

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
Факультет захисту рослин, біотехнологій та екології
Кафедра екобіотехнології та біорізноманіття

УДК:602:547.918:579

Допускається до захисту:
декан факультету

Ю.В.Коломієць

Пояснювальна записка

до випускної магістерської роботи

«Магістр»

на тему: «Порівняльний аналіз біогазу за біохімічними показниками з БГУ і
полігонів ТПВ»

Виконав:

студент ОС «Магістр»
спеціальність 162 «Біотехнології та біоінженерія»

(прізвище та ініціали)

Керівник

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(прізвище та ініціали)

Київ – 2022 р.

**Національний університет біоресурсів і
природокористування України**

Факультет захисту рослин, біотехнологій та екології

Кафедра екобіотехнології та біорізноманіття

Освітній ступінь «Магістр»

Спеціальність 162 «Біотехнології та біоінженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

2022 р.

ЗАВДАННЯ

НА ВИПУСКНУ МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Андрущенко Катерині Іванівні

1. Тема роботи: "**Порівняльний аналіз біогазу за біохімічними показниками з БГУ і полігонів ТПВ**" затверджена наказом ректора від « » вересня 2021 р. № " "

2. Строк подання студентом: «25» листопада 2022 р.

3. Вихідні дані до роботи: літературні відомості про зважувальний біогаз, біогаз з БГУ, розрахунки одержання біогазу з різної органічної сировини, значення розвитку біогазового виробництва для народного господарства.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки: Вступ. Розділ 1. Літературний огляд. Розділ 2. Матеріали та методи досліджень. Розділ 3. Результати проведених досліджень. Розділ 4. Заходи безпеки при роботі з метантенком. Розділ 5. Ефективність біогазових технологій. Висновки. Список використаних джерел.

5. Консультації розділів роботи

Розділ	ПІБ, та посада консультанта	Дата, підпис	Завдання видав	Завдання прийняв
	Лісовий М.М., професор кафедри Екобіотехнології та біорізноманіття			

6. Дата видачі завдання «2» вересня 2021р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів випускної магістерської роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Отримання теми дипломної роботи	3.09.2021	
2	Підбір літератури за темою, систематизація отриманого матеріалу	3.09.2021-7.10.2021	
3	Написання першого розділу за темою	4.09.2021-28.09.2021	
4	Написання другого розділу	29.09.2021-21.10.2021	
5	Написання третього розділу	22.10.2021-10.12.2021	
6	Написання четвертого розділу	11.12.2021-17.01.2022	
7	Написання висновків	18.01.2022-23.02.2022	
8	Оформлення дипломної роботи	24.02.2022-25.03.2022	
9	Перевірка дипломної роботи керівником	26.03.2022-27.04.2022	
10	Захист дипломної роботи	29.04.2022-15.12.2022	

Студент

Андрущенко К.І./

Керівник роботи

/ Лісовий М.М./

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломної роботи "Порівняльний аналіз біогазу за біохімічними показниками з БГУ і полігонів ТПВ": 92 сторінки, 14 рисунків, 11 таблиць, 43 використаних джерела.

Об'єкт дослідження – біотехнології отримання біогазу та порівняльний аналіз за біохімічними показниками.

Предмет дослідження – біогаз з БГУ і полігонів ТПВ, біохімічні показники.

Мета роботи – Провести аналітичні дослідження щодо визначення основних керуваних параметрів процесу метанового зброджування органічної біомаси суміжних біотехнологічних процесів як біотехнічної системи.

Для досягнення поставленої мети виникла необхідність в огляді технологій і продуктів переробки органічних відходів. Розглянуто існуючі і перспективні біотехнологічні процеси переробки органічних відходів. Описана характеристика сировини і технологія анаеробної ферментації, яка дає змогу переробити органічні відходи на високоякісні знезаражені органічні добрива та отримати біогаз – нетрадиційне джерело відновлюваної енергії.

Методи дослідження: аналіз літературних даних, порівняльний аналіз, технологічні схеми отримання біогазу різного походження.

БІОГАЗ, ЗВАЛИЩНИЙ ГАЗ, БІОГАЗОВА УСТАНОВКА (БГУ), ПОЛІГОН ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ (ТПВ), ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ.

ВСТУП

Актуальність теми

Сучасний стан сільськогосподарського виробництва потребує зниження витрат енергії, пошуку її альтернативних джерел, отримання в достатній кількості якісних органічних добрив для відтворення родючості ґрунтів, а також усунення екологічних проблем, пов'язаних з забрудненням навколишнього середовища відходами тваринництва [9].

Однією з найбільш перспективних технологій утилізації безпідстилкового гною ВРХ є метанове зброджування, яке, на відміну від традиційних технологій використання гною, дозволяє отримувати біогаз як нетрадиційне джерело енергії і високоякісні незаражені органічні добрива.

Незважаючи на всі переваги і значні досягнення за останні десятиліття по розробці технологій і обладнання метанове зброджування не знайшло використання в сільськогосподарському виробництві України. Широке впровадження метанового зброджування безпідстилкового гною ВРХ стримується декількома причинами, в тому числі високою матеріаломісткістю і складністю технологічного обладнання, а також відсутністю взаємозв'язку його основних біотехнологічних показників з сумісними технологічними операціями по принципу біоконверсного комплексу.

