

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра екології та природоохоронних технологій

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА**

зі спеціальності 183 “Технології захисту навколишнього середовища”

Тема: Біоенергетичні технологічні рішення для захисту довкілля

Завідувач кафедри

Пляцук Л.Д.

\_\_\_\_\_

(підпис)

Керівник роботи

Черниш Є.Ю.  
(прізвище, ім'я, по батькові)

\_\_\_\_\_

(підпис)

Консультант

з охорони праці

Васькін Р.А.

\_\_\_\_\_

(підпис)

Виконавець

студент групи ТС-71

Данилов Д.В.  
(прізвище, ім'я, по батькові)

\_\_\_\_\_

(підпис)

Суми 2021

СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
Факультет технічних систем та енергоефективних технологій  
Кафедра прикладної екології  
Спеціальність 183 „Технології захисту навколишнього середовища”

**ЗАТВЕРДЖУЮ:**

Зав. кафедрою \_\_\_\_\_  
“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА**

Студенту Данилову Дмитру Володимировичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

Група ТС-71

1. Тема випускної роботи:  
Біоенергетичні технологічні рішення для захисту довкілля
2. Вихідні дані: аналітичні звіти Біоенергетичної асоціації України (UABIO), статистичні дані Державної служби статистики України, вітчизняні та зарубіжні патентні бази, дані із наукометричної бази даних Scopus.
3. Перелік обов'язково графічного матеріалу:
  1. Методи поводження з органічними відходами
  2. Моделювання загальної мережі кластерів інноваційних біоенергетичних технологічних рішень
  3. Технологічна схема реалізації процесу ферментації за теоретичною задачею
4. Етапи виконання випускної роботи:

№	Етапи і розділи проектування	ТИЖНІ					
		1	2, 3	4, 5	6, 7	8	9
1	Написання вступу, розділу 1	+	+	+			
2	Оброблення результатів дослідження, написання розділів 2, 3			+	+		
3	Написання розділу 4					+	
4	Оформлення роботи						+

5. Дата видачі завдання 30 березня 2021 р.

Керівник \_\_\_\_\_  
(підпис)

доцент Черниш Є.Ю.  
(посада, прізвище)

## РЕФЕРАТ

Робота складається із вступу, чотирьох розділів, висновку, переліку джерел посилання, який містить 52 посилання. Загальний обсяг бакалаврської роботи становить 54 сторінки, у тому числі 6 таблиць, 13 рисунків, список використаних джерел складає 6 сторінок.

*Мета роботи* – розроблення біоенергетичного технологічного рішення для захисту довкілля шляхом реалізації процесу анаеробної конверсії органічних відходів з отриманням біопалива та інших корисних біопродуктів.

Для досягнення зазначеної мети було постановлено та вирішено такі завдання:

- розглянути екологічну проблематику утворення органічних відходів;
- проаналізувати методи поводження з даним типом відходів на базі українського та світового досвіду;
- провести огляд технологічних рішень що до утилізації органічних відходів;
- визначити вплив якісних та кількісних характеристик органічних відходів на процеси біоконверсії;
- зробити розрахунки основних параметрів виробництва біоводню та біометану з відходів відповідно до формалізованої технологічної схеми;
- змоделювати кластери напрямків поводження із органічними муніципальними відходами.

*Об'єкт дослідження* – екологічна проблематика поводження з органічними відходами.

*Предмет дослідження* – процеси реалізації біоенергетичних технологій використання потенціалу органічних відходів для захисту довкілля.

У кваліфікаційній роботі надана характеристика муніципальних відходів. Визначено основні екологічно безпечні напрями поводження з муніципальними відходами. Проведено розрахунки, що до рентабельності використання біотехнологічних рішень та їх впровадження. Та надано рекомендації щодо плану підвищення рівня отримання біоенергії до 2050 року в Україні.

*Ключові слова:* БЮГАЗ, БІОМЕТАН, ОРГАНІЧНІ ВІДХОДИ, ТПВ, ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА, УТИЛІЗАЦІЯ

## ЗМІСТ

Вступ.....	5
Розділ 1 Екологічні аспекти поводження з муніципальними органічними відходами: вітчизняний та зарубіжний досвід.....	8
1.1 Екологічні проблеми утворення органічних відходів різного генезису в муніципалітеті.....	8
1.1.1 Стан дій щодо утворення та утилізації органічних відходів в Україні на рівні муніципалітетів.....	8
1.1.2 Зарубіжний досвід поводження з муніципальними органічними відходами.....	10
1.2 Огляд методів утилізації твердих побутових відходів та перспективні технологічні рішення в цій галузі.....	12
Розділ 2 Використання біоенергетичних технологій для утилізації муніципальних органічних відходів з отриманням енергії та добрив.....	19
2.1 Аналіз технологічних особливостей реалізації процесів виробництва біогазу, біоводню та біометану.....	19
2.2 Визначення якісних та кількісних характеристик муніципальних органічних відходів як субстрату для процесів анаеробної ферментації.....	24
2.3 Теоретичне обґрунтування екологічних властивостей зброджених органічних муніципальних відходів для подальшого їхнього використання.....	27
Розділ 3 Моделювання тенденцій у сфері поводження із органічними відходами на рівні муніципальтету.....	32
3.1 Дослідження кластерів за напрямками поводження із органічними відходами на рівні муніципальтету.....	32
3.2 Розроблення комплексного біоенергетичного рішення утилізації муніципальних органічних відходів.....	37
3.3 Рекомендації щодо плану підвищення рівня отримання біоенергії до 2050 року в Україні.....	41
Розділ 4 Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях.....	44
Висновки.....	47
Перелік джерел посилання.....	49

Инв. № подл.	
Взаим. инв.	
Инв. № дубл.	
Подп. и дата	

						ТС 17510017			
Из Лист	№ докум.	Підп.	Дата				Лит.	Аркуш	Аркушів
Розроб.	Данилов			Біоенергетичні технологічні рішення для захисту довкілля				4	54
Перев.	Черниш								
Н.Конт	Васькін						СумДУ, ф-т ТеСЕТ		
Затв.	Пляцук						гр. ТС-71		

## ВСТУП

На сьогодні все більшого поширення набуває використання біоенергетичних технологій для вирішення проблеми емісії парникових газів та рециклінгу відходів. Отримання палива та енергії внаслідок вилучення і біоконверсії відходів органічного походження, не допускає їхнього розкладання на відкритому просторі з виділенням парникових газів. Також залучення таких енергетичних рішень дозволяє замінити викопні види палива, що також сприяє зниженню емісії парникових газів. Вуглекислий газ, що виділяється під час енергетичного використання біогенних газів (таких як біоводень та біометан) відповідає кількості двоокису вуглецю, яку рослини вилучають з атмосфери протягом вегетаційного періоду, що дозволяє віднести процеси анаеробного збродження відходів до кліматично нейтральних.

Метою цього дослідження є розроблення біоенергетичного технологічного рішення для захисту довкілля шляхом реалізації процесу анаеробної конверсії органічних відходів з отриманням біопалива та інших корисних біопродуктів, для виконання роботи були поставлені такі завдання:

- розглянути екологічну проблематику утворення органічних відходів;
- проаналізувати методи поводження з даним типом відходів на базі українського та світового досвіду;
- провести огляд технологічних рішень що до утилізації органічних відходів;
- визначити вплив якісних та кількісних характеристик органічних відходів на процеси біоконверсії;
- зробити розрахунки основних параметрів виробництва біоводню та біометану з відходів відповідно до формалізованої технологічної схеми;
- змоделювати кластери напрямків поводження із органічними муніципальними відходами.

Инва.№подл.	Подп. и дата
Взаим.инв.	Инва.№дубл.
Подп. и дата	Подп. и дата

Изва.№подл.	Инва.№дубл.	Подп. и дата	Инва.№дубл.	Подп. и дата
Изва.№подл.	Инва.№дубл.	Подп. и дата	Инва.№дубл.	Подп. и дата
Изва.№подл.	Инва.№дубл.	Подп. и дата	Инва.№дубл.	Подп. и дата

ТС 17510017

Арк.

5

Об'єкт дослідження – екологічна проблематика поводження з органічними відходами.

Предмет дослідження – процеси реалізації біоенергетичних технологій використання потенціалу органічних відходів для захисту довкілля.

Методи дослідження. У роботі були використані теоретичні інструменти та методи дослідження біохімічних засад утилізації органічних відходів із застосуванням біоінформаційних та наукометричних баз даних, зокрема БД Scopus. Також було застосовано спеціальне програмне забезпечення візуалізації VOSviewer для моделювання кластерів наукових досліджень в сфері використання біоенергетичного потенціалу відходів та здійснено розрахунок основних параметрів виробництва біоводню та біометану з використанням міжнародних стандартів.

Особистий внесок здобувача. Бакалаврська робота є самостійним дослідженням автора у галузі технологій захисту навколишнього середовища. Усі дані викладені у роботі отримані автором самостійно. Автор зібрав літературний та статистичний матеріал та виконав його оброблення за допомогою різних інструментів, провів аналіз та наукове узагальнення. Провів кластерне моделювання анаеробних процесів ферментації з отриманням енергії та добрив.

Апробація: інформація з дипломної роботи доповідалася у наступних конференціях:

1. XV Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених і студентів «Екологічна безпека держави» (м. Київ, 2021 р.);
2. VI Міжнародної науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти, аспірантів та молодих учених «Галузеві проблеми екологічної безпеки» (м. Харків, 2020 р.);
3. XXIII Міжнародної науково-практичної конференції «Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування: освіта – наука – виробництво – 2020» (м. Харків, 2020 р.);

Ив.№подл.	Подп. и дата
Взаим.инв.	Ив.№дубл.
Подп. и дата	Подп. и дата
Ив.№подл.	Ив.№дубл.

Ив.№подл.	Ив.№дубл.	Подп. и дата	Ив.№подл.	Ив.№дубл.
Ив.№подл.	Ив.№дубл.	Ив.№подл.	Ив.№дубл.	Ив.№подл.
Ив.№подл.	Ив.№дубл.	Ив.№подл.	Ив.№дубл.	Ив.№подл.
Ив.№подл.	Ив.№дубл.	Ив.№подл.	Ив.№дубл.	Ив.№подл.

ТС 17510017

Арк.

6

4. VIII Всеукраїнська науково-технічна конференція «Сучасні технології у промисловому виробництві (СТПВ–2021)» (м. Суми, 2021 р.);

5. XXIII Міжнародної науково-практичної конференції, Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування: освіта – наука – виробництво – 2020 (м. Харків, 2020 р.).

За результатами бакалаврської роботи опубліковано 7 наукових праць, зокрема 2 статі у фахових наукових виданнях, що входять до переліку МОН та 5 тез доповідей на конференціях.

Инв.№подл.	Подп. и дата	Инв.№дубл.	Подп. и дата	Взаим.инв.	Инв.№дубл.	Подп. и дата	Инв.№подл.	
Из	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	ТС 17510017			Арк. 7

# РОЗДІЛ 1 ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ПОВОДЖЕННЯ З МУНІЦИПАЛЬНИМИ ОРГАНІЧНИМИ ВІДХОДАМИ: ВІТЧИЗНЯНИЙ ТА ЗАРУБІЖНИЙ ДОСВІД

1.1 Екологічні проблеми утворення органічних відходів різного генезису в муніципалітеті

1.1.1 Стан дій щодо утворення та утилізації органічних відходів в Україні на рівні муніципалітетів

На сьогоднішній час в Україні муніципальні відходи прирівнюються до твердих побутових відходів (ТПВ), до них входять відходи, що збираються в населених пунктах в процесі життя і діяльності людини в житлових будинках, організаціях та установах, в місцях громадського користування, крім відходів пов'язаних з діяльністю підприємств.

Побутові відходи – відходи, що утворюються в процесі життя і діяльності людини в житлових та нежитлових будинках (тверді, великогабаритні, ремонтні, рідкі, крім відходів, пов'язаних з виробничою діяльністю підприємств) і не використовуються за місцем їх накопичення[1].

До основних утворювачів муніципальних відходів можна віднести:

- населення;
- місця загального користування та рекреації;
- організації та установи;
- виробничі підприємства.

Кількісний та якісний склад таких відходів змінюється відповідно регіонів, достатку населення та саме утворювачів, наприклад в квартирних масивах та в районах приватного сектору відходи в літній час будуть різко відрізнятися, але в

Инва.№подл.	Подп. и дата
Взаим.инв.	Подп. и дата
Инв.№дубл.	Подп. и дата

Изва.№подл.	Подп. и дата	Инв.№дубл.	Взаим.инв.	Инв.№подл.
Изва.№подл.	Подп. и дата	Инв.№дубл.	Взаим.инв.	Инв.№подл.
Изва.№подл.	Подп. и дата	Инв.№дубл.	Взаим.инв.	Инв.№подл.

ТС 17510017

Арк.

8



зимовий час будуть більш схожими тому можна сказати, що характеристики муніципальних відходів не є постійними.

Розглядаючи склад ТПВ ми можемо побачити такі компоненти:

- харчові та рослинні відходи (овочі, фрукти, відходи садівництва тощо);
- папір та картон;
- полімери;
- текстиль;
- шкіра, гума;
- деревина;
- небезпечні відходи;
- великогабаритні відходи;
- залишок ТПВ після вилучення компонентів (дрібне будівельне сміття, каміння, вуличний змет тощо);
- інше (комбіновані відходи та ті, що не перелічені вище).

Точних значень, що до морфологічних значень вмісту кожної фракції відходів немає, вони або неточні або застарілі. Для визначення поводження з ТПВ застосовуються наближені значення, що до морфології відходів на місці їх збирання.

Основним видом поводження з ТПВ є захоронення на полігонах, що ускладнює збір статистичних даних, до морфології відходів, бо в Україні не здійснюються сортування по різним видам відходів. Захоронення ТПВ здійснюється на полігонах ТПВ, що мають бути спеціальними інженерними спорудами, призначеними для захоронення даного типу відходів. Такі полігони повинні запобігати утворенню негативного впливу на навколишнє середовище.

Захоронення на полігонах використовуються для всіх муніципальних відходів та їх утворювачів та промислові відходи III–IV класів небезпеки відповідно до переліку, наведеному в ДБН В.2.4–2–2005 з дозволу місцевих органів влади.

Инва.№подл.	Подп. и дата
Взаим.инв.	Инва.№дубл.
Подп. и дата	

Изва.№подл.	Инва.№дубл.	Взаим.инв.	Подп. и дата
Изва.№подл.	Инва.№дубл.	Взаим.инв.	Подп. и дата
Изва.№подл.	Инва.№дубл.	Взаим.инв.	Подп. и дата
Изва.№подл.	Инва.№дубл.	Взаим.инв.	Подп. и дата

ТС 17510017

Арк.

9

Відходи IV класу небезпеки, що утворилися на промислових зонах та є біостабільними на полігонах використовуються, як ізолюючий шар в середній та верхній частині полігону [2].

### 1.1.2 Зарубіжний досвід поводження з муніципальними органічними відходами

Зарубіжний підхід, відрізняється від Українського, основними положеннями зарубіжного підходу, що до зменшенню, контролю та утилізації муніципальних відходів базуються на 5 основних засадах:

1. запобігання утворенню відходів;
2. підготовка до повторного використання;
3. перероблення;
4. інший тип утилізації, наприклад, для відновлення енергії;
5. видалення.

На прикладі Швеції ми можемо бачити що до утилізації та переробки відходів належать практично 99 % відходів. Основним становленням, що до такої кількості утилізації та переробки відходів є роздільне сортування відходів, що дає змогу відділяти різні категорії відходів, а вже потім розробляти методи поводження з різними видами відходів. Основними шляхами поводження є спалювання відходів шляхом найменшого впливу на середовище, з одночасним виробленням енергії. Іншим шляхом є саме поводження з органічними відходами з виділенням біогазу та водню.

Тому, що до зарубіжного поводження з відходами ми можемо виділити такі варіанти як:

- біологічні методи переробки;
- компостування та подальше зброджування;
- газифікація, спалювання або піроліз відходів, з отриманням енергії;
- захоронення на полігонах.

Инва.№подл.	Подп. и дата
Взаим.инв.	Инва.№дубл.
Подп. и дата	

Изва.№подл.	Подп. и дата	Инва.№дубл.	Взаим.инв.	Подп. и дата
Изва.№подл.	Подп. и дата	Инва.№дубл.	Взаим.инв.	Подп. и дата
Изва.№подл.	Подп. и дата	Инва.№дубл.	Взаим.инв.	Подп. и дата

ТС 17510017

Арк.

10

Так, як було сказано раніше, біологічні методи та термічна обробка з отриманням енергії, можлива лише в разі сортування сміття, бо біотехнології можуть бути застосованими лише для органічних відходів з безпечним класом небезпеки. Наприклад, медичні відходи не можна піддати збродженню. Для лише органічні відходи – рослинні та харчові залишки [3].

Пропоную ознайомитися зі Швейцарськими даними, що до муніципальних відходів, що були розроблені, що до України на прикладі Вінницької області.

Таблиця 1.1 – Припущення щодо складу ТПВ, Вінницької області

Компонент відходів	Обласний центр (поверхова забудова)	Обласний центр (приватна забудова)	Міста (поверхова забудова)	Міста (приватна забудова)	Сільські населені пункти
	Середнє значення	Середнє значення	Середнє значення	Середнє значення	Середнє значення
Органічні відходи	43,00 %	39 %	44 %	43 %	33 %
Папір, картон	8,00 %	6 %	9 %	6 %	5 %
Метал	1,50 %	3 %	2 %	1 %	2 %
Полімерна упаковка	11,00 %	7 %	10 %	9 %	7 %
Скло	9,00 %	11 %	8 %	14 %	10 %
Небезпечні відходи	0,70 %	0,60 %	1 %	1 %	1 %
Інше	26,80 %	33,40 %	26 %	26 %	42 %
<b>Усього</b>	<b>100 %</b>	<b>100 %</b>	<b>100 %</b>	<b>100 %</b>	<b>100 %</b>

Ми бачимо значну домінацію органічних відходів практично в усіх пунктах збору Вінницької області практично така сама залежність буде зберігатися с областями зі схожою площею та населенням, що дає змогу розглянути можливості вводу ряду біотехнологічних рішень, що до утилізації органічних

Подп. и дата  
 Инв. № дубл.  
 Взаим. инв.  
 Подп. и дата  
 Инв. № подл.

відходів при наявності збору органічних відходів напряму з пунктів масового утворення, чи при вводі роздільного збирання сміття с подальшим використанням біогазових установок [4].

## 1.2 Огляд методів утилізації твердих побутових відходів та перспективні технологічні рішення в цій галузі

Для огляду методів утилізації ТПВ ми звернемося до «Найкращих доступних технологій». При утилізації органічних відходів, краще за все використовувати саме біологічну обробку, що базується на використанні різних мікроорганізмів для розкладу органічних відходів до готової продукції яку можна використовувати, або для розкладу до води та CO<sub>2</sub>. Ми можемо розглянути деякі види біологічної обробки в таблиці 3, в яку внесена інформація, що до основних методів біологічної обробки для утилізації органічних муніципальних відходів.

Таблиця 1.2 – Методи утилізації органічних відходів

Назва	Опис
Компостування	Спеціальне нагромадження органічних відходів для подальшої біодеградації твердих органічних речовин для утворення добрив.
Анаеробна ферментація	Розклад органічних відходів при відсутності кисню. Шляхом використання мікроорганізмів в два основних етапи темної ферментації та метаногенезу, що використовуються для утилізації органічних відходів з отриманням водню та біогазу відповідно з подальшим використанням, в вигляді палива.

Ив.№подл.	Подп. и дата
Взаим.инв.	Инв.№дубл.
Подп. и дата	

Ив.№подл.	Подп. и дата	Инв.№дубл.	Взаим.инв.	Подп. и дата
Ив.№подл.	Подп. и дата	Инв.№дубл.	Взаим.инв.	Подп. и дата
Ив.№подл.	Подп. и дата	Инв.№дубл.	Взаим.инв.	Подп. и дата

ТС 17510017

Арк.

12

Утилізація органічних відходів методом компостування базується на аеробних процесах розкладання органічних відходів за участю різних живих організмів.

Розглянемо основи процесу компостування. Органічні відходи за звичай містять свою мікрофлору, активність якої зростає, при досягненні достатньої концентрація кисню та необхідної кількості вологи. Для підтримання мікрофлори крім кисню та води, за для росту необхідні джерела вуглецю, азоту, фосфору, калію і певних мікроелементів.

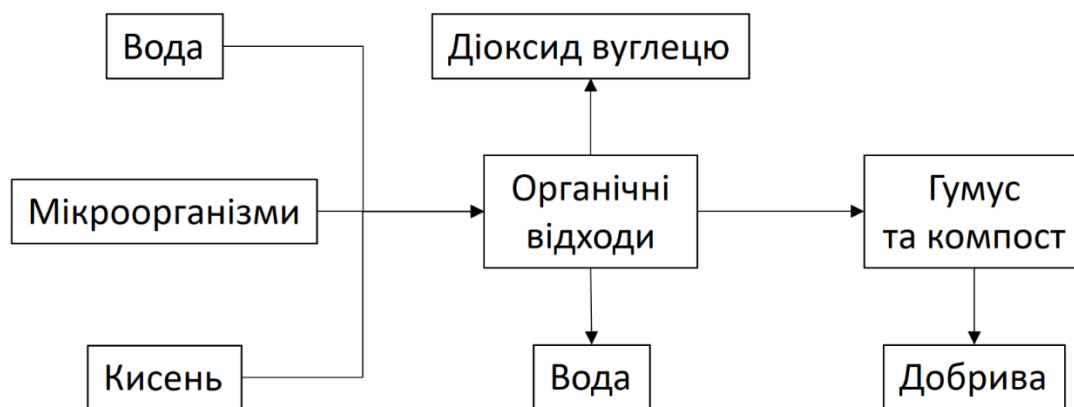


Рисунок 1.1 – Схема компостування

Мікроорганізми розмножуються і продукують воду, діоксид вуглецю, органічні сполуки та енергію, споживаючи органічні відходи як харчовий субстрат. Частина енергії, що виходить при біологічному окисленні вуглецю, витрачається в метаболічних процесах, решта виділяється у вигляді тепла.

Добрива є кінцевим продуктом компостування, що містить найбільш стабільні органічні сполуки, продукти розпаду, біомасу, деяка кількість живих мікробів і продукти хімічної взаємодії цих компонентів. До основних груп організмів, які беруть участь у компостуванні відносять:

- бактерії, грибки і т.д. (мікрофлора)
- найпростіші (мікрофауна)

Підп. и дата
Инв.№дубл.
Взаим.инв.
Підп. и дата
Инв.№подл.

Из	Лист	№ докум.	Підп.	Дата
----	------	----------	-------	------

ТС 17510017

Арк.

13

- гриби (макрофлора)
- комахи (макрофауни)

У процесі компостування бере більше 2000 видів різних бактерій і та близько 50 видів грибів та грибків. Такі види можна розділити на групи за температурною активністю:

- психрофітів (менше 20 °С)
- для мезофілів (20–40 °С)
- для термофілів (вище 40 °С)

Виділяють наступні фази компостування:

1 етап (lag phase) починається відразу після внесення свіжих відходів у компостну купу. Протягом цієї фази мікроорганізми адаптуються до типу відходів та умов проживання в компостній купі. Розпад відходів починається вже на цій стадії, але загальна чисельність популяції мікробів ще невелика, температура невисока.

2 етап (mesophilic phase). На цій стадії інтенсифікується процес розкладання субстрату. Збільшення кількості мікробних популяцій відбувається головним чином за рахунок мезофільних організмів, які пристосовуються до низьких і середніх температур. Ці організми швидко розкладають легкорозчинні розчинні компоненти, такі як моносахариди та вуглеводи. Запаси цих речовин швидко вичерпуються, і мікроорганізми починають розщеплювати складніші молекули, такі як целюлоза, геміцелюлоза та білки. Вживаючи ці речовини, мікроорганізми виділяють органічно кислий комплекс, який можна використовувати як джерело їжі для інших мікроорганізмів. Однак не всі утворені органічні кислоти встигають всмоктуватися, що може спричинити надмірне накопичення, знижуючи тим самим рН середовища. Значення рН є показником закінчення другого етапу компостування. Але це явище тимчасове, оскільки надмірна кількість кислоти спричинить загибель мікроорганізмів.

3 етап (thermophilic phase). Завдяки збільшенню кількості мікроорганізмів і обміну речовин температура підвищується. Коли температура піднімається до

Инва.№подл.	Подп. и дата
Взаим.инв.	Инва.№дубл.
Подп. и дата	Подп. и дата

Изва.№подл.	Инва.№дубл.	Взаим.инв.	Подп. и дата
Изва.№подл.	Инва.№дубл.	Взаим.инв.	Подп. и дата
Изва.№подл.	Инва.№дубл.	Взаим.инв.	Подп. и дата

ТС 17510017

Арк.

14

40 °С або вище, мезофільні мікроорганізми замінюються теплофільними мікроорганізмами, більш стійкими до високих температур. Коли температура досягне 55 °С, більшість патогенів людини та рослин загине. Однак, якщо температура перевищує 65 °С, аеробні термофільні бактерії в компості також загинуть. Завдяки високій температурі прискорене розкладання білків, жирів та складних вуглеводів (таких як целюлоза та геміцелюлоза) є основними структурними компонентами рослин. У міру виснаження харчових ресурсів процес обміну речовин зменшується, а температура поступово знижується.

4 етап (final phase). Коли температура опускається до діапазону середніх температур, серед компосту починають домінувати мікроорганізми із середньою температурою. Температура є найкращим показником початку стадії зрілості. На цій стадії органічна речовина, що залишилася, утворює комплекс. Цей комплекс органічних речовин стійкий до подальшого розкладання і називається гуміновими кислотами або гумусом [5].

Продуктами компостування виступають добрива, що покращують плононосні властивості ґрунту. На якість добрив, що будуть одержані шляхом компостування впливає низка різних факторів, а саме:

- оптимальний вміст вологості – 40–60 %;
- ефективна температура компостування 32 до 60°С;
- бактерії й грибки, які перебувають у компості, використовують вуглець як джерело їжі й синтезують протеїни, використовуючи азот;
- для оптимального процесу компостування потрібно певна кількість кисню;
- для оптимального ефекту використовуються незабруднені (чисті) органічні відходи, що біологічно розкладають, з високим вмістом вуглецю.

Перевагами такого методу утилізації органічних відходів можна назвати:

- замикання циклу кругообігу речовин, що були винесені рослинами;
- процес компостування зменшує кількість відходів при захороненні яких забруднюються вода, ґрунт і атмосфера;

Инд. № подл.	Подп. и дата
Взаим. инв.	
Инв. № дубл.	
Подп. и дата	

Инд. № подл.	Подп. и дата	Взаим. инв.	Инв. № дубл.
Изд	Лист	№ докум.	Подп. Дата

ТС 17510017

Арк.

15

- одночасне корисне використання інших органічних відходів у компості;
- невелика собівартість процесу.

Але даний метод має і свої недоліки:

- компост отриманий з ТПВ підтягається біостабілізації та може бути застосованим лише, як покриття звалищ;
- в процесі компостування можуть виділятися такі гази як: аміак, оксиди вуглецю, вуглеводні та ін.

Метод анаеробної ферментації базується на розкладанні органічних відходів з утворенням біоводню, біогазу та добрив, що ми можемо бачити на рис. 2. Розглянемо фізико-хімічні основи процесу анаеробної ферментації. Шляхом темної ферментації ми можемо отримувати біоводень. Такий метод ферментації не потребує світлової енергії тому можливе використання тому можливе неперервне виробництво водню [6]. Вихід водню під час темного бродіння значною мірою залежить від парціального тиску продукту.

