмісною сировиною.

2. Розглянуто процес отримання біогазу при метановому зброджуванні пташиного посліду з кукурудзою та з паперовими відходами. Виявлено, що швидкість розкладу субстрату залежать від компонентного

складу целюлозовмісної сировини. Чим більше вмісту лігніну та целюлози, що погано розчиняється, тим нижче швидкість її утилізації мікроорганізмами.

3. Найкращий вихід біогазу з 1г СОР характерний для сировини, структура якої не обмежує доступ мікроорганізмів до поживних речовин, і не містить лігніну. Рациональне співвідношення компонентів сировини послід:відходи паперу – 3:2.

4. Виявлено, що ефективність виходу біогазу підвищується на 63,6 % при використанні паперових відходів в якості косубстрату замість силосу кукурудзи.

5. Досліджено вплив співвідношення інокуляту та субстрату на технологічний процес метанового зброджування пташиного посліду. Виявлено, що для збільшення швидкості переробки сировини рациональним є співвідношення інокуляту:субстрат – 3:2.

4 СТАРТАП-ПРОЕКТ «ВПРОВАДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИДОБУТКУ БІОГАЗУ З КУРЯЧОГО ПОСЛІДУ З ВИКОРИСТАННЯМ ПАПЕРОВИХ ВІДХОДІВ»

Основною ідеєю стартап-проекту є впровадження технології виробництва біогазу з використанням паперових відходів в якості косубстрату пташиного посліду на птахофабриках. Впровадження даної технології полягає у заміні силосу кукурудзи на макулатуру необроблену зіпсовану, забруднену або не ідентифіковану та її залишків, які не можуть бути використані за призначенням в якості косубстрату для виробництва біогазу у біогазовій установці. У подальшому зупинимося на обґрунтуванні наступних етапів реалізації стартап-проекту:

- актуальності та новизни інноваційної ідеї;
- аналізу конкурентного середовища;
- ресурсного забезпечення проекту;
- фінансового забезпечення проекту;
- інвестиційного етапу реалізації проекту;
- маркетингового етапу реалізації проекту.

4.1 Обґрунтування актуальності та новизни інноваційної ідеї стартап-проекту

Актуальність та новизна інноваційної ідеї стартап-проекту полягає у використанні паперових відходів, а саме необробленої макулатури, яка є зіпсована, забруднена або не ідентифікована та її залишків, які не можуть бути використані за призначенням в якості косубстрату для підвищення ефективності виходу біогазу. В табл. 4.1 охарактеризовано основні переваги пропонованого виробу та вигоди від їх використання споживачами.

Таблиця 4.1 – Актуальність та новизна ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Переваги та вигоди споживача
Виробництво біогазу з використанням паперових відходів в якості косубстрату	Біогаз для вироблення електричної енергії	Забезпечення власною електричною та тепловою енергією; зменшення або повна відсутність витрат на оплату комунальних послуг; отримання додаткових коштів при продажі електричної енергії державі за «зеленим тарифом», зменшення відходів підприємства
	Біогаз для вироблення теплової енергії	

4.2 Аналіз конкурентного середовища

У результаті аналізу конкурентного середовища встановлено, що на ринку наявні конкуренти, що пропонують схожі технології. Серед яких, підприємства, що обладнані біогазовими установками, де в якості косубстратів використовуються різні компоненти, наприклад, силос кукурудзи або силос сарго. Ідею можна охарактеризувати за такими техніко-економічними показниками: ефективність виходу біогазу, екологічність та економічність. У табл. 4.2 визначено коло конкурентів, що вже існують на ринку та окреслено техніко-економічні переваги пропонованої ідеї.

Таблиця 4.2 – Переваги ідеї проекту

№ п/п	Техніко-економічні характеристики ідеї	Стартап проект (послід+паперові відходи)	Птахофабрика ПрАТ «Оріль-Лідер» (послід+силос кукурудзи)	ТОВ «Вінницька птахофабрика» (послід+силос сарго)
1	2	3	4	5
1.	Вихід біогазу на одиницю СОР, см ³ /г СОР (на день)	206,9	105,2	88,4

Продовження таблиці 4.2

1	2	3	4	5
2.	Екологічність	Зменшення кількості курячого посліду та паперових відходів	Зменшення кількості курячого посліду	Зменшення кількості курячого посліду
3.	Економічність	Витрати на транспортування паперових відходів	Витрати на вирощування енергетичних культур	Витрати на вирощування енергетичних культур

У таблиці 4.3 узагальнено результати SWOT-аналізу потенційних загроз та можливостей реалізації стартап-проекту.

Таблиця 4.3 – Матриця SWOT-аналізу

<i>Сильні сторони</i>	<i>Слабкі сторони</i>
1.Підвищення ефективності виходу біогазу 2.Зменшення відходів птахофабрик 3.Вирішення проблеми утилізації паперових відходів 4.Економія коштів за рахунок припинення вирощування енергетичних культур 5.Не потребує змін параметрів та характеристик біогазової установки.	1. Україна перебуває на початковому етапі запровадження відновлюваних джерел енергії 2.Недостатньо вивченими є науково-технічні та економічні проблеми виробництва і використання біогазу.
<i>Можливості</i>	<i>Загрози</i>
1. Можливість використання не тільки на птахофабриках, а на будь-яких підприємства агропромислового комплексу. 2.Вихід на міжнародний ринок	1.Негативні зміни з боку законодавства 2.Відсутність бажання підприємств змінювати технологію

4.3 Обґрунтування ресурсного забезпечення проекту

Планується використання наступних видів ресурсів: матеріальні, капітальні, інтелектуальні, нематеріальні. До матеріальних ресурсів віднесено макулатура необроблена зіпсована, забруднена або не ідентифікована, її залишки, які не можуть бути використані за призначенням; до капітальних – витрати на купівлю паперових відходів та транспортування їх на підприємство; до інтелектуальних – науково та комерційно цінну інформацію щодо технологій виробництва біогазу з використанням паперових відходів; до нематеріальних – комерційну таємницю щодо раціонального складу компонентів, відношенням посліду до паперових відходів та способу найефективнішого виробництва біогазу.

4.4 Ключові види діяльності та ключові партнери

У табл. 4.4 надано короткий опис видів діяльності та заходів, направлених на реалізацію завдань проекту, а в табл. 4.5 визначено ключових партнерів як постачальників необхідних матеріальних, капітальних, трудових та енергетичних ресурсів тощо.

Таблиця 4.4 – Ключові види діяльності

Назва діяльності	Опис діяльності	Результат діяльності
Закупівля паперових відходів	Налагодження зв'язків з картонно-паперовими підприємствами України	Наявність готової до використання сировини
Виробництво біогазу	Використання курячого посліду та відходів паперу у якості субстрату, що завантажується у біогазову установку	Утворення біогазу

Продовження таблиці 4.4

Назва діяльності	Опис діяльності	Результат діяльності
Збут залишків невикористаної електроенергії	Електрична та теплова енергія використовується на потреби підприємства, залишки невикористаної електроенергії поставляються в загальну мережу за «зеленим тарифом»	Додатковий прибуток
Управління виробництвом	Оплата праці персоналу, моніторинг діяльності установки, контроль відповідності діяльності чинному законодавству	Безперебійна ефективна діяльність установки, налагодженість всіх процесів виробництва

Таблиця 4.5 – Ключові партнери

Інформація	Партнер 1	Партнер 2
Назва організації-партнера	ПрАТ «Оріль-Лідер»	ВАТ «Дніпропетровська паперова фабрика»
Місце розташування	Дніпропетровська обл., с. Єлизаветівка	м. Дніпро
Юридичний статус	Юридична особа	Юридична особа
Інформація	Партнер 1	Партнер 2
Офіційна адреса	51831, Дніпропетровська обл., Петриківський р-н, с. Єлизаветівка, вул. Хмельницького, 1	49034, м. Дніпро, вул. Каспійська, 2
Контактна особа	Волков Руслан Дмитрович	Саверська Лариса Володимирівна

Продовження таблиці 4.5

Телефон	+38 (056) 790-78-01	+38 (056) 725-06-60
Електронна адреса	orel-leader@mhp.com.ua	dbf_dnepr@ukr.net
Роль та залученість до цього проекту	Ключова	Постачання необхідних матеріалів
Завдання, які покладаються на організацію партнера в реалізації проекту	Забезпечення біогазовою установкою, постачання курячого посліду	Постачання паперових відходів, макулатури та її залишків

4.5 Фінансове обґрунтування стартап-проекту

Обґрунтування необхідних витрат, формування на їх основі собівартості реалізації бізнес-ідеї стартап-проекту та формування її ціни. Витратне обґрунтування ціни товару (послуги) передбачає обґрунтування собівартості виробництва товару (надання послуг). Собівартість узагальнює витрати підприємства на виробництво і реалізацію товару (надання послуги). Положення (Стандарт) бухгалтерського обліку – 16 «Витрати» [63], найбільш узагальнений підхід до класифікації витрат, передбачає п'ять економічних елементів:

- прямі матеріальні затрати;
- прямі затрати на оплату праці;
- соціальні відрахування до пенсійного фонду – 22% по заробітній платі;
- амортизація основних фондів та нематеріальних активів для власного виробничого призначення;
- інші прямі витрати;
- загальновиробничі витрати.

4.5.1 Прямі матеріальні затрати

Відповідно до П(С)БО 16 «Витрати» обґрунтуємо прямі матеріальні витрати на одиницю продукції – витрати на сировину, матеріали, комплектуючі, паливо, енергію, комунальні послуги, запасні частини, малоцінні необоротні активи .

Означені витрати узагальнимо в табл. 4.6.

Таблиця 4.6 – Прямі матеріальні витрати

№ п/п	Назва ресурсу	Одиниця вимір.	Ціна	Кількість ресурсу	Потреба на місяць	Потреба на рік
1.	Паперові відходи	грн/кг	0,5	80 т/день	1 200 000	14 400 000
2	Паливо	грн/л	29,69	100 л/день*	89 070	1 068 840
Всього:					1 289 070	15 468 840

* Для перевезення 80 т паперових відходів на день необхідно декілька вантажних машин вантажопідйомністю 15 тонн. Витрата бензину вантажівки в середньому складає 20 л на 100 км. Відстань між ПрАТ «Оріль-Лідер» та ВАТ «Дніпропетровська паперова фабрика» складає приблизно 50 км. Отже, для однієї поїздки в обидві сторони витрата бензину складе 20 л.

4.6 Обґрунтування собівартості інноваційної ідеї стартап-проекту

Розрахунок собівартості узагальнимо в табл 4.7.

Таблиця 4.7 – Обґрунтування собівартості товару

Статті витрат	Джерела даних	Витрати, грн		
		На місяць	На квартал	На рік
Собівартість	Табл. 4.6	1 300 000	3 875 000	15 500 000

4.7 Обґрунтування рівня рентабельності товару

Відносна величина прибутку підприємства характеризується рівнем рентабельності. Рівень рентабельності це співвідношення прибутку до витрат виробництва, розрахованих у відсотках:

$$N_{\text{пр.}} = \frac{\Pi}{ВВ} \cdot 100\%, \quad (4.1)$$

де Π – прибуток підприємства, $ВВ$ – валові витрати.

Прибуток підприємства ПрАТ «Оріль-Лідер» – це кошти, зекономлені на оплату комунальних послуг, а саме електричної енергії, опалення гарячої води. За період експлуатації (5 років) при використанні курячого посліду та кукурудзи вироблено 100 мільйонів кВт «зеленої» електроенергії. Одночасно з її виробництвом компанія отримує теплову енергію. За період експлуатації вироблено 90 тисяч Гкал, що в еквіваленті на природній газ становить 11 мільйонів «кубів». Вісімдесят відсотків теплової енергії, яку виробляє біогазова станція, йде на заміщення газу, який використовувався для опалення адмінбудинків та виробництва гарячої води [64].

Після заміни кукурудзи на паперові відходи виробництво електричної та теплової енергії збільшиться приблизно на 50%.

За 1 рік підприємство буде виробляти 40 000 МВт електричної енергії. Згідно з тарифами на послуги з розподілу електричної енергії Дніпропетровської області 1 МВт·год коштує 62,55 грн [65]. Отже, підприємство економить 2 502 000 грн/рік.

За 1 рік підприємство виробляє та використовує 36 тисяч Гкал теплової енергії. Згідно з Тарифами централізованого опалення та гарячого водопостачання (населення) Дніпропетровської області 1 Гкал коштує 43,8 грн [66]. Отже, підприємство економить 788 400 грн/рік.

Прибуток підприємства складає:

$$2\,502\,000 + 1\,576\,800 = 4\,078\,800 \text{ грн/рік}$$

З формули 4.1 розрахуємо рентабельність товару:

$$N_{\text{пр}} = \frac{4\,078\,800}{15\,500\,000} \cdot 100\% = 26,3\%$$

4.8 Цільові групи потенційних споживачів

В обґрунтуванні потенційних споживачів доцільно виявити цільові групи, яким будуть пропонуватися технологія використання паперових відходів як косубстрату для вироблення біогазу, а також визначити відповідну стратегію охоплення ринку. В табл. 4.8 представлено цільові групи потенційних споживачів.

Таблиця 4.8 – Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис цільової групи потенційних клієнтів	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Птахофабрики	Високий	Низька	Легко
2	Свиноферми	Високий	Низька	Легко
3	Скотарські підприємства	Високий	Низька	Легко

Відповідно до таблиці 4.8 в якості стратегії охоплення ринку обрано стратегію масового маркетингу, тобто пропонується стандартизована програма впровадження технології для всіх суб'єктів ринку.

Обраний сегмент ринку передбачає розроблення базової стратегію 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	Базова стратегія розвитку*
Ринкові можливості посилення ідеї стартап-проекту	Комбінований маркетинг	Збільшення виходу біогазу, екологічність, економічність, відсутність абсолютних аналогів на ринку	Масовий маркетинг

4.9 Канали збуту

Незважаючи на те, що при використанні послуг посередників виробник певною мірою втрачає контроль за реалізацією товарів, більшість підприємців вважає вигідним залучення посередників. У табл. 4.10 визначено оптимальну систему збуту і коротко описано процес продажу.

Таблиця 4.10 – Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Оптимальна система збуту
1	Для загальної електромережі збут електроенергії здійснюється за «зеленим» тарифом	Підключення до загальної електричної мережі	Традиційна

4.10 Бізнес-модель проекту

Розробка стартап-проекту - це створення бізнес-моделі комерціалізації науково-технічних розробок. Побудова конкурентної бізнес-моделі є ефективним інструментом вирішення поставлених у роботі задач і представляє структуру найважливіших елементів бізнес-проекту та є джерелом інноваційних ідей і підходів, які можуть бути застосовані в унікальному поєднанні компонентів [67,68]. В таблиці 4.10 представлено 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>
ПрАТ «Оріль-Лідер», постачальник паперових відходів ВАТ «Дніпропетровська паперова фабрика»	Виробництво біогазу при використанні пташиного посліду та паперових відходів у якості косубстрату.	Підвищення виходу біогазу, екологічність, відсутність абсолютних аналогів	Надійність наданих послуг, дотримання термінів, дотримання всіх діючих природоохоронних законів та норм	Птахо-фабрики, свиноферми, скотарські підприємства
	<u>Ключові ресурси</u> Матеріальні – паперові відходи. Фінансові – витрати на купівлю паперових відходів та їх транспортування. Інтелектуальні – науково цінна інформація щодо технологій виробництва біогазу. Нематеріальні – комерційна таємниця щодо раціонального складу компонентів та відношенням посліду до паперових відходів		<u>Прямий канал збуту</u> Для загальної електромережі збут електроенергії здійснюється за «зеленим» тарифом	
<u>Структура собівартості</u> Постійні витрати: 1 289 070 грн/міс			<u>Потоки надходження доходу</u> Зекономлені кошти на електричній та тепловій енергії + кошти з продажу електроенергії за «зеленим тарифом»	

4.11 Аналіз ризиків стартап-проекту

Впровадження та реалізація стартап-проекту може мати значні ризики, тому необхідно проводити обґрунтування ризиків, які залежать від факторів невизначеності.

Інноваційні ризики визначаються ймовірністю втрат підприємства від інвестування засобів у виробництво нового обладнання (технологій), які можуть не знайти очікуваного попиту у споживачів на ринку.

До найбільш значущих мікроекономічних факторів впливу на ризики стартап-проекту належать [69]:

- фінансові ризики зумовлені недостатньо стабільним фінансовим станом підприємства та відсутністю належного фінансування етапів реалізації стартап-проекту;
- організаційні ризики – неефективна організація реалізації стартап-проекту в підрозділах та підприємства в цілому;
- логістичні ризики – неефективна технологія постачання необхідних ресурсів та взаємодії з постачальниками, підрядниками, діловими партнерами;
- кадрові ризики пов'язані з недостатньою професійною компетентністю залучених до реалізації стартап-проекту працівників, відсутністю їх особистої ініціативи або належної координації їх злагодженої роботи в команді;
- маркетингові ризики – відсутність зваженої та чіткої маркетингової стратегії впровадження та реалізації стартап-проекту на ринку.

Проектні ризики зумовлені неточностями, недостатнім опрацюванням всіх складових реалізації стартап-проекту, ще на етапі його розроблення. Для зниження проектних ризиків доцільно на етапі проектування стартап-проекту здійснити:

- аналіз ринку (діагностика та вияв ризиків у ході якісного аналізу, оцінка ризиків у ході кількісного аналізу);
- вибір методу та засобів управління ризиком (основні інструменти:

скасування ризику, запобігання та контролювання ризику, страхування ризику);

- фінансування ризиків (одночасне використання методу запобігання та контролювання ризиків);
- здійснення оцінки результатів.

Політичні ризики пов'язані з нестабільністю національної економіки, державного устрою, діяльності органів влади, етнічними, регіональними проблемами, поляризацією інтересів соціальних груп тощо [69].

Економічні ризики зумовлені несприятливими змінами економічної діяльності підприємства, кон'юнктури ринку, рівнів управління тощо.

Комерційні ризики – пов'язані з процесом реалізації товарів і послуг, що зроблені чи куплені підприємцем. Основними причинами виникнення комерційних ризиків є:

- зниження обсягів реалізації товару внаслідок зниження попиту, витіснення його конкурентними аналогами, введення державних обмежень продажу;
- підвищення закупівельної ціни в ході реалізації підприємницького проекту;
- непередбачуване зниження обсягів продажу порівняно з планованими, що знижує ефект масштабу партії товару та відповідно збільшує питомі витрати реалізованого товару (за рахунок умовно постійних витрат);
- непрогнозована втрата товару;
- втрата якості товару в ході реалізації (транспортування, зберігання), що зумовлює зниження його ціни та загрожує втратою прибутку або навіть банкрутством;
- підвищення витрат обороту капіталу порівняно з планованими результатами через непередбачувані штрафні санкції, відрахування, що зумовлює втрату прибутку підприємства.

Майнові ризики пов'язані з імовірністю втрати майна підприємства через крадіжку, диверсію, порушення технічної та технологічної систем тощо.

Торгівельні ризики обумовлені збитками через затримку платежів, порушення термінів своєчасного постачання товару у процесі його транспортування тощо.

Окремо варто виділити транспортний ризик. В даний час транспортні ризики класифікуються в залежності від ступеню відповідальності в чотири групи: E, F, C, D [69].

Група E включає ситуацію, коли постачальник (продавець) тримає товар на власних складах (Ex Works). Ризик несе постачальник до моменту прийняття товару покупцем. Тому ризики транспортування бере на себе покупець.

Група F містить три конкретні ситуації передачі відповідальності і ризиків:

- FCA означає, що ризик і відповідальність продавця переносяться на покупця в момент передачі товару в домовленому місці;
- FAS означає, що відповідальність ризику за товар переходять від постачальника до покупця у визначеному договором порту;
- FOB означає, що продавець знімає із себе відповідальність після відвантаження товару.

Група C включає ситуації, коли експортер, продавець укладають з покупцем договір на транспортування, але не приймають на себе ніякого ризику.

Остання група D означає, що всі, транспортні ризики лягають на продавця.

Виробничі ризики - ризики, що зв'язані зі збитком від зупинки виробництва внаслідок впливу різних факторів і, насамперед, із втратою чи пошкодженням основних і оборотних фондів (устаткування, сировина, транспорт тощо), а також ризики, що зв'язані з впровадженням у виробництво нової техніки і технології. До основних причин виробничих ризиків відносяться:

- зниження планованих обсягів виробництва і реалізації товару внаслідок зниження продуктивності праці, простою обладнання, втрат робочого

часу, відсутності необхідної кількості вихідних матеріалів, підвищеного відсотку бракованої продукції;

- зниження планованих цін реалізації товару (послугу) через зниження їх якості, несприятливі зміни ринкової кон'юнктури, підвищенням попиту;
- збільшення матеріальних витрат через перевитрату матеріалів, сировини, палива, енергії, а також за рахунок збільшення транспортних витрат, торгових витрат, накладних і інших додаткових витрат;
- зростання фонду оплати праці через перевищення планованої кількості працівників або незаплановане збільшення рівня заробітної плати окремим робітникам;
- збільшення податкових платежів й інших відрахувань підприємства;
- недостатньо ефективна робота логістичної служби підприємства, зриви поставок, перебої в постачанні палива та електроенергії;
- фізичний і моральний знос устаткування.

Фінансові ризики - це ризик, що виникає при здійсненні фінансового підприємництва чи фінансових угод, виходячи з того, що у фінансовому підприємстві в ролі товару виступають або валюта, або цінні папери, або кошти.

До фінансових ризиків належать валютні, кредитні та інвестиційні ризики [69].

Валютні ризики – це ймовірність фінансових втрат через зміну курсу валют у період реалізації стартап-проекту. А оскільки валютний курс у довготерміновій перспективі дуже рухливий, то доцільно в контракті постачання сировини, матеріалів окремо відобразити валютні ризики. Зазначимо, що серед основних факторів впливу на курс валют є стан платіжного балансу та рівень інфляції.

Одним з найважливіших видів ризиків діяльності стартапів в умовах ринкової економіки є кредитні ризики. Він зв'язаний з можливістю невиконання підприємством своїх фінансових зобов'язань перед інвестором у результаті використання для фінансування діяльності підприємства зовнішньої позики.

Отже, кредитний ризик виникає в процесі ділового спілкування підприємства з його кредиторами: банком і іншими фінансовими установами; контрагентами; постачальниками і посередниками, а також із акціонерами.

Важливими також є підприємницькі ризики, причинами яких є:

- непередбачувані зміни ринкового середовища, які впливають на діяльність ринкового суб'єкта (коливання ціни, податкові зміни, коливання валютного курсу, соціально- політичні зміни тощо);
- зміна відносин підприємства з партнерами (наприклад, можливість укласти більш вигідну угоду, подовжити або скоротити термін дії контракту, більш привабливі або навпаки умови діяльності, зміна фінансового стану тощо) [69].

Висновки до розділу 4

1. Аналіз ринку підтверджує відсутність абсолютних аналогів використання паперових відходів у якості косубстрату для виробництва біогазу у біогазових установках.
2. Враховуючи наявний попит та динаміку на ринку є можливість ринкової комерціалізації запропонованого стартап-проекту.
3. Рентабельність впровадження технології складає 26,3%.
4. З огляду на потенційні групи клієнтів, легкість входження, стан конкуренції та конкурентоспроможність вважаємо проект доцільним для подальшого впровадження.

ВИСНОВКИ

1. У дисертаційній роботі розглянуто проблему забруднення навколишнього середовища відходами птахівництва. Для вирішення проблеми переробки відходів використовують біогазові установки. Розглянуто потужності біогазових установок в Україні. Проаналізовано експериментальні та наукові дослідження процесу метанового бродіння та розглянуто математичні моделі, що описують динаміку виходу біогазу. Встановлено, що модель ADM-1 найбільш повно описує процес метанового бродіння, а для визначення виходу та складу біогазу використовують модель Гомпертца.

2. Проаналізовано процес утворення, склад та основні характеристики біогазу. Встановлено, що важливими факторами ефективного протікання процесу ферментації є анаеробне середовище, температура маси, що зброджується, присутність бактерій, що виробляють метан та слаболужна реакція середовища. Наведено схему та принцип роботи біогазових установок.

3. Розглянуто методики визначення характеристик субстратів та показників виходу біогазу. Визначено, що вихід біогазу залежить від вмісту сухої речовини. Максимальну інтенсивність виходу метану та тривалість лаг-фази визначають з використанням апроксимації експериментальних даних до математичної моделі Гомпертца.

4. Доведено, що курячий послід дає високий вихід біогазу, однак чистий послід погано піддається процесам метанової ферментації. Рішенням даної проблеми є застосування процесу коферментації з целюлозовмісною сировиною. Запропоновано використання паперових відходів в якості косубстрату.

5. Досліджено процес отримання біогазу при метановому зброджуванні пташиного посліду з кукурудзою та з відходами паперу. Виявлено, що чим більше вмісту лігніну та целюлози, що погано розчиняється, тим нижче швидкість її утилізації мікроорганізмами. Встановлено, що раціональне співвідношення компонентів сировини послід:відходи паперу

складає 3:2. Досліджено вплив співвідношення інокуляту та субстрату на технологічний процес метанового зброджування пташиного посліду. Виявлено, що для збільшення швидкості переробки сировини раціональним є співвідношення інокуляту:субстрат – 3:2.

6. Виявлено, що при використанні паперових відходів в якості косубстрату замість силосу кукурудзи ефективність виходу біогазу підвищується на 63,6 % .

7. Розроблено стартап-проект впровадження нової технології використання паперових відходів в якості косубстрату для виробництва біогазу в біогазових установках. Аналіз ринку підтверджує відсутність абсолютних аналогів використання паперових відходів у якості косубстрату. Враховуючи наявний попит та динаміку на ринку є можливість ринкової комерціалізації запропонованого стартап-проекту. Рентабельність впровадження технології складає 26,3%. З огляду на потенційні групи клієнтів, легкість входження, стан конкуренції та конкурентоспроможність проект є доцільним для подальшого впровадження.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Голуб Г. А., Дубровін В. О., Поліщук В. М. Біогаз. Національний університет біоресурсів і природокористування України. 2015. С. 48.
2. Ковалев А.А. Повышение энергетической эффективности биогазовых установок: автореф. дис. на соискание ученой степени кандидата технических наук: 05.20.01. Москва, 2014. 25 с.
3. Дубровін В.О., Корчемний М.О., Масло І.П. Біопалива (технології, машини і обладнання). ЦТІ «Енергетика і електрифікація». 2014. 137 с.
4. Зарубіжний досвід електро- та теплопостачання на основі впровадження екологоефективних біопаливних технологій. URL: https://ua.energy/wp-content/uploads/2017/05/Biopalyvni_tehnologiyi.pdf
5. Хажмурадов М.А. Установка та технологія по утилізації біогазу. Наука та інновації. 2006. № 4. С. 19.
6. Богоявленский Р.Г., Рыжов В.А. Мировые тенденции в области современных технологий утилизации твердых промышленных и бытовых отходов. ЭКОС. Москва. 2010. С. 42-51.
7. Офіційний сайт Біоенергетичної асоціації України. URL: <http://www.uabio.org>
8. Офіційний сайт компанії «Зорг Биогаз АГ». URL: <http://www.zorg.ua>
9. Офіційний сайт Державного агентства з енергоефективності та енергозбереження України. URL: <http://www.sae.gov.ua>
10. Петр Кучерук. Обзор биогазовых проектов в Украине и перспективы их развития. URL: http://biomass.kiev.ua/images/conference/pdf/7_kucheruk.pdf
11. Куріс Ю.В. Економічні аспекти виробництва та застосування біогазу. Газ метантенків. Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. НТУ «ХПИ». Харків. 2010. №7. С. 23-30.

12. Четверик Г.О. Екологічні аспекти виробництва біогазу в Україні. Матеріали міжнар. конф. "Зелена енергетика", тези доповідей. Київ. Національний авіаційний університет. 2013. С. 386-388.
13. Четверик Г.О. Виробництво та споживання біогазу в Україні. Матеріали міжнар. конф. "Відновлювана енергетика XXI століття", тези доповідей. смт. Миколаївка. 2011. С. 432-434.
14. Порженский В. Биогазовый завод Орель Лидер. URL: <http://biomass.kiev.ua/images/conference/pdf/6-Nijhuis-ukr.pdf>
15. Кучерук П.П. Підвищення ефективності виробництва біогазу шляхом сумісного метанового бродіння гнойових відходів та силосу кукурудзи: дис. канд. техн. наук: 05.14.08. Інститут технічної теплофізики НАН України: Київ. 2016. 164 с.
16. Гелатуха Г.Г., Кобрзарь С.Г. Современные технологии анаэробного сбраживания биомассы (обзор). Экология и ресурсосбережение. 2002. №4. С.3-7.
17. Сидоров Ю. І. Сучасні біогазові технології. Національний університет «Львівська політехніка». 2013. С. 46-61.
18. Хамоков М.М., Шекихачев Ю.А., Фиापшев А.Г. Оптимизация режимов работы установки для переработки птичьего помета. Политематический научный журнал КубГАУ. Краснодар. 2012. №76
19. Ибигенов В.В., Садчиков А.В. Повышение эффективности работы биогазовых установок с комбинированной загрузкой путем добавления в качестве компонента предварительно дигерированного птичьего помета. Приволжский научный вестник. 2014. № 5(33). С. 58-60.
20. Свалова М.В. Обоснование и разработка технологического процесса утилизации отходов птицеводства с использованием биогазовых установок: дис. на соискание учетной степени канд. техн. наук: 05.20.01. Санкт-Петербург. 2009. 122 с.
21. Andrews J. A mathematical model the continuous culture of microorganism utilizing inhibitory substrate. Biotechnology and bioengineering. New York: John Wiley and Sons Inc., 1968. №10. P. 707-723.

22. Edvards V.H. The influence of high substrate concentration on microbial kinetics. *Biotechnology and bioengineering*. New York: John Wiley and Sons Inc., 1970. №12. P. 679-712.
23. Kiely G., Tayfur G. Physical and mathematical modeling of anaerobic digestion of organic wastes. *Water Research*. Oxford: Pergamon, 1997. Vol. 31. № 3. P. 534-540.
24. Kiely G. A laboratory study of the co-digestion of the organic food fraction of MSW and primary sewage sludge. *Proceedings of the 7-th International symposium on anaerobic digestion*. Oxford: Pergamon, 1994. 445 p.
25. Steyer J.P. An example of the benefits obtained from the long term use of mathematical models in wastewater biological treatment. *Proceedings of the 4-th Mathmod International symposium on mathematical modeling*. Vienna: University of Technology. 2003. Argesim report № 24. 6 p.
26. Steyer J.P. Evaluation of a four year experience with a fully instrumented anaerobic digestion process. *Water Science and Technology*. London: IWA Publishing. 2002. Vol. 45. № 4-5. P. 495-502.
27. Buswell A. M. Mechanism of methane fermentation. *Industrial and engineering chemistry research*. Washington: American chemical society. 1952. Vol. 44. № 3. P. 550-552.
28. Buswell A.M. *Anaerobic fermentation*. Urbana-Champaign: University of Illinois. 1936. 193 p.
29. Gerber M., Span R. An analysis of available mathematical models for anaerobic digestion of organic substances for production of biogas. Paris: IGRC. 2008. 30 p.
30. Amon Th. *Optimierung der methanerzeugung aus energiepflanzen mit dem methanenergimertsystem*. Wien: Bundestministerium fur verkehr. 2006. 193 p.
31. Batstone. D.J., Keller J. The IWA Anaerobic Digestion Model № 1 (ADM1). *Water Science and Technology*. London: IWA Publishing. 2002. Vol. 45. № 10. P. 65-73.

32. Zvietering M., Jongenburger I., Rombouts F. Modeling of the bacterial growth curve. *Applied and environmental microbiology*. 1990. № 56. P. 1875-1881.
33. Hill D.T., Barth C.L. A dynamic model for simulation of animal waste digestion. *Water pollution control federation*. Alexandria: Water environment federation. 1977. Vol. October. P. 2129-2143.
34. Біогаз. Матеріал з Вікіпедії – вільної енциклопедії. 2019. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Біогаз>
35. Отримання біогазу. Google Sites. 2018. URL: <https://sites.google.com/site/otrimannabiogazu/home>.
36. Мельничук М.Д., Дубровін В.О., Мироненко В.Г. Альтернативна енергетика. Навч. посібник для студ. вищ. навч. закл. Київ: «Аграр Медіа Груп». 2012. 244 с.
37. Okonkwoa U. C. Comparative study of the optimal ratio of biogas production from various organic wastes and weeds for digester/restarted digester. *Journal of King Saud University. Engineering Sciences*. 2016. p. 71.
38. Carillo P. Bacterial and Archaeal Communities Influence on Methane Production. *Chemical engineering transactions*. 2014. V. 37. P. 859-864.
39. Merlin C. Microbial dynamics during anaerobic digestion of cow dung. *International Journal of Plant, Animal and Environmental*. 2014. V. 4. №4. P. 86-94.
40. Guarino G. Does the C/N ratio really affect the Bio–methane Yield, A three years investigation of Buffalo Manure Digestion. *Chemical engineering transactions*. 2016. V. 49. P. 463-468.
41. Wang X. Effects of Temperature and Carbon–Nitrogen (C/N) Ratio on the Performance of Anaerobic Co–Digestion of Dairy Manure, Chicken Manure and Rice Straw: Focusing on Ammonia Inhibition. *Open Access*. 2014. V. 9. № 5. P. 1-7.
42. Robertson G. P. Nitrogen transformations. *Soil microbiology, ecology and biochemistry*. Fourth edition. Academic Press, Burlington, Massachusetts, USA. 2015. P. 421-446.
43. Биогазовая установка. Устройство и принцип работы. Я земледелец – фермерский интернет журнал. 2014. URL:

<http://yazemledelec.ru/zhivotnovodstvo/108-biogazovaya-ustanovka-ustrojstvo-i-printsip-raboty.html>.

44. ДСТУ EN 12048:2005. Добри́ва тверді́ та вапнува́льні матеріали. Визначення вмісту вологи гравіметричним методом. Висушування за температури $105\pm 2^{\circ}\text{C}$. [Чинний від 2006-07-01]. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 2010. 16 с

45. ГОСТ 26714-85. Удобрения органические. Метод определения золы. [Действует от 1987-01-01]. Москва: Государственный комитет СССР по стандартам, 1987.

46. Эдер Б. Биогазовые установки. Практическое пособие. Киев: Зорг Украина, 2011. 268 с.

47. Семененко И.В. Проектирование биогазовых установок. Сумы: МакДен. 1996. 347 с.

48. Automatical methane potential test system. Operation and maintenance manual. Lund: Bioprocess control Sweden AB. 2016. 95 p.

49. Brone I., Allen E., Murphy J. Evaluation of the BMP from multiple waste streams for a proposed community scale anaerobic digestion. Fuel. Kidlington: Elsevier Sci Ltd. 2011. Vol. 90. № 7. P. 2404-2412.

50. Gil M., Brandao R., Silva L. A modified Gompertz model to predict microbial inactivation under time-varying temperature condition. Industrial and engineering chemistry research. Washington: American chemical society. 1952. Vol. 44. № 3. P. 550-552.

51. Van Impe J.F. Dynamic mathematical model to predict microbial growth and inactivation during food processing. Applied and Environmental Microbiology, 1999. № 58(9). P. 2901-2909.

52. Гелету́ха Г.Г., Желе́зная Т.А. Современное состояние и перспективы развития биоэнергетики в Украине. Ч. 2. Промышленная теплотехника. Киев: Інститут технічної теплофізики НАН України. 2010. №4. С. 94-100.

53. Птахівництво — ефективна сфера агробізнесу. Агробізнес Сьогодні. 2018. URL: <http://agro-business.com.ua/agro/ekonomichniy-hektar/item/7898-ptakhivnytstvo-efektyvna-sfera-ahrobiznesu.html>.
54. Вихід посліду при вирощуванні та утриманні птиці. Державна дослідна станція птахівництва НААН. 2019. URL: http://avianua.com/ua/index.php/statty_po_pticevodstvu/tekhnolohiia-ptakhivnytstva/40-
55. Панцхава Е. С., Шипилов М. М. Биогаз – высокорентабельное томливо. Электронный журнал энергосервисной компании «Экологические ситемы». №4. 2008 URL: http://www.esco.co.ua/journal/2008_4/art107.htm.
56. Schlegel M. Essential technical parameters for effective biogas production Agronomy Research. 2008. № 6 (Special issue). P. 341-348.
57. Козловець О.А. Біотехнологія одержання біогазу при коферментації посліду птахів: дис. на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук: 03.00.20. Київ, 2017. 189 с
58. Nielfa A. Theoretical methane production generated by the codigestion of organic fraction municipal solid waste and biological sludge. Biotechnology Reports. 2015. V. 5. № 1. P. 14-21.
59. Утворення відходів за класифікаційними угрупованнями державного класифікатора відходів у 2018 році. URL: www.ukrstat.gov.ua
60. Голуб Н. Б., Козловець О. А. Анаеробна коферментація пташиного пташиного посліду з целюлозовмісними відходами. Відроджувальна енергетика. 2016. V. 43. № 3. P. 83-93.
61. Golub N., Kozlovets O. Technology of anaerobic-aerobic purification of wastewater from nitrogen compounds after obtaining biogas. Eastern-European journal of enterprise technologies. 2016. V. 10. № 3. P. 35-40.
62. Pathak J. Determination of inoculum dose for methane production from food industry effluent. Jr. of Industrial Pollution Control. 2007. V. 1. № 23. P. 49-54.

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

64. Куряче тепло: як птахофабриці заробляти на відходах. Agravery – аграрне інформаційне агентство. 2015. URL: <https://agravery.com/uk/posts/show/kurace-teplo-ak-ptahofabrici-zaroblati-na-vidhodah>

65. Тарифи на послуги з розподілу електричної енергії, що діють з 01 січня 2019 року. URL: <https://www.nerc.gov.ua/?id=37481>

66. Тарифи централізованого опалення та гарячого водопостачання (населення). URL: https://krmisto.gov.ua/ua/tarifs/bycapital/warm/sort/t.actual_tarif.html

67. Шевчук Н.А., Зайченко С.В., Кривда О.В. Впровадження та реалізація стартап проекту геомехатронного комплексу. Сучасні проблеми економіки і підприємництва. Збірник наукових праць. Вип. 21. Київ: ІВЦ Видавництво «Політехніка». 2018 С.94-101(Міжнародна індексація: [Index Copernicus](#), [Google Scholar](#), [SIS](#)).

68. Шевчук Н.А. Впровадження та реалізація стартапів в гірництві. Міжнародна науково-технічна конференція, присвячена 120-річчю КПІ «ПРОБЛЕМИ ГЕОІНЖЕНЕРІЇ ТА ПІДЗЕМНОЇ УРБАНІСТИКИ». Київ: НТУУ «КПІ», 2018. С. 89-90.

69. Поліщук В.В. Стартап-проекти та їх оцінювання: конспект лекцій для студентів за спеціальністю 7.121 «Інженерія програмного забезпечення» факультету інформаційних технологій УжНУ. Ужгород. 2018. 74 с. URL: <https://dspace.uzhnu.edu.ua/jspui/bitstream/lib/19695/1/7.pdf>.