Проте, до теперішнього часу ці питання практично не вирішені. Практично не вивчався процес підготовки біомаси безпідстилкового гною ВРХ до ферментації з врахуванням параметрів технологічного процесу видалення та накопичення гною.

Потребують подальшого дослідження основні параметри процесу і шляхи його інтенсифікації. Виникла необхідність в розробці більш ефективних конструкцій мікробіологічних реакторів.

Підраховано, що річна потреба в біогазі для обігріву житлового будинку складає близько 45 м³ на 1 м² житлової площі, добове споживання при підігріві води для 100 голів великої рогатої худоби – 5–6 м³. Споживання біогазу при сушці сіна (1 т вогкістю 40% рівно 100 м³, 1 т зерна – 15 м³ для отримання 1 кВт*год електроенергії – 0,7–0,8 м³.

В Україні тільки на крупних свинарських і птахівничих підприємствах щорічно утворюється більше 3 млн. т органічних відходів по сухій речовині, переробка яких дозволить отримати близько 1 млн. т у.п. у вигляді біогазу, що еквівалентно 8 млрд. кВт*год. електроенергії. Крім того, в Україні є близько 2 млн. не газифікованих сімейних садиб. Досвід країн, не забезпечених природним газом (наприклад, КНР), показує, що віддалені сільські місцевості доцільно газифікувати за допомогою малих біоустановок, що працюють на органічних відходах сімейних садиб. Так, упровадження 2 млн. установок в Україні дозволило б отримати близько 2 млрд. м³ біогазу в рік, що еквівалентно 13 млрд. кВт*год енергії, і забезпечило б сімейні садиби органічним добривом в кількості 10 млн. тонн в рік.

Різке зростання споживання в останні десятиліття у всьому світі привів до істотного збільшення об'ємів утворення твердих побутових відходів (ТПВ). В даний час маса потоку ТПВ, що надходить щорічно в біосферу, досягла майже геологічного масштабу і становить близько 400 млн. тонн на рік. Вплив потоку ТПВ гостро позначається на глобальних геохімічних циклах ряду біофільних елементів, зокрема органічного вуглецю. Так, маса цього елемента, що надходить в навколишнє середовище з відходами, становить приблизно 85 млн. тонн на рік, в той час як загальний природний приплив вуглецю в ґрунтовий покрив планети складає лише 41,4 млн. тонн в рік.

Одним з основних способів видалення ТПВ у всьому світі залишається поховання в приповерхневому геологічному середовищі. У цих умовах відходи піддаються інтенсивному біохімічному розкладу, яке викликає генерацію біогазу, званого (ЗГ) звалища газ.

Для розвитку біоенергетики в Україні з метою отримання біогазу і високоякісних добрив необхідне створення економічного механізму, стимулюючого науково-технічні роботи в даній області, виробництво і упровадження відповідного устаткування.

РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ТЕХНОЛОГІЙ І ПРОДУКТІВ ПЕРЕРОБКИ ОРГАНІЧНИХ ВІДХОДІВ

1.1 Огляд існуючих і перспективних біотехнологічних процесів переробки органічних відходів

Біотехнологія – галузь науки, яка вивчає використання хіміко-біологічних процесів і агентів (мікроорганізмів, культур клітин і тканин рослинного і тваринного походження, ферментних препаратів та інших біологічно активних речовин) для розв'язання народногосподарських завдань

[2]. До біотехнологічних технологій відносять керовані технологічні процеси, які відбуваються при участі мікроорганізмів, клітин рослин і тварин, а також ферментів [3].

Переваги біотехнологічного процесу полягають в відсутності необхідності застосовувати високі температури і тиск при реалізації ферментативних реакцій, в безпеці для людини і навколишнього середовища, а також в порівняній простоті технічного забезпечення виробничих процесів.

Біотехнологічні процеси при утилізації і переробці органічних і організмівміщуючих сільськогосподарських відходів відомі і використовувались людством ще задовго до виникнення біотехнологій як науки, тобто ще до початку Допастеровської ери (до 1865 р.) відповідно з прийнятою на III з'їзді Європейської асоціації біотехнологів (Мюнхен, 1984 р.) класифікацію періодів історії розвитку біотехнології.

До існуючих і перспективних біотехнологічних процесів переробки органічних відходів можливо віднести наступні процеси [10]:

при переробці рідких відходів:

- анаеробне зброджування;
- аеробне зброджування;
- культивування мікроводоростей;

при переробці твердих відходів:

компостування;
– вермикультивування;
– культивування синантропних мух;
– мікокультивування.

Основні біотехнологічні процеси переробки органічних відходів сільськогосподарського виробництва і їх класифікація за типом ферментера та за видом перероблюваних відходів представлені на рис. 1.1.

В дану систему класифікації біотехнологічних процесів ввійшли біологічні процеси культивування нижчих і вищих організмів, а саме вермикультивування, культивування мікроводоростей, культивування личинок синантропних мух, а також мікокультивування. Крім того, компостування органічних відходів теж віднесено до біотехнологічних процесів як динамічний багатостадійний мікробний процес, який проходить завдяки активності спільноти мікроорганізмів різноманітних груп мікроорганізмів та макрофлори і фауни [3].

Процес компостування є одним з найбільш вивчених і широко використовуваних біологічних способів переробки органічних відходів. В процесі компостування приймає участь велика кількість видів бактерій – більше 2000 і не менше 50 видів грибів. Ці види можливо підрозділити на групи по температурним інтервалам, в яких кожна з них активна. Для прихрофілів оптимальною є температура нижче 20°C, для мезофілів – від 20°C до 40°C і термофілів – вище 40°C. Сам процес компостування прийнято поділяти на чотири стадії: мезофільну, термофільну, остигання і дозрівання. Компостування широко застосовується в системах утилізації відходів тваринницьких підприємств. Швидкість розподілення органічної речовини залежить від вологості маси та аерації. Найбільш енергійно вона розкладається при вологості 55...77%. При зниженні або підвищенні вологості швидкість розкладання різко знижується. Оптимальне значення параметру аерації при компостуванні повинно підтримувати концентрацію кисню (O₂) в межах 10... 18% [10].

Вітчизняні і зарубіжні системи переробки безпідстилкового тноу шляхом компостування базуються на використанні механічних операцій фракціонування або змішування з вологопоглиначами (соломою, торфом, тирсою, ґрунтом, тощо) з метою досягнення оптимальних значень вологості маси [1].

НУБІП України

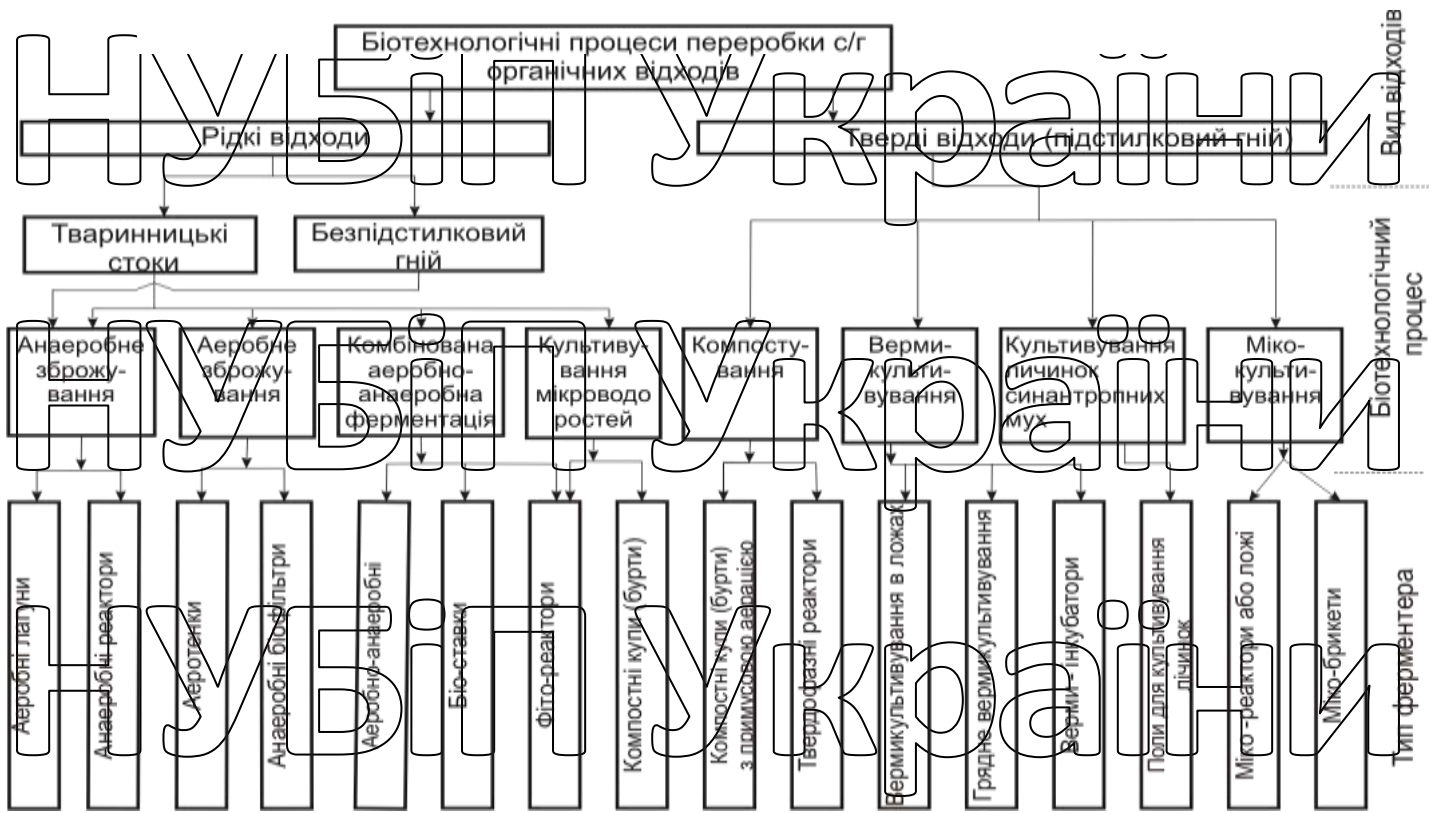
НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України



НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

Рис. 1.1 Біотехнологічні процеси переробки органічних відходів сільськогосподарського виробництва і їх класифікація за типом ферментера, що використовується, та за видом відходів, що переробляються

Процес компостування близький до біотехнологічного процесу твердофазної ферментації і по типу ферментера системи компостування можливо класифікувати наступним чином:

відкриті або безреакторні системи (стаціонарні бурти з природною або примусовою аерацією);

бурти, що перемішуються, з природною або примусовою аерацією; твердофазні реактори.

В свою чергу твердофазні реактори можуть бути періодичної чи безперервної дії, з рухомим чи нерухомим шаром, що аерується.

Застосовують різні способи укладки маси в бурти або в компостні купи.

Рихла укладка маси в вузькі, не ширше 2...3 м, штабелі має назву гарячого зберігання. Більш щільне укладання маси в штабелі розміром не менше 5 м в ширину і 2 м в висоту називають анаеробним або холодним зберіганням.

При гарячепресованому способі компостування масу укладають рихло шарами товщиною по 80... 100 см з послідовним ущільненням кожного шару після підвищення температури в штабелі до 55...60°C. В нього кладуть не менше 3...4 шарів, щоб загальна висота його після ущільнення була не менше 2 м [11].

Таким чином, при відкритому компостуванні органічна маса підлягає ферментуванню і при рихлій (не ущільненій) укладці домінує аеробна твердофазна ферментація, при холодному зберіганні – анаеробна твердофазна ферментація, при гарячепресованому способі спочатку аеробна, а потім анаеробна ферментація.

В механізованих системах компостування, які знайшли використання в розвинених країнах, застосовують в основному твердофазні реактори прискореної аеробної ферментації. Відповідно процесу Дейно масу

розміщують на 1..5 діб в аерований барабан, який повільно обертається, а потім витримують на протязі 14..30 діб в буртах при періодичному механічному перелопачуванні [11]. Проте, такі твердофазні реактори барабанного, а потім баштового типу, практично не знайшли використання в сільськогосподарському виробництві, а найбільш широко застосовуються при переробці твердих відходів комунального господарства.

Не зважаючи на значні переваги процесу компостування в відкритих безреакторних системах (буртах), а саме: відсутності потреби в дорогому і складному обладнанні, зменшенні кількості відходів на 40..60% від початкової, знезараження більшості патогенної мікрофлори і отримання якісних гуміновміщуючих органічних добрив, подальший розвиток систем компостування йде в напрямку розробки закритих ферментерів твердофазних аеробних реакторів [12]. Це обумовлено, в першу чергу,

екологічними проблемами через значне забруднення повітряного і водних басейнів при відкритому компостуванні, а також значними втратами органіки і поживних речовин. Так, наприклад, з накопичуваних в Україні на початку 90-х років 240 млн. тонн підстилкового гною до 90 млн. тонн безповоротно були втрачені при компостуванні [13]. Крім того, в Україні до 10 млн. тонн

сополи витрачається в якості вологопоглинача і підстилки. Все це обумовило необхідність пошуку альтернативних варіантів видалення та переробки гною. В теперішній час спеціалістами ІМТ НААН, ННЦ "ІМЕСР НААН" ведеться розробка технологій і обладнання для виробництва високоякісних компостів шляхом використання твердофазних аеробних реакторів [1]. В основному, це закриті ферментери з примусовою аерацією і періодичним завантаженням.

В останній час зріс інтерес до процесу компостування як до технологічної операції приготування поживних субстратів для процесів верми-та мікокультивування.

В останнє десятиріччя в зв'язку з загостренням екологічної ситуації і необхідністю відновлення родючості ґрунтів особливий інтерес викликає вермикультивування – процес вирощування культури дощових черв'яків з

метою отримання високоякісного біологічно активного добрива (біогумусу) і білкової маси черв'яків. В природі існує багато різноманітних видів черв'яків, більшість з яких на території України відносяться до сімейства люмбрицид. Проте, лише деякі піддаються культивуванню в штучних умовах. Це гнойовий черв'як *Eisenia foetida*, звичайний дощовий черв'як *Lumbricus terrestris* та декілька інших видів [10].

Вермикультивування знайшло широке використання в США, Японії, ФРН, Франції, Італії, Швейцарії, Польщі, Угорщині, Китаї і інших країнах для переробки органічної сировини в біогумус і отримання білкових кормових добавок в раціони сільськогосподарських тварин, а також отримання сировини для харчової, фармакологічної та парфумерної промисловості. Особливо значні успіхи розвитку вермикультивування відбулися після виведення в університеті штату Каліфорнія лікарем Барретом в 1959 р., після

20 років роботи над звичайним гнойовим черв'яком, нової раси – каліфорнійського червоного гібриду. На відміну від звичайного дощового черв'яка, він живе не 4, а 16 років, пристосований до штучних умов життя (втратив інстинкт покидати субстрат при незвичайних умовах, має вищу плодовитість, швидше росте, харчується різноманітними органічними відходами). В 80-ті роки технологія вермикультивування і культура черв'яка потрапили на територію України [14].

Маточну культуру червоного каліфорнійського черв'яка в кількості 6 млн.шт. було завезено в Івано-Франківську область з Польщі, а в 1990 р. в господарствах асоціації "Біоконверсія" їх було вже 700 млн. шт. при виробництві біогумусу до 1000 тонн на рік. В теперішній час за даними НДЦ "Біогумус" (м. Івано-Франківськ) виробництво товарного біогумусу в Україні складає приблизно 100 тис. тонн на рік.

Процес вермикультивування проводять як на відкритих майданчиках, так і в спеціальних закритих спорудах (вермиінкубаторах). В вітчизняній і закордонній літературі описані різноманітні способи вермикультивування. Найбільш розповсюдженим є вермикультивування в ложах і в грядках.

НУВБІП УКРАЇНИ

Подальше широке впровадження вермикультивування в Україні стримується відсутністю засобів механізації (40...60% всіх операцій вермикультивування в ложах виконується вручну). В теперішній час розроблені вихідні вимоги на механізовані технології, на обладнання для їх реалізації [15,16] і приводяться роботи по розробці і випуску спеціалізованого обладнання як для відкритих майданчиків, так і для вермиінкубаторів.

НУВБІП УКРАЇНИ

Значною кількістю дослідів, а також за результатами довгострокового використання біогумусу в якості добрива, встановлено, що його внесення в дозах на порядок нижчий, ніж традиційних органічних добрив дає прибавку

НУВБІП УКРАЇНИ

врожайності на 15...100% і відновлює родючість ґрунтів [1]. При цьому значно покращується якість отриманої продукції рослинництва, підвищується вміст вітамінів, різко знижується кількість нітратів, солей важких металів і радіонуклідів. Крім біогумусу, можливо використання біомаси черв'яків, яка

НУВБІП УКРАЇНИ

вміщує майже всі амінокислоти, до 60% сирого протеїну, 6...9% ліпідів і 7...16% азотистих екстрактивних речовин. Біомасу черв'яків можливо згодовувати тваринам і птиці як в сирому, так і в переробленому вигляді, в кількості, яка задовольняє їх потребу в білку. М'ясо тварин при цьому набуває високої товарної якості. Все це дає можливість оцінювати процес

НУВБІП УКРАЇНИ

вермикультивування як один з найперспективних біотехнологічних процесів.

НУВБІП УКРАЇНИ

До перспективних біотехнологічних процесів відноситься і процес мікокультивування, в тому числі і вирощування базидіальних і міцеліальних грибів при утилізації твердих сільськогосподарських відходів [14].

НУВБІП УКРАЇНИ

В промисловому культивуванні особливий інтерес представляють так звані дереворуйнуючі гриби – єдина група організмів, які мають здатність ефективно утилізувати лігно целюлозні комплекси. Ці гриби мають здатність плодоносити в стерильних умовах без будь-якого симбіозу. Енергія росту ксиліфітів в декілька раз вища, ніж в інших вищих базидіальних грибах.

НУВБІП УКРАЇНИ

Найбільшого поширення в промисловому мікокультивуванні отримали *Cultake lentinus* Ed., глива устрична *Pleurotus ostreatus*, які займають в

світовому виробництві відносно друге і третє місце після печериці двошпорової *Agaricus bisporus*.

Процес мікокультивування передбачає стерилізацію поживного субстрату, тобто відноситься до стерильних біотехнологічних процесів.

Відходи тваринництва при мікокультивуванні використовуються в вигляді складових частин поживного субстрату або природні замінники добавок мінеральних солей після попередньої ферментації. В останній час підвищився інтерес до мікокультивування як до джерела сировини для отримання хітину,

який включає в себе оболонка клітин грибів. Хітиновміщуючі препарати використовуються як адсорбенти радіонуклідів, а також можуть служити в майбутньому альтернативою антибіотикам.

На відміну від розвинених країн в Україні мікокультивування ще не знайшло достатньо широкого використання.

Одним із перспективних, на початку 70-х років, при утилізації відходів тваринництва вважався процес культивування личинок симантропних мух. З 1972 р. у Всесоюзному інституті тваринництва було розпочато дослідження по вирощуванню личинок кімнатної мухи з метою знезараження гною і отримання кормового продукту для тварин [10]. В початковій стадії

культивування личинок незначно знижувалось загальне бактеріальне обсіменіння. В кінці процесу відмічалось подальше зниження загального бактеріального обсіменіння, коли-титр доходив до 10^4 і зменшувалась анаеробна мікрофлора. На основі цих досліджень Новосибірським СП була

розроблена стаціонарна експериментальна установка по переробці гною свиней личинками кімнатної мухи. Для отримання яєць в інсектарії підтримувалась температура $26...28^{\circ}\text{C}$, вологість 50...60% і освітленість 40 лк. Установка дозволяла переробляти до 1 тонни гною свиней вологістю 65...80% при оптимальній нормі внесення яєць мухи 0,3...0,4 г на 1 кг гною.

Вихід личинок склав до 100...125 г на 1 кг гною. Експозиція технологічного циклу складала 4...5 діб. Не дивлячись на отримання якісної білкової маси і можливості використання її в якості кормової добавки, даний метод не

знайшов подальшого розвитку через свої недоліки: недостатній знезаражувачий ефект, труднощі підтримання безперервності процесу, можливість накопичення шкідливих речовин в організмах культивованих личинок, висока трудомісткість.

Біотехнологічні процеси знайшли широке застосування при переробці і утилізації рідких органомішучих відходів. Біологічні методи очищення стічних вод вважаються найбільш економічно ефективними і сприятливими з екологічної точки зору. Основою цих процесів є використання властивості

нижчих і вищих організмів утилізувати як поживні речовини розчинені в стічних водах органічні сполуки. В залежності від типу мікроорганізмів, які використовуються як біологічний агент, очищення може відбуватися як в присутності кисню (аеробна ферментація), так і при його відсутності

(анаеробна ферментація). Найбільш широке розповсюдження раніше мав спосіб природного біологічного очищення – поля зрошення. Оскільки в ґрунті відсутні сприятливі умови для розвитку патогенної мікрофлори, то при наявності нормальної ґрунтової мікрофлори відбувається природне знезараження стічних вод. В результаті ґрунтового очищення одночасно

вирішуються дві основні задачі – мінералізація внесеної органічної речовини і знезараження. Ґрунт має високі властивості переробляти органічні речовини, ефективність ґрунтового очищення від них досягає 90...99% [1,2]. Не

дивлячись на те, що використання полів зрошень при утилізації стічних вод тваринницьких комплексів сприяє підвищенню урожайності і економії мінеральних добрив, в процесі ґрунтової утилізації в ґрунт поступають шкідливі речовини, патогенні мікроорганізми і яйця гельмінтів, які зберігають свою життєздатність довгий час. Цілий ряд досліджень [17] виявив

довгострокове зберігання патогенних організмів, обсіменіння ними ґрунтових вод, засолення ґрунтів. Екологічна небезпечність даного процесу обумовила необхідність пошуку альтернативних технологій.

Біологічні ставки (лагуни) займають проміжне положення між природними і штучними ферментерами. Їм притаманна стабільна задовільна

якість очищення при простих і дешевих способах експлуатації. Існує декілька типів біологічних ставків з різною проточністю (безстічні, контакти, каскадні) і механізмом очищення (анаеробні, факультативно-анаеробні, аеробні та керовані), кожен з яких застосовується в залежності від конкретних умов і задач [18].

Відомі також ефективні системи очищення і утилізації рідких гнойових стоків в рибоводно-біологічних ставках [18], які дають можливість отримувати до 50 ц/га біомаси ракоподібних, 6..8 ц/га біомаси ставкового коропа. Складний комплекс водних організмів забезпечує високий ступінь

очищення, проте в очищених стоках періодично знаходять патогенні штами кишкової палички, що потребує додаткових методів знезараження. Серед біотехнологічних процесів очищення стоків найбільше поширення мають аеробні системи, які базуються на використанні аеробної мікрофлори, що

спроможна активно переробляти органічні забрудники при наявності необхідної кількості кисню і в незначній кількості біогенних речовин в вигляді азото- і фосфоровміщуючих речовин. На практиці для аеробного очищення стоків використовують різноманітні технічні системи (ферментери). Якщо стічні води не сильно забруднені, то для очищення

використовують очищення на крапельних або біологічних фільтрах, в яких бактерії знаходяться в нерухомому стані в слизовій плівці на крупнозернистій поверхні наповнювача. Прикладом інтенсивного очищення більш забруднених стоків – системи аерованих ставків, в які повітря подається за

допомогою спеціальних механічних аераторів, і аеротенки. Останні являють собою резервуар, в якому безперервно відбувається звшування стічних вод, мікробного мулу і повітря. Аеротенки працюють в комплекті з відстійниками, де осаджується мул, який накопичується в значній кількості.

Аеротенки, як біологічні реактори, можливо умовно розділити на реактори витіснення і повного змішування. До реакторів витіснення відносяться аеротенки коридорного типу, в яких достатньо глибоко відбувається деструкція органічної речовини. Аеротенки повного змішування звичайно

використовують для очищення стоків з БПК до 3000 мг/л. Активний мул після відстійників має вологість 95..99% [19]. Такі системи широко застосовуються при очищенні міських комунальних стоків і стоків переробних підприємств.

Аеробне біологічне очищення рідких стоків тваринницьких комплексів в 70-х роках представлялось альтернативою довгострокового (20...30 діб) очищення в біоставках, які потребували значних матеріальних витрат і земельних площ. Було розроблено і впроваджено в виробництво багато варіантів аераторів і аеротенків для очищення тваринницьких стоків [10].

Проте процес має суттєві недоліки, а саме: високі енерговитрати на аерацію, проблеми пов'язані з переробкою і утилізацією надлишкового мулу, забруднення повітря. На міжнародній конференції по використанню гною (1976 р.) було однозначно вказано, що безпідстилковий гній необхідно вносити тільки в ґрунт. Скидання його в водойми навіть після очищення будь-якими, в тому числі і біологічними способами, недопустиме. В розвинених країнах повністю відмовились від видалення гною гідрозмивом як від екологічно небезпечного. В Україні до цього часу ще функціонують такі системи на деяких тваринницьких комплексах, що призводить до значного накопичення стоків і необхідності їх аерування.

За останні роки в світі, а також в Україні, широкий розвиток отримало масове культивування мікроводоростей (хлорели, сценедесмуса), ціанобактерій (спіруліни) як неперевершених продуцентів білка [14].

Мікроводорості широко використовуються як кормові добавки в раціонах сільськогосподарських тварин. Дослідження [19] показали, що добавка суспензії хлорели по 10 л на голову дійних корів на протязі 45...90 діб дає приріст живої ваги середньому на 20 кг, молока – на 64 кг і жирності молока на 0,2% в порівнянні з контрольними тваринами.

При культивуванні протококкових водостей на мінеральних середовищах найбільш часто вживають середовища Тамія, Майєрса, Прага Кнопа та ін. Так, для виробництва однієї тонни сухої біомаси хлорели витрачається 1370 л 1750 кг мінеральних солей. Дослідження показали, що застосування стічних

вод тваринництва може бути природним джерелом мінеральних солей і слугувати очищенню самих стоків. За даними [19] при вирощуванні хлорели і сценедесмуса на міських комунально-побутових стоках за 5...8 діб відбувається зростання водоростей до густини 0,65...1,1 г/л сухої речовини, а БПК стоку при цьому знижується на 90... 97%.

Досліди по використанню в якості поживного середовища гною ВРХ при розведенні 1:20... 1:40 дали добрі результати. На 10-у добу приріст хлорели на гнойовому середовищі був вищий на 71%, ніж на середовищі Тамія.

Обнадійливі результати отримані [19] при використанні в якості поживних середовищ для культивування мікроводоростей рідких продуктів анаеробної ферментації.

Для культивування мікроводоростей застосовують різноманітні культиватори (фіто-реактори) [20], які розподіляються за джерелом опромінення на установки з природним, штучним або комбінованим опроміненням; по типу циркуляції поживного середовища установки закритої циркуляції, конвейерні установки, відкриті неглибинні системи, установки закритого глибинного типу і установки відкритого глибинного типу.

Ефективним і перспективним є використання анаеробної ферментації тваринницьких стоків і безпідстилкового гною.

Таким чином, огляд літератури по застосуванню існуючих і дослідженнях перспективних біотехнологічних процесів переробки органічних сільськогосподарських відходів вказує на можливість і об'єктивну необхідність залучення до сільськогосподарського виробництва біотехнологічних процесів, в тому числі і мікробіологічної ферментації гнойової біомаси.

Технології анаеробної ферментації органічних відходів

Біотехнологічні процеси анаеробної ферментації органічних відходів широко застосовуються при очищенні комунальних стоків, стоків

підприємств переробної промисловості, а також при отриманні біогазу і кормових препаратів вітаміну В12 [10]. Слід відмітити, що в сучасному біотехнологічному виробництві широко використовуються процеси анаеробної ферментації або бродіння.

Розрізняють шість видів ферментації біомаси, що проходять одночасно або послідовно [1]:

- амонієва,
- азотна,
- вивільняюча азот, якій підлягають азотні складові сировини,
- окислювальна,
- кислотна,
- метанова, якій піддаються вуглеводні з сировини, зокрема, целюлоза.

Особливої уваги заслуговує метанова ферментація, яка вивільнює горючий газ – метан, а також амонієва ферментація, продуктом якої є аміак у вигляді розчинних амонієвих солей.

Розпад целюлози у процесі метанового бродіння протікає наступним чином:



целюлоза, CO_2 – двоокис вуглецю, CH_4 – метан, $[J]$ – енергія (тепло).

У результаті розкладу вуглеводнів органічної речовини, виникають низькомолекулярні з'єднання. Розклад твердих складових сировини проходить тим швидше, чим нижчий ступінь їх полімеризації. Такі речовини,

як цукор, крохмаль, геміцелюлоза, піддаються швидкому розпаду у анаеробному процесі (без доступу кисню), утворюючи відповідні органічні

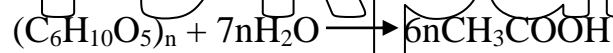
кислоти: оцтову, оліїну, молочну тощо. При швидкому накопиченні цих кислот у бродильному середовищі настає уповільнення ферментації. Високо полімеризовані речовини розкладаються повільніше, а згадані органічні

кислоти утворюються більш поступово. Це явище є сприятливим, оскільки подібний перебіг ферментації дозволяє отримувати досить велику кількість метану безперервно та рівномірно.

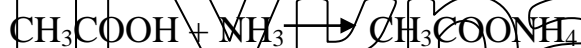
Метанізація цукрів у бродильному середовищі протікає за двома способами, кожен з яких включає по три фази:

• *Спосіб 1:*

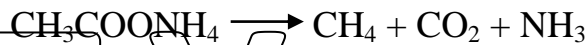
- Утворення кислоти - цукор біохімічно перетворюється в жирову кислоту:



- Утворення солі - жирова кислота реагує з основними компонентами з утворенням солі жирової кислоти:



- Утворення метану - сіль жирової кислоти розпадається з виділенням двоокису вуглецю та метану:

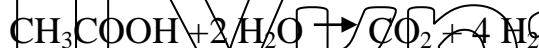


• *Спосіб 2:*

- Утворення кислоти, як і у способі 1.

- Утворення газів - жирова кислота розпадається на двоокис вуглецю та

водень:



- Утворення метану - двоокис вуглецю та водень сполучаються, утворюючи метан::



Не вся органічна сировина потребує проходження трьох фаз ферментації. Багато відходів, наприклад виділення тварин, відразу після виділення містять велику кількість частково розкладеної речовини, що підлягає проходженню наступних фаз процесу ферментації. Водночас, деякі органічні з'єднання

рослин (наприклад, лігнін) і всі неорганічні складові не піддаються зброуджуванню. Вони являють собою інертну в цьому процесі масу, та утворюють шлам, здатний засмітити систему. Близько 95% маси, якою

заповнений біогазогенератор при зброджуванні, складає вода.

Реакції, що відбуваються при зброджуванні органічної речовини, мають екзотермічний характер. У процесі їх протікання виділяється приблизно 1,5

МДж теплоти на 1 кг сухої маси матеріалу, що зброджується, тобто 25

КДж/моль $C_6H_{10}O_5$. Цієї теплової енергії, як правило, недостатньо для

підтримання відповідної температури біомаси, яку зброджують.

Якщо матеріал, призначений для зброджування, висушити і спалити, то теплота його згоряння складе приблизно 16 МДж/кг. Тобто, лише біля 10%

потенціальної теплоти згоряння втрачається у процесі зброджування. Отже,

ККД конверсії органічної речовини в біогазовому реакторі складає біля 90%.

Крім цього, матеріал з підвищеною вологістю, який вводиться у процес зброджування, дає високоякісне з добре керованим горінням газоподібне паливо,

у той час як одне лише видалення 95% вологи вимагає до 40 МДж теплоти на

кожний кілограм сухої речовини. На практиці зброджування рідко проводять до

кінця, так як це сильно збільшує тривалість процесу. Звичайно зброджують

приблизно 60% вихідного продукту. Вихід газу складає приблизно від 0,2 до 0,4

м³ на 1 кг бродильного сухого матеріалу при нормальних умовах і при витраті 5

кг сухої біомаси на 1 м³ води. Відомо, що існують три характерні рівні

температур, що сприяють розмноженню визначених видів бактерій.

Зброджування при більш високих температурах проходить швидше, ніж при

низьких і характеризується приблизно подвоєним виходом газу на кожні 5°C.

Ефективний перебіг метанової ферментації органічних речовин потребує

виконання чотирьох основних умов:

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

Виділення метану із речовини, що піддається ферментації, проходить лише в анаеробних умовах, тобто тоді, коли нема доступу кисню (повітря).

Тому ферментація повинна протікати у спеціальних резервуарах, закритих

ферментаційних камерах та іншому подібному обладнанні.

Дуже важливим фактором ефективного протікання процесу ферментації є температура маси, що зброджується. Метанова ферментація починається при температурі 6°C. При нижчій температурі – виділення метану припиняється.

Одночасно із зростанням температури, швидко збільшується кількість газу, що виділяється. Так, при температурі 30°C виділення біогазу відбувається в 12 разів швидше, ніж при температурі 10°C.

При використанні мезофільних бактерій раціональним температурним режимом вважають 30–35°C, для термофільних бактерій – 55–60°C.

Термофільні бактерії більш продуктивні, ніж мезофільні. Вони протягом часу експозиції (12–14 діб) мінералізують стільки ж органічних речовин, скільки мезофільні бактерії за 21–36 діб. Завдяки цьому, при однаковій кількості

виробництва біогазу за день, місткість ферментаційних резервуарів може бути значно меншою. Час експозиції залежить також від виду матеріалу, що

завантажується. Органічні речовини розпадаються з різною швидкістю.

Найдовший час експозиції буде при підвищеному вмісті целюлози та геміцелюлози, більш короткий – у випадку наявності у сировині білків та

жирів, а найкоротший – для цукрів. У випадку вмісту речовин, що важко розкладаються, (таких як целюлоза, геміцелюлоза та лігнін), можна

застосовувати двоступеневу ферментацію. Прискорити процес можна шляхом подрібнення або розведення маси. Разом з тим, враховуючи необхідність

підтримання більш високої температури маси, що бродить, витрати теплової енергії при реалізації термофільних процесів є значно вищими. При низькій

темperaturі навколишнього середовища та недостатній ізоляції резервуару, витрати теплової енергії можуть бути настільки великими, що біогазу, який

виробляється, не вистачить для обігрівання бродильної маси. У зв'язку з цим у європейських кліматичних умовах, ферментаційні камери звичайно

працюють у мезофільному діапазоні температур, тобто при 30–35°C.

Важливою умовою забезпечення регулярного протікання біохімічних процесів в біогазогенераторі є слаболужна реакція бродильного середовища,

при цьому задовільним вважають рН на рівні 6–8 (оптимальне значення знаходиться в межах 7–7,5 рН). Надто лужна реакція сиряє ферментації через патогенне гниття, але викликає небажане виділення сірководню. У надто кислому середовищі (при ферментації побутових відходів, виділень свиней) метанове бