

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет Нафти, газу та екології

Кафедра екології, води та природоохоронних технологій.

Ступінь вищої освіти Магістр

Спеціальність 183 «Технології захисту навколишнього середовища»

Освітня програма Технології захисту навколишнього середовища



**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**  
**ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ**

на тему **Вдосконалення технології утилізації органічної складової побутових відходів**

Здобувач Алексєєва А.О.

2 курсу ТЗС-467 групи

Керівник доцент Шевченко Р.І.

**Кваліфікаційна робота допускається до захисту**

Рішення кафедри від \_\_\_\_\_ 2023 р., протокол № \_\_\_\_\_

Завідувач кафедри ЕВтаПТ \_\_\_\_\_ Олексій ГАРКОВИЧ

Одеса - 2023 рік

# ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет Нафти, газу та екології

Кафедра екології, води та природоохоронних технологій.

Ступінь вищої освіти Магістр

Спеціальність 183 «Технології захисту навколишнього середовища»

Освітня програма Технології захисту навколишнього середовища

**ЗАТВЕРДЖУЮ**  
**завідувач кафедри**  
к-т біол. наук, доц.

\_\_\_\_\_ **О.Л. Гаркович**

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2023 року

## **ЗАВДАННЯ**

### **НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА**

\_\_\_\_\_ Алексеевої Альони Олександрівни

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Вдосконалення технології утилізації органічної складової побутових відходів»

Затверджена наказом ОНТУ від “27” 01 2023 року, наказ № 21-03

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 01 грудня 2023

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Побутові відходи, сучасні технології утилізації побутових відходів

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) обґрунтування актуальності роботи та методів дослідження, обґрунтування технології утилізації органічної складової відходів, оптимізація технології утилізації органічної складової відходів

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) таблиці та схеми, інші ілюстрації, що відображають хід виконання кваліфікаційної роботи магістра, висновки та рекомендації роботи

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1 Аналітичний огляд літератури	Шевченко Р.І., к.т.н., доц.	17.09	24.09.
2 Об'єкт та методи дослідження	Шевченко Р.І., к.т.н., доц.	17.09	01.10.
3 Дослідження технології утилізації органічної складової побутових відходів	Шевченко Р.І., к.т.н., доц.	17.09	12.11
4 Охорона праці	Шевченко Р.І., к.т.н., доц.	17.09	29.11
5 Цивільний захист	Шевченко Р.І., к.т.н., доц.	17.09	01.12

7. Дата видачі завдання 17.09.2023 р.

Керівник..... Шевченко Р.І.

Завдання прийняв до виконання Алексєєва А.О.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів випускного проекту (роботи)	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Обґрунтування актуальності	21.09.23	
2	Аналітичний огляд літератури	24.09.23	
3	Обґрунтування об'єкту і методів дослідження	27.09.23	
4	Дослідження технології утилізації органічної складової побутових відходів	25.11.23	
5	Охорона праці, цивільний захист	29.11.23	
6	Висновки та рекомендації	01.11.23	
7	Оформлення результатів виконаної роботи	01.12.23	

Здобувач-дипломник Алексєєва А.О.

Керівник роботи Шевченко Р.І.

*Несу відповідальність за ідентичність електронного та друкованого варіантів кваліфікаційної роботи, даю згоду на обробку персональних даних та не заперечую проти розміщення кваліфікаційної роботи на офіційних web-ресурсах ОНТУ.*

*Підтверджую, що в кваліфікаційній роботі відсутні порушення норм академічної доброчесності.*

Здобувач-дипломник Алексєєва Альона Олександрівна

## АНОТАЦІЯ

Пояснювальна записка до випускної кваліфікаційної роботи: сторінок – 80, рис. – 16, табл. – 20, формули – 14, література – 22.

**Перелік ключових слів:** побутові відходи, біогаз, метанове бродіння.

**Тема:** Вдосконалення технології утилізації органічної складової побутових відходів.

**Об'єкт дослідження** - органічна складова твердих побутових відходів.

**Предмет дослідження** - еколого-технологічні аспекти утилізації органічної складової твердих побутових відходів.

**Мета кваліфікаційної роботи:** оцінка екологічності сучасних технологій утилізації ТПВ, обґрунтування вибору найкращої з точки зору екологічності технології та надання рекомендацій щодо її оптимізації.

*У першому розділі* розглянуто сучасні технології поводження з побутовими відходами, перш за все їх органічною складовою.

*В другому розділі* встановлено та охарактеризовано об'єкт та методи дослідження, розроблено програму та обрано методи дослідження.

*В третьому розділі* проведено дослідження впливу технологічних параметрів та складу субстрату на ефективність метаногенезу.

*В четвертому та п'ятому розділах* розглянуто окремі питання охорони праці та цивільного захисту.

## ЗМІСТ

	<b>стор.</b>
ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ I Аналітичний огляд літератури.....	7
1.1 Компостування.....	8
1.2 Анаеробний розклад побутових відходів.....	13
1.3 Теплова обробка побутових відходів.....	16
1.4 Особливості виробництва біогазу з побутових відходів .....	22
Висновки до розділу I.....	24
РОЗДІЛ II Об'єкти і методи дослідження .....	25
2.1 Об'єкт дослідження .....	25
2.2 Схема проведення досліджень.....	30
2.3 Методи дослідження .....	32
2.4 Апаратурне оформлення досліджень.....	32
Висновки до розділу II.....	35
РОЗДІЛ III Вдосконалення технології утилізації органічної складової побутових відходів.....	36
3.1 Обґрунтування оптимальних умов анаеробної утилізації.....	36
3.2 Експериментальне дослідження метанового бродіння.....	41
3.3 Обґрунтування складу субстрату 2-го етапу дослідження.....	50
3.4 Дослідження метанового бродіння (2 етап).....	52
Висновки до розділу III.....	56
РОЗДІЛ IV Охорона праці. Охорона праці при експлуатації біогазових установок.....	58
РОЗДІЛ V Цивільний захист. Захист працівників у надзвичайних ситуаціях	69
ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ.....	76
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ .....	78

## ВСТУП

Однією із складних екологічних проблем для більшості міст України є поводження з побутовими відходами, причому складність проблеми пропорційна чисельності населення та промислового потенціалу міста.

Спостерігаючи за щоденним накопиченням відходів, бачимо, що потужний потік матеріалів усіх видів рухається лише в одному напрямку - від місця видобування ресурсів на смітник. Так само, як природні екосистеми залежать від кругообігу речовин, так стійке існування технологічного суспільства, зрештою, залежатиме від людської здатності і вміння рециклізувати практично всі види матеріалів. У зв'язку з цим найдоцільніше застосовувати не один метод, а розробляти комплексну програму ліквідації відходів.

Метою даної роботи є дослідження утилізації органічної складової твердих побутових відходів.

**Актуальність теми.** Існуючий на сьогоднішній день метод утилізації твердих побутових відходів шляхом їх захоронення не є ефективними як з екологічної, так і з економічної точки зору. Пропонована технологія анаеробного зброджування дозволить ефективно утилізувати органічну складову твердих побутових відходів.

**Практичне значення теми:** обґрунтовано кращу з екологічної точки зору технологію утилізації органічної складової побутових відходів. Використання сформульованих в роботі рекомендацій дозволить не лише суттєво підвищити екологічність поводження з відходами, але й забезпечити суттєвий економічний ефект.

**Мета кваліфікаційної роботи:** оцінка екологічності сучасних технологій утилізації ТПВ, обґрунтування вибору найкращої з точки зору екологічності технології та надання рекомендацій щодо її оптимізації.

Для досягнення поставленої мети вирішувались наступні **завдання:**

- визначити об'єкт дослідження та охарактеризувати його з точки зору ефективної утилізації;
- охарактеризувати основні технології утилізації ТПВ;
- обґрунтувати вибір найбільш ефективної та екологічно безпечної технології. Оцінити вимоги щодо її оптимального функціонування та вимоги до субстрату;
- дослідити закономірності метанової ферментації органічної складової ТПВ;
- розробити рекомендації щодо інтенсифікації метанового зброджування органічної складової ТПВ.

## РОЗДІЛ І

### АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

Утилізація органічної складової побутових відходів є важливою частиною ефективного управління відходами та збереження навколишнього середовища [1-6]. Органічна складова побутових відходів, такі як продукти розпаду їжі, трав'яні відходи, інші рослинні залишки, можуть бути перероблені та використані для виробництва природних добрив або біогазу. Ось деякі способи утилізації органічних відходів [3, 11-15]:

**Компостування.** Органічна складова побутових відходів може бути використана для виробництва компосту, що є високоякісним органічним добривом. Реалізується у вигляді розкладання органічних речовин під дією мікроорганізмів у вологому та повітряному середовищі. У цьому процесі мікроорганізми розкладають матеріали, що призводить до утворення ґрунтоподібної речовини. Компост – багатий на поживні речовини органічний матеріал, який можна використовувати як добриво для рослин у сільському господарстві та садівництві.

**Анаеробний розклад для виробництва біогазу.** Органічна складова побутових відходів може бути піддана анаеробному розкладанню, при якому за допомогою мікроорганізмів органічні продукти розкладаються у відсутності кисню, утворюючи біогаз (зазвичай суміш метану та вуглекислого газу). Біогаз після додаткового очищення та зрідження може бути використаний для виробництва електроенергії та тепла. Як заміник природного газу біогаз використовується в автомобільній техніці. Використання біогазу є найбільш екологічним заміником традиційного пального

**Теплова обробка.** Термічна обробка відходів при високих температурах може бути використана для їхнього безпосереднього спалювання або розкладання (піроліз) та отримання корисних продуктів. Продукти теплової обробки можуть бути використані для виробництва енергії або інших матеріалів.

Загальний підхід до утилізації органічних відходів повинен враховувати ефективність, екологічність та економічність процесів для досягнення максимального позитивного впливу на навколишнє середовище.

Утилізація органічних відходів допомагає зменшити обсяг відходів на сміттєзвалищах, запобігти забрудненню ґрунту та води, а також виробляти корисні продукти для використання в сільському господарстві та садівництві. Важливо підтримувати та популяризувати такі практики серед населення для збереження навколишнього середовища та створення більш сталого суспільства.

Далі трохи детальніше по цих трьом напрямкам поводження з побутовими відходами.

### **1.1 Компостування**

**Компостування** - це процес природного розкладання органічних матеріалів під впливом мікроорганізмів, бактерій, грибів та інших мікроорганізмів в ґрунті. Основна мета компостування - перетворення органічних відходів у високоякісний компост, який можна використовувати як добриво для рослин. В процесі компостування відбувається окиснення органічних речовин з утворення води та вуглекислого газу

Основні кроки у процесі компостування:

**1. Сортування відходів.** Побутові відходи сортують, виділяючи органічні складові побутових відходів, такі як фруктові та овочеві обрізки, листя, газонна трава, кавова гуща, шматки паперу та картону та інше.

Найбільш ефективним є попереднє сортування, яке має здійснюватись мешканцями у місці утворення відходів. Сортують відходи, поділяючи їх на фракції, відповідно до прийнятої системи роздільного збирання. Це може бути як «суха» і «волога» фракції, так і роздільне збирання окремих фракцій.

Приклади контейнерів наведено на рис. 1.1 та 1.2. Ємності для органічних відходів, що в майбутньому можуть використовуватися як компост називають біобаками.



Рис. 1.1 – Контейнери для роздільного збору відходів



Рис. 1.2 – Контейнери з нижнім вивантаженням серії KTS/GFB/GFA для збору вторсировини та ТПВ, що завантажуються за допомогою крана маніпулятора [14].

Пластикові контейнери серії KTS використовуються як для збору вторсировини, так і для ТПВ. Перевагою є можливість переробки контейнера після закінчення терміну експлуатації. Об'єм від 1,5 м<sup>3</sup> до 3,0 м<sup>3</sup>.

Склопластикові контейнери серії GFB/GFA використовуються для збору вторсировини та ТПВ. Але на відміну KTS не перероблюються. Об'єм від 1,3 м<sup>3</sup> до 4,7 м<sup>3</sup> [14].

Несортовані відходи можуть сортуватись на спеціальних сортувальних лініях. Потужність та комплектування сортувальної лінії безпосередньо залежить від морфології та об'ємів сировини.

Виходячи з досвіду ПП "ОМВР" [14] на масу відходів більше 1000 т на місяць, на підприємстві працює 2 сортувальні лінії та будується третя (кожна з них потужністю близько 50 т на добу).

Також для автоматизації, пришвидшення сортування, збільшення об'єму вторинної сировини, відсортованої з ТПВ, можна додатково сортувальну станцію доукомплектувати обладнанням, що призначене для механічного сортування (грохоти, транспортери).

Часових обмежень по будівництву сортувальних станцій немає. При аналізі доцільності будівництва необхідно, в першу чергу, враховувати фінансові можливості, наявність спеціалістів та розташування бази сортування, об'єм, попереднє сортування в місцях утворення відходів.

Одним з основних завдань, яке стоїть перед підприємствами, що здійснюють діяльність з поводження з відходами, є збільшення кількості відсортованої сировини, що підлягає вторинній переробці, та зменшення маси та об'єму відходів, які підлягають розміщенню на полігоні. Отже, робота з населенням, забезпечення необхідним обладнанням для сортування в місцях утворення, пропаганда правильного сортування є важливою ланкою в ланцюзі поводження з відходами.

При правильній експлуатації та якісному, систематичному обслуговуванні сортувальної лінії обладнання може працювати 24/7, за винятком зупинок для заміни запчастин, проведення ППР, щозмінного прибирання.

На станції потужністю 50 т/добу може працювати одночасно до 10 сортувальників.

Обслуговує обладнання декілька годин на тиждень технічний персонал в кількості 2-3 чоловік.

**2. Транспортування.** Транспортування здійснюється, як правило, спеціальним транспортом, приклад якого наведено на Рис.1.3 та 1.4.



Рис. 1.3 – Перевезення несортованих відходів



Рис. 1.4 – вТранспортний засіб для перевезення роздільно зібраних відходів компанії Veolia із можливістю завантажувати контейнери із нижнім вивантаженням

3. Дроблення. Дроблення відходів сприяє швидшому розкладанню. Можна використовувати спеціальні дробарки.

4. Перемішування субстрату. Регулярне перемішування компостної купи сприяє рівномірному розподілу вологості та повітря, що активізує процес розкладання.

5. Вологість субстрату. Важливо, щоб компост був вологим, але не надто мокрим. Додавання води або сухих матеріалів допомагає регулювати вологість.

6. Тривалість процесу. Процес компостування може займати від кількох місяців до року. Залежно від температурних умов та інгредієнтного складу компостної кучі.

7. Готовий компост. Коли матеріали перетворюються на темний, запахучий ґрунт, компост готовий до використання.

Компост може бути використаний для покращення якості ґрунту, збільшення врожаю, підтримки екосистеми та зменшення кількості відходів, які потрапляють на сміттєзвалище. Крім того, компостування є екологічно чистим методом управління відходами.

Оцінюючи перспективи впровадження технологій компостування необхідно звертати увагу на вплив на навколишнє середовище та територіальні громади. Так, вплив на навколишнє середовище процесів компостування пов'язаний з утворення фільтрату, викидами в атмосферу (це може бути запах, пил, біоаерозолі – колоїдні частинки з прикріпленими бактеріями, грибками, актиноміцетами або вірусами), які можуть становити потенційну небезпеку для здоров'я людей [3].

Впровадження систем компостування призводить до змін соціо-економічних умов для територіальних громад. Як правило невеликі громади частіше обирають невеликі компостувальні майданчики, ніж централізовані великі об'єкти. Причиною є нижчі логістичні витрати, легший контроль та вирішення питання сусідства з приватною забудовою. Країни з високим доходом повністю автоматизували процес та встановили системи очищення від забруднення НС. У країнах, що розвиваються, переважають методи ручної праці [3].

## **1.2 Анаеробний розклад побутових відходів**

**Анаеробний розклад побутових відходів** відбувається без доступу до кисню і відзначається виробленням метану та інших газів. Основними стадіями анаеробного розкладу є гідроліз, ацетогенез, та метаногенез. Відходи, що піддаються анаеробному розкладу, зазвичай включають органічні матеріали, такі як залишки їжі та рослин, біологічні відходи тощо.

Основні етапи анаеробного розкладу:

1. Гідроліз: Під впливом бактерій органічні речовини розкладаються на прості речовини, такі як цукри та амінокислоти.

2. Ацетогенез: Прості речовини, отримані на етапі гідролізу, піддаються більш глибокому розкладу, утворюючи ацетат, водень та діоксид вуглецю.

3. Метаногенез: Метаногени використовують ацетат, водень і діоксид вуглецю для вироблення метану та вуглекислого газу.

Цей процес може відбуватися у природних умовах, таких як болота чи сміттєзвалища, або в спеціальних умовах у біогазових установках, де метан збирається і використовується як джерело енергії.

Важливо враховувати, що анаеробний розклад може мати як позитивні, так і негативні аспекти.

Виробництво біогазу, яке включає в себе процеси біологічного розкладання органічних матеріалів для виробництва метану, має декілька позитивних сторін. Ось деякі з них:

1. Відновлювана енергія: Біогаз вважається відновлюваною джерелом енергії, оскільки він виробляється з органічних матеріалів, таких як рослинні відходи, стічні води та інші біологічно розкладаються речовини.

2. Зменшення викидів парникових газів: Виробництво біогазу може сприяти зменшенню викидів парникових газів, так як в процесі його виробництва знижується кількість органічних матеріалів, які розкладаються на звичайних смітниках та утилізуються без виділення метану, який є потужним парниковим газом.

3. Утилізація відходів: Виробництво біогазу може використовувати органічні відходи, такі як сільськогосподарські залишки, продуктові відходи, та інші матеріали, що біологічно розкладаються, що сприяє їх утилізації та запобігає збільшенню площ звалищ побутових відходів.

4. Генерація електроенергії та тепла. Біогаз може бути використаний для виробництва електроенергії та тепла, що робить його корисним для виробничих, комерційних та житлових потреб.

5. Підтримка сільськогосподарських галузей. Виробництво біогазу може бути корисним для сільськогосподарських галузей, оскільки воно надає можливість використання сільськогосподарських відходів та добрив для виробництва енергії.

6. Стимулювання інновацій. Розвиток технологій виробництва біогазу сприяє інноваціям в галузі відновлюваної енергії та може стимулювати розвиток нових технологій та методів використання біологічних ресурсів.

Ці позитивні аспекти роблять виробництво біогазу привабливим напрямком для розвитку сталої та екологічної енергетики.

Джерела літератури вказують на певні негативні сторони виробництва біогазу, які важливо враховувати. Деякі з можливих аспектів включають:

1. Конфлікти з використанням землі: Вирощування біомаси для виробництва біогазу може викликати конфлікти з використанням землі для інших цілей, таких як вирощування їжі або збереження природного середовища. Це особливо актуально в умовах обмежених ресурсів.

2. Застосування пестицидів і добрив: Вирощування біомаси може вимагати застосування хімічних пестицидів і добрив, що може призвести до забруднення ґрунту та водойм.

3. Ефективність виробництва: Деякі технології виробництва біогазу можуть бути менш ефективними порівняно з іншими джерелами енергії. Наприклад, процеси ферментації можуть бути недостатньо ефективними, а ефективність перетворення біомаси в газ може бути низькою.

4. Використання води. Деякі технології виробництва біогазу можуть вимагати значної кількості води. У місцях, де вода є обмеженим ресурсом, це може викликати проблеми в забезпеченні водних ресурсів для інших потреб.

5. Викиди газів. Під час процесу виробництва біогазу може виникати викиди шкідливих газів, таких як метан, який є сильним парниковим газом. Хоча метан виробляється під час процесу, але його витікання може стати проблемою, яку слід враховувати.

6. Екологічні втрати. Зміни використання землі для вирощування біомаси можуть вплинути на природні екосистеми та біорізноманіття. Це може мати негативний вплив на екосистеми та місцеві види.

7. Економічні виклики. Виробництво біогазу може потребувати значних інвестицій та ресурсів, і в деяких випадках може бути менш економічно вигідним порівняно з іншими джерелами енергії.

Хоча виробництво біогазу може мати свої негативні аспекти, багато з цих проблем можуть бути вирішені за допомогою технологічних та наукових розв'язків, а також здійсненням ефективного регулювання та управління. Зокрема, використання в якості сировини для виробництва біогазу органічної складової побутових відходів дозволяє нівелювати більшість негативних сторін виробництва біогазу, залишаючи лише небезпеку витоків метану, яка, в разі оцінки проблеми утилізації відходів, буде навіть нижчою, ніж у випадку неконтрольованого поводження з відходами, коли є високі ризики анаеробного розкладання органіки відходів з потраплянням всього метану, що утворюється в атмосфері.

### **1.3 Теплова обробка побутових відходів**

**Теплова обробка побутових відходів** – це процес, під час якого відходи піддаються впливу тепла для зменшення їх обсягу та шкідливості. Цей метод обробки може мати декілька варіантів, включаючи спалювання, піроліз (термічний розклад при відсутності повітря), газифікацію тощо.

Основні переваги теплової обробки побутових відходів:

1. Зменшення обсягу відходів. Теплова обробка дозволяє зменшити обсяг відходів, оскільки термічні процеси призводять до випаровування води та виведення газів, що призводить до скорочення об'єму відходів.

2. Енергія. Процес теплової обробки може використовувати виниклу теплову енергію для виробництва електроенергії або тепла, що може бути використано для інших цілей.

3. Зменшення токсичності. Термічні процеси можуть допомагати розкласти шкідливі речовини або зменшувати їх концентрацію, що сприяє зменшенню токсичності відходів.

4. Мінералізація: Теплова обробка може сприяти мінералізації відходів, перетворюючи їх у тверді залишки, які можна використовувати для будівництва.

5. Контроль за побутовими відходами. Такий метод дозволяє краще контролювати обробку та утилізацію великої кількості побутових відходів.

Проте, існують і певні недоліки теплової обробки, такі як:

1. Викиди шкідливих речовин. Теплова обробка може призводити до викидів шкідливих речовин у атмосферу, таких як діоксини, фурани та інші токсичні сполуки. Ці речовини можуть мати негативний вплив на здоров'я людей та навколишнє середовище.

2. Енерговитрати. Процес теплової обробки вимагає значних енергетичних ресурсів, особливо високотемпературна піроліз чи газифікація. Це може вплинути на сталість цього методу у порівнянні з іншими способами обробки відходів.

3. Втрати ресурсів. Теплова обробка може призводити до втрат корисних матеріалів, таких як метали чи інші перероблювані ресурси, які можна було б використати повторно. В деяких випадках відходи можуть бути розкладені на прості компоненти, що робить їх переробку менш ефективною.

4. Високі витрати на будівництво та утримання об'єктів. Будівництво та утримання спеціалізованих об'єктів для теплової обробки відходів може вимагати значних витрат.

5. Можливість сприяння несталості системам управління відходами. Оскільки теплова обробка може бути дорогим методом, деякі урядові органи можуть віддалятися від розвитку сталіших систем управління відходами, таких як відновлення, переробка чи утилізація на місці.

Необхідно збалансувати переваги та недоліки теплової обробки та шукати комплексні та сталі рішення для управління побутовими відходами з урахуванням впливу на здоров'я людей і довкілля, а при впровадженні теплової обробки побутових відходів враховувати екологічні та економічні аспекти і розглядати теплову обробку як частину комплексної системи управління відходами.

Найбільш неоднозначним методом теплової обробки є спалювання. Розглянемо детальніше його переваги та недоліки.

*Переваги методу спалювання [12]:*

- 1) зменшення обсягу відходів приблизно в 10 разів;
- 2) стерилізація залишків дією високих температур;
- 3) зниження собівартості за рахунок процесу рекуперації утвореного тепла.

ТПВ транспортуються на сміттєспалювальний завод сміттєвозами і самоскидами. Відходи відвантажуються в бункер-накопичувач. Для запобігання розповсюдження неприємних запахів, з верхньої частини бункера вентиляторами відбирається повітря, яке після нагрівання до температури 160-170 °C направляється в топку для забезпечення горіння відходів.

При спалюванні відходів утворюються димові гази, зола, шлак і виробляється тепла енергія у вигляді пари. Димові гази після очистки в електрофільтрі викидаються через димову трубу.

Сміттєспалювання забезпечує мінімальний вміст у шлаку і золі речовин, що розкладаються, проте воно є джерелом викидів в атмосферу. Дослідження викидів, що надходять в атмосферу від сміттєспалювальних заводів та установок показали, що склад газової суміші становить серйозну загрозу для здоров'я населення та НС.

Таким чином, в процесі спалювання, особливо при поступовому нагріванні, сміттєспалювальні агрегати перетворюються на «генератори» стійких органічних забруднювальних речовин, зокрема діоксинів та СПАР – як у процесі згоряння, так і в процесі охолодження газів.

*Недоліки сміттєспалювання [12]:*

- 1) знищення цінних компонентів;
- 2) високий вихід золи і шлаків (близько 30% за масою);

3) високий ступінь вторинного забруднення НС – при спалюванні 1 т ТПВ утворюється в середньому 300 кг шлаку, 30 кг летючої золи і 6 тис. м<sup>3</sup> димових газів, що містять: хлористого водню – 780 мг/м<sup>3</sup>, фтористого водню – 8 мг/м<sup>3</sup>, діоксиду сірки – 660 мг/м<sup>3</sup>, оксидів азоту – 260 мг/м<sup>3</sup>, оксиду вуглецю – 400 мг/м<sup>3</sup>, вуглеводнів – 300 мг/м<sup>3</sup> (в т.ч. токсичних поліциклічних ароматичних вуглеводнів, діоксинів, дібензофуранів). Важкі метали осідають на частинках летючої золи. Утворений твердий залишок відрізняється за властивостями від шлаків ТЕС високим вмістом свинцю в рухливій формі.

#### **Особливості технології спалювання [14]**

Важливими характеристиками для спалювання є вміст вологи та твердого залишку у складі відходів. Від цього залежить чи потрібне додаткове паливо для процесу горіння. Мінімальна нижча теплотворна здатність, необхідна для контрольованого спалювання, залежить від конструкції печі. Низькосортне паливо вимагає конструкції печі, що мінімізує втрати тепла і дозволяє висушити відходи до займання, а повітря, необхідне для процесу горіння, слід попередньо нагріти. Коли теплотворна здатність висока, конструкція печі повинна передбачати відведення тепла від печі, наприклад шляхом інтеграції котла в піч. Отже, теплотворна здатність та конструкція печі є важливими параметрами для планування та проектування спалення відходів.

Види технологій спалювання: решітка (змішані відходи), спалювання у кип'ячому шарі (відходи потребують попереднього оброблення перед спалюванням), ротаційна піч (для небезпечних відходів). Установки для спалювання повинні відповідати вимогам, визначеним Директивою ЄС про промислове забруднення (IED), включаючи НДТ.

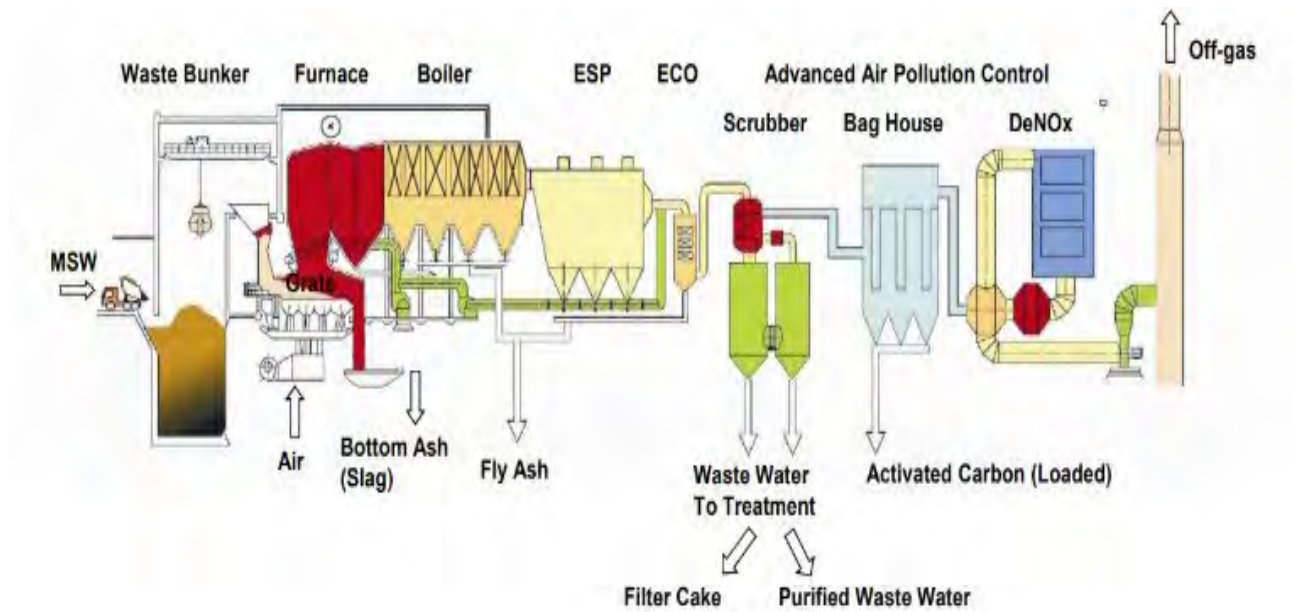


Рис. 1.5 – Схема сміттєспалювального заводу (технологія печі – решітка) [14]

З метою забезпечення повного згоряння законодавство зазвичай встановлює мінімальну температуру для газів, що згоряють, у камері допалювання (в межах ЄС це  $850^{\circ}\text{C}$  для побутових відходів та  $1100^{\circ}\text{C}$  для небезпечних відходів). Необхідно, щоб ця температура підтримувалася протягом певного часу (2 секунди в ЄС), виміряна від останнього вприскування повітря. Крім того, в ЄС є вимога, щоб нові відходи не завантажувались до досягнення необхідної температури. Питання спалювання відходів у Європейському Союзі регламентується Директивою про промислові викиди (Directive 2010/75/EU of the European Parliament and of the Council of 24 November 2010 on industrial emissions (integrated pollution prevention and control)).

### **Досвід реалізації технологій спалювання відходів в Україні.**

Станом на 2021 рік працює 1 сміттєспалювальний завод «Енергія» в м. Київ та 3 спалювальні установки. За 2020 рік було спалено 1,7 % ТПВ. Раніше було побудовано 5 сміттєспалювальних заводів, 4 закрились з різних причин – неправильна експлуатація, відсутність відходів, невідповідність стандартам по викидах.

Інші технології отримання енергії з відходів (Waste-to-Energy WtE) – піроліз та газифікація не використовуються у світі для оброблення твердих побутових відходів. Ці технології доцільно використовувати для небезпечних відходів.

Одним з ефективних рішень термічного оброблення відходів є їх спалення у котлах з метою отримання тепла або електроенергії.

Загалом, є два шляхи термічного оброблення відходів:

- спалювання несорттованих відходів (brown way – «коричневий (брудний)» шлях),
- спалювання RDF отриманого після сортування відходів (green way – «зелений» шлях).

Спалювання несорттованих відходів визнане в Європі неефективним, тому загальноєвропейською практикою є спалення RDF (RDF, Refuse Derived Fuel – паливо відновлене з відходів).

RDF -паливо може мати вигляд відсортованої і подрібненої паливної суміші та спресованих пелет чи брикетів.

Згідно орієнтовних розрахунків з несорттованих ТПВ можна отримати 35-50% RDF (в залежності від складу і морфології відходів в конкретному регіоні).

Схема спалювання виглядає наступним чином: паливо завантажується в приймальний бункер котла і подається на решітку. На решітці проходить процес спалювання, в якому утворюються гарячі димові газы, які перетворюють воду в котлі на пару (спалювання відбувається при температурі більше 900°C, температура пари при цьому сягає 500°C).

Частка палива, яка не згоріла, перетворюється на золу і шлак, які автоматично виводяться з котла та утилізуються (варіантом утилізації є використання в цементній індустрії).

Димові газы направляються на багатоступеневу систему газоочистки.

Отримана пара може йти на турбіну для отримання електроенергії або на теплообмінні апарати для отримання гарячої води на опалення.

Гарячу воду можна отримати також в процесі вироблення електроенергії на турбіні – шляхом відбору пари, яка йде на ті ж теплообмінники.

Найефективнішим рішенням для державних та комунальних підприємств є когенерація: одночасне вироблення електроенергії і гарячої води на опалення.

Можливою є генерація гарячої води в опалювальний сезон (електроенергія йде тоді за залишковим принципом) і генерація тільки електроенергії в літній сезон.

Варто зауважити, що викиди після подібної системи відповідають всім європейським нормам, тому в Європі такі ТЕЦ чи котельні можуть розміщуватись навіть в межах міст.

#### **1.4 Особливості виробництва біогазу з побутових відходів**

Найбільш перспективним засобом переробки органічної складової побутових відходів є виробництво з них біогазу.

Технічна реалізація виробництва біогазу включає в себе декілька ключових етапів та технологічних процесів. Нижче розглянемо загальні кроки та обладнання, яке зазвичай використовується в цьому процесі:

- Збір сировини та транспортування. Виробництво біогазу може використовувати різні види біомаси, такі як органічні відходи, рослинні залишки, гноївка тощо. Для покращення процесу розкладання рекомендується контролювати співвідношення азотистих речовин до вуглецю, досягаючи оптимального їх співвідношення. Для того, щоб з побутових відходів можна було виробляти біогаз необхідно їх сортувати. Сортування здійснюється як споживачами самостійно, так і може бути реалізовано на пунктах збору комунальних відходів (полігонах твердих побутових відходів, спеціальних переробних заводах та інше). Для збору і транспортування використовуються, як правило, спеціальні контейнери та вантажна техніка, що може завантажувати та розвантажувати відходи.
- Підготовка сировини до переробки. Цей етап включає в себе контроль складу майбутнього субстрату, змішування в певних пропорціях як органічної складової побутових відходів, так і добавок: відходів іншого походження

(сільськогосподарські, тваринницькі, харчової промисловості та інші) та спеціальних добавок, що оптимізують склад субстрату та його технологічні характеристики.

2. Ферментація. Включає в себе кілька ключових аспектів:

- Біологічний розклад. Сировина розкладається бактеріями в анаеробних умовах. Відсутність кисню є ключовою умовою життєдіяльності анаеробних бактерів – продуцентів метану.

- Термофільна чи мезофільна ферментація. В залежності від умов, в яких проходить процес, може бути використана термофільна (при високих температурах) або мезофільна (при помірних температурах) ферментація. Як правило мезофільна ферментація більш тривала, але дає можливість досягти більш повного розкладання органічної складової субстрату. При цьому мезофільна ферментації за рахунок значної тривалості вимагає більших об'ємів бродильних ємностей, що значно здорожчує процес виробництва біогазу. Термофільна є більш швидкісною, але не відрізняється повнотою зброджування. До переваг термофільного зброджування можна віднести менші капітальні витрати на будівництво біогазової установки.

- Виробництво біогазу. Виробництво газу відбувається у спеціальних реакторах, які забезпечують анаеробні умови та оптимальні температури для бактерій.

- Збір газу: Утворений біогаз (головним чином, метан) збирається та зберігається.

- Очищення та збагачення. Біогаз очищається від забруднень, таких як волога, сірка, аміак, щоб запобігти корозії та іншим проблемам. В деяких випадках, біогаз може бути збагачений метаном для підвищення його якості. Іншим шляхом підвищення концентрації метану в біогазі є видалення з нього вуглекислого газу. Після очищення від шкідливих домішок та видалення вуглекислого газу біогаз по своїм показникам наближається до природного газу.

- Використання біогазу. Очищений біогаз використовується для генерації електроенергії або тепла. Також він використовується в транспорті як паливо.

- Використання залишків. Залишки від ферментації можуть бути використані як високоякісне добриво, яке отримало назву «біодобриво». Біодобриво у вигляді культуральної рідини та осаду може бути використане без додаткової обробки: рідина розпилена, а осад розлитий для удобрення сільськогосподарських угідь, садів, виноградників та інше. Іншим, більш прогресивним варіантом є зневоднення залишків з отриманням сипкого добрива, яке відрізняється добрими технологічними властивостями: займає мало місця, може тривалий час зберігатись, для подальшого використання добре поєднується з іншими добавками чи наповнювачами.

Це загальний огляд технічного процесу виробництва біогазу. Важливо враховувати, що реалізація може відрізнитися в залежності від різних технологій, типів біомаси та вимог конкретного проекту.

## **Висновки до розділу I**

1. Встановлено, що тверді побутові відходи при нормі утворення понад 350 кг на одного жителя та тенденції до зростання створюють суттєві загрози навколишньому середовищу та здоров'ю людей.

2. Основною проблемою України у сфері поводження з відходами є сучасний метод їх утилізації – поховання на полігонах та організованих і стихійних звалищах. Таким чином в Україні утилізується близько 97 % відходів.

3. Аналіз існуючих методів поводження з відходами дозволяє стверджувати, що тверді побутові відходи необхідно збирати роздільно або сортувати з виділенням відходів для подальшої переробки.

4. Органічну складову твердих побутових відходів доцільно утилізувати біологічними методами з отриманням біогазу та добрив.

## РОЗДІЛ II

### ОБ'ЄКТИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

#### 2.1 Об'єкт дослідження

**Об'єктом дослідження** в роботі була органічна складова твердих побутових відходів.

**Предметом дослідження** були еколого-технологічні аспекти утилізації органічної складової твердих побутових відходів.

Для вивчення можливості утилізації органічної складової муніципальних відходів потрібно мати уявлення про основні показники цих відходів, які обумовлюють особливості їх утилізації.

Побутові відходи складаються з паперу, пластмаси, меблів, скла, одягу й речей, що відпрацювали свій строк, харчових відходів. Клас небезпеки 4-5.

До якісних характеристик побутових відходів відносяться:

- морфологічний і фракційний склад;
- щільність і вологість;
- теплотехнічні характеристики;
- особливі властивості.

Усі ці характеристики необхідні для вибору методу знешкодження й оцінки ТПВ в якості вторинної сировини, а також для вибору устаткування, призначеного для знешкодження й переробки відходів.

#### **Морфологічний склад побутових відходів**

Морфологічний склад побутових відходів - це вміст їх складових частин, виражене у відсотках до загальної маси.

Середні значення морфологічного складу побутових відходів представлені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Морфологічний склад КПВ, % по масі

Компонент	Значення
Папір, картон	20-28
Харчові відходи	35-45
Дерево	1-2
Чорний металобрухт	1,5-2
Кольоровий металобрухт	0,2-0,3
Текстиль	4-7
Пластмаса	1,5-2,5
Кістки	1-2
Шкіра, гума	1-3
Камені, штукатурка	1-2
Інше (зміт з території загального користування й відходи від свійських тварина)	1-2
Відсів (менше 15 мм)	10-18

У відповідності з таблицею основними складовими побутових відходів є папір, харчові відходи, полімерні матеріали, скло, відсівання. Слід зазначити, що в таблиці представлені усереднені дані в цілому за рік.

Багаторічними спостереженнями встановлене, що із часом склад КПВ трохи міняється. Збільшується вміст паперу, полімерних матеріалів. Різко зріс вміст пластмасових пакувальних матеріалів, у тому числі 0,5 – 2-х літрових ПЕТФ-пляшок. Значно виріс вміст у побутових відходах кольорових металів за рахунок появи алюмінієвих банок.

Фракційний склад побутових відходів - це процентний вміст маси компонентів різного розміру.

У таблиці 2.2 наведений фракційний склад побутових відходів, що дає більш повну інформацію про властивості матеріалу.

Таблиця 2.2 - Середній морфологічний і фракційний склад побутових відходів, % по масі

Компонент	Розмір фракцій, мм				
	більш 250	250-150	150-100	100-50	менш 50
Папір, картон	3-8	9-11	9-11	7-9	2-5
Харчові відходи	-	0-1	2-10	7-13	17-22
Дерево	0,5-1	0-0,5	0-0,5	0,5-1	0-0,5
Чорний металобрухт	-	0-1	0,5-1	0,8-1,6	0,3-0,5
Кольоровий металобрухт	0,2-1,3	1-1,5	0,5-1	0,3-1,8	0-0,6
Текстиль	-	-	-	0,3-0,5	0,5-0,9
Пластмаса	-	0-0,3	0,3-1	1-2	1,5-3
Кістки	-	0-1	0,5-2	0,5-1,5	0-0,3
Шкіра, гума	-	-	0,2-1	0,5-1,5	0,5-2
Камені, штукатурка	0-0,2	0,3-0,8	0,2-0,5	0,2-0,5	0,2-0,5
Інше (зміт з території загального користування й відходи від домашніх тварин)	-	0-0,5	0-0,3	0-0,4	0-1
Відсів (менш 15 мм)	-	-	-	-	7-10
Усього	4-10	11-15	18-22	20-30	30-40

Фракційний склад побутових відходів, як і морфологічний, трохи змінюється по сезонах року й відрізняється для різних населених пунктів.

#### **Фізичні властивості відходів**

Важливим показником властивостей побутових відходів є щільність. Щільність відходів упорядженого житлового фонду у весняно-літній сезон (у контейнерах) становить 0,18-0,22 г/м<sup>3</sup>; осінньо-зимовий - 0,2-0,25г/м<sup>3</sup>; для різних міст середньорічне значення 0,19-0,23 г/м<sup>3</sup>.

Окремі компоненти відходів мають різну щільність, і зміна їх змісту сильно впливають на середню щільність відходів, у цілому середня щільність компонентів ТПВ представлена в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Середня щільність компонентів відходів

Номер	Компонент	Середня розрахункова щільність, т/м <sup>3</sup>
1	Папір, картон	0,06 - 0,09
2	Харчові відходи	0,3 - 0,5
3	Дерево	0,17 - 0,19
4	Метал	0,18 - 0,38
5	Кістки	0,44 - 0,49
6	Шкіра, гума	0,25 - 0,5
7	Текстиль	0,18 - 0,25
8	Скло	0,4 - 0,5
9	Зола, шлаки	0,9 - 0,13
10	Камені	1,1 - 1,4
11	Пластмаса	0,12 - 0,18
12	Відсів (менш 15 мм)	0,3 - 0,6

Вологість ТПВ коливається в широких межах (% від загальної маси) і змінюється по сезонах року. Вологість компонентів відходів по сезонах року наведена в таблиці 2.4.

Вологість побутових відходів залежить від співвідношення основних компонентів, що втримуються в них, – паперу й харчових відходів – і їх вологості, а також від умов короткочасного зберігання на місцях збору (у контейнерах на майданчику або в закритих контейнерах і приміщеннях, захищених від атмосферних впливів).

Таблиця 2.4 – Вологість компонентів відходів по сезонах року

Складові частини	Вологість, % від загальної маси				
	Весна	Літо	Осінь	Зима	Середнє
Папір	25	21	25	32	26
Харчові відходи	70	56	70	80	69
Дерево	25	10	25	30	22,5
Метал	0,8	0,6	0,8	1,2	0,9
Стекло	0,8	0,6	0,8	1,2	0,9
Кістки	25	18,6	25	27	23,9
Шкіра, гума	3	0,3	3	11	4,3
Текстиль	25	13	25	35	25
Камені	3	1	3	5	3
Інші	5	1	5	10	5,3
Відсів менш 15 мм	27,7	17,3	27,7	43,2	29

При переробці ТПВ важливо знати хімічний склад побутових відходів:

- органічна речовина (50–70 %);
- зольність (30–45 %);
- вуглець (30–35 %);
- азот (1–2 %);
- фосфор (0,5–1 %);
- калій (0,5–1 %);
- сірка (0,2–0,3 %).

Оснoву органічної речовини КПВ становлять харчові відходи. Вміст харчових відходів у відходах змінюється в залежності від пори року, наприклад, восени різко збільшується. Це пов'язане з більшим вживанням фруктів і овочів. І якщо навесні частка харчових відходів становить близько 25 % від усіх побутових відходів, те восени вона може зрости до 55 %.

Проблема утилізації харчових КПВ має ряд аспектів. По-перше, складність полягає в тому, що вони є швидкопсувними, і при температурі 15-30°C закисають

і стають зараженими мікрофлорою в плинні декількох годин. А по-друге, завдання ускладнюється складним морфологічним складом і його мінливістю. Морфологічний і хімічний склад харчових КПВ представлений у таблицях 2.5 та 2.6.

Таблиця 2.5 – Орієнтовний склад харчових відходів, %

Склад	Сезон року	
	Літо-Осінь	Зима-Весна
Картопля і її очистки	25-38	38-50
Інші городин	25-38	9-15
Фрукти	20-25	18-24
М'ясо, ковбаси	3-5	3-5
М'ясні кістки	3-4	3-4
Риба, рибні кістки	2-3	2-3
Хліб і хлібопродукти	2	2
Молочні продукти	0,5	0,5
Яєчна шкарлупа	0,5	0,5

Таблиця 2.6 – Хімічний склад харчових відходів (% загальної маси)

Волога загальна	72-85
Суша речовина, у т.ч.:	15-28
Протеїн	1,7-4,4
Жир	0,4-1,6
Безазотисті екстрактивні речовини	11,4-15,5
Клітковина	1-3
Зола	1,8-2,4

## 2.2 Схема проведення досліджень

За результатами аналізу літературних джерел та виходячи з особливостей обраного для дослідження об'єкту пропонується наступна схема проведення дослідження (рис. 2.1).



Рис. 2.1 – Схема досліджень

Відповідно до представленої схеми на першому етапі досліджень було охарактеризовано сучасну ситуацію в сфері поводження з відходами, ключаючи характеристику самих відходів. Також були проаналізовані сучасні та перспективні технології утилізації відходів.

Другим етапом були постановка мети і завдань досліджень та уточнення

теми кваліфікаційної роботи, також наведено ґрунтовний опис об'єкту дослідження.

Наступним етапом було обґрунтування технології утилізації органічної складової муніципальних відходів та проведено експериментальне дослідження метанового бродіння органічної складової КПВ.

### 2.3 Методи дослідження

В роботі використовувались загальнонаукові (аналіз та синтез) та спеціальні методи досліджень.

З метою оцінки кореляційних залежностей використовується коефіцієнт кореляції  $r$ , який визначається як:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \sum_{j=1}^n (Y_j - \bar{Y})^2}}, \quad (2.1)$$

де  $\bar{x}$ ,  $\bar{y}$  - виборочные средние, определяющиеся следующим образом:

$$\begin{aligned} \bar{x} &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \\ \bar{y} &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \end{aligned} \quad (2.2)$$

Коефіцієнт кореляції  $r$  змінюється в інтервалі від -1 до +1. Знак  $r$  означає, збільшується чи одна змінна в міру того, як збільшується інша (позитивний  $r$ ), або зменшується чи одна змінна в міру того, як збільшується інша (негативний  $r$ ).

Величина  $r$  вказує, як близько розташовані точки до прямої лінії. Зокрема, якщо  $r = +1$  или  $r = -1$ , то є абсолютна (функціональна) кореляція по всіх точках,

які лежать на лінії (практично це малоімовірно); якщо  $r \cong 0$ , то лінійної кореляції немає (хоча може бути нелінійне співвідношення). Чим ближче  $r$  до крайніх точок ( $\pm 1$ ), тим більше ступінь лінійного зв'язку.

Коефіцієнт кореляції  $r$  безрозмірний, т. Е. Не має одиниць вимірювання.

Дослідження технологій очищення методом анаеробного збродження передбачають аналізи основних показників забруднення – органолептичні показники, температура, рН, зважені речовини, концентрація загального азоту, фосфору, жирів, ХСК, БСК, газоподібних продуктів у вигляді біогазу.

## 2.4 Апаратурне оформлення досліджень

В дослідженнях використовуються лабораторна установка для метанового бродиння (рис. 2.2), пристрій для аналізу газів (рис. 2.3).

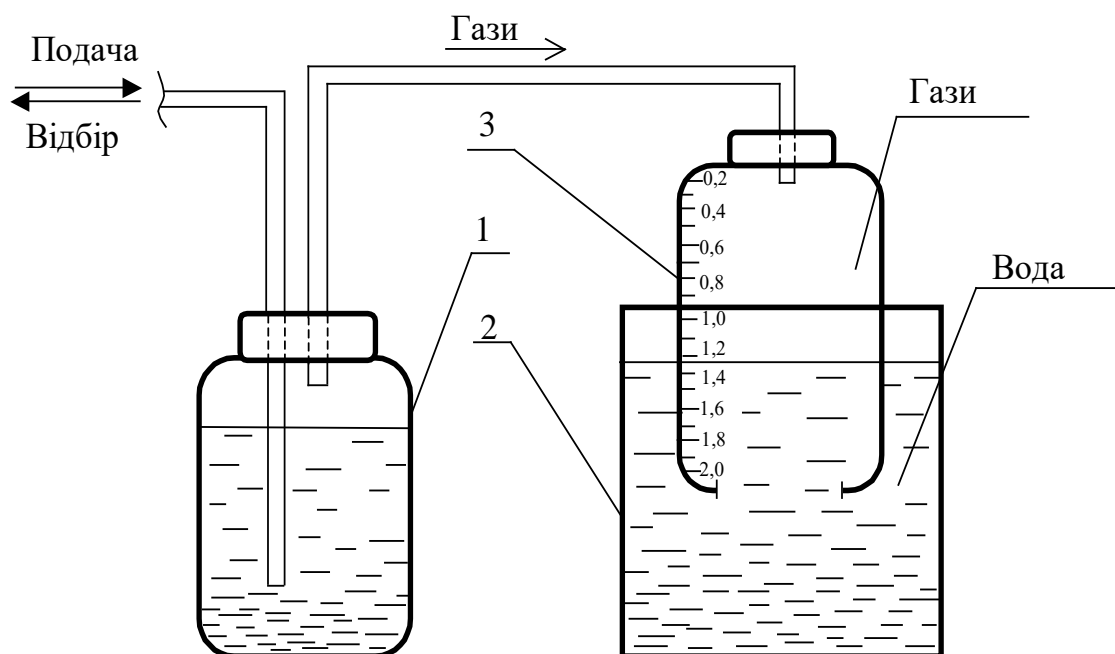


Рис. 2.2 – Установка для дослідів по метановому бродинню

Установка для дослідів по метановому бродинню (рис. 2.2) складається з посудини 1, яка виконує роль метантенка і газгольдера, що представляє собою посудину (склянка газгольдера) 2, заповнену водою, і ковпака 3, у який надходять газоподібні продукти. В міру надходження газів ковпак піднімається і по

відмітинам на стінках можна судити про кількість газу.

Лабораторний метантенк має невелику ємкість – 2 літри, тому для імітації безперервного способу бродіння використовується від'ємно-доливний, тобто шляхом заміни збродженої культуральної рідини свіжим середовищем. Зі збільшенням числа заміни протягом доби процес бродіння наближається до безперервного.