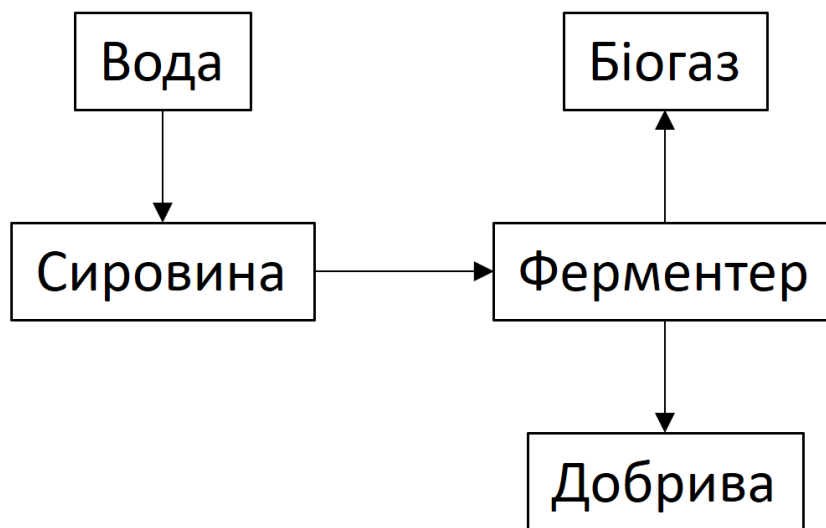


Рисунок 1.2 – Схема ферментації

При високих значеннях парціального тиску водню метаболізм зміщується у бік виробництва більш відновлених продуктів, таких як лактат або аланін, тим самим знижуючи вихід  $H_2$  [7]. В якості основних субстратів можуть

Підп. и дата
Инв.№дубл.
Взаим.инв.
Підп. и дата
Инв.№подл.

Из	Лист	№ докум.	Підп.	Дата
----	------	----------	-------	------

ТС 17510017

Арк.

16



використовуватися різні органічні сполуки, такі як вуглеводи, цукри, білки і жири, комплексні органічні субстрати, наприклад, стічні води (СВ), багаті органічними речовинами: СВ харчової промисловості, СВ комунальних підприємств, відходи, які містять целюлозу та лігнінцелюлозу, СВ тваринних ферм, цукровмісні СВ, а також СВ, які містять залишки олій та гліцеролу. [8]

Метаногенна ферментація полягає в отриманні біогазу, що в подальшому буде очищений до біометану. Анаеробне перетворення складної органічної речовини будь-якого складу на біогаз відбувається шляхом перебігу 4 основних етапів [9]:

– перша стадія (гідроліз), на якій органічні сполуки розкладаються за допомогою гідролізу (ферменти, які здійснюють гідроліз сполук, розщеплюють складні органічні сполуки з приєднанням води). Ферменти синтезуються анаеробними мікроорганізмами;

– друга стадія (бродіння), на якій зброджування без доступу кисню призводить до утворення летких жирних кислот, нижчі спирти, оцтова та мурашина кислоти, діоксиду вуглецю, невеликої кількості метану та ін. Ці органічні речовини є джерелом живлення для метан утворюючих бактерій, які перетворюють органічні кислоти в біогаз;

– третя стадія (ацитогенез), на якій проходить темнова ферментація з виділенням біоводню;

– четверта стадія (утворення метану) має назву метанового бродиння, при якому органіка перетворюється на метан та вуглекислий газ.

На стан проходження цього методу може впливати низка факторів. Біогаз може утворюватися в середньо температурному режимі від 25 до 40°C та більш високій температурі (тепловий режим) від 55 до 65 °C. Кислотність (рН) вихідного продукту відіграє вирішальну роль у виробництві біогазу. В анаеробному процесі кислотність становить від 6,4 до 7,2 рН. Бактерії, що утворюють метан, чутливі до токсичних речовин, тому для ефективного отримання біогазу необхідна хороша і стабільна якість сировини.

Ив.№подл.	Подп. и дата
Взаим.инв.	Ив.№дубл.
Подп. и дата	Подп. и дата

Ив.№подл.	Подп. и дата	Ив.№дубл.	Подп. и дата	Ив.№инв.	Подп. и дата
Ив.№подл.	Подп. и дата	Ив.№дубл.	Подп. и дата	Ив.№инв.	Подп. и дата
Ив.№подл.	Подп. и дата	Ив.№дубл.	Подп. и дата	Ив.№инв.	Подп. и дата

ТС 17510017

Арк.

17

Стан середньої температури вимагає менше тепла, але розкладання органічної речовини відбувається повільніше і не повністю розкладається при цій температурі. Однак середньо температурний процес характеризується вищою стабільністю, що призводить до його більш широкого використання.

Тепловий режим переробки сировини вимагає більшого споживання тепла, вищої швидкості розкладання, вищого виробництва біогазу та мінімальної шкоди для навколишнього середовища. Однак цю модель складніше реалізувати та контролювати.

Инв. №подл.	Подп. и дата	Взаим. инв.	Инв. №дубл.	Подп. и дата

Из	Лист	№ докум.	Підп.	Дата

ТС 17510017

Арк.

18

## РОЗДІЛ 2 ВИКОРИСТАННЯ БІОЕНЕРГЕТИЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ УТИЛІЗАЦІЇ МУНІПАЛІЦІПАЛЬНИХ ОРГАНІЧНИХ ВІДХОДІВ З ОТРИМАННЯМ ЕНЕРГІЇ ТА ДОБРИВ

### 2.1 Аналіз технологічних особливостей реалізації процесів виробництва біогазу, біоводню та біометану

Для України перетворення органічних відходів шляхом анаеробного зброджування з отриманням біогазу, біоводню, біометану, для використання його, як паливо є дуже перспективною.

Для початку розглянемо метод отримання біоводню шляхом темної ферментації, що широко застосовується в Німеччині [10].

Темнова ферментація представляє під собою перетворення органічних відходів в біоводень при використанні різних груп бактерій в декілька етапів рис. 3, що йде по принципу анаеробного збродження, але даний процес не потребує світлової енергії тому темнова ферментація може проводитися в безперервному режимі. [11]

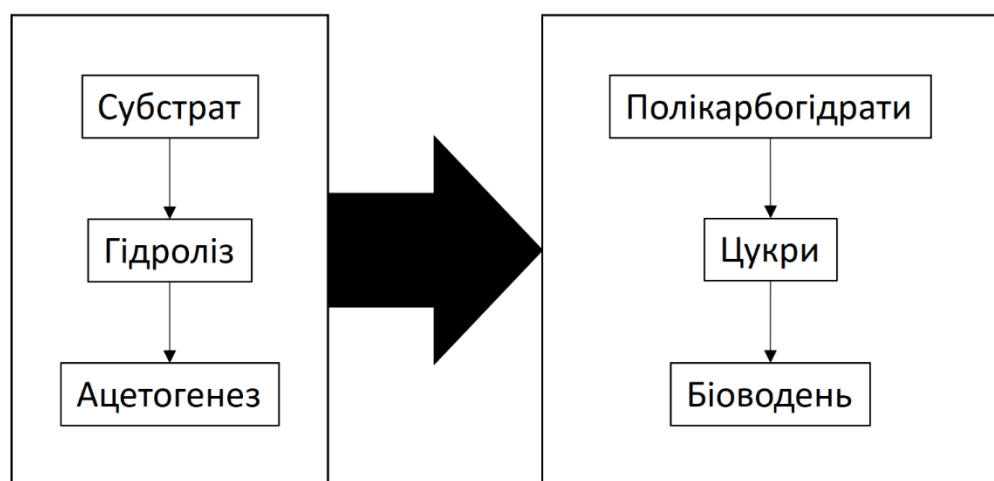


Рисунок 2.1 – Схема темної ферментації

Инва.№подл.	Подп. и дата	Взаим.инв.	Инв.№дубл.	Подп. и дата

Изва.№подл.	Подп. и дата	Взаим.инв.	Инв.№дубл.	Подп. и дата

Такий метод дозволяє отримувати з 1 моль цукрів до 4 моль водню, що є найвищим теоретичним значенням виходу водню.

Як субстрат при ацетогенезі можуть виступати органічні виходи та стічні води від харчової промисловості, комунальних підприємств, тваринних ферм такі відходи повинні бути багатими на целюлозу та лігнінцелюлозу [12].

При темновій ферментації використовують різні види мікроорганізмів. А саме використовуються змішані культури отримані з природного середовища, з ґрунту, активного мулу, компосту, та можуть використовуватися чисті культури виведені саме для отримання водню: *C. Butyricum*, *C. acetobutyricum* і *C. beijerinckii*, *C. Thermolacticum*, *C. tyrobutyricum*, *C. thermocellum* і *C. Paraputrificum*, *Clostridium tyrobutyricum* [12].

За для нормального протікання процесу використовується температурний діапазон 33–44 °С. Значення рН при ацетогенезі повинен бути в рамках 5–6.

Для покращення процесу гідролізу та зменшенню виходу сірководню в реакторі, використовується метод мікроаерації, що базується на додаванні кисню. При додаванні до 8 % кисню процес отримання водню при темновій ферментації пришвидшується. Оптимальна швидкість мікроаерації залежить від субстрату та типу реактора [13].

Отримання водню таким методом має низку переваг:

- бактерії мають високий потенціал до утворення водню;
- процес може проводитися цілодобово;
- окрім водню утворюються і проміжні метаболіти, що можуть застосовуватися на інших підприємствах;
- можна використовувати різні органічні відходи, як субстрат;
- такий вид отримання водню є більш вигідним ніж інші.

Основним же недоліком є виділення CO<sub>2</sub>, який повинен бути видалений з отриманої газової суміші [12].

Далі розглянемо саме отримання біогазу шляхом ферментації, біогаз утворюється на стадії метаногенезу під час якого органічні відходи

Инва.№подл.	Подп. и дата
Взаим.инв.	Инва.№дубл.
Подп. и дата	

Изва.№подл.	Подп. и дата	Инва.№дубл.	Взаим.инв.	Подп. и дата
Изва.№подл.	Подп. и дата	Инва.№дубл.	Взаим.инв.	Подп. и дата
Изва.№подл.	Подп. и дата	Инва.№дубл.	Взаим.инв.	Подп. и дата

ТС 17510017

Арк.

20

розкладаються на CO<sub>2</sub> і CH<sub>4</sub>. При цьому частка метану у суміші може становити до 70 % [13].

Відносно кліматичних умов ми можемо розглянути 2 температурні режими мезофільний та термофільний, якщо ми розглядаємо Україну з теплим літом та холодною зимою, краще вибрати мезофільний режим при 30–40 °С, якщо ж ми будемо розглядати більш теплі регіони може підійти термофільний режим при 50–60 °С. Такий вибір обумовлений задля оптимально економічної затрати енергії на процес ферментації. Якщо розглядати середній варіант то найбільш вигідним та опосередкованим вважаються реактори, які функціонують за термофільних умов при 43–52 °С. При таких значеннях всього за 3–4 дні, можна отримати до 4–5 л біогазу на кожен л корисного об'єму реактора [14].

Для метаногенної стадії ферментації повинні підтримуватися значення рН в межах 6–7. При зменшенні значення рН, збільшується відсоток виділення сірководню (H<sub>2</sub>S) в субстраті та біогазі. Та збільшується токсичність біогазу. Але сірка S є одним з елементів завдяки якому утворюється основна бактеріальна біомаса. Для регулювання значення рН зазвичай використовується розчини вапна.

Для оптимальної роботи реактора, субстрат в реактор подається в рівній кількості через однаково короткі інтервали часу. Якщо розглядати добову наповненість реактору то в такому випадку використовується гній тварин, або різні органічні відходи при умові великого об'єму циліндру реактора.

Склад біогазу може різнитися від органічних відходів які були застосовані в ході ферментації та можуть містити низку речовин:

Таблиця 2.1 – Порівняльний склад біогазу

Склад біогазу	Біогаз	Звалищний газ
CH <sub>4</sub> (об. %)	60–70	35–65
інші вуглеводні (об. %)	0	0
двоокис вуглецю (об. %)	30–40	15–50
азот (об. %)	0,2	5–40
кисень (об. %)	0	0,5

Инва.№подл.	Инва.№дубл.	Взаим.инв.	Подп. и дата

Продовження таблиці 2.1

сірководень (ppm)	0–4000	0–100
аміак (ppm)	100	50
теплотворна здатність, (кВтг / нм <sup>3</sup> ), мінімум	6,5	4,4

Для очистки біогазу до біометану використовують низку технологічних рішень а саме:

- осушування;
- видалення H<sub>2</sub>S;
- компримація;
- акумулювання;
- відділення CO<sub>2</sub>.

Але дані технологічні рішення можуть використовуватися лише на великих біогазових установках без втрати економічної рентабельності.

Ще одним продуктом ферментації виступають органічні добрива, що можна використовувати замість неорганічних добрив, що можуть мають значний впливають на середовище їх внесення. Органічне добриво в свою чергу збільшує концентрації деяких поживних речовин, але накопичення токсичності менш імовірне ніж при використанні неорганічних добрив, та органічні добрива мають здатність до саморозкладання, що зменшує негативний вплив на середовище. Крім того, оскільки органічні добрива виготовляються з природних джерел, у виробництві використовується лише обмежена кількість викопного палива. Це означає, що парниковий газ, що викидається в атмосферу, нижчий у виробництві органічних добрив, ніж у виробництві неорганічних добрив [15].

За для аналізу технологічних рішень представлених, що до виробництва біогазу, біоводню та біометану, було проведено патентний пошук, відповідно до якого було сформовано інтегровану схему (рис. 4) напрямів реалізації патентних рішень [16–35], в якій ми бачимо основні напрямки ідей, що до виробництва біопалива шляхом отримання біогазу, біоводню та біометану.

Инв.№подл.	Подп. и дата				
	Инв.№дубл.				
Взаим.инв.	Подп. и дата				
	Инв.№дубл.				
Инв.№подл.	Подп. и дата				
	Инв.№дубл.				
ИЗ	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	<p style="text-align: center;">ТС 17510017</p>

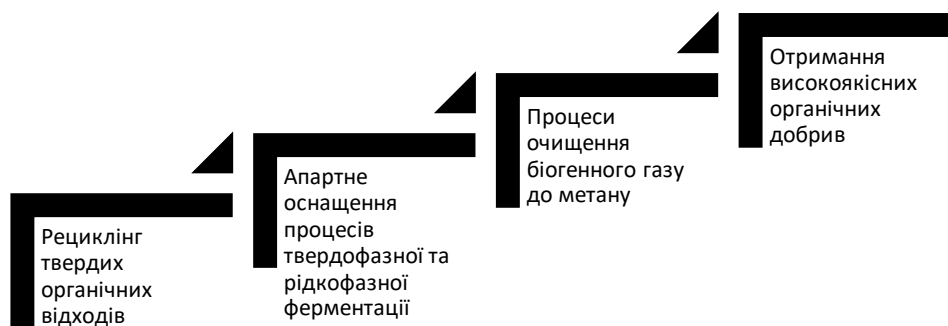


Рисунок 2.2 – Блок-схема огляду патентних баз даних за темою «Способи, що використовуються для отримання біогазу»

В кожній з представлених патентів є свої недоліки, для рішення цих недоліків треба розглянути такі проблеми:

- скорочення числа сталевих елементів в обладнанні;
- створення обладнання з оптимізованою конструкцією;
- розробка ефективних нагрівачів;
- нагрівання БГУ сонячною енергією;
- об'єднання систем виробництва біогазу з іншими нетрадиційними джерелами енергії;
- конструювання великомасштабних виробничих одиниць для сільського господарства і міст;
- оптимальне використання відходів;
- удосконалення процесів бродіння і початкової деградації відходів шляхом створення активних метаногенних штамів бактерій з використанням методів генної інженерії.

Проводячи аналіз патентів можна сказати, що технологія ще не є ідеальною, в повній мірі вони не відповідають раціональному та екологічному використанні ресурсів, дана проблема постає при питанні швидкого одержання біогазу шляхом використання важких металів, що подалі створює проблему в використанні відпрацьованого субстрату, як добрив та створює більший вихід  $CO_2$  в біогазі.

Инт.№подл.	Подп. и дата
Взаим.инв.	Подп. и дата
Инв.№дубл.	Подп. и дата

Инт.№подл.	Подп. и дата	Взаим.инв.	Инв.№дубл.
Инт.№подл.	Подп. и дата	Взаим.инв.	Инв.№дубл.
Инт.№подл.	Подп. и дата	Взаим.инв.	Инв.№дубл.

ТС 17510017

Арк.

23

## 2.2 Визначення якісних та кількісних характеристик муніципальних органічних відходів як субстрату для процесів анаеробної ферментації

Відповідно до офіційних статистичних даних [36] на території України за 2018 рік утворилось майже 54 млн. м<sup>3</sup> твердих побутових відходів (ТПВ), або понад 9 млн. тон, які складаються на 6 тис. сміттєзвалищ і полігонах загальною площею понад 9 тис. га. Кількість перевантажених сміттєзвалищ становить 256 од. (4,2 %), а 984 од. (16 %) не відповідають нормам екологічної безпеки [36]. Крім того, за літній період 2020 року відбулися ряд загорань на стихійних звалищах, зокрема в Пирогова та Дарниці Київської області, що завдали значної екологічної шкоди екосистемі прилеглих територій.

Розглядаючи такі дані та спів ставляючи їх з даними наведеними вище в 1 розділі цієї роботи ми можемо сказати, що майже 40 % від всіх відходів можна віднести до органічних відходів. Але більшість з таких відходів знаходиться на території полігонів твердих побутових відходів. Тому для розгляду відходів представлених для процесів анаеробної ферментації ми розглянемо працюючі схеми в Україні, а сама економічний поділ сировини, що розділений на 2 категорії:

- платна;
- безкоштовна.

До платної сировини зазвичай відноситься рослинні відходи, яку попередньо потрібно виростити, зібрати й заготовити. В Україні така сировина представлена силосною кукурудзою, яка за останні роки значно подорожчала і середня врожайність зеленої маси якої становить не більше 25 тон з гектара. Спроби знайти їй гідну альтернативу тривають, хоча поки безуспішно. Можна виділити такі види сировини, що відносяться до цієї групи:

- силосна кукурудза;
- цукрове сорго;
- цукровий буряк;

Ив.№подл.	Подп. и дата
Взаим.инв.	Ив.№дубл.
Подп. и дата	
Ив.№подл.	

Ив.№подл.	Подп. и дата	Ив.№дубл.	Взаим.инв.	Подп. и дата
Ив.№подл.	Подп. и дата	Ив.№дубл.	Взаим.инв.	Подп. и дата
Ив.№подл.	Подп. и дата	Ив.№дубл.	Взаим.инв.	Подп. и дата
Ив.№подл.	Подп. и дата	Ив.№дубл.	Взаим.инв.	Подп. и дата

ТС 17510017

Арк.

24



– солома зернових культур.

Така сировина зазвичай не використовується, як моноsubstrat бо це є нерентабельним з точки боку вироблення біогазу та економічних затрат. Зазвичай така сировина використовується, як добавка до основного substratu для стабілізації сировини безкоштовного походження, для стабілізації та прискорення виходу продукції.

Безкоштовні, це такі за які не вносяться кошти, або випускник відходів сам платить кошти за їх утилізацію, до таких видів сировини відносяться:

- тваринницькі відходи;
- відходи харчової промисловості;
- органічна фракція муніципальних побутових відходів;
- органічний осад з водоочисних споруд;
- органічна фракція з полігонів ТПВ.

Розглянемо характеристики різних типів відходів за показником виходу біогазу на рисунку 5.

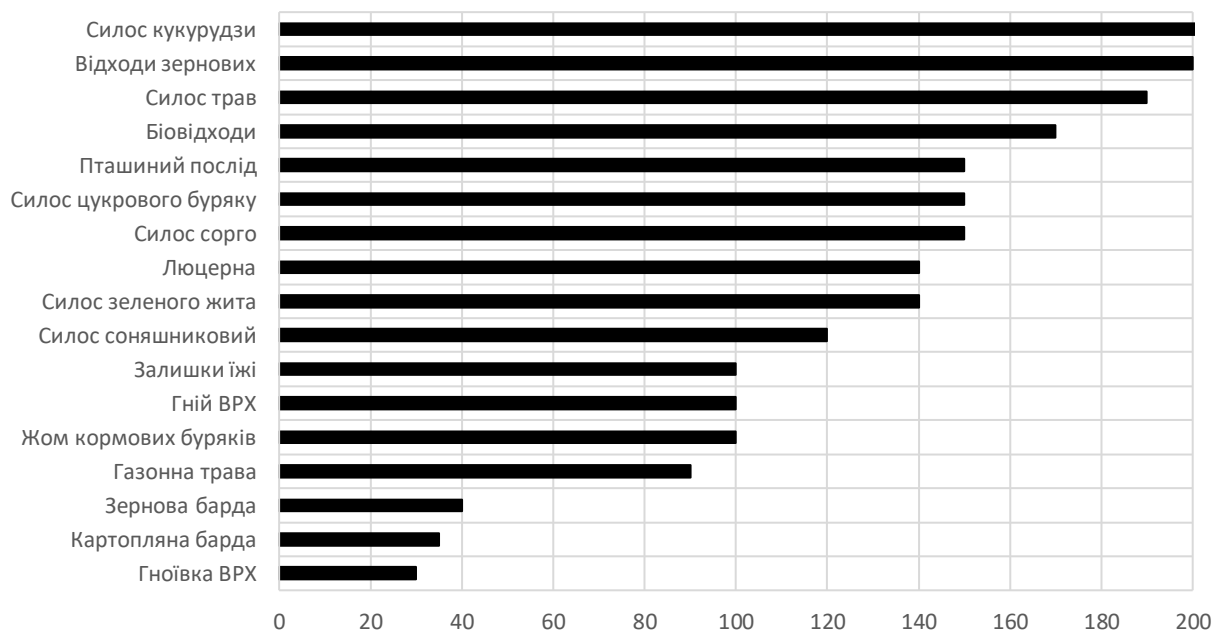


Рисунок 2.3 – Вихід біогазу у різних видах субстратів для біогазового виробництва

Подп. и дата
Инв.№дубл.
Взаим.инв.
Подп. и дата
Инв.№подл.

Из	Лист	№ докум.	Підп.	Дата
----	------	----------	-------	------

ТС 17510017

Ми бачимо, що з використанням платної сировини ми будемо отримувати більшу кількість біогазу, але коли мова йде про біогаз, нас повинно цікавити інформація не тільки про кількість його виходу, але й про вміст в ньому метану, розглянемо % вмісту метану у різних видах субстрату на рисунку 6. Ми можемо бачити, що сировина з середніми показниками виходу біогазу, а саме біовідходи та залишки їжі мають найбільший показник виходу метану з біогазу.

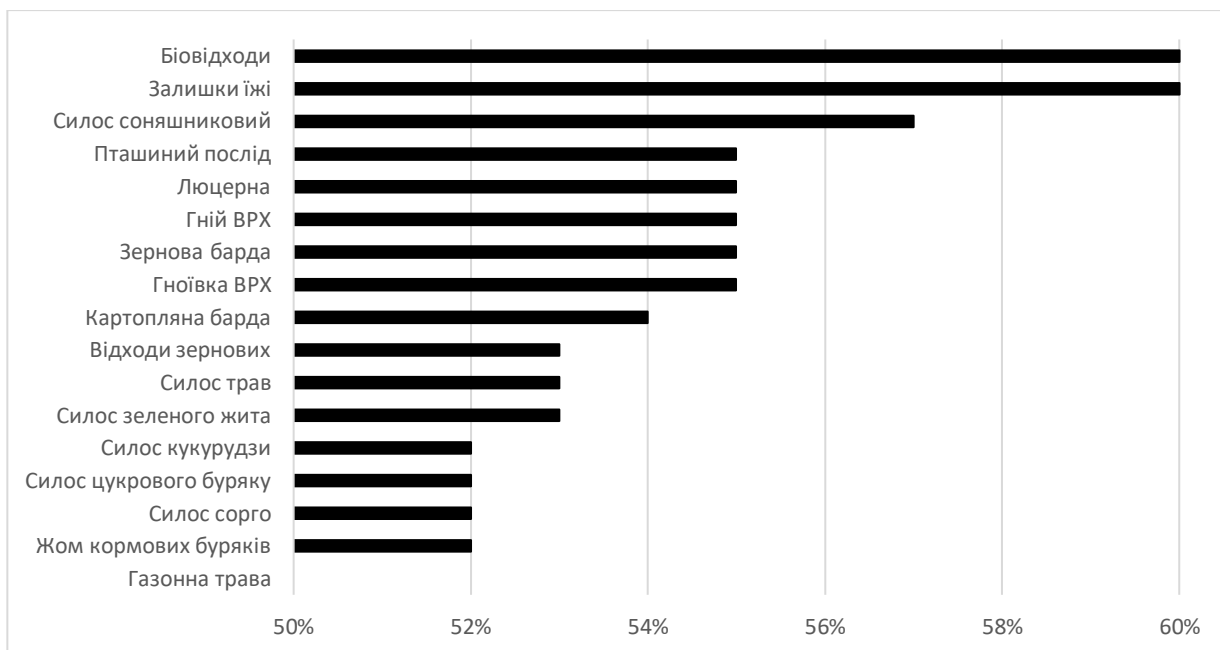


Рисунок 2.4 – Вміст метану у різних видах субстратів для біогазового виробництва

Але розглядаючи кількість утворення відходів, виходу біогазу та вмісту в ньому метану основним відходом за для отримання біогазу можна назвати саме відходи від тваринництва, такі відходи поділяються на:

- свинячий гній;
- коров'ячий гній;
- курячий послід птахо комплексів яєчного напрямку;
- курячий послід птахо комплексів м'ясного напрямку.

Тваринницькі відходи в основному відрізняються вмістом сухої речовини, з якої в процесі ферментації і отримують біогаз та біоводень, так найменшу

Підп. и дата
Инв.№дубл.
Взаим.инв.
Підп. и дата
Инв.№подл.

Из	Лист	№ докум.	Підп.	Дата

ТС 17510017

Арк.

26

кількість сухої маси містить свинячий гній до 5 % сухої речовини, далі йде коров'ячий гній до 12 % сухої маси, найбільше сухої маси ми можемо отримати з курячого посліду з птахофабрики яєчного та м'ясного напрямку, до 25 і 30 % відповідно.

Коров'ячий гній вважається найбільш екологічно чистим та найпростішим для отримання біогазу. Це пов'язано з особливостями травлення великої рогатої худоби, в коров'ячому гної розвиваються колонії анаеробних бактерій, що відсутні в більшості інших тварин. Завдяки таким мікроорганізмам такий гній менш пахучий ніж свиний чи курячий.

У фермерських господарствах коров'ячий гній є найбільшим джерелом метану, тоді як свинячий гній і послід птиці виділяють велику кількість аміаку, сірководню, сечова кислота, гіпурова кислота, сечовина, ефіри, феноли, крезолі. При розміщенні в ролі добрив такі відходи містять високі концентрації фосфору та азоту, що можуть спричинити забруднення підземних вод, водойм та джерел питної води. Патогенні бактерії, що містяться в цих відходах, потрапляють у ґрунт, а потім у певні продукти харчування людей та тварин.

### 2.3 Теоретичне обґрунтування екологічних властивостей зброджених органічних муніципальних відходів для подальшого їхнього використання

Отримання органічних відходів за допомогою анаеробного збродження з виходом біогазу є доцільною технологією для експлуатації, на що вказує активне використання таких добрив в ряді країн. Використання таких добрив дає змогу поліпшити економічні, екологічні та соціальні умови в сільському господарстві. В таблиці 5 ми можемо бачити хімічний склад органічних добрив, з цього можемо зробити висновки, що біодобрива слугують масивним енергетичним матеріалом за для життєдіяльності ґрунтових мікроорганізмів.

Крім цього використання біодобрив більш ефективно та менш токсичне по відношенню з використанням гною, так як в ньому, є велика частка нітратів та

Инва.№подл.	Подп. и дата
Взаим.инв.	Подп. и дата
Инва.№дубл.	Подп. и дата

Изва	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

ТС 17510017

Арк.

27

нітритів, а при ферментації вони переходять в аміак та метан, а цінні компоненти залишаються в місті добрив.

Таблиця 2.2 – Хімічний склад біодобрив в кілограмах на тону

Біодобриво (зброджена маса)	Хімічний склад				
	N	NH <sub>4</sub> -N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	MgO
Свинний гній	5,9–6,5	1,4–2,0	5,3–5,8	6,1–6,3	1,5–1,8
Коров'ячий гній	4,3–5,0	1,0–1,2	2,7–2,9	7,5–7,8	1,3–1,5
Кінський гній	3,6–3,8	1,0–1,1	4,0–4,3	4,3–4,8	1,5–1,8
Пташиний послід	17–18	3,0–3,5	10,0–10,9	8,0–8,8	3,5–4,2
Трава	3,2–3,5	0,7–0,1	1,3–1,4	4,2–4,8	0,5–0,6
Силос кукурудзяний	3,7–4	1,2–1,3	1,3–1,4	4,2–4,5	0,8–1,0
Бадилля цукрового буряка	2,1–2,3	0,5–0,9	1,2–1,4	3,5–4,0	0,7–0,9
Зернова барда	16–18	1,9–2,3	6,0–6,3	5,3–5,5	0,6–0,8
Органічні харчові відходи	5,6–5,8	1,6–1,9	3,2–3,6	4,0–4,3	2,5–2,7
Активний мул	3,9–4,2	2,2–2,4	2,2–2,9	2,0–2,2	0,2–0,5

Використовуючи традиційні методи приготування органічних добрив (компостування), втрати азоту можуть становити 30–40 %. Порівняно з неферментованим гноєм, анаеробна обробка гною збільшує вміст азоту в чотири рази (20–40 % азоту перетворюється на амоній). В результаті порівняно з такою ж кількістю звичайних добрив, ферментовані добрива збільшують урожайність культур на 10–20 %. У той же час виробництво високоефективних органічних добрив може забезпечити високу рентабельність біогазової технології, з яких 1 т (завдяки функції «збору врожаю») еквівалентно 70–80 т природних відходів худоби та птиці.

Ив.№подл.	Подп. и дата
Взаим.инв.	Подп. и дата
Ив.№дубл.	Подп. и дата

Ив.№подл.	Подп. и дата	Ив.№дубл.	Подп. и дата
Ив.№подл.	Подп. и дата	Ив.№дубл.	Подп. и дата
Ив.№подл.	Подп. и дата	Ив.№дубл.	Подп. и дата

ТС 17510017

Арк.

28

Ресурси гумусу є живильним середовищем для мікроорганізмів, що утворюють ґрунт, яке може стимулювати живлення та ріст рослин і відігравати найважливішу роль у підтримці екологічного балансу ґрунту.

Основою гумусу є залишки органічних речовин рослинного походження: найменш розкладена частина, частина, яка продовжує розкладатися, складні речовини, що утворюються в результаті гідролізу та окислення, та речовини, що утворюються в результаті мікробної діяльності.

До складу гумусу входять гумінова кислота, фульвокислота та солі цих кислот, а також гумусово-гумінова кислота, стійка сполука фульвокислоти та кислота в ґрунті. Він має значну питому поверхню (600–1000 м<sup>2</sup>/г) і високу адсорбційну здатність. Коли в ґрунт внесено невелику кількість перегною, склад і структура мікрофлори зміниться порівняно з іншими добривами. У свою чергу, це призведе до змін мікробного стану ґрунту, тим самим посилюючи процес перетворення матеріалу та енергії. В результаті прискорюється процес обміну речовин, активізується цикл розвитку нової флори, а активність азотфіксуючих бактерій особливо посилюється. В результаті живильне середовище збагачується. Ґрунт, в який вноситься гумусне добриво, має такі характеристики [37]:

- збільшити рухливість ґрунтового фосфору;
- активізується процес утворення азоту в ґрунті, що в свою чергу відіграє важливу роль
  - збільшення загального азоту і білкового азоту, збільшення в ґрунті вуглекислого газу;
  - прискорити введення азоту та фосфору у формі аміаку та амідів у рослини;
  - збільшити концентрацію калію та алюмінію, зменшити вміст магнію, тобто гумати мають значний вплив на вміст та динаміку катіонів ґрунту.

Гумус є результатом розкладання органічної речовини, і він бере активну участь у всіх важливих процесах ґрунтоутворення та формування родючості ґрунту. Основним показником стану ґрунтового гумусу є вміст органічної

Инва.№подл.	Подп. и дата
Взаим.инв.	Подп. и дата
Инва.№дубл.	Подп. и дата

Изва.№подл.	Изва.№дубл.	Изва.№инв.	Изва.№подл.	Изва.№дубл.	Изва.№инв.
Изва.№подл.	Изва.№дубл.	Изва.№инв.	Изва.№подл.	Изва.№дубл.	Изва.№инв.
Изва.№подл.	Изва.№дубл.	Изва.№инв.	Изва.№подл.	Изва.№дубл.	Изва.№инв.

ТС 17510017

Арк.

29

речовини, оскільки органічна речовина значно покращує фізичні, хімічні та біологічні властивості ґрунту та сприяє родючості. Більше того, теплопровідність органічних речовин низька і перешкоджає швидкому передаванню тепла з ґрунту в атмосферу.

Ефективність гумусу в 15–20 разів перевищує ефективність будь-якого органічного добрива. Специфічна мікробна флора та ферменти, що містяться в гумусі, можуть відновлювати виснажений ґрунт, тобто забезпечувати всі його функції та надавати йому високі характеристики родючості, а гумус можна зберігати протягом 3–4 років.

Таблиця 2.3 – Вміст гумусу для різних органічних відходів (кг гумусу на 1 т субстрату)

Субстрат	Вміст сухої речовини, %	Вміст гумусу
Зброджена маса	25–35	36–54
Компост	40	50–60
Фільтраційний мул	10–20	10–15

Кожного року, одночасно зі збиранням урожаїв, видаляється велика кількість органічних речовин і зменшується кількість живих мікроорганізмів, внаслідок чого знижується активність утворення гумусу. [38] Для підтримки необхідного рівня гумусу в ґрунті в Україні найчастіше застосовують органічні добрива (добрива, добрива, торф), але вміст гумусу в такій органіці дуже малий. Тому, щоб забезпечити ґрунт найменшою ефективною кількістю гумусу, необхідно використовувати більш ефективні добрива. На рисунку 7 показано середній репродуктивний потенціал різних органічних речовин для утворення гумусу.

Инва.№подл.	Подп. и дата
Взаим.инв.	Инва.№дубл.
Подп. и дата	

Изва	Лист	№ доквм.	Підп.	Дата
------	------	----------	-------	------

ТС 17510017

Арк.

30

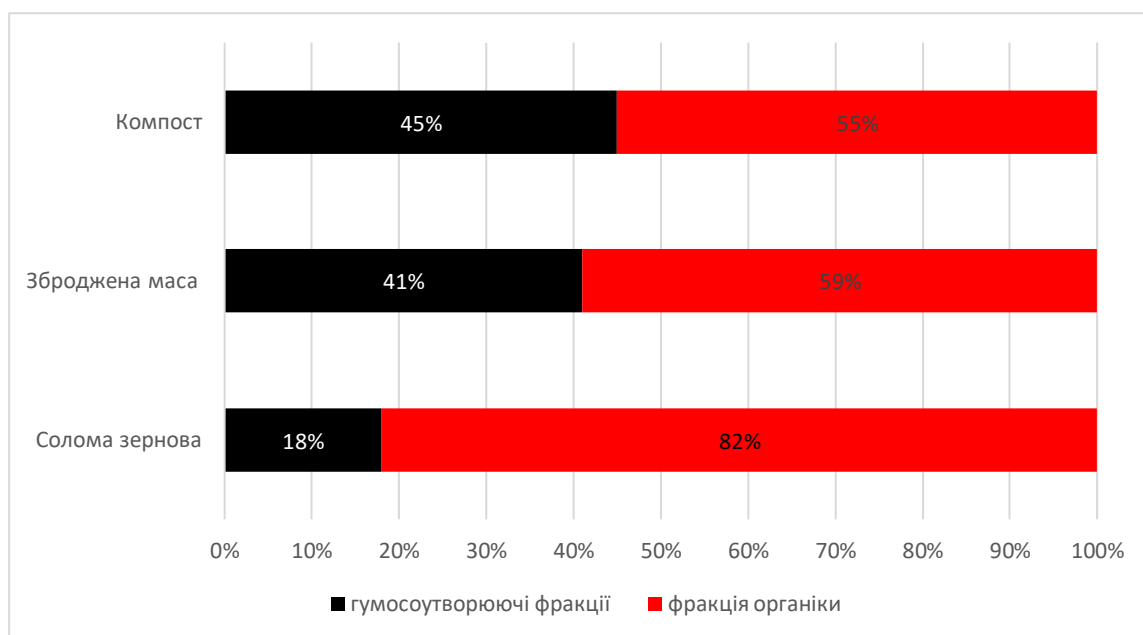


Рисунок 2.5 – Здатність до гумусоутворення органічних добрив

Таким чином, при впровадженні добрив з високим вмістом гумусу ми досягаємо підвищенню кількості та якості урожаю. Наприклад, за різними джерелами озима пшениця дає надбавку 15–20 %, цукровий буряк до 20 %, кукурудза 20–30 %, картопля до 30 %. Таким чином, позитивний вплив гумусу на ґрунтову родючість і врожайність можна представити у вигляді комплексу взаємозв'язаних процесів:

- фізичні механічні та фізичні властивості ґрунту;
- посилити процес обміну речовин у ґрунті: поглинати поживні речовини ґрунту за допомогою добрив, покращувати поживний статус розвитку рослин та підвищувати біологічну активність [39].

Ив.№подл.	Подп. и дата
Взаим.инв.	Ив.№дубл.
Подп. и дата	

Ив.№подл.	Ив.№дубл.	Взаим.инв.	Подп. и дата
Ив.№подл.	Ив.№дубл.	Взаим.инв.	Подп. и дата
Ив.№подл.	Ив.№дубл.	Взаим.инв.	Подп. и дата

ТС 17510017

Арк.

31

## РОЗДІЛ 3 МОДЕЛЮВАННЯ ТЕНДЕНЦІЙ У СФЕРІ ПОВОДЖЕННЯ ІЗ ОРГАНІЧНИМИ ВІДХОДАМИ НА РІВНІ МУНІЦИПАЛІТЕТУ

### 3.1 Дослідження кластерів за напрямками поводження із органічними відходами на рівні муніципалітету

Розглядаючи наукові періодичні видання, що індексуються наукометричною базою даних Scopus, можна сказати, що дана тематика, в перше була доцільно розглянута в 1998 році, після цього ми бачимо різке зменшення вивчення даної теми до 2007 року, після якого дана тема повчала набирати популярності, поки що піковим значення є 2018 рік, що налічує 60 робіт (рис.8). На 2019 та 2020 роки, вивчення даної теми стало зменшуватися на фоні карантинних заходів, та соціальних подій.

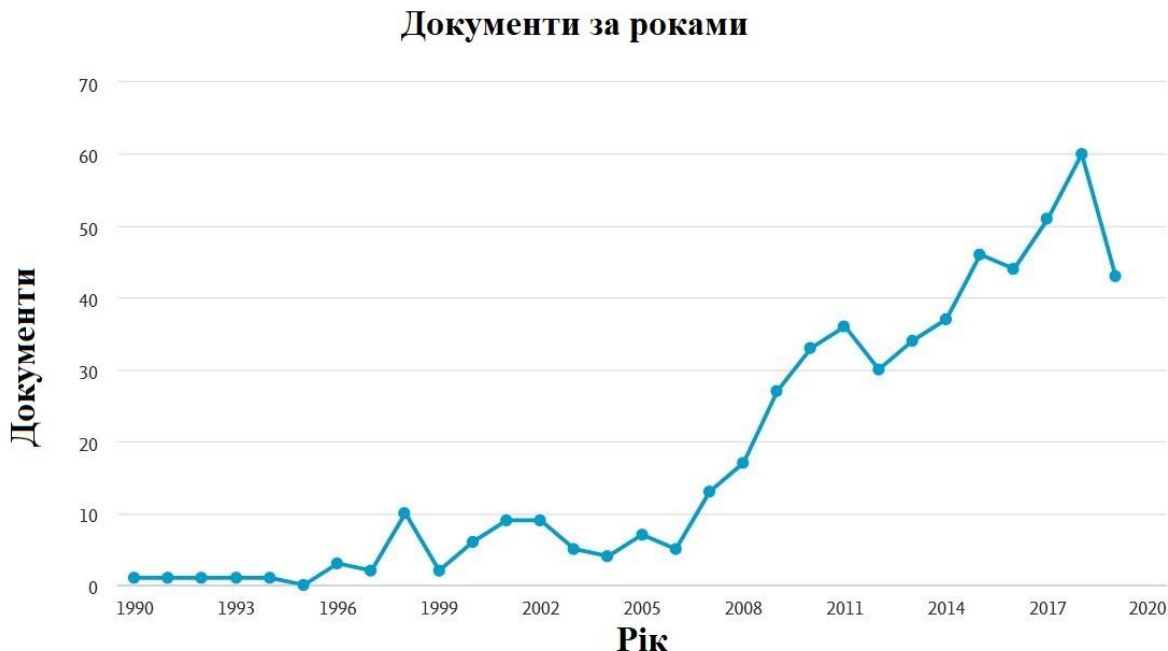


Рисунок 3.1 – Аналіз результатів пошуку за роками

Тема, яку ми розглянули, має великий попит в аграрних країнах та країнах з високою кількістю органічних відходів. Тому, за результатами вивчення даної

Полп. и дата
Инв.№дубл.
Взаим.инв.
Полп. и дата
Инв.№подл.

Из	Лист	№ докум.	Підп.	Дата
----	------	----------	-------	------

ТС 17510017



теми, перше місце за кількістю публікацій займають Сполучені Штати Америки – більше 100 наукових праць, потім йде Китай – 60 робіт, Німеччина та Англія – більше 50 робіт, Швеція – більше 20 робіт.

Найбільша кількість, наукових праць спрямована на поліпшення екологічної ситуації в регіонах та в енергетичному секторі економіки, виробництві біопалива, а також у хімічному машинобудуванні з виробництвом різних корисних хімічних добавок. Переважаючі напрямки досліджень є актуальними і для України.

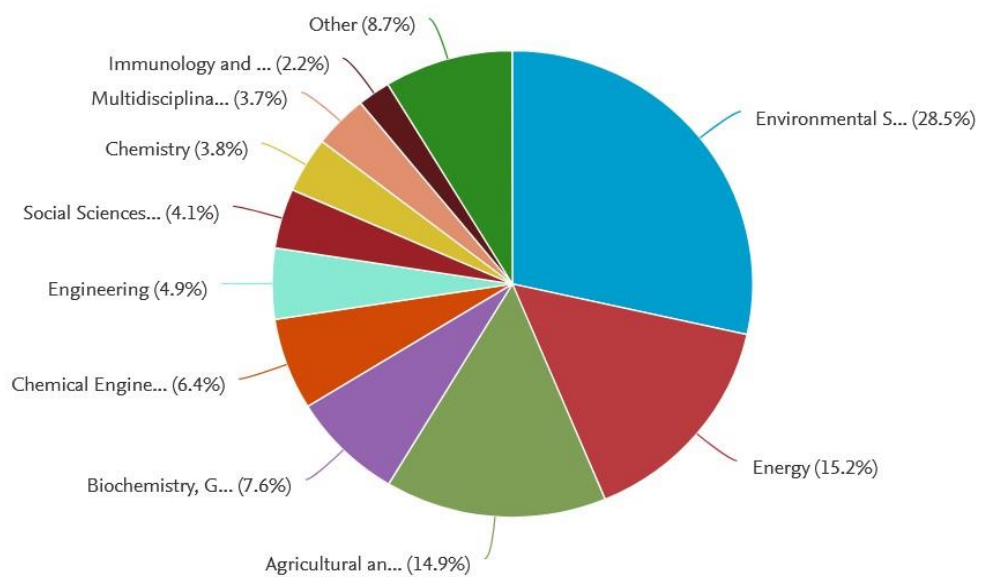


Рисунок 3.2 – Аналіз результатів пошуку за галузями знань за тематикою досліджень в сфері використання біоенергетичних технологій

Протягом останніх років в Україні спостерігається поступове зростання кількості об'єктів і встановленої потужності для виробництва теплової та електричної енергії з біомаси. На жаль, темпи розвитку біоенергетики в Україні значно нижчі від європейських показників, але наукові дослідження продовжуються та розвиваються. Інтенсифікація та підвищення ефективності виробництва біогазу є одним із переважаючих напрямків дослідження в Україні.

В закордонній літературі інтенсифікація біогазових процесів розглядається в напрямках: інтенсифікація безпосереднього процесу метанового бродіння [40,

Полп. и дата
Инв. № дубл.
Взаим. инв.
Полп. и дата
Инв. № подл.

Из	Лист	№ доквм.	Підп.	Дата
----	------	----------	-------	------

ТС 17510017



Накладна візуалізація (Overlay visualization), була обрана в якості більш ефективного інструменту для перевірки останніх тенденцій в дослідженнях в часовому масштабі. Розмір кіл відповідає переважанню термінів при публікації досліджень в цій області. Розподіл кольорів залежить від року публікації (середнє для кластера), при цьому останні жовтого кольору. Таким чином, найбільш інтенсивним є термінологія «пальне» та «зміни» відносно років написання робіт.

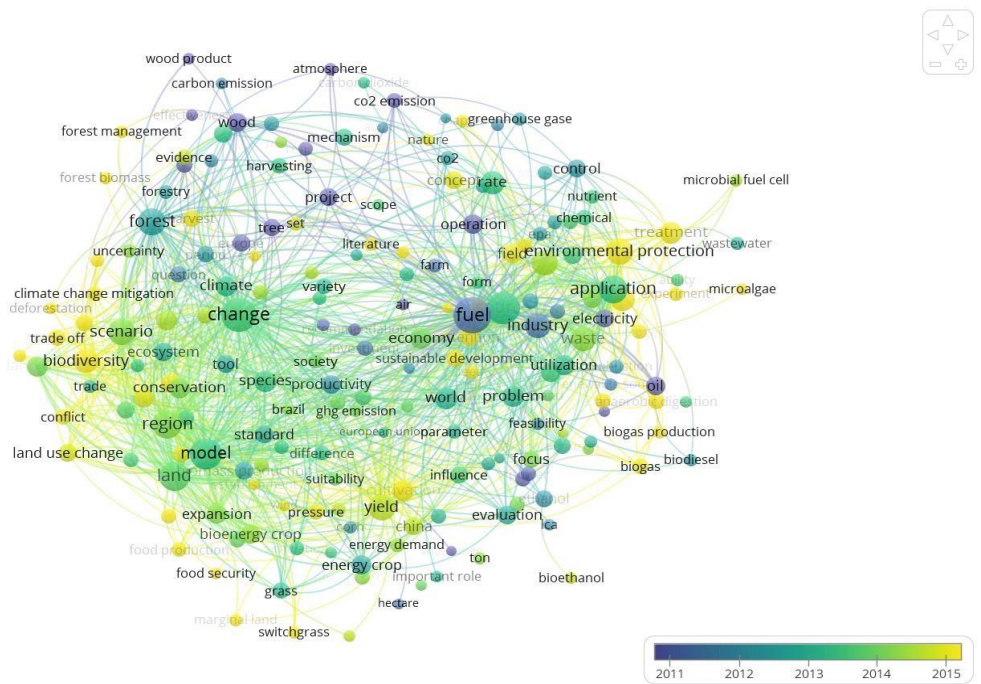


Рисунок 3.4 – Накладна візуалізація, де одиниця виміру є час з моменту публікації (з використанням БД Scopus)

Зі схеми візуалізації бачимо, що біогаз досліджується в різних напрямках його використання. Існують різні системи класифікації, наприклад, Wu et al, 2016 розробили типову систему використання біогазу за 3 шляхами: комбіноване тепло та електроенергія, тверді оксидні біогазові паливні елементи та збагачення біогазу. За результатами оцінки системи шлях збагачення біогазу має найвищу систематичну енергоефективність і найкоротший термін окупності. В оглядовій статті Khan et al, 2017 структуровано розглядаються сучасні біогазові технології

Инд. № дубл.	Подп. и дата
Инд. № подл.	Подп. и дата
Взаим. инв.	Подп. и дата
Инд. № подл.	Подп. и дата

збагачення. У рамках огляду було визначено, що необхідні подальші дослідження з метою зменшення втрат  $CH_4$ , впливу на навколишнє середовище, витрат на обслуговування та енергоспоживання.

Одним з основних кластерів дослідження є проблематика зміни напрямку руху до біоенергетики, та створення нових моделей розвитку. Біоенергетика добре розвинута в країнах ЄС. Згідно аналізу авторами Vanja et al, 2019, відбувається перехід до ринкового механізму впровадження біогазу в електроенергетичному секторі, що призводить до уповільнення темпів впровадження біогазу на зрілих ринках електроенергії з біомаси в ЄС. Деякі країни ЄС продовжують зберігати динаміку своїх ринків біогазової електроенергії, але біогаз стикається з жорсткою конкуренцією з сонячними та вітровими джерелами енергії та недорогим природним газом, тож потрібно продовжувати модернізацію процесу отримання біогазу та біометану. Виходячи з роботи Achinas et al, 2017 інвестиції в напрямок анаеробного зброджування успішні завдяки низькій вартості наявних сировинних ресурсів лігноцелюлозних джерел (гній, фрукти, рослинні відходи) та широкому спектру використання біогазу.

Дослідницькі ініціативи, виходячи зі статті, спрямовані на покращення контролю процесу анаеробного зброджування та його ефективності, а саме подальших досліджень потребує мікробна активність, яка є вирішальним параметром для стабільності процесу та виходу біогазу. В статті Ferdeş et al, 2020 провели огляд попередньої біологічної обробки біогазової сировини з використанням мікроорганізмів і ферментів, яка є найбільш потужним методом підвищення ефективності виробництва біогазу та найменш дорогим методом підвищення його якості. В майбутньому підвищення ефективності ферментативних препаратів, а також здатності мікроорганізмів перетворювати субстрат, може бути досягнуто за рахунок відбору нових високопродуктивних штамів мікроорганізмів і використання молекулярно-генетичних методів.

Инва.№подл.	Подп. и дата
Взаим.инв.	Инва.№дубл.
Подп. и дата	Подп. и дата

Изва	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

ТС 17510017

Вплив біоенергетичних технологічних рішень детально та критично оцінено в статті Paolini et al, 2018. Описано, що біогаз суттєво сприяє зменшенню викидів парникових газів, але і створює умови для небажаного викиду метану та N<sub>2</sub>O це пов'язано не з прямими викидами від спалювання біогазу, а більше з процесом зберігання біомаси та поводження з дигестатом [44–49].

### 3.2 Розроблення комплексного біоенергетичного рішення утилізації муніципальних органічних відходів

З інформації, що була викладена раніше ми можемо сказати, ферментація за для отримання біогазу, біоводню та біометану є ефективним методом утилізації органічних відходів різного ґатунку, але окрім утилізації відходів це ще ефективна установка для отримання палива, електроенергії, теплоенергії та добрив в залежності від потреб, за для підтвердження даної гіпотези проведемо теоретичний розрахунок, даний метод розрахунку був викладений на заняттях з предмету «Технології утилізації та видалення відходів» та модернізовані нами самостійно, задля одержання електроенергії та добрив на базі ферми з такими вихідними даними:

- видобуток свинячого гною 45 тон на добу;
- відносна вологість гною 75 %.

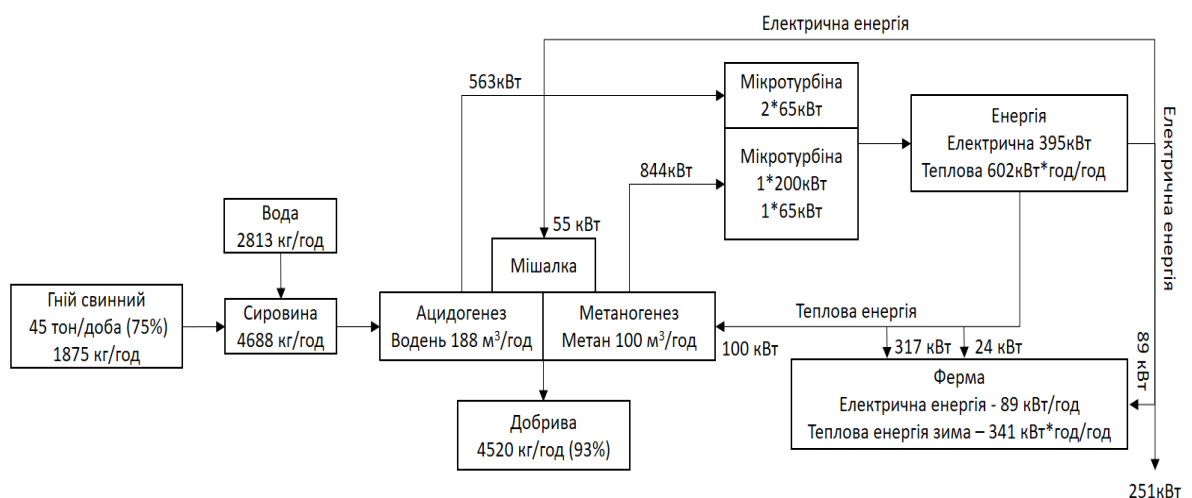


Рисунок 3.5 – Блок-схема процесу ферментації за теоретичною задачею

Полп. и дата	
Инв.№дубл.	
Взаим.инв.	
Полп. и дата	
Инв.№полп.	

Потреби ферми:

- електроенергія 89 кВт на годину;
- теплова енергія в літній час 87 мДж на годину;
- теплова енергія в зимовий час 1229 мДж на годину.

Потреби ферментатора:

- електроенергія 50 кВт на годину;
- теплова енергія 348 МДж на годину.

Для простоти розрахунків перейдемо від тон на добу, до кілограмів на годину:

$$45 \text{ тонн/доба} = 1875 \text{ кг/год}$$

Для використання гною в ферментаторі його треба розвести за для підвищення вологості до 90 %, для цього визначаємо кількість сухої маси:

$$1875 - 75 \% = 468,8 \text{ кг/год}$$

Далі визначаємо масу сировини при якій така кількість сухої маси буде приходиться на 90 % води:

$$\frac{468,8}{0,1} = 4688 \text{ кг/год}$$

Далі дізнаємося кількість води, що було доливо до гною:

$$4688 - 1875 = 2813 \text{ кг/год}$$

Розраховуємо кількість біоводню, що ми можемо отримати з потенційним виходом водню з свиного гною 0,4 м<sup>3</sup>/кг сухої маси:

$$468,8 * 0,4 = 188 \text{ м}^3/\text{год}$$

Полп. и дата	
Инв. № дубл.	
Взаим. инв.	
Полп. и дата	
Инв. № подл.	

Из	Лист	№ докум.	Підп.	Дата
----	------	----------	-------	------

ТС 17510017

Арк.

38

Визначаємо кількість сухої речовини, що піде далі на стадію метаногенезу:

$$188 * 0,09 = 17 \text{ кг/год}$$

$$468,8 - 17 = 451,8 \text{ кг/год}$$

Розраховуємо вихід біогазу та метану, при умові виходу біогазу с сухої маси дорівнює 0,34 м<sup>3</sup>/кг з вмістом метану до 65 %:

$$451,8 * 0,34 = 154 \text{ м}^3/\text{год}$$

$$154 * 0,65 = 100 \text{ м}^3/\text{год}$$

Розрахуємо кількість отриманих добрив, що будуть використані для полів, чи на продаж:

$$154 * 0,98 = 151 \text{ кг/год}$$

$$4688 - 17 - 151 = 4520 \text{ кг/год}$$

Далі розглянемо підбір мікротурбін для перероблення отриманого палива в електро та тепло енергію, для цього переведемо кількість утворених газів до енергії що буде переходити на мікротурбіни, розрахунок ведемо окремо для біоводню та біометану, у зв'язку з окремим збором газів.

$$188 \text{ м}^3/\text{год} = 563 \text{ кВт} * \text{год/год}$$

Для такої кількості утвореної теплової енергії від біоводню раціонально взяти 2 мікротурбіни з виробкою електроенергії 65 кВт.

$$100 \text{ м}^3/\text{год} = 844 \text{ кВт} * \text{год/год}$$

Инва.№подл.	Подп. и дата
Взаим.инв.	Инв.№дубл.
Подп. и дата	

Для такої кількості утвореної теплової енергії від біометану раціонально взяти 1 турбіну на 200 кВт та 1 мікротурбіну на 65 кВт. Такі турбіни будуть працювати на повну потужність, характеристики турбін наведено в таблиці 7.

Таблиця 3.1 – Характеристики мікротурбіни

	Турбіна 65 кВт	Турбіна 200 кВт
Електрична потужність, кВт	65	200
КПД по електроенергії, %	29	33
Потреби в тепловій енергії	224,1	606,1

Таким чином кількість отриманої електричної енергії за годину буде дорівнювати 396 кВт, що дозволить повністю задовольнити потреби ферми та ферментатора, з подальшою реалізацією 251 кВт іншим споживачам.

Розрахуємо отриману теплову енергію від мікротурбін:

$$606 - 181 - 200 + 3 * (224,1 - 34 - 65) = 602 \text{ кВт} * \text{год/год}$$

$$602 \text{ кВт} * \text{год/год} = 2176 \text{ МДж/год}$$

Таким чином, ферма повністю задовольняє свої потреби, як що до використання електро енергії так і що до теплоенергії.

Ми розглянули ферментатор на базі ферми, якщо розглядати підприємства з ціллю отримувати енергію, кількість виробленої енергії буде збільшено в рази.

Уже станом на 2018 р. в Україні потенціал енергії з біомаси складає 23 млн т н.е., що складає 3,4 % від загального постачання енергії в Україні. Отже, розвиток біоенергетичних рішень можна ефективно використовувати, як задля перероблення біовідходів, так і отримання енергії.

Инва.№подл. Подп. и дата  
Взаим.инв. Инв.№дубл. Подп. и дата



### 3.3 Рекомендації щодо плану підвищення рівня отримання біоенергії до 2050 року в Україні

Україна є власником найбільших площ земель під сільськогосподарські угіддя в Європі, при цьому з них близька 7,9 млн га вільних від посівів, що можуть бути використані для зрощення біоенергетичних культур. Україна має один з найкращих в світі потенціалів аграрної сировини для виробництва біометану.

Таким чином, одним із перспективним для України джерелом відновлюваної енергії стає біометан та біоводень з екологічно безпечною утилізацією органічних відходів різного походження. Для України потенціал виробництва біометану становить близька 7,8 млрд м<sup>3</sup>/рік. З основних субстратів залучених до біоенергії можна виділити:

- органічні рештки (3864 млн м<sup>3</sup>/рік);
- силос кукурудзи (2709 млн м<sup>3</sup>/рік);
- послід пташиний (467 млн м<sup>3</sup>/рік);
- жом цукрових буряків (363 млн м<sup>3</sup>/рік);
- гній свиней (245 млн м<sup>3</sup>/рік);
- гній великої рогатої худоби (158 млн м<sup>3</sup>/рік).

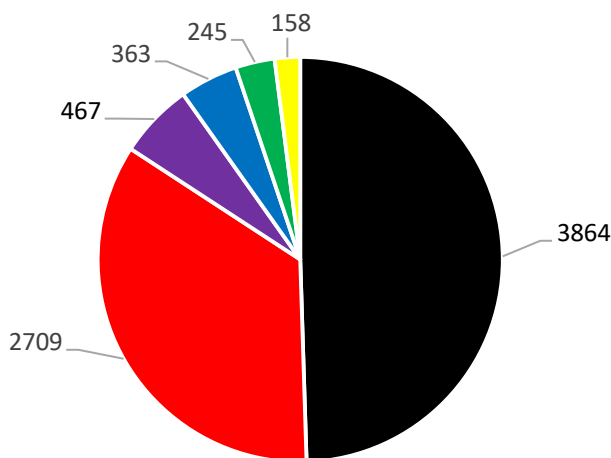


Рисунок 3.6 Залучені субстрати для виробництва біометану, млн м<sup>3</sup>/рік.

Инва.№подл.	Подп. и дата	Взаим.инв.	Инв.№дубл.	Подп. и дата

У січні 2020 року Міністерство енергетики та охорони навколишнього середовища України запропонувало проект концепції «зеленого» енергетичного переходу України до 2050 р. Формулювання цього документа враховує цілі та завдання нової європейської зеленої політики, а його опис буде представлений у наступному розділі.

Концепція спрямована на досягнення кліматично незалежної економіки до 2050 року. Серед основних напрямків економічної декарбонізації, особливо енергетичної, було виділено такі:

– розвивати використання відновлюваної енергії в поєднанні з енергоефективністю;

– зменшити споживання вуглецевої енергії до нуля та максимізувати використання відновлюваної енергії, щоб сектори сільського господарства та лісового господарства могли повністю реалізувати енергетичну самодостатність;

– збільшення біомаси інших відновлюваних джерел енергії та сталого виробництва біопалива для підтримки реалізації "зелених" переходів в інших секторах економіки;

– завдяки поєднанню виробництва сонячної та вітрової енергії, електростанцій на біомасі та нових високоефективних можливостей виробництва енергії на природному газі (у довгостроковій перспективі синтезований газ, що виробляється з ВДЕ), електростанції, що працюють на вугіллі, будуть повністю замінені до 2050 року;

– збільшити використання ВДЕ (біопалива та біопалива та відходів, електроенергії та тепла) у промисловому виробництві для заміщення вуглеємких ресурсів.

Окрім досягнення незалежної від клімату економіки до 2050 року, концепція переходу до зеленої енергії також включає енергоефективність, розвиток енергетичного транспорту, циркулярну економіку (зменшення відходів), інтелектуальну мережу, управління попитом та підтримку досліджень та

Ив.№подл.	Подп. и дата
Взаим.инв.	Ив.№дубл.
Подп. и дата	Подп. и дата

Ив.№подл.	Подп. и дата	Ив.№дубл.	Подп. и дата
Ив.№подл.	Подп. и дата	Ив.№дубл.	Подп. и дата
Ив.№подл.	Подп. и дата	Ив.№дубл.	Подп. и дата
Ив.№подл.	Подп. и дата	Ив.№дубл.	Подп. и дата

ТС 17510017

Арк.

42

інновацій. Таким чином, потенціал виробництва біометану у 2050 р. може зрости до 17 млрд м<sup>3</sup>/рік [50].

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взаим. инв.	Инв. № дубл.	Подп. и дата

Из	Лист	№ докум.	Підп.	Дата

ТС 17510017

Арк.

43

## РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

При переробці гною і органічних залишків в енергію за допомогою технології анаеробного зброджування існує ряд небезпек. Ці небезпеки можуть привести до серйозних тілесних ушкоджень, а в деяких випадках до летального результату. До поширених небезпек, пов'язаних з технологічними системами зброджування, відносяться утоплення, ураження електричним струмом та вплив шуму [51].

Однак біогаз і його складові, багато з яких не мають кольору і запаху, можуть несвідомо піддавати операторів і відвідувачів таким небезпекам, як задуха і опіки через займистою природи метану. Працівники повинні вживати належних застережних заходів при роботі і зберіганні органічних матеріалів і управлінні виробництвом електроенергії і горючих газів. Мета даного документа визначити основні ризики, пов'язані з технологією зброджування, і описати основні методи, які допоможуть підтримувати безпечну і успішну робочу середу. Цільовою аудиторією цього посібника є власники і оператори, і керівництво не покликане замінити навчання з техніки безпеки або інструктаж, а скоріше доповнити його.

Виробнича зона повинна мати робочі огорожі. Стороннім особам заборонено заходити на виробничу територію без супроводу спеціальної особи. Заборонено використовувати відкритий вогонь у приміщенні та на території підприємства. Палити та їсти дозволяється лише у спеціально відведених місцях, а робочі місця працівників повинні бути в чистому стані. Заборонено ускладнювати доступ до вогнегасників та електрообладнання.

Все вимірювальне обладнання повинно регулярно перевірятися та мати пломби. У разі відкритого вогню для гасіння використовується вогнегасники та

Инва.№подл.	Подп. и дата
Взаим.инв.	Инва.№дубл.
Подп. и дата	

Изва	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

ТС 17510017

Арк.

44

сухий пісок. В надзвичайних ситуаціях необхідно використовувати індивідуальні засоби захисту [52].

Під час роботи зі сховищами гною, роботу необхідно проводити в респіраторах. Належним чином згідно з інструкціями повинна проводитися робота з насосами, обладнання під тиском та клапанів.

При деяких обставинах ферментатори можуть бути джерелом з підвищеною небезпекою:

– концентрований біогаз, при вдиханні його протягом тривалого періоду часу, може спричинити отруєння чи навіть смерть.

– очищений від сірки біогаз також може бути смертельним, так як може стати причиною смерті через брак кисню.

– біогаз у суміші з повітрям, та за концентрації 6–12 % та присутності джерела тепла з температурою понад 70 °С стає вибухонебезпечним.

– ризик виникнення небезпеки від обертових елементів, електроприладів, труб та обладнання що працює під тиском.

– метан представляє собою безбарвний газ, що не розчиняється у воді, здійснює негативний пригнічуючи вплив на центральну нервову систему.

При роботі на виробництві з отримання біогазу обов'язковим є наявність вогнегасників, пожежної сигналізації, клапанів спуску надлишку газу із метантенку, завдяки цьому вчасно може бути знижено ступінь небезпеки, що може виникнути під час роботи з обладнанням. Ще на стадії проектування необхідно розробити схеми будови так, щоб вони відповідали технікам безпеки.

При роботі з ферментаторами на сільськогосподарських засадах так і для промислового чи індивідуального користування використовуються правила та техніка безпеки в яких передбачається детальні інструкції щодо використання окремих складових блоків, повний опис технічних приміщень для розміщення обладнання, отримання та доставки виконаних робіт, належної організації роботи у зонах підвищеної небезпеки, попередження аварій та травм, а також супроводжуються вимогами охорони праці.

Инд. №подл.	Подп. и дата
Взаим. инв.	Инд. №дубл.
Подп. и дата	

Изд	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
-----	------	----------	-------	------

ТС 17510017

Арк.

45

Такі споруди, як газгольдери, метантенки повинні бути забезпеченими захисними зонами із забороною використання відкритого вогню та іскор. Захисні зони та прилеглі території треба забезпечити відповідними знаками чи табличками.

Відносно об'ємів виробництва біогазу, виду споруди та матеріалів, що застосовувалися розміри захисної зони повинні становити близька 2–20 м. Такі зони визначаються залежно від небезпеки можливого вибуху:

- зона 0 ризик постійного вибуху;
- зона 1 можливий ризик вибуху пов'язаний витоком газу;
- зона 2 вибухонебезпечні умови від присутності газів неможливі.

На територіях зони 1 та 2 обов'язковим є виявлення місць, що можуть бути вибухонебезпечними та відповідно повинні бути задокументованими. Подається план території разом із будівельними документами до компетентного інспекційного органу для отримання дозволу на будівництво.

Труби з штучних матеріалів дозволяється використовувати для з'єднання трубопроводів між цистернами для метану та резервуарами для зберігання газу. Труби, що містять газ, повинні бути позначені відповідними символами для позначення напрямку потоку, а сама труба повинна бути жовтою.

Клапан в насосі повинен бути спроектований таким чином, щоб він міг працювати, не потрапляючи у вал.

Збірник конденсату та запобіжник повинні бути встановлені у легкодоступному місці. Для полегшення технічного обслуговування повинен бути забезпечений доступ до обладнання під тиском, яке повинно бути захищене від замерзання та витоків рідини.

Инва.№подл.	Подп. и дата
Взаим.инв.	Инва.№дубл.
Подп. и дата	

Из	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

ТС 17510017

Арк.

46

## ВИСНОВКИ

У ході розроблення дипломного проекту було:

1. Здійснено огляд екологічної проблематики утворення органічних відходів дав можливість оцінити стан поводження з ними в Україні, на сьогоднішній час муніципальні відходи прирівнюються до твердих побутових відходів, до них входять відходи, що збираються в населених пунктах в процесі життя і діяльності людини в житлових будинках, організаціях та установах, в місцях громадського користування, крім відходів пов'язаних з діяльністю підприємств.

2. Проаналізовано методи поводження з органічними відходами на базі українського та світового досвіду показує, значну різницю між поводженням з відходами в світі та Україні, наша держава тільки наближається до світових тенденцій поводження з відходами та потребує подальшого розвитку технологічних рішень їх рециклінгу з отриманням корисних та екологічно безпечних продуктів.

3. Розглянуто технологічні процеси поводження з органічними відходами, а саме реалізацію методів компостування та ферментації, було визначено еколого-економічні переваги використання методу анаеробного збродження, що дає змогу отримувати як високоякісне добриво, як і в компостуванні, так і отримати біопаливо, що і надає цьому методу великої переваги під час впровадження на місцевому рівні.

4. що на процес анаеробної конверсії впливає компонентний склад органічних відходів, зокрема у пташиному посліді містяться сполуки азоту, що сприяє збільшенню виходу аміаку, під час збродження свинячого гною спостерігається підвищення виходу сірководню, целюлозовмістний субстрат має свої особливості біодеградації, корисні біогенні елементи силосу кукурудзи, цукрове сорго є платними ресурсами, натомість коров'ячий гній вважається найбільш екологічно чистим та найпростішим для отримання біогазу, але використання монокомпоненту для субстрату не є доцільним, тому важливим є

Инв.№подл.	Подп. и дата	Взаим.инв.	Инв.№дубл.	Подп. и дата	ИЗ	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Арк.
ТС 17510017										

створення композицій субстратів, що дозволить оптимізувати органо-мінеральний склад та збільшити вихід біогенних метану та водню.

5. Під час здійснення розрахунків основних параметрів виробництва біоводню та біометану з відходів відповідно до розробленої формалізованої технологічної схеми, була розв'язана теоретична задача, що показує прогнозований вихід електроенергії, що може бути отримана від органічних відходів, а саме свиного гною, який утворюється на фермі та можливість само забезпечення енергією та направлення частки її на продаж відповідно до зеленого тарифу. Під час утворення відходів у розмірі 45 тон на добу кількість отриманої електричної енергії за годину буде дорівнювати 396 кВт, що дозволить повністю задовольнити потреби ферми та ферментатора, з подальшою реалізацією 251 кВт іншим споживачам.

6. Сформовано 4 кластера інноваційних рішень в сфері впровадження біоенергетичних рішень за даними БД Scopus з використанням програмного забезпечення VOSviewer, а саме такі кластери:

– кластер (червоний) розкриває екологічну проблематику зміни напрямку руху від стаціонарних джерел отримання енергії до біоенергетики, та створення моделей його розвитку;

– кластер (жовтий) охоплює процес відновлення екологічних систем, зокрема лісів та зменшенню викидів CO<sub>2</sub> при використанні біоенергетики;

– кластер (зелений) включає виробництво та застосування палива та енергії, що ми можемо отримати шляхом введення та покращення біоенергетичних технологій;

– кластер (блакитний) охоплює вплив технології біоенергетики на відновлення та очищення навколишнього середовища, а також зменшення техногенних збитків.

Инва.№подл.	Подп. и дата
Взаим.инв.	Подп. и дата
Инва.№дубл.	Подп. и дата

Изва	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

ТС 17510017

Арк.

48



## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Закон України «Про відходи» від 16.10.2020
2. ДЕРЖАВНІ БУДІВЕЛЬНІ НОРМИ УКРАЇНИ «ПОЛІГОНИ ТВЕРДИХПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ Основні положення проектування» ДБН В.2.4-2-2005
3. ECODEVELOP: БІОГАЗОВІ КОМПЛЕКСИ URL: [ecodevelop.ua](http://ecodevelop.ua)
4. Лазненко Д. О. Параметри утворення побутових відходів URL: <https://despro.org.ua/news/detail.php?ID=2166>
5. Відходи: утворення, характеристики, класифікація URL: <https://mix.sumdu.edu.ua/textbooks/27674/1326424/index.html>
6. Рибчинський Л.М. Екологічні аспекти водневої енергетики: кваліфікац. робота магістра / Л.М. Рибчинський; наук. керів. О.А. Бургаз. – Одеса: ОДЕУ, 2017. – 63 с.
7. Щурська К.О. Способи продукування біоводню. Проблеми біології та біотехнології / К.О. Щурська, Є.В. Кузьмінський //Наукові вісті НТУУ "КПІ". – 2011. – Вип. 3. – С. 105 – 114.
8. Шуліпа Є. О., Черниш Є. Ю. Процеси темної ферментації для утилізації відходів з отриманням корисних біосировинних продуктів // Тези доповідей VII Всеукраїнської науково-технічної конференції «Сучасні технології у промисловому виробництві». – Суми: СумДУ. – 2020. – С. 246 – 247.
9. Куріс Ю. В. Метаногенез і технологічні схеми отримання біогазу / Ю.В. Куріс // Альтернативные источники энергии. – 2011. – №10 (92). – С. 41 – 48.
10. Марцинкевич В., Коломієць Н. Поводження з відходами тваринництва: переваги технології анаеробного зброджування / В.Марцинкевич, Н. Коломієць. – Нац. екологічний центр України (НЕЦУ). – Київ. – 2015. – 21 с.

Підп. и дата
Инв. № дубл.
Взаим. инв.
Підп. и дата
Инв. № подл.

Из	Лист	№ докум.	Підп.	Дата

ТС 17510017

Арк.

49

11. Рибчинський Л.М. Екологічні аспекти водневої енергетики: кваліфікац. робота магістра / Л.М. Рибчинський; наук. керів. О.А. Бургаз. – Одеса: ОДЕУ, 2017. – 63 с.

12. Шуліпа Є. О., Черниш Є. Ю. Процеси темної ферментації для утилізації відходів з отриманням корисних біосировинних продуктів // Тези доповідей VII Всеукраїнської науково-технічної конференції «Сучасні технології у промисловому виробництві». – Суми: СумДУ. – 2020. – С. 246 – 247.

13. Sołowski G. Methane and hydrogen production from cotton waste by dark fermentation under anaerobic and micro-aerobic conditions / G. Sołowski, I. Konkol, A. Cenian // Biomass and Bioenergy. – 2020. – No 138. – P. 1–2.

14. Шомин А. А. Биогаз на сельском подворье: книга / А.А. Шомин. – Балаклея: Информационно-издательская компания "Балаклейщина", 2002. – 68 с.

15. Miller R. Inorganic Fertilizer Vs. Organic Fertilizer [Electronic resource]. Garden Care. 2018. URL– <https://homeguides.sfgate.com/inorganic-fertilizer-vs-organic-fertilizer-39528.html>

16. Спосіб переробки лежалих твердих відходів : пат. 2711634 Росія : МПК F23G 5/12 B09B 3/00 ; заявл. 22.05.2019 ; опубл. 17.01.2020.

17. Апарати для біологічної десульфатції біогазу : пат. 1020190084828 Корея : МПК B01D 53/84 B01D 53/52 C02F 11/04; заявл. 09.01.2018 ; опубл. 17.07.2019.

18. Спосіб і система для отримання та переробки твердих відходів : пат. 054900 WO : МПК B09B 3/00 2006.01 ; заявл. 20.08.2018 ; опубл. 21.03.2019.

19. БІОГАЗОВИЙ РЕАКТОР ДЛЯ ТВЕРДОФАЗНОЇ ФЕРМЕНТАЦІЇ : пат. 116509 України : МПК C02F 11/04 C02F 3/28 C12M 1/00 C12M 1/107 C12M 1/26 C12M 1/36 ; заявл. 17.03.2017 ; опубл. 26.03.2018.

20. ЛАБОРАТОРНА УСТАНОВКА ДЛЯ ОТРИМАННЯ БІОГАЗУ : пат. 123294 України : МПК C02F 11/04 ; заявл. 24.07.2017 ; опубл. 26.02.2018.

21. СПОСІБ ВИРОБНИЦТВА БІОГАЗУ ТА ДОБРИВА : пат. 121280 України : МПК C05F 7/00 C05F 11/00 C12P 5/00 ; заявл. 27.06.2017 ; опубл. 27.11.2017.

Ив.№подл.	Подп. и дата	Взаим.инв.	Ив.№дубл.	Подп. и дата
-----------	--------------	------------	-----------	--------------

Ив.№подл.	Подп. и дата	Взаим.инв.	Ив.№дубл.	Подп. и дата
Ив.№подл.	Подп. и дата	Взаим.инв.	Ив.№дубл.	Подп. и дата
Ив.№подл.	Подп. и дата	Взаим.инв.	Ив.№дубл.	Подп. и дата

ТС 17510017

Арк.

50

22. СПОСІБ ЗБЕРІГАННЯ ТА ПЕРЕРОБКИ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ ОРГАНІЧНОГО ПОХОДЖЕННЯ І СИСТЕМА ДЛЯ ЙОГО РЕАЛІЗАЦІЇ : пат. 2652817 Росія : МПК В09В 1/00 ; заявл. 14.09.2017 ; опубл. 03.05.2018.

23. СПОСІБ ОДЕРЖАННЯ БІОГАЗУ З ВІДХОДІВ ВИРОБНИЦТВА ЦУКРУ : пат. 116911 України : МПК F23G C02F 11/04 В09В 3/00 ; заявл. 19.12.2016 ; опубл. 12.06.2017.

24. Енергоефективні біореактори з ВИКОРИСТАННЯМ КОМПОЗИТНИХ МАТЕРІАЛІВ : пат. 172478 Росія : МПК А01С 3/00 ; заявл. 28.10.2016 ; опубл. 11.07.2017.

25. СПОСІБ ПЕРЕРОБКИ РОСЛИННИХ ВІДХОДІВ : пат. 2014135545 Росія : МПК А23G 1/00 ; заявл. 04.02.2013 ; опубл. 27.03.2016.

26. СПОСІБ ОДЕРЖАННЯ БІОПРОДУКТІВ І ЕНЕРГІЇ ІЗ БЕСПІДСТИЛКОГО КУРЧОГО ПОСЛІДУ І ПРИСТРІЙ ДЛЯ ЙОГО ЗДІЙСНЕННЯ : пат. 2576208 Росія : МПК C05F 3/00 C05F 3/06 ; заявл. 27.05.2014 ; опубл. 27.02.2016.

27. СПОСІБ ПЕРЕРОБКИ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ І ПРОМИСЛОВИХ ВІДХОДІВ ТА ВСТАНОВЛЕННЯ ДЛЯ ЙОГО РЕАЛІЗАЦІЇ : пат. 2570331 Росія : МПК В09В 3/00 ; заявл. 20.10.2014 ; опубл. 10.12.2015.

28. Спосіб отримання біогазу за допомогою багатозонного розподілу культури та ефективної системи бродіння біогазу : пат. 2711634 Китай : МПК C12P 5/02 C12M 1/107 ; заявл. 22.01.2015 ; опубл. 13.05.2015.

29. Пристрій для анаеробної ферментації гною для худоби та птиці з рефлюксним трубопроводом для біогазу : пат. 104355518 Китай : МПК C02F 11/04 ; заявл. 19.11.2014 ; опубл. 18.02.2015.

30. Пристрій для екологічно безпечної переробки органічних субстратів в біогаз : пат. 2013117257 Росія : МПК А01С 3/00 ; заявл. 16.04.2013 ; опубл. 27.10.2014.

Инва.№подл.	Подп. и дата
Взаим.инв.	Подп. и дата
Инва.№дубл.	Подп. и дата

Изва	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

ТС 17510017

Арк.

51

31. Екологічний цикл переробки відходів свиноферм : пат. 104705196 Китай : МПК А01К 1/00 А01К 1/01 А01G 1/00 А01G 7/04 ; заявл. 08.04.2015 ; опубл. 17.06.2015.

32. Апарат для фільтрації та відділення органічних добрив : пат. 106955522 Китай : МПК В01D 33/11 ; заявл. 17.05.2017 ; опубл. 18.07.2017.

33. Спосіб отримання біогазової рідини в екологічне біогазове рідке добриво : пат. 107652071 Китай : МПК С05G 3/00 ; заявл. 09.11.2017 ; опубл. 02.02.2018.

34. Система попередньої обробки утилізації біогазу для курячих відходів : пат. 210367581 Китай : МПК С10L 3/10 ; заявл. 13.08.2019 ; опубл. 21.04.2020.

35. Новий біогазовий резервуар : пат. 109370881 Китай : МПК С12М 1/107 С12М 1/02 С12М 1/12 ; заявл. 16.11.2018 ; опубл. 22.02.2019.

36. Стан сфери поводження з побутовими відходами в Україні за 2018 рік / М-во розвитку громад та територій України. URL: <https://www.minregion.gov.ua/napryamki-diyalnosti/zhkh/terretory/stan-sferi-povodzhennya-z-pobutovimi-vidhodami-v-ukrayini-za-2018-rik/>

37. Скляр О.Г. Напрями використання органічних ресурсів у тваринництві/ О.Г. Скляр, Р.В. Скляр// Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. –Мелітополь: ТДАТУ, 2011. –Вип. 11. –Т.5. –С. 210 –218.

38. Дубровський В.С. Метановое сбраживание сельскохозйственных отходов/ В.С. Дубровський, У.Е. Виестур. –Рига: Зинатне, 1988. –204с.

39. Биодобрения – основа улучшения качества сельскохозйственной продукции: [Электрон.ресурс]. – Режим доступа: <http://www.zorgbiogas.ru>

40. Saurabh M. Joshi, Parag R. Gogate, Intensifying the biogas production from food waste using ultrasound: Understanding into effect of operating parameters, Ultrasonics Sonochemistry, Volume 59, 2019, 104755, <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.104755>.

41. Pankaj N. Patil, Parag R. Gogate, Levente Csoka, Agota Dregelyi–Kiss, Miklos Horvath, Intensification of biogas production using pretreatment based on

Подп. и дата	
Инв.№дубл.	
Взаим.инв.	
Подп. и дата	
Инв.№подл.	

Из	Лист	№ докум.	Підп.	Дата
----	------	----------	-------	------

ТС 17510017

Арк.

52

hydrodynamic cavitation, *Ultrasonics Sonochemistry*, Volume 30, 2016, Pages 79–86, <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2015.11.009>.

42. Kari Koppelmäki, Tuure Parviainen, Elina Virkkunen, Erika Winqvist, Rogier P.O. Schulte, Juha Helenius, Ecological intensification by integrating biogas production into nutrient cycling: Modeling the case of Agroecological Symbiosis, *Agricultural Systems*, Volume 170, 2019, Pages 39–48, <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2018.12.007>.

43. Benjamin Blumenstein, Torsten Siegmeier, Franziska Selsam, Detlev Möller, A case of sustainable intensification: Stochastic farm budget optimization considering internal economic benefits of biogas production in organic agriculture, *Agricultural Systems*, Volume 159, 2018, Pages 78–92, <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.10.016>.

44. Banja M., Jégard M., Motola V., Sikkema R., Support for biogas in the EU electricity sector – A comparative analysis, *Biomass and Bioenergy*, Volume 128, 2019, 105313, <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2019.105313>.

45. S. Achinas, V. Achinas, GJW Euverink, Technological Overview of Biogas Production from Biowaste, *Engineering*, Volume 3, Issue 3, 2017, Pages 299–307, <https://doi.org/10.1016/J.ENG.2017.03.002>.

46. Khan IU, Othman MHD, Hashim H., Matsuura T., Ismail AF, Rezaei–DashtArzhandi M., Wan Azelee I., Biogas as a renewable energy fuel – A review of biogas upgrading, utilization and storage, *Energy Conversion and Management*, Vol. 150, 2017, Pages 277–294, <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.08.035>.

47. Wu, B., Zhang, X., Shang, D., Bao, D., Zhang, S., Zheng, T., 2016. Energetic–environ–mental–economic assessment of the biogas system with three utilization pathways: combined heat and power, biomethane and fuel cell. *Bioresour. Technol.* 214, 722e728.

48. Ferdeş, M., Dincă, M. N., Moiceanu, G., Zăbavă, B. Ş., & Paraschiv, G. (2020). Microorganisms and Enzymes Used in the Biological Pretreatment of the Substrate to Enhance Biogas Production: A Review. *Sustainability*, 12 (17), 7205.

Подп. и дата	
Инв. № дубл.	
Взаим. инв.	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

ИЗ	Лист	№ докум.	Підп.	Дата

TC 17510017

Арк.

53

49. Valerio Paolini, Francesco Petracchini, Marco Segreto, Laura Tomassetti, Nour Naja & Angelo Cecinato (2018) Environmental impact of biogas: A short review of current knowledge, Journal of Environmental Science and Health, Part A, 53:10, 899– 906, DOI: 10.1080 / 10934529.2018.1459076.

50. Гелетуха Г.Г., Желєзна Т.А., Матвєєв Ю.Б., Кучерук П.П., Крамар В.Г. ДОРОЖНЯ КАРТА РОЗВИТКУ БІОЕНЕРГЕТИКИ УКРАЇНИ ДО 2050 РОКУ. Аналітична записка UABIO № 26, 2020. 54с URL: [http://www.grantloda.cc.ua/assets/files/PP-UABIO-26-UA\\_26-11-2020.pdf](http://www.grantloda.cc.ua/assets/files/PP-UABIO-26-UA_26-11-2020.pdf)

51. Грибан В. Г. Охорона праці: Навчальний посібник / В. Г. Грибан, О.В.Негодченко // К.: Центр учбової літератури. –2009.–280 с.

52. Семененко И. В. Проектирование биогазовых установок / И.Семененко // Сумы: ПФ «МакДен», ИПП «Мрия-1» ЛТД, 1996. –347с.

Инва.№подл.	Подп. и дата	Взаим.инв.	Инв.№дубл.	Подп. и дата

Изва	Лист	№ докум.	Підп.	Дата

ТС 17510017

Арк.

54