Газгольдер являє собою аналогію будь-якого типу газгольдерів, головну роль у якому грає ковпак, де збираються гази і є можливість проведення їх кількісного обліку.

*Пристрій для аналізу газів* – визначає співвідношення метану і вуглекислого газу і складається з 2-х частин (рис. 2.3).

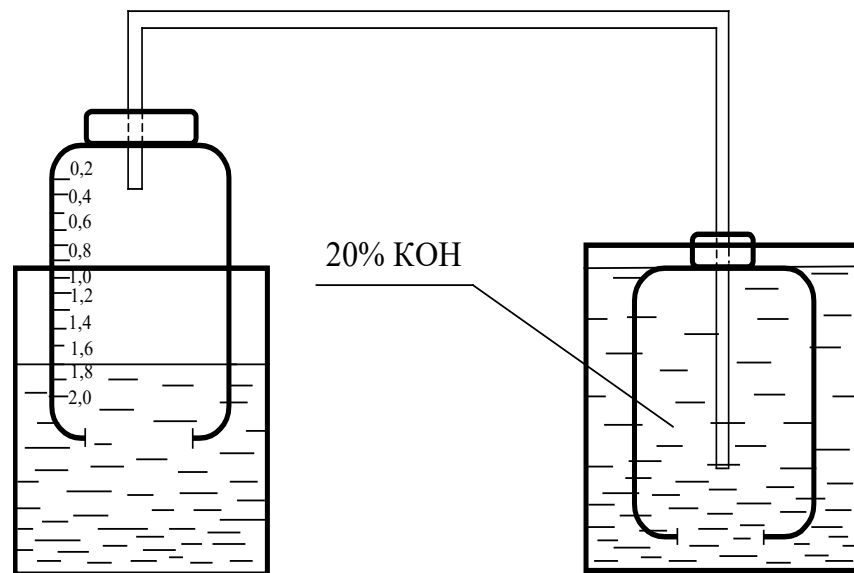


Рис. 2.3 – Пристрій для аналізу газу

Перша частина – це газгольдер установки для метанового бродіння, друга частина – той же газгольдер, тільки замість води він заповнений розчином лугу для поглинання  $\text{CO}_2$ . Відмінність його від газгольдера полягає в тому, що трубка для введення газів опущена в розчин лугу на максимальну глибину для того, щоб гази, які надходять, проходили через шар розчину лугу для поглинання  $\text{CO}_2$ . Вільний метан проходить через луг, піднімає ковпак, який показує об'єм метану, що залишився після поглинання  $\text{CO}_2$ . Потім легко розраховується співвідно-

шення  $\text{CH}_4:\text{CO}_2$  у газах, що утворюються при метановому бродінні. Для виконання аналізу досить до цієї посудини приєднати газгольдер, у якому зібрані гази, що утворюються (як зазначено на рис. 2.3).

Найбільш простим способом попереднього дослідження метанового бродіння є наступний. Окремі досліди, різні за показниками, що досліджуються, поділяють на порції відповідно до кількості проб, що планується дослідити, та розміщують у герметичні ємності невеликого об'єму, заповнюючи їх таким чином, щоб створити безкисневі умови. Дані ємності розміщують у термостаті, забезпечуючи задану температуру та відсутність сонячного світла. Процес бродіння та його інтенсивність пропонується контролювати за зміною ХСК, що дозволяє робити висновки про протікання метаногенезу.

Для автоматизації розрахунків та побудови графіків використовували Microsoft Excel.

## **Висновок до розділу 2**

В даному розділі було обґрунтовано вибір об'єкту та предмету дослідження, складена поетапна програма досліджень, визначені методи, що дозволять провести необхідні експериментальні визначення та описано основне апаратурне оформлення досліджень.

## РОЗДІЛ III

# ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ УТИЛІЗАЦІЇ ОРГАНІЧНОЇ СКЛАДОВОЇ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ

### 3.1 Обґрунтування оптимальних умов анаеробної утилізації

Сучасні технології дозволяють утилізувати анаеробним зброджуванням (з одержанням біогазу та добрив) будь-які види органічної сировини. Метаногенез є складним процесом, який визначається конструкцією біогазової установки, методом підготовки субстрату, сукупністю метаногенних мікроорганізмів, властивостями сировини. Для росту й життєдіяльності консорціуму мікроорганізмів необхідна наявність у сировину органічних і мінеральних поживних речовин. Оптимальне значення рН від 6,5 до 8.

Для здійснення анаеробного зброджування харчових відходів необхідно забезпечити наступні умови:

- підтримка анаеробних умов у реакторі;
- дотримання температурного режиму;
- доступність живильних речовин для мікроорганізмів;
- дотримання кислотно-лужного балансу;
- дотримання співвідношення вуглецю й азоту;
- вибір правильної вологості;
- регулярне перемішування;
- відсутність інгібіторів процесу.

Життєдіяльність метаноутворюючих бактерій можлива тільки при відсутності кисню в реакторі біогазової установки, тому потрібно стежити за герметичністю реактора й відсутністю доступу в реактор кисню.

Щонайкраще зброджування відбувається при температурі 30-40 °С. Процес біометанації дуже чутливий до змін температури. Ступінь чутливості визначається рамками, у яких відбувається переробка відходів. У процесі ферментації зміни температур допускається:

- мезофільні мікроорганізми:  $\pm 2$  °С у годину;
- термофільні мікроорганізми:  $\pm 1$  °С у годину.

Кислотоутворюючі й метаноутворюючі бактерії зустрічаються в природі повсюдно, зокрема в екскрементах тварин. У травній системі великої рогатої худоби міститься повний набір мікроорганізмів, необхідних для зброджування гною. Тому гній КРС часто застосовують у якості сировини, що завантажується в новий реактор.

Метаноутворюючі бактерії найкраще пристосовані для існування в нейтральних або слабколужних умовах ( $\text{pH}=6,5-8$ ). Іноді кислотоутворюючі бактерії починають розмножуватися швидше, чим метанові, через концентрацію вільних жирних кислот у бродильній камері зростає й відбувається «закислення». У цьому випадку в реактор слід додати гарячу воду, вапняне молоко або соду.

Для початку процесу зброджування досить забезпечити наступні умови:

- підтримка анаеробних умов у реакторі – життєдіяльність метаноутворюючих бактерій можлива тільки при відсутності кисню в реакторі біогазової установки, тому потрібно стежити за герметичністю реактора й відсутністю доступу в реактор кисню;

- дотримання температурного режиму – підтримка оптимальної температури є одним з найважливіших факторів процесу зброджування. Ступінь бактеріологічного виробництва метану збільшується зі збільшенням температури. Але, оскільки кількість вільного аміаку теж збільшується з ростом температури, процес зброджування може сповільнитися. Біогазові установки без підігріву реактора демонструють задовільну продуктивність тільки при середньорічній температурі близько 20°C або вище або коли середня денна температура досягає щонайменше 18°C. При середніх температурах в 20-28°C виробництво газу непропорційно збільшується. Якщо ж температура біомаси

менш 15°C, вихід газу буде таким низьким, що біогазова установка без теплоізоляції й підігріву перестане бути економічно вигідною.

*Відомості щодо оптимального температурного режиму різні для різних видів сировини.* Для біогазових установок працюючих на змішаному гної КРС, свиней і птахів, оптимальною температурою для мезофільного температурного режиму є 34 - 37°C, а для термофільного 52 - 54°C. Психрофільний температурний режим дотримується в установках без підігріву, у яких відсутній контроль за температурою. Найбільш інтенсивне виділення біогазу в психрофільному режимі відбувається при 23°C.

На практиці більш поширено два температурні режими, це термофільний і мезофільний. У кожного з них є свої переваги і недоліки. Переваги термофільного процесу зброджування - це підвищена швидкість розкладання сировини, і отже більш високий вихід біогазу, а також практично повне знищення хвороботворних бактерій, що утримуються в сировині. До недоліків термофільного розкладання можна віднести: велику кількість енергії, необхідної на підігрів сировини в реакторі, чутливість процесу зброджування до мінімальних змін температури й більш низька якість одержуваних біодобрих.

При мезофільному режимі зброджування зберігається високий амінокислотний склад біодобрих, але знезаражування сировини не таке повне, як при термофільному режимі.

На додаток до вуглецю й водню створення біодобрих вимагає достатнього кількості азоту, сірки, фосфору, калію, кальцію й магнію, і деякої кількості мікроелементів - заліза, марганцю, молібдену, цинку, кобальту, селен, вольфраму, нікелю й інших.

Важливими є також наступні параметри метаногенезу:

- час зброджування – оптимальний час зброджування залежить від дози завантаження реактора й температури процесу зброджування. Якщо час зброджування обране занадто коротким, то при вивантаженні зброженої біомаси бактерії з реактора вимиваються швидше, чим можуть розмножуватися, і процес ферментації практично зупиняється. Занадто тривале витримання

сировини в реакторі не відповідає завданням одержання найбільшої кількості біогазу й біодобив за певний проміжок часу;

- кислотно-лужний баланс – метанопродукуючі бактерії найкраще пристосовані для існування в нейтральних або злегка лужних умовах. У процесі метанового бродіння другий етап виробництва біогазу є фазою активної дії кислотних бактерій. У цей час рівень рН знижується, тобто середовище стає більш кислим. Однак при нормальному ході процесу життєдіяльність різних груп бактерій у реакторі проходить однаково ефективно й кислоти переробляються метановими бактеріями. Оптимальне значення рН коливається залежно від сировини від 6,5 до 8,5. Виміряти рівень кислотно-лужного балансу можна за допомогою лакмусового паперу. Значення кислотно-лужного балансу будуть відповідати кольору, що приймає папір при його зануренні в субстрат;

- вміст вуглецю й азоту – одним з найбільш важливих факторів, що впливають на метанове бродіння (виділення біогазу), є співвідношення вуглецю й азоту в сировині, що переробляється. Якщо співвідношення C/N надмірно велике, то недолік азоту буде служити фактором, що обмежують процес метанового бродіння. Якщо ж це співвідношення занадто мале, то утворюється така велика кількість аміаку, що він стає токсичним для бактерій. Мікроорганізми мають потребу як в азоті, так і у вуглеці для асиміляції в їхню клітинну структуру. Різні експерименти показали: вихід біогазу найбільший при рівні співвідношення вуглецю й азоту від 10 до 30, де оптимум коливається залежно від типу сировини та технології зброджування. Для досягнення високої продукції біогазу практикується змішування сировини для досягнення оптимального співвідношення C/N. Додатки, що найбільш часто використовуються (в тому числі і самостійно), наведені в таблиці. 3.1.

Таблиця 3.1 – Додатки, що використовують для корекції відношення C/N

Матеріал	Азот N(%)	Співвідношення вуглецю й азоту C/N
А. Гній тварин		
ВРХ	1,7 - 1,8	16,6 - 25
Курячий	3,7 - 6,3	7,3 - 9,65
Кінський	2,3	25
Свинячий	3,8	6,2 - 12,5
Овечий	3,8	33
В. Рослинні сухі відходи		
Кукурудзяні качани	1,2	56,6
Солома зернових	1	49,9
Пшенична солома	0,5	100 - 150
Кукурудзяна солома	0,8	50
Вівсяна солома	1,1	50
Соя	1,3	33
Люцерна	2,8	16,6 - 17
Бурякові вичавки	0,3 - 0,4	140 - 150
С. Інше		
Трава	4	12
Опале листя	0,4	60
Тирса	0,1	200 - 500

- вибір вологості сировини – безперешкодний обмін речовин у сировині є передумовою для високої активності бактерій;

- регулярне перемішування – для ефективної роботи біогазової установки й підтримування стабільності процесу зброджування сировини усередині реактора необхідно періодичне перемішування.

Головними цілями перемішування є:

- 1) вивільнення біогазу;

- 2) перемішування свіжого субстрату й популяції бактерій (щеплення);
- 3) запобігання формування кірки й осаду;
- 4) запобігання утворення ділянок різної температури усередині реактора;
- 5) забезпечення рівномірного розподілу популяції бактерій;
- 6) запобігання формування порожнеч і скупчень, що зменшують ефективну площу реактора.

- інгібітори процесу – органічна маса, що зброджується не повинна містити речовин (антибіотики, розчинники й т.п.) мікроорганізмів, що негативно впливають на життєдіяльність, вони сповільнюють, а іноді й припиняють процес виділення біогазу. Не сприяють "роботі" мікроорганізмів і деякі неорганічні речовини.

### **3.2 Експериментальне дослідження метанового бродіння**

Дослідження проводили для сировини з масовою часткою вологи 60-80 % фракційний склад, якого наведений у табл. 2.5. Усереднені дані по хімічному складу субстрату наведені в табл. 2.6.

З метою одержання лабораторних зразків багатокomпонентної суміші органічної складової КПВ, що підлягають утилізації методом анаеробного зброджування, були проаналізовані наступні зразки харчових відходів:

1. Залишки жирів;
2. Олії рослинні відпрацьовані;
3. Висівки пшеничні й житні;
4. Вичавки овочеві, фруктові і ягідні, томатні шкурки й насіння;
5. Залишки тіста;
6. Кістки, шкарлупа яєчна;
7. Картопляна м'язга;
8. Хлібна крихта;

9. Залишки м'яса, шкіри, ін.;
10. Молочні відходи;
11. Харчові консерви;
12. Відходи оброблення риби, крабів і інших морепродуктів.
13. Свіжа вода;

Результати дослідження харчових КПВ наведено в таблиці 3.2.

На підставі наведених в табл. 3.2 даних було складено кілька сумішей харчових КПВ, що підлягають утилізації методом анаеробного зброджування (табл. 3.3).

Таблиця 3.2 – Результати дослідження харчових КПВ

№ п/п	Найменування відходів	Сухий залишок, %	Вологість, %	Зольність, %	Вміст жиру, %	Вміст білків, %	Вміст вуглеводів, %
1	Залишки жирів	90,0	10,0	0,0	90,0	0,0	0,0
2	Олії рослинні відпрацьовані	25,0	75,0	0,0	48,0	0,0	0,0
3	Висівки пшеничні й житні	86,5	13,5	2,9	2,9	11,0	63,6
4	Вичавки овочеві, фруктові і ягідні, томатні шкурки й насіння	87,0	13,0	0,0	4,8	10,0	70,0
5	Залишки тіста	95,0	5,0	0,0	0,0	76,0	6,7
6	Кістки, шкарлупа яєчна	51,0	49,0	1,0	5,0	15,0	0,0
7	Картопляні очистки	15,5	84,5	0,5	0,0	0,0	2,5
8	Хлібна крихта	83,5	6,5	2,9	5,3	13,4	72,0
9	Залишки м'яса, шкіри, ін.	27,0	73,0	0,0	33,6	21,0	0,0
10	Молочні відходи	0,8	91,2	0,0	0,4	3,2	4,7
11	Харчові консерви	65,0	35,0	2,3	65,1	4,2	1,2
12	Відходи оброблення риби, крабів і інших морепродуктів	58,0	42,0	0,6	2,0	17,5	0,0

Таблиця 3.3 – Суміші харчових КПВ, що підлягають утилізації методом анаеробного зброджування

№ п/п	Найменування відходів	Вміст компонентів суміші, г		
		Суміш №1	Суміш №2	Суміш №3
1	2	3	4	5
1	Залишки жирів	1750	504	304
2	Олії рослинні відпрацьовані	160	452	549
3	Висівки пшеничні й житні	270	206	88
4	Вичавки овочеві, фруктові і ягідні, томатні шкурки й насіння	530	294	194
5	Залишки тіста	120	334	114
6	Кістки, шкарлупа яєчна	1270	450	266
7	Картопляні очистки	360	1049	1234
8	Хлібна крихта	120	111	104
9	Залишки м'яса, шкіри, ін.	1150	2095	2101
10	Молочні відходи	480	465	955
11	Харчові консерви	450	844	395
12	Відходи оброблення риби, крабів і інших морепродуктів	1340	196	196
13	Свіжа вода	2000	3000	3500

Після складання багатокomпонентної суміші харчових КПВ, що підлягають утилізації методом анаеробного зброджування визначаємо їх вологість і рН (таблиця 3.4).

Таблиця 3.4 – Значення вологості та рН сумішей

Найменування суміші	Вологість, %	Значення рН
Суміш №1	54	6,9
Суміш №2	69	7,1
Суміш №3	78	7

З метою отримати активний субстрат, що за хімічним складом відповідає досліджуваному сумішам, попередньо провели зброджування отриманих сумішей протягом 14 днів для отримання активного субстрату.

В ході проведення попереднього зброджування відмічено нелінійне збільшення кількості газу, що виділяється, з досягненням максимуму на 10-12 добу.

Графік проведення та параметри, що контролювались в ході експерименту приведено в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Графік проведення експериментальних досліджень

Дата	рН	Температура	Вихід газу	
			CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>
		°C	л/добу	
			%	%
17.11				
18.11	×	×		
19.11	×	×	×	×
20.11	×	×		
21.11	×	×	×	×
16.11	×	×		
17.11	×	×	×	×

\*× - дні проведення аналізу

\*\* - проби на аналіз відбираються до внесення субстрату в реактор

Експеримент з активним підготовленим субстратом проводили протягом 7 днів. Завантаження нової суміші здійснювали один раз на добу в об'ємі 2/3 від

об'єму реактора. Робочий об'єм реактора 2 л. Початкова температура бродіння 36 °C. Графік зміни температури в реакторі представлено на рисунку 3.1.

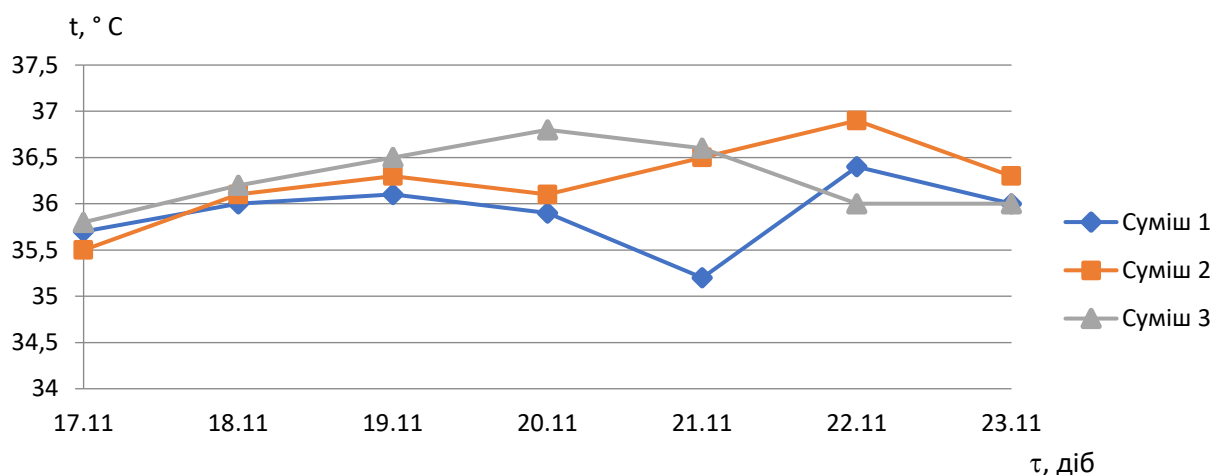


Рис. 3.1 - Графік зміни температури в ході бродіння

Для нормального протікання процесу, необхідна слабколужна реакція середовища (рН=7-8). На рисунку 3.2 представлений рівень рН середовища протягом експерименту.

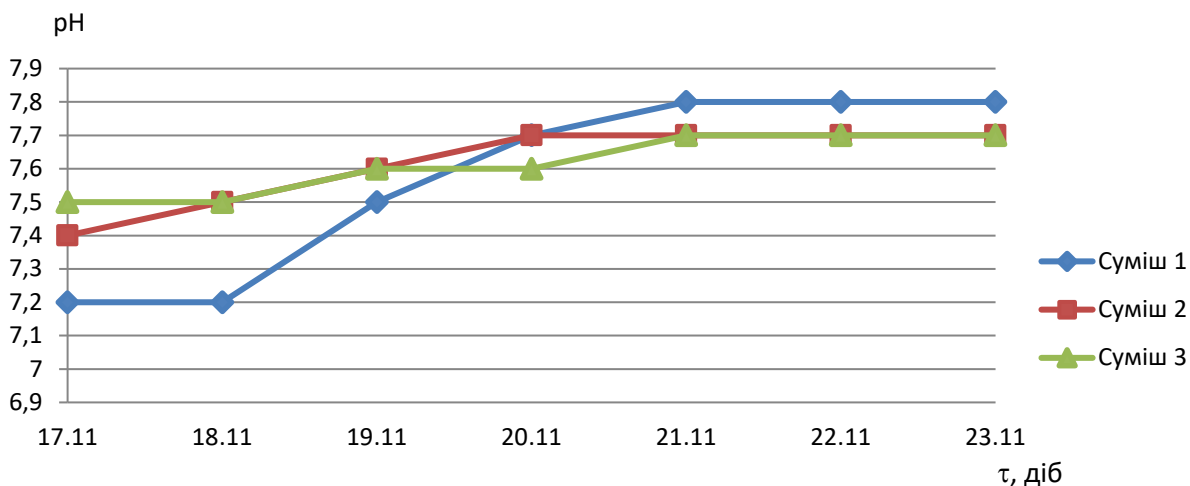


Рис. 3.2 - рН середовища протягом експерименту

Накопичення біогазу та співвідношення між метаном та вуглекислим газом для кожної з сумішей наведено відповідно на рисунках 3.3, 3.4 та 3.5.

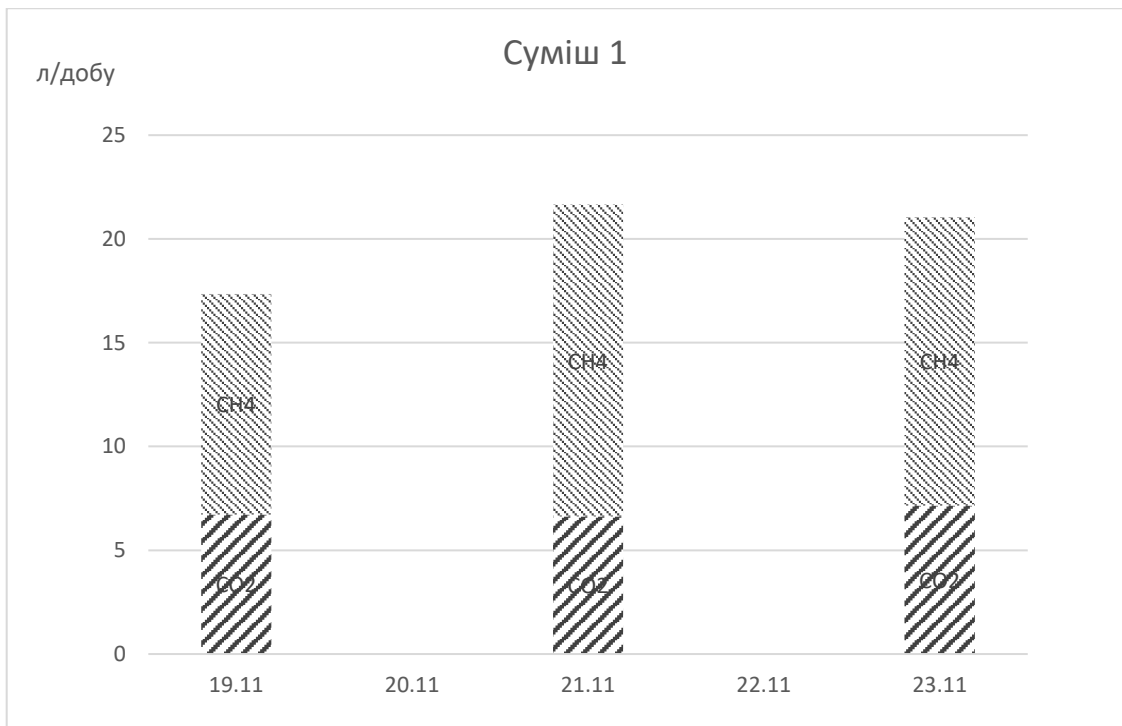


Рис. 3.3 – Динаміка накопичення біогазу для суміші 1

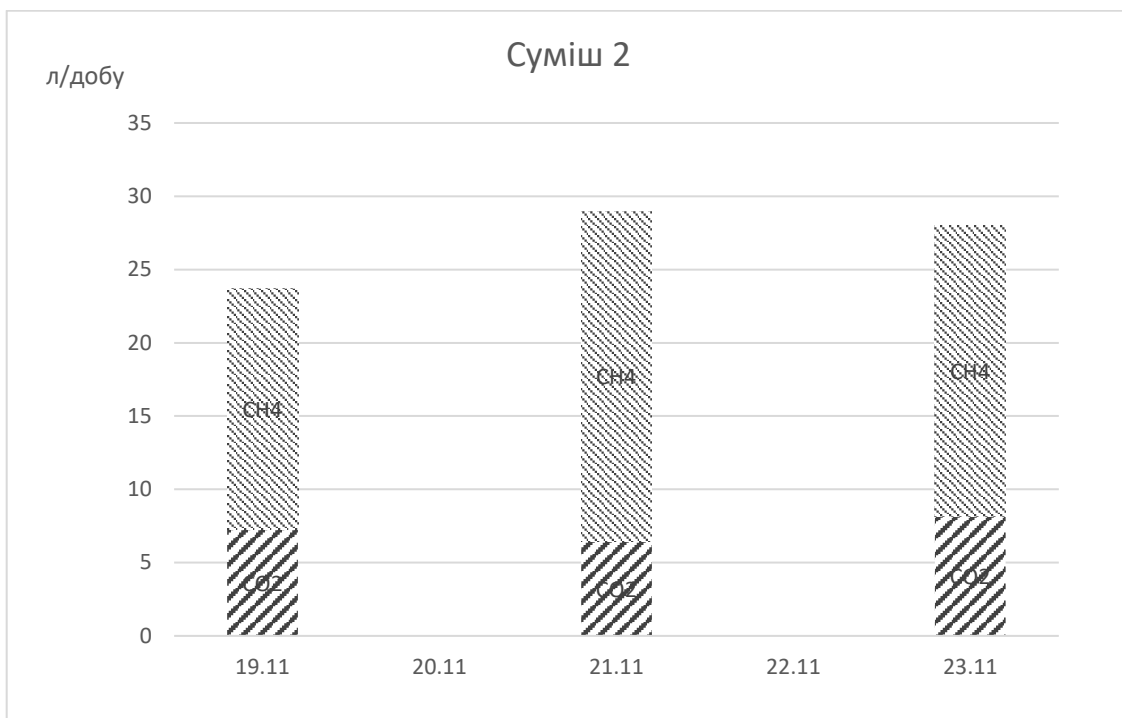


Рис. 3.4 – Динаміка накопичення біогазу для суміші 2

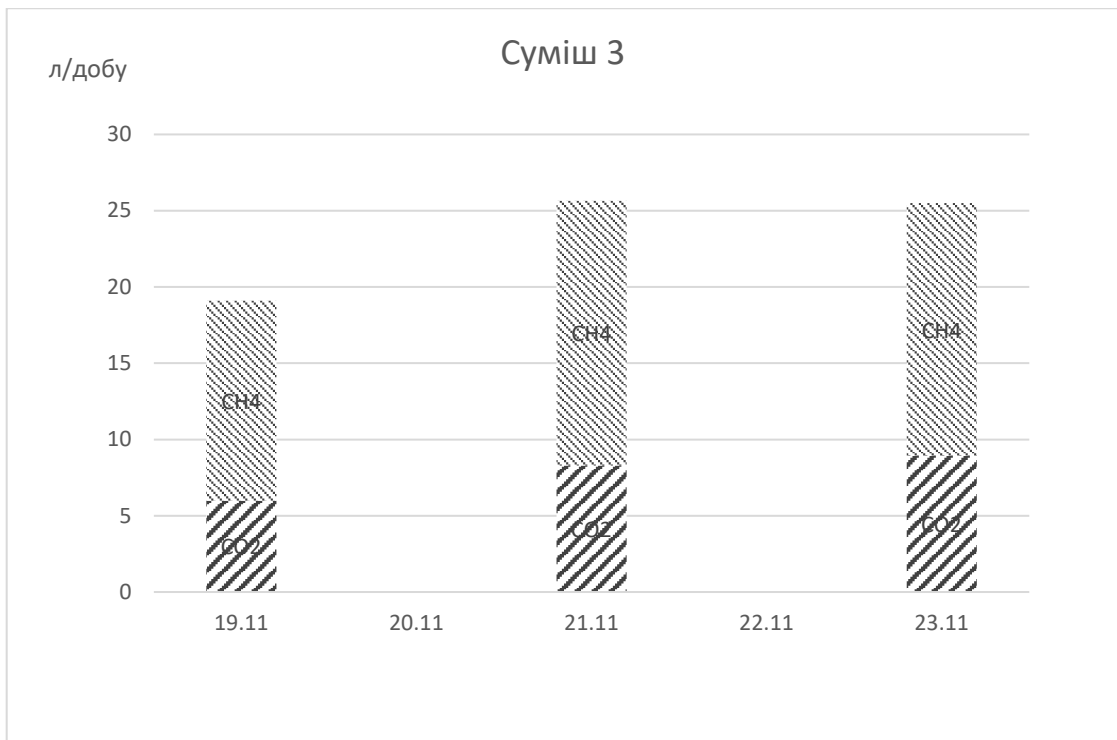


Рис. 3.5 – Динаміка накопичення біогазу для суміші 3

Порівняльна діаграма виділення біогазу для досліджуваних сумішей наведена на рисунку 3.6.

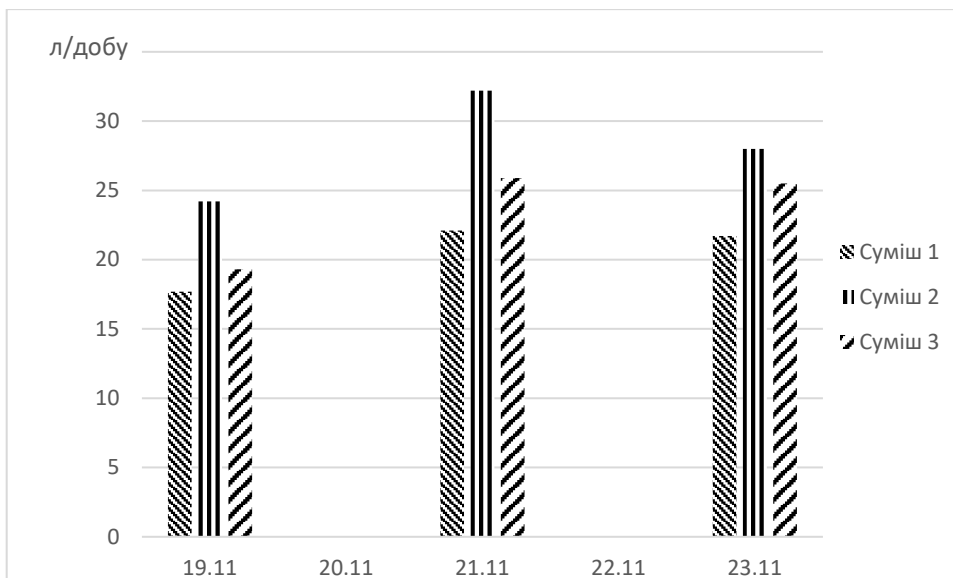


Рис. 3.6 – Порівняльна діаграма виділення біогазу

Зведена таблиця експериментальних даних наведена нижче (табл. 3.6).

Таблиця 3.6 – Експериментальні дані.

Рецеп- тура	Дата	pH	Температура	Вихід газу	
				CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>
			°C	л/добу	
				%	%
1	2	3	4	5	6
№1	17.11	7,2	35,7		
	18.11	7,2	36		
	19.11	7,5	36,1	17,7	
				38	60
	20.11	7,7	35,9		
	21.11	7,8	35,2	22,1	
				30	68
	22.11	7,8	36,4		
№2	23.11	7,8	36	21,7	
				33	64
	17.11	7,4	35,5		
	18.11	7,5	36,1		
	19.11	7,6	36,3	24,2	
				30	68
	20.11	7,7	36,1		
	21.11	7,7	36,5	32,2	
			20	70	
	22.11	7,7	36,9		
	23.11	7,7	36,3	28,0	
				29	71

Продовження таблиці 3.6

1	2	3	4	5	6
№3	17.11	7,5	35,8		
	18.11	7,5	36,2		
	19.11	7,6	36,5	19,3	
				31	68
	20.11	7,6	36,8		
	21.11	7,7	36,6	25,9	
				32	67
	22.11	7,7	36		
	23.11	7,7	36	25,5	
				35	65

Отримані експериментальні дані свідчать про те, що утилізація харчових комунально-побутових відходів методом анаеробного зброджування є можливою. Були досягнуті наступні результати:

- утилізовані харчові КПВ різного фізико-хімічного й морфологічного складу;
- отримане цінне добриво, збагачене азотом;
- процес протікав стаціонарно з незначними відхиленнями, що значно спрощує керування ним;
- утворення біогазу становило в середньому 20-30 літрів на добу (15-22 л/кг субстрату).

Аналіз отриманих даних дозволяє зробити припущення, що оптимальною характеристиками за прийнятих умов проведення експерименту володіє суміш 2: це і максимальна продуктивність по біогазу за одиницю часу, і краще співвідношення між метаном та вуглекислим газом.

Таким чином, вивчивши процес анаеробного зброджування КПВ, варіюючи компоненти, ми одержали модель процесу, яка дозволить утилізувати відходи в тих пропорціях, у яких вони надходять на полігони ТПВ. Що дозволить не тільки скоротити витрати на утилізацію й поховання, але й здатне принести прибуток у вигляді палива й добрив, а так само знизити негативний вплив на навколишнє середовище.

### 3.3 Обґрунтування складу субстрату 2-го етапу дослідження

Виходячи із оптимальних умов проведення процесу анаеробного зброджування, визначених в попередньому пункті, визначимо умови проведення дослідження.

При проведенні експерименту були використані наступні параметри управління ефективністю протікання метаногенезу:

- *температура*. Бродіння здійснювали при температурах  $36 \pm 1$ , що відповідає мезофільному режиму. Така температура забезпечить достатню ефективність процесу, залишаючись при цьому достатньо економічною з точки зору використання енергії;
- *хімічний склад субстрату* (вміст поживних речовин). Проводили експеримент без використання добавок та з корекцією співвідношення C:N до оптимального (15-25:1) за рахунок використання в якості джерела Карбону опале листя.

З переліку відходів, представлених в таблиці 3.2, склали контрольну суміш (суміш № 1), ваговий та компонентний склад якої наведено в таблиці 3.8. Проведено оцінку відношення C/N. Для суміші № 1 воно складає близько 15. З огляду на ймовірну ефективність відношень до 25, формуємо ще дві суміші на основі додавання опалого листя, яке має хімічний склад, приведений в таблиці 3.7 та відношення C/N, що дорівнює 60.

Таблиця 3.7 – Хімічний склад опалого листя

№ п/п	Найменування відходів	Сухий залишок, %	Вологість, %	Зольність, %	Вміст жиру, %	Вміст білків, %	Вміст вуглеводів, %
1	Опале листя	78,0	22,0	5,0	2,3	3,25	57,0

Таблиця 3.8 – Суміші харчових КПВ, що підлягають утилізації методом анаеробного зброджування

№ п/п	Найменування відходів	Вміст компонентів суміші, г		
		Суміш №1	Суміш №2	Суміш №3
1	2	3	4	5
1	Залишки жирів	25	21,2	17,5
2	Олії рослинні відпрацьовані	45	38,25	31,5
3	Вичавки овочеві, фруктові і ягідні, томатні шкурки й насіння	70	59,5	49
4	Залишки тіста	10	8,5	7
5	Кістки, шкарлупа яєчна	20	17	14
6	Картопляні очистки	90	76,5	63
7	Хлібна крихта	10	8,5	7
8	Залишки м'яса, шкіри, ін.	90	76,5	63
9	Молочні відходи	30	25,5	21
10	Відходи морепродуктів	35	29,75	24,5
11	Листя опале		40,75	80
12	Вода		23	47,5
	Культуральна рідина	75		
	Загальна маса	500		
	Вологість суміші	58,7		
	Співвідношення C/N	15	20,8	26,7

Компонентний склад сумішей харчових відходів, що підлягають утилізації методом анаеробного зброджування наведено в таблиці 3.8. Підготовлені суміші доводили водою до однакової вологості та додавали активатор – культуральну

рідину з попередньо збродженого субстрату. З метою отримати активний субстрат, що за хімічним складом відповідає досліджуваним сумішам, попередньо провели збродження отриманих сумішей протягом 30 днів для отримання активного субстрату.

### 3.4 Дослідження метанового бродіння (2 етап)

Після складання багатокомпонентної суміші харчових відходів, що утилізуються методом анаеробного збродження, визначаємо їх рН (таблиця 3.9).

Таблиця 3.9 – Значення рН сумішей

Найменування суміші	Значення рН
Суміш №1	7
Суміш №2	7
Суміш №3	6,9

Результати проведених досліджень та результати їх обробки представлені в таблиці 3.10, 3.11 та на рисунках 3.7-3.8. В таблиці 3.10 представлені дані, що показують виділення біогазу із досліджуваних зразків субстрату, що бродить, протягом всієї тривалості експерименту.

Таблиця 3.10 – Виділення біогазу, л

Тривалість бродіння, діб	Суміш		
	№ 1	№ 2	№ 3
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
1	0,3	0,4	0,4
2	0,7	1,1	1,2
3	1,3	1,9	2,2
4	2,1	3,0	3,4
5	2,9	4,2	4,8
6	4,0	5,5	6,2
7	4,9	6,9	8,0
8	6,1	8,5	9,7
9	7,2	10,0	11,6

Продовження таблиці 3.10

1	2	3	4
10	8,4	11,8	13,6
11	9,7	13,6	15,6
12	11,1	15,4	17,7
13	12,3	17,2	19,9
14	13,6	19,1	21,9
15	14,9	20,9	24,1
16	16,2	22,8	26,2
17	17,5	24,6	28,3
18	18,9	26,4	30,5
19	20,2	28,3	32,6
20	21,5	30,1	34,5
21	22,7	31,9	36,7
22	24,0	33,6	38,6
23	25,2	35,3	40,5
24	26,4	37,0	42,5
25	27,6	38,7	44,5
26	28,8	40,3	46,3
27	29,9	41,9	48,2
28	31,0	43,5	50,0

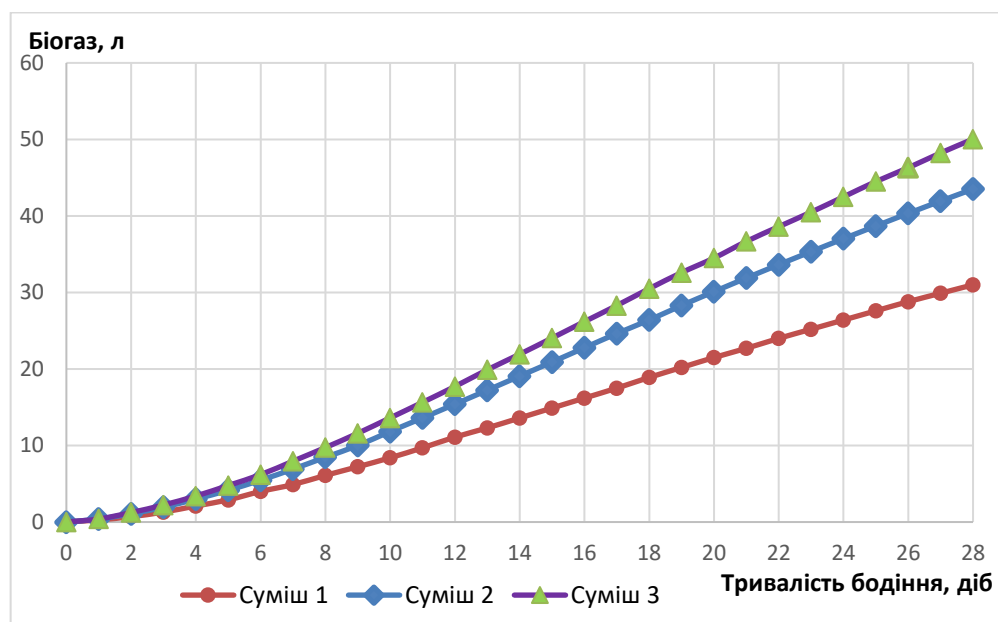


Рис. 3.7 – Виділення біогазу в ході метанового бродіння

Як видно з представлених даних найбільша кількість біогазу виділилась при бродінні третього зразка, який відрізнявся збалансованим співвідношенням С:N. Аналізуючи дані, можна прогнозувати, що подальшого суттєвого збільшення кількості біогазу при збільшенні співвідношення С:N не відбудеться.

Дані таблиці 3.11 та графік, зображений на рисунку 3.8 дають уявлення про динаміку виділення біогазу.

Таблиця 3.11 – Інтенсивність виділення біогазу, л/добу

Тривалість бродіння, діб	Суміш		
	№ 1	№ 2	№ 3
1	2	3	4
1	0,3	0,4	0,4
2	0,4	0,7	0,8
3	0,6	0,9	1,0
4	0,8	1,1	1,2
5	0,8	1,2	1,4
6	1,1	1,3	1,4
7	0,9	1,5	1,8
8	1,2	1,5	1,8
9	1,1	1,5	1,9
10	1,2	1,8	2,0
11	1,3	1,8	2,0
12	1,4	1,8	2,1
13	1,2	1,8	2,2
14	1,3	1,8	2,0
15	1,3	1,8	2,1
16	1,3	1,9	2,1
17	1,3	1,9	2,1
18	1,4	1,8	2,2
19	1,3	1,9	2,1
20	1,3	1,8	1,9
21	1,2	1,8	2,2
22	1,3	1,7	1,9
23	1,2	1,7	1,9

Продовження табл. 3.11

1	2	3	4
24	1,2	1,7	2,0
25	1,2	1,7	2,0
26	1,2	1,6	1,8
27	1,1	1,6	1,9
28	1,1	1,6	1,8

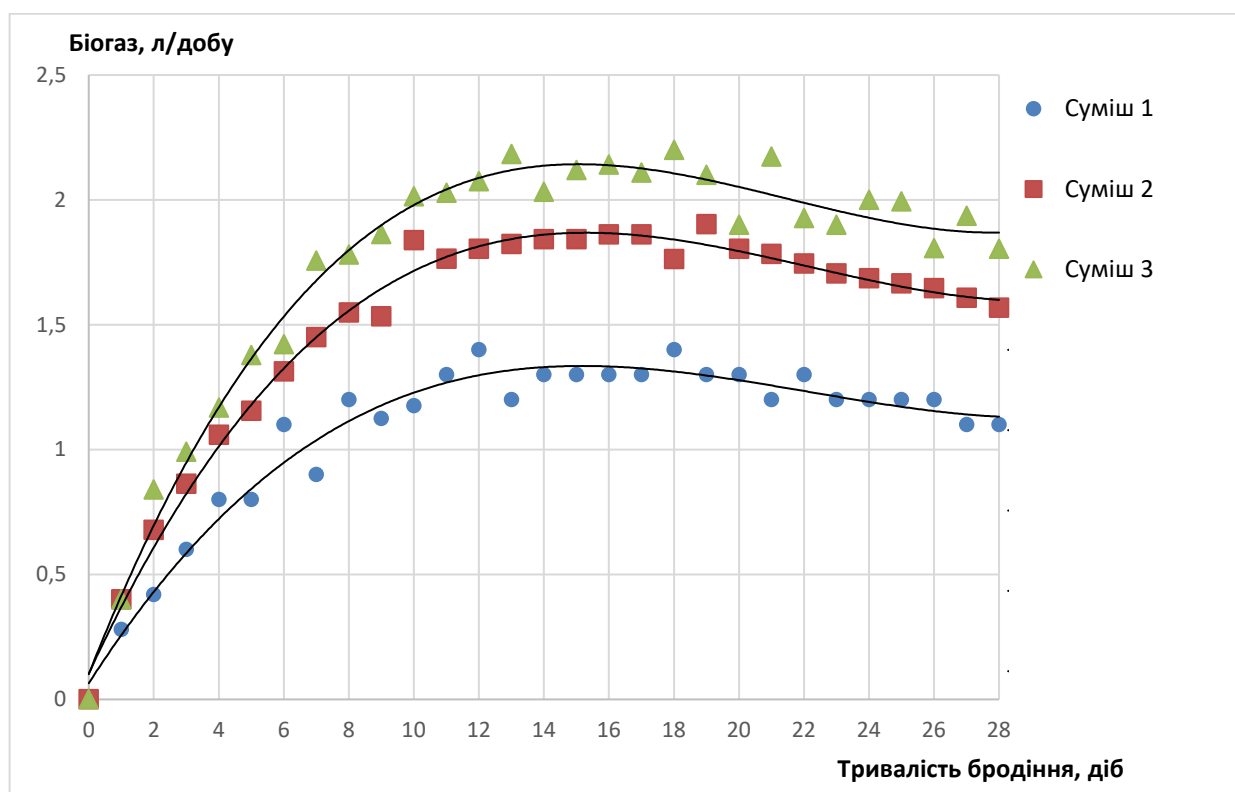


Рис. 3.8 – Інтенсивність метанового бродіння

Аналізуючи графік динаміки утворення біогазу, можна зробити кілька висновків:

- Максимальна кількість біогазу виділяється на 12-16 добу бродіння;
- Зразки з більшим значенням відношення С:N бродять більш інтенсивно;
- Для всіх зразків зниження інтенсивності виділення біогазу на кінець терміну бродіння (28 доба) склало від 16 % (суміш № 2) до 21 % (суміш № 1), що

вказує на подальше зниження інтенсивності утворення біогазу та поступове затухання процесу;

- Суміші з більш збалансованим співвідношенням С:N мають більш тривалий період інтенсивного бродіння та повільніше зменшують інтенсивність бродіння.

#### **Висновки до розділу 4**

##### **1. Результати 1-го етапу експерименту:**

– на основі характеристик органічної складової КПВ, наведених в розділі 2, та вимог до субстрату метанового бродіння із 12 зразків харчових відходів було складено три суміші з різним хімічним складом, різною вологістю та значенням рН близьким до нейтрального.

– проведений експеримент із зброджування зразків сумішей органічної складової КПВ показав незначне підвищення температури (до 1 °С), рН середовища (до 0,5) субстрату протягом терміну зброджування. рН із значення 7,2-7,5 збільшувалось до 7,6-7,7 протягом 3-4 діб бродіння, далі залишаючись незмінним.

– найкращими показниками динаміки виділення біогазу та співвідношення метану до вуглекислого газу відрізнявся зразок під номером 2, який відрізнявся середніми значеннями вологості та нижчим, майже в 2 рази, вмістом жирів, порівняно із зразком № 1, який, в свою чергу показав найгірші результати.

– утворення біогазу в ході експерименту становило в середньому 20-30 літрів на добу (15-22 л/кг субстрату).

##### **2. В експерименті з оптимізації співвідношення С:N:**

– найбільша кількість біогазу виділилась при бродінні третього зразка, який відрізнявся збалансованим співвідношенням С:N. Аналізуючи дані, можна прогнозувати, що подальшого суттєвого збільшення кількості біогазу при збільшенні співвідношення С:N не відбудеться. Максимальна кількість біогазу виділяється на 12-16 добу бродіння.

- Зразки з більшим значенням відношення C:N бродять більш інтенсивно.
- Для всіх зразків зниження інтенсивності виділення біогазу на кінець терміну бродіння (28 доба) склало від 16 % (суміш № 2) до 21 % (суміш № 1), що вказує на подальше зниження інтенсивності утворення біогазу та поступове затухання процесу.
- Суміші з більш збалансованим співвідношенням C:N мають більш тривалий період інтенсивного бродіння та повільніше зменшують інтенсивність бродіння.

## РОЗДІЛ V ОХОРОНА ПРАЦІ

### Охорона праці при експлуатації біогазових установок

Окремі елементи біогазових установок відносяться до установок, що працюють під тиском і підпорядковуються НПАОП 0.00-1.81-18 «Правила охорони праці під час експлуатації обладнання, що працює під тиском» [7].

Але основним фактором, що визначає безпеку біогазових установок є біогаз, який містить метан, вуглекислий газ, сірководень та інші гази в незначних концентраціях. Небезпечним є метан, який поєднуючись з киснем повітря може горіти з вибухом. Складові біогазу є токсичними для людини, тому можуть за значних концентрацій призводити до отруєння.

Обладнання біогазових установок також несе механічну загрозу від рухомих частин обладнання. Звичайно при дотриманні вимог ДСТУ 7014:2009 «Установки біогазові присадибні. Загальні технічні вимоги» такі небезпеки будуть мінімальними.

Вимоги європейської спільноти до безпеки при експлуатації біогазових установок наведено в [8]. Відповідно до вимог Керівництва [8] біогаз – це газова суміш, що складається з метану (50-75 об. %), вуглекислого газу (20-50 об. %), сірководню (0,01-0,4 об. %) та інших газових мікроелементів. Властивості біогазу порівнюються з іншими газами в таблиці 4.1. Властивості різних компонентів біогазу підсумовані в таблиці 4.2.

У певних концентраціях біогаз у поєднанні з атмосферним киснем може утворювати вибухонебезпечну атмосферу, тому при будівництві та експлуатації біогазової установки необхідно дотримуватися спеціальних правил безпеки. Існують також інші небезпеки, такі як ризик асфіксії чи отруєння, а також механічні небезпеки (наприклад, ризик защемлення приводами).

Таблиця 4.1 – Властивості газів

		Біогаз	Природний газ	Пропан	Метан	Водень
Теплотворна здатність	кВт*год /м <sup>3</sup>	6	10	26	10	3
Щільність	кг/м <sup>3</sup>	1.2	0,7	2.01	0,72	0,09
Щільність відносно повітря		0,9	0,54	1.51	0,55	0,07
Температура займання	°С	700	650	470	600	585
Вибуховий діапазон	т. %	6-22	4.4-15	1,7-10,9	4,4-16,5	4-77

Таблиця 4.2 – Властивості компонентів біогазу

		CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	X <sub>2</sub> C	CO	X
Щільність	кг/м <sup>3</sup>	0,72	1,98	1.54	1.25	0,09
Щільність відносно повітря		0,55	1.53	1.19	0,97	0,07
Температура займання	°С	600	-	270	605	585
Вибуховий діапазон	т. %	4,4-16,5	-	4,3-45,5	10,9-75,6	4-77
Обмеження впливу на робочому місці (значення МАС)	ppm	нс	5000	10	30	нс

Роботодавець або оператор біогазової установки зобов'язаний визначити та оцінити небезпеки, пов'язані з біогазовою установкою, і, якщо необхідно, вжити відповідних заходів.

Таким чином, під час експлуатації біогазових установок слід очікувати, що потенційно вибухонебезпечні газоповітряні суміші можуть утворюватися та іс-

нує підвищений ризик пожежі, особливо в безпосередній близькості від метантенків і газових резервуарів. Залежно від імовірності наявності вибухонебезпечної атмосфери, відповідно до BGR 104 – Правила вибухозахисту, різні частини заводу поділяються на категорії небезпечних зон («Х зони»), у межах яких відповідні знаки повинні бути розміщені на видному місці та вжиті відповідні запобіжні заходи та заходи безпеки.

Слід мати на увазі, що, незважаючи на відсутність ризику вибуху вище цих меж, пожежа може виникнути від відкритого вогню, іскор від комутаційного електричного обладнання або ударів блискавки.

### **Зона 0**

У зонах, класифікованих як зона 0, вибухонебезпечна атмосфера присутня постійно, протягом тривалих періодів або більшу частину часу. Однак зазвичай такі зони на біогазових установках відсутні. До цієї категорії не відноситься навіть ферментаційний резервуар/дигестер.

### **Зона 1**

Зона 1 описує зони, в яких час від часу може утворюватися вибухонебезпечна атмосфера під час нормальної роботи. Це зони в безпосередній близькості від колодязів, що ведуть до резервуара для зберігання газу, або на стороні, що утримує газ, у резервуарі для бродіння, а також поблизу системи продувки, запобіжні клапани або газові факели. Заходи безпеки для зони 1 повинні бути встановлені в радіусі 1 м (з природною вентиляцією) навколо цих зон. Це означає, що в цій зоні можна використовувати лише ресурси та вибухозахищене обладнання з рейтингом зони 0 і зони 1. Як правило, слід уникати викидів біогазу, пов'язаних з роботою, у закритих приміщеннях. Проте, якщо можливий викид газу, зона 1 розширюється, щоб охопити весь простір.

### **Зона 2.**

У цих зонах за звичайних обставин не очікується виникнення вибухонебезпечних газоповітряних сумішей. Якщо це дійсно станеться, можна припустити, що це відбуватиметься лише рідко і не протягом тривалого періоду часу (наприклад, під час обслуговування або у разі несправності).

Це стосується, наприклад, колодязів і внутрішньої частини метантенка, а у випадку резервуарів для зберігання газу – безпосередньо поблизу аераційних і вентиляційних отворів. На цих територіях в радіусі від 1 до 3 м необхідно проводити заходи, що застосовуються до зони 2.

У вибухонебезпечних зонах (зони 0-2) необхідно вжити заходів для уникнення джерел запалювання відповідно до BGR 104, розділ E2 [5-10]. Приклади джерел займання включають гарячі поверхні (турбонагнетачі), відкритий вогонь або іскри, що утворюються механічними чи електричними засобами. Крім того, такі зони повинні бути позначені відповідними попереджувальними знаками та повідомленнями.

### **Небезпека отруєння та асфіксії**

Виділення біогазу є природним процесом, як відомо, тому він не обмежується виключно біогазовими установками. У тваринництві, зокрема, у минулому неодноразово траплялися нещасні випадки, деякі з них зі смертельним наслідком, пов'язані з біогенними газами (наприклад, у гноювних ямах і силосах для корму тощо).

Якщо біогаз присутній у достатньо високих концентраціях, вдихання може спричинити симптоми отруєння чи асфіксії та навіть смертельно. Зокрема, це сірководень ( $H_2S$ ) вміст недесульфурованого біогазу, який є високотоксичним навіть у низьких концентраціях (див. таблицю 4.3).

Крім того, особливо в закритих або низьких приміщеннях може виникнути асфіксія в результаті витіснення кисню біогазом. Хоча біогаз легший за повітря, його відносна щільність ( $D$ ) становить приблизно 1,2 кг на  $m^3$ , воно має тенденцію до сегрегації. У цьому процесі важчий вуглекислий газ ( $D = 1,98$  кг/ $m^3$ ) збирає близько до рівня підлоги, а легший метан ( $D = 0,72$  кг/ $m^3$ ) піднімається.

З цих причин важливо, щоб у закритих приміщеннях, наприклад у закритих резервуарах для зберігання газу, завжди була забезпечена достатня вентиляція. Крім того, засоби індивідуального захисту (наприклад, сигналізатори газу, засоби захисту органів дихання тощо) повинні використовуватись у потенційно небезпечних зонах (дигестерні, технічні шахти, зони зберігання

газу тощо).

Таблиця 4.3 – Токсична дія сірководню

Концентрація (у повітрі)	Ефект
0,03-0,15 ppm	Поріг сприйняття (запах тухлих яєць)
15-75 ppm	Подразнення очей і дихальних шляхів, нудота, блювання, головний біль, втрата свідомості.
150-300 ppm (0,015-0,03%)	Параліч нюхових нервів
> 375 ppm (0,038%)	Смерть від отруєння (через кілька годин)
> 750 ppm (0,075%)	Втрата свідомості і смерть від зупинки дихання протягом 30-60 хв.
вище 1000 ppm (0,1%)	Швидка смерть від паралічу дихання протягом кількох хвилин

### Технічне обслуговування та ремонт

За загальним правилом технічне обслуговування перемішувального, насосного та промивного обладнання завжди повинно проводитися над рівнем землі. Якщо це неможливо, необхідно постійно встановити систему примусової вентиляції, щоб запобігти ризику асфіксії та отруєння у разі виходу газу.

### Поводження з хімікатами

На біогазових установках використовуються різноманітні хімікати. Найбільш поширеними є різні солі заліза для хімічної десульфурації, добавки для стабілізації значення рН або складні суміші мікроелементів або ферментів для оптимізації процесу. Добавки бувають у рідкій або твердій (порошкової) формі. Оскільки ці продукти зазвичай мають токсичні та їдкі властивості, важливо прочитати інформацію про продукт перед їх використанням і

важливо дотримуватися інструкцій виробника щодо дозування та застосування (наприклад, носити протипилову маску, кислотостійкі рукавички тощо). Як правило, використання хімічних речовин має бути обмежено до необхідного мінімуму.

**Інші потенційні ризики нещасних випадків.** На додаток до джерел небезпеки, описаних вище, існують також інші потенційні джерела нещасних випадків, такі як ризик падіння з драбин або падіння в завантажувальні отвори (обладнання для вимірювання твердих частинок, живильні воронки, технічні шахти тощо). У цих випадках необхідно забезпечити запобігання падінню в такі отвори кришками (люками, решітками тощо) або їх установкою на достатній висоті (> 1,8 м). Рухомі частини рослин (вали мішалки, черв'яки тощо) також є потенційно небезпечними точками, які мають бути чітко визначені відповідними покажчиками.

*Смертельне ураження електричним струмом* може статися в комбінованих теплоелектроблоках і навколо них в результаті неправильної роботи або несправностей, оскільки блоки генерують електроенергію при напрузі в кілька сотень вольт і зі струмом, що вимірюється в сотнях ампер. Така ж небезпека також стосується мішалок, насосів, кормового обладнання тощо, оскільки вони також працюють із високим рівнем електричної потужності.

*Системи опалення та охолодження біогазової установки* (радіатор, нагрівач варочного котла, теплообмінник тощо) також становлять ризик опіків у разі несправності. Це також стосується частин когенераційної установки та будь-яких аварійних систем, які можуть бути встановлені (наприклад, газові факели).

Щоб запобігти подібним аваріям, у відповідних частинах установки повинні бути встановлені чітко видимі попереджувальні знаки, а обслуговуючий персонал повинен бути відповідним чином проінструктований.

Для відходів категорії 3 (наприклад, відходи бійні) можна використовувати після гігієнізації (нагрівання до мінімум 70 °C протягом щонайменше 1 години). Однак це правило рідко застосовується до сільськогосподарських

біогазових установок. Якщо єдиними побічними продуктами тваринного походження є відходи громадського харчування, положення не застосовується. Якщо використовуються речовини, які підпадають під положення Указу про біовідходи, гігієнізація є вимогою. У цих випадках необхідно забезпечити мінімальну температуру 55 °С і гідравлічний час перебування в реакторі щонайменше 20 днів.

### **Контроль забруднення повітря**

Під час роботи біогазових установок необхідно дотримуватися різноманітних вимог щодо контролю забруднення повітря. Ці вимоги стосуються в першу чергу викидів запаху, забруднюючих речовин і пилу.

Актуалізована для умов України інформація щодо правил охорони праці під час роботи біогазової установки наведена в статті [9]:

**При проектуванні** установки для отримання біогазу розробляються заходи, що забезпечують безпеку персоналу виробництва в процесі експлуатації приладів, засобів автоматизації, щитових пристроїв системи автоматики у відповідності до Державних актів, що забезпечують виконання Закону України «Про охорону праці». При автоматизації процесу виробництва біогазу оператор знаходиться в приміщенні, де присутні такі шкідливі фактори: забруднене повітря робочої зони; шум та вібрації; електробезпека; пожежна небезпека.

**При експлуатації** обладнання для отримання біогазу і його використання необхідно враховувати вибухонебезпечність метану. Небезпека вибуху виникає при змішуванні метану з повітрям у співвідношенні від 5 до 15% за об'ємом. У разі витоку, за наявності вентиляції, газ випаровується без яких або наслідків. У зв'язку з цим на установці для отримання метану і в оточуваній її зоні необхідно суворо дотримуватись заходів безпеки, необхідних для попередження пожежі і вибуху.

До складу біогазу також входять сірководень ( $H_2S$ ), вуглекислий газ ( $CO_2$ ).

Сірководень, якщо і представляє небезпеку для здоров'я людей, то зустрічається в невеликих кількостях і легко виявляється за неприємним запахом. Оскільки питома маса сірководню більша за масу повітря, тому необхідно звертати увагу на те, щоб при вибоках цей газ не зміг нагромаджуватися в поглибленнях. При високих концентраціях він притупляє сприйняття запаху, що утрудняє його виявлення і може привести до смертельних отруєнь, але ще раз можна відзначити, що частка сірководню в біогазі дуже мала і складає не більше 1 %. Вуглекислий газ входить до складу біогазу, теж може накопичуватися в глибоких виїмках, оскільки він також важчий за повітря, за наявності нещільності в установці викликає небезпеку задухи.

**Перелік заходів безпеки включає:**

1. Ємності для газу необхідно розміщувати на достатній відстані від житлових будинків, складів і громадських доріг. Мінімально допустимі такі відстані: від будинків з м'якою покрівлею – 10 м; від будинків з твердою покрівлею – 5 м.

2. Забороняється паління і розпалювання вогню поблизу газових резервуарів (в радіусі 10 м). Встановлюються спеціальні таблички з відповідними надписами.

3. Регулярно перевіряють рівень води в резервуарі газгольдера циліндричного типу. Зимою необхідно попереджувати утворення крижаної кірки. Ремонт резервуарів і трубопроводів повинні проводити тільки спеціалісти (організація виготовлювач обладнання), що особливо важливо для усіх робіт, які виконуються з відкритим полум'ям і зварюванням на газгольдері і трубопроводах.

4. Попередження виходу метану і змішування його з повітрям в обмеженому просторі включає в себе забезпеченість герметичності газопровідних ліній і вентиляцію редукційних клапанів з відводом повітря назовні.

5. Видалення повітря із газопровідних ліній здійснюється шляхом пропускання по них газу до його використання.

6. Установка вогнегасників здійснюють на газопровідних лініях, які проходять поблизу газоспалювальних установок.

7. Забезпечення відповідних вентиляцій в зоні газопровідних ліній.

8. Обладнують вентиляційний отвір під стелею приміщення для виходу назовні газу, щільність якого менша щільності повітря.

9. Укладають газопровідні лінії з позитивним або зворотним нахилом, з обладнанням на нижньому кінці лінії водовідокремлювача (біогаз містить водяну пару).

10. здійснюють захист газопровідних ліній і особливо водовідокремлювачів і вогнегасників від замерзання, оскільки це може перервати подачу газу, пошкодити газопровідну лінію і привести до значного збільшення тиску в метантенку або газгольдері, розрахованому на низький тиск.

11. Видалення всіх потенційних джерел іскроутворення із зони біогазової установки і газопровідних ліній.

12. Резервуари для зберігання газу, що призначаються для зарядки балонів, повинні бути розраховані натиск  $170 \text{ кг/см}^2$ .

### **Вимоги безпеки під час обслуговування установки наступні:**

1. До обслуговування біогазової установки допускаються особи не молодше 18 років, тільки після проходження інструктажу з охорони праці на робочих місцях. Запис про проведення інструктажів проводиться в журнал з обов'язковим підписом проінструктованих робітників і особи, що проводила інструктаж.

2. Інструктаж з охорони праці з обслуговуючим персоналом повинен проводитися щодня перед заступанням зміни на роботу. Особи, які виконують роботи по обслуговуванню біогазової установки, проходять медичний огляд не рідше 1 разу на 6 місяців. Вагітні жінки до роботи по обслуговуванню біогазової установки не допускаються.

3. Під час роботи з біогазової установкою необхідно пам'ятати про вибухонебезпеку метану і стежити за герметичністю газгольдера і його комунікації.

При виявленні витoku газу роботу потрібно припинити, усувати дефект повинні тільки фахівці, які мають допуск до роботи з вибухонебезпечними речовинами.

4.Порожні цистерни і резервуари біогазової установки оглядаються не менше ніж двома фахівцями, які знають заходи безпеки і забезпечені шланговими противогазами, гумовими рукавичками і страхуючими мотузками. Після роботи необхідно провітрити спецодяг в спеціально відведеному для цього приміщенні.

При експлуатації біогазової установки необхідно звертати увагу на наступне:

– Вдих біогазу у великих кількостях на протязі тривалого часу може викликати отруєння, так як сірководень, який міститься в біогазі, дуже отруйний. Неочищений біогаз пахне тухлими яйцями, але після очистки не має ніякого запаху. Тому всі приміщення, де стоять побутові прилади, які використовують біогаз, треба регулярно провітрювати. Газові труби повинні регулярно перевірятися на герметичність і захищатися від пошкоджень. Витік газу необхідно виявляти за допомогою мильної емульсії або спеціальних приладів. Застосування відкритого вогню для виявлення витoku газу забороняється. Біогаз у суміші з повітрям в пропорції від 5% до 15% при наявності джерела спалаху з температурою 600 °С або вище може призвести до вибуху. Відкритий вогонь небезпечний при концентраціях біогазу у повітрі понад 12%. Таким чином, забороняється куріння та розведення вогню біля установки. Під час проведення зварювальних робіт відстань до газового обладнання повинна бути не менше 10 метрів. Після зливу сировини з біогазових установок для проведення ремонту реактор повинен провітрюватися, так як існує небезпека вибуху суміші біогазу і повітря.

– Тиск газу, який подається по газопроводу до місця споживання, не повинен перевищувати 0,15 МПа, а перед газовими приладами має бути не більше 0,13 кг/см<sup>2</sup>. Реактор повинен бути обладнаний засувками, гідрозатворами, які

у випадку необхідності могли б відключити його від магістрального скиду надлишкового тиску у газовій системі у випадку перевищення ним норми.

- Електрообладнання, яке використовується, повинно бути заземлене.

Опір проводу для заземлення має бути не більше 4,0 Ом.

## РОЗДІЛ VI ЦИВІЛЬНИЙ ЗАХИСТ

### Захист працівників у надзвичайних ситуаціях [10]

Потрібно розрахувати потребу об'єкта в захисній споруді., обґрунтувати можливість використання одного з підвальних приміщень як захисної споруди ЦЗ за наступних вихідних даних:

- підприємство знаходиться в м. Одесі, в районі з помірним кліматом і середньою літньою температурою 70 °С.
- віддалення заводу від точки прицілювання  $R = 20$  км;
- потужність ядерного боєприпасу  $q = 200$  кт;
- вид вибуху – наземний;
- Швидкість середнього вітру 25 км/год.
- загальна чисельність робітників та службовців –  $N=180$  чол.

У воєнний час завод переходить на двозмінну роботу. Чисельність найбільшої чинної зміни становить  $N_p = 100$  чол.

Для захисту робітників та службовців заводу використовується підвальне приміщення адміністративного корпусу, переобладнане під захисну споруду ЦЗ. Будівля двоповерхова, II ступінь вогнестійкості. Захисні властивості надлишкового тиску складають  $\Delta P_{\text{ф}}$  потрібний  $=0$ . Верхня частина стін підвального приміщення виступає над поверхнею землі на 1000 мм, висота приміщення – 2200 мм, рівень підлоги лежить вище за рівень ґрунтових вод на 300 мм. Площа приміщення - 100 м<sup>2</sup>. Стіни – бетонні завтовшки 400 мм, перекриття – бетонні плити завтовшки 170 мм.

#### **Оцінка споруди за захисними властивостями**

Визначення захисних властивостей споруди.

За потужності ядерного вибуху 200 кт, вибух «Н», з відривом 20 км дію ударної хвилі очікується, тобто  $\Delta P_{\text{ф}}$  потрібний  $=0$ .

Визначають необхідний коефіцієнт ослаблення радіації притулком, для чого розраховують максимальну дозу опромінення від радіоактивного зараження, яку отримають відкрито розташовані люди в районі заводу при одноразовому опроміненні (протягом 4 діб) визначають за формулою:

$$D_{PЭМАХ} = 5P_1(t_H^{-0,2} - t_K^{-0,2}), \quad (5.1.)$$

де  $P_1$  - рівень радіації на осі сліду наземного ядерного вибуху, на 1 годину після вибуху, Р/год (При потужності вибуху 200 кт, відстані від центру вибуху 20 м та швидкості вітру 25 км/год -  $P_1=1200$  Р/год);

$t_H$  - початок опромінення, год;

$$t_H = R / V_{ВВ} + t_{ВІП} \quad (5.2.)$$

де  $t_{ВІП}$  - час випадання радіоактивних речовин дорівнює в середньому 1 год.

Тоді за формулою (5.2.) початок опромінення становитиме:

$$t_H = (20/25) + 1 = 1,8 \text{ год};$$

$t_K$  – час закінчення опромінення, год.

$$t_K = t_H + 96, \text{ год} \quad (5.3.)$$

де, 96 год = 4 діб – час протягом якого опромінювані отримають 50 Р (безпечна зона одноразового опромінення).

$$t_K = 1,8 + 96 = 97,8 \text{ год}$$

Тоді

$$D_{PEMAX} = 5 \cdot 1200(1.8^{-0,2} - 97.8^{-0,2}) = 2940P$$

Отже, перебуваючи на відкритій місцевості люди за рахунок радіоактивного зараження можуть отримати смертельну дозу.

Визначаємо необхідний коефіцієнт ослаблення радіації притулком від радіоактивного зараження за такою формулою:

$$K_{ОСЛ.РЗ.потрібний} = \frac{D_{РЗ.МАХ.}}{50} \quad (5.4.)$$

$$K_{ОСЛ.РЗ.потрібний} = \frac{2940}{50} = 58,8$$

Визначають захисні властивості споруди.

Згідно з вихідними даними надлишковий тиск, який може витримувати конструкція підвалу, становить  $\Delta P_{ф\text{ зах.}} = 100$  кПа.

Коефіцієнт ослаблення радіації підвальним приміщенням:

$$K_{ослрзреб.} = K_p \cdot \Pi \cdot 2^{\frac{h}{d}}, \quad (5.5.)$$

де  $K_p$ -коефіцієнт, що враховує умови розташування захисної споруди;  $h$ -товщина захисного шару, см;  $d$ -товщина половинного шару ослаблення матеріалу захисного шару.

Коефіцієнт ослаблення для виступаючих над поверхнею землі стін підвального приміщення при:  $K_p$  стін = 4,  $h$  бетону стін = 40 см,  $d$  бетону рз = 5,7 см.

$$K_{ослстін} = K_{рстін} \cdot 2^{\frac{h}{d}} = 4 \cdot 2^{\frac{40}{5,7}} = 512. \quad (5.6.)$$

Коефіцієнт ослаблення для перекриттів підвального приміщення при  $K_p$  перек=8,  $h$ бетона перек=17 см.

$$K_{\text{ослперек}} = K_{\text{рперек}} \cdot 2^{\frac{h}{d}} = 8 \cdot 2^{\frac{17}{5.7}} = 63. \quad (5.7.)$$

Порівнюючи захисні властивості підвального приміщення з необхідними бачимо, що

$$\begin{aligned} \Delta P_{\phi} &= 100 \text{кПа} > \Delta P_{\phi \text{треб}} = 0 \\ K_{\text{ослперек}} &= 63 > K_{\text{ослрзтреб}} = 58.8 \end{aligned} \quad (5.8.)$$

Отже, підвальне приміщення за своїми властивостями забезпечує захист людей при можливих значеннях властивостей факторів ядерного вибуху. це приміщення можна переобладнати під протирадіаційне укриття.

### **Оцінка споруди за місткістю**

оцінку роблять для наступних вихідних даних: загальна площа 100 м<sup>2</sup>, висота приміщення 2,2 м, чисельність найбільшої робочої зміни 100 чол.

для забезпечення тривалого перебування людей у ПРУ необхідно передбачити такі допоміжні приміщення: для окремих санітарних вузлів – 5 м<sup>2</sup>; для вентиляції апаратури – 5 м<sup>2</sup>; для зберігання верхнього забрудненого одягу – 10 м<sup>2</sup>, яке відокремлюється від основних вогнетривких перегородок.

Визначають місткість протирадіаційного укриття.

Розрахунок виробляють з умови встановлення одноярусних нар, при якому на одного вкривається передбачають площу S<sub>1</sub>=0,6 м<sup>2</sup>.

Тоді розрахункова кількість місць у приміщенні становитиме

$$M = \frac{S_n}{S_1} = \frac{66}{0.6} = 110 \text{ чол} \quad (5.9.)$$

де S<sub>n</sub> – площа приміщень для тих, що укриваються, м<sup>2</sup>

Отже, найбільша діюча зміна, що дорівнює 100 чол. повністю ховається у протирадіаційному укритті.

Визначають обсяг приміщень, що припадає на одну людину

$$V_1 = \frac{S_0 \cdot h}{N_p} = \frac{100 \cdot 2.2}{100} = 2.2 \text{ м}^3/\text{чол} \quad (5.10.)$$

оскільки  $V_1 = 2,2 \text{ м}^3/\text{чол} > 1,5 \text{ м}^3/\text{чол}$ , то робимо висновок, що приміщення для ПРУ, що укриваються, відповідають вимогам СНіП.

### **Система повітропостачання**

система повітропостачання ПРУ припливно-витяжна за режимом чистої вентиляції з примусовим надходженням води. Нормою подачі повітря на одну людину є  $W_1=10 \text{ м}^3/\text{год}$ .

Тоді потрібна кількість повітря, яку має забезпечити система, дорівнює  $1000 \text{ м}^3/\text{год}$ .

Таку кількість повітря може забезпечити електроручний вентилятор типу ЕРВ-72-3, продуктивністю  $1300 \text{ м}^3/\text{год}$ .

Очищення зовнішнього повітря передбачають від пилу фільтром із кам'яновугільного шлаку, встановленого в напрямці припливного каналу.

Припливно-витяжні коробки виготовляються із азбоцементних труб із внутрішнім перетином  $250 \text{ м}^2$ . Зверху над коробами встановлюють козирки, а внизу щільно пригнані засувки. Для посилення тяги витяжний короб встановлюють вище за припливний на  $1,5 \text{ м}$ . висота коробів від поверхні землі- $2 \text{ м}$ .

### **Системи водопостачання**

Водопостачання укриття передбачають від внутрішньої водопровідної мережі. Створюють також аварійний запас води за нормою  $2 \text{ л}$  на добу на  $1$ , що укривається. Тривалість укриття -  $2$  доби.

$$W_{\text{вод}} = 100 * 2 * 2 = 400 \text{ л.} \quad (5.11.)$$

Отже, у укритті необхідно встановити ємність для аварійного запасу води місткістю щонайменше  $400 \text{ л}$ .

## **Каналізація ПРУ**

Каналізацію укриття здійснюють відведенням стічних вод від санітарних вузлів у зовнішню каналізаційну мережу. У приміщенні санітарного вузла для збирання стоків передбачають аварійний резервуар із розрахунку прийому 2 л стічних вод на добу на кожного ховається. Тоді

$$W_{c.v.} = 100 * 2 * 2 = 400 \text{ л.} \quad (5.12.)$$

Отже, в укритті необхідно передбачити виносні ємності по 40-50 л в кількості 8-10 штук.

## **Опалення, електропостачання та зв'язок ПРУ**

Опалення передбачають від загальної системи опалення будівлю. Крім того, необхідно визначити місця для встановлення тимчасових пристроїв, що підігривають.

Електропостачання підприємства передбачають від електромережі заводу. Для аварійного електропостачання використовується енергія автомобільних акумуляторів і електроліхтарі.

Укриття повинно мати телефонний зв'язок із місцевим штабом ЦЗ та гучномовець, підключений до радіотрансляційної мережі.

## **Роботи, які виконуються для пристосування приміщення під ПРУ**

Для пристрою приміщення під ПРУ необхідно виконати ряд робіт:

- вирити приямок і зробити проріз у стіні для другого входу із зовнішнього боку будівлі. Ці роботи виконують у протилежному боці від наявного входу під кутом 900 до нього;
  - вирити приямок і пробити стіни для влаштування припливно-витяжних коробів;
  - пробити отвір у перекритті для труб водопостачання, каналізації, опалення, кабелів електропостачання та зв'язку;
  - оббити двері щільними матеріалами, а краї дверей - пористою гумою.
- Пригнати щільно двері до дверної коробки;

- для виключення влучення радіоактивного пилу провести герметизацію приміщень першого поверху будівлі.

Пропоноване використання підвального приміщення адміністративної будівлі консервного заводу як ПРУ є економічно виправданим рішенням і забезпечує захист робітників і службовців від ураження при радіоактивному зараженні місцевості та частково від інших факторів, що вражають.

## ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

1. Встановлено, що тверді побутові відходи при нормі утворення понад 350 кг на одного жителя та тенденції до зростання створюють суттєві загрози навколишньому середовищу та здоров'ю людей.
2. Основною проблемою України у сфері поводження з відходами є сучасний метод їх утилізації – поховання на полігонах та організованих і стихійних звалищах. Таким чином в Україні утилізується близько 97 % відходів.
3. Аналіз існуючих методів поводження з відходами дозволяє стверджувати, що тверді побутові відходи необхідно збирати роздільно або сортувати з виділенням відходів для подальшої переробки.
4. Органічну складову твердих побутових відходів доцільно утилізувати біологічними методами з отриманням біогазу та добрив.
5. Проведений експеримент із зброджування зразків сумішей органічної складової КПВ показав незначне підвищення температури (до 1 °С), рН середовища (до 0,5) субстрату протягом терміну зброджування. рН із значення 7,2-7,5 збільшувалось до 7,6-7,7 протягом 3-4 діб бродіння, далі залишаючись незмінним.
6. Найкращими показниками динаміки виділення біогазу та співвідношення метану до вуглекислого газу відрізнявся зразок, який відрізнявся середніми значеннями вологості та нижчим, майже в 2 рази, вмістом жирів, порівняно із зразком № 1, який, в свою чергу показав найгірші результати.
7. Утворення біогазу в ході експерименту становило в середньому 20-30 літрів на добу (15-22 л/кг субстрату).
8. В експерименті з оптимізації співвідношення С:N найбільша кількість біогазу виділилась при бродінні зразка, який відрізнявся збалансованим співвідношенням С:N. Аналізуючи дані, можна прогнозувати, що подальшого суттєвого збільшення кількості біогазу при збільшенні співвідношення С:N не відбудеться. Максимальна кількість біогазу виділяється на 12-16 добу бродіння.

9. Зразки з більшим значенням відношення C:N бродять більш інтенсивно. Для всіх зразків зниження інтенсивності виділення біогазу на кінець терміну бродіння (28 доба) склало від 16 % до 21 %, що вказує на подальше зниження інтенсивності утворення біогазу та поступове затухання процесу.

10. Суміші з більш збалансованим співвідношення C:N мають більш тривалий період інтенсивного бродіння та повільніше зменшують інтенсивність бродіння.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- 1) Guidance on applying the Waste Hierarchy // DEFRA. – 2011. . URL: [https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/69403/pb13530-waste-hierarchy-guidance.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/69403/pb13530-waste-hierarchy-guidance.pdf).
- 2) Про розширену відповідальність виробника товарної продукції у поводженні з побутовими відходами. Роз'яснення Мінрегіону . URL: <https://www.minregion.gov.ua/press/news/pro-rozshirenu-vidpovidalnist-virobnika-tovarnoyi-produktsiyi-u-povodzhenni-z-pobutovimi-vidhodami-roz-yasnennya-minregionu/>
- 3) Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Waste Incineration: Industrial Emissions Directive 2010/75/EU (Integrated Pollution Prevention and Control) . URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32010L0075>
- 4) ДСТУ 4462.3.01:2006 Охорона природи. Поводження з відходами. Порядок здійснення операцій. URL: [https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/normdocs/dsty\\_4462.3.01-2006\\_povodzhennya\\_z\\_vidhodami.pdf](https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/normdocs/dsty_4462.3.01-2006_povodzhennya_z_vidhodami.pdf).
- 5) Управління твердими побутовими відходами в умовах реформування місцевого самоврядування та розвитку міжмуніципального співробітництва: навчально-практичний посібник / .... Навчально-посібник / За заг. редакцією Толкованова В.В., Ілляш О.Е., Журавля Т.В., Голіка Ю.С. – Київ, 2018. – 393 с
- 6) Постанова Кабінет Міністрів України від 10 грудня 2008 р. № 1070 Про затвердження Правил надання послуг з поводження з побутовими відходами // Кабінет міністрів України . URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1070-2008-%D0%BF#Text>.
- 7) Packaging waste statistics // Eurostat . URL: [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Packaging\\_waste\\_statistics#Recycling\\_and\\_recovery\\_targets\\_and\\_rates](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Packaging_waste_statistics#Recycling_and_recovery_targets_and_rates)

8) ЗАКОН УКРАЇНИ Про відходи (Відомості Верховної Ради України (ВВР), 1998, № 36-37, ст.242) . URL: [https://zakon.rada.gov.ua/laws/ card/187/98-%D0%B2%D1%80](https://zakon.rada.gov.ua/laws/card/187/98-%D0%B2%D1%80).

9) Розпорядження Кабінету Міністрів України від 8 листопада 2017 р. № 820-р «Про схвалення Національної стратегії управління відходами в Україні до 2030 року» . URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/820-2017-%D1%80#Text>

10) Наказ Міністерства екології та природних ресурсів України № 142 від 12.04.2019 Про затвердження Методичних рекомендацій з розроблення регіональних планів управління відходами. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0142737-19#Text>.

11) Стан сфери поводження з побутовими відходами в Україні за 2020 рік. URL: <https://www.minregion.gov.ua/napryamki-diyalnosti/zhkh/terretory/stan-sfery-povodzhennya-z-pobutovumu-vidhodamy-v-ukrayini-za-2020-rik-2/>

12) Управління та поводження з відходами: Підручник/Т.П. Шаніна, О.Р. Губанова, М.О. Клименко, Т.А. Сафранов, В.Ю. Коріневська, О.О. Бедункова, А.І. Волков. За ред. Т.А.Сафранова, М.О. Клименка, - Одеса: Вид-во ОДЕКУ, 2011. – 258 с.

13) Управління та поводження з муніципальними відходами: Практикум/ Сафранов Т.А., Шаніна Т.П., Губанова О.Р., Приходько В.Ю. - Одеса: Вид-во ПП «ТЕС», 2014. – 198 с.

14) Практичні аспекти управління відходами в Україні. Посібник / Барінов М.О.,Олексієвець І.Л., Родная Д.В., Журавель Т.В., Коломієць С.В., Козлова І. А., Пархоменко Г.П. – К.: «Поліграф плюс», 2021. – 118 с.

15) Коваленко І.В., Кузнецова І.О., Шевченко Р.І., Гаркович О.Л. Поводження з муніципальними відходами: навч. посібн. для студ. закладів вищої освіти. Одеса : ОНАХТ «Академія», 2018. 150 с.

16) Стандарт Міністерства з питань житлово-комунального господарства України СОУ ЖКГ 10.09-014:2010 «Побутові відходи. Технологія перероблення органічної речовини, що є у складі побутових відходів» URL: [https://zakononline.com.ua/documents/show/100645\\_\\_\\_100645](https://zakononline.com.ua/documents/show/100645___100645).

17) Відходи виробництва і споживання та їх вплив на ґрунти і природні води: Навчальний посібник / За ред. В.К. Хільчевського. - К.: Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет", 2017. - 152 с.

18) Про затвердження Правил охорони праці під час експлуатації обладнання, що працює під тиском. Наказ Міністерства соціальної політики України № 333 від 05.03.2018 URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0433-18#Text> (дата звернення: 22.11.2023).

19) Про затвердження Правил пожежної безпеки в Україні. Офіційний вебпортал парламенту України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0252-15#Text> (дата звернення: 12.11.2023).

20) Guide to Biogas - From production to use. URL: [https://www.fnr.de/fileadmin/Projekte/2021/Mediathek/guide\\_biogas\\_engl\\_2012.pdf](https://www.fnr.de/fileadmin/Projekte/2021/Mediathek/guide_biogas_engl_2012.pdf)

21) М.С.Лемешев, А.Д. Майданюк Вимоги безпеки під час роботи з установкою для отримання біогазу URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/itpf/2016/paper/download/1461/1155>

22) Методичні вказівки до виконання розділу «Цивільний захист» в дипломних проектах студентів усіх напрямів підготовки денної та заочної форм навчання / Автори О. А. Нетребський, І. А. Дюдіна, З. М. Сахарова. – Одеса: ОНАХТ, 2012. – 34 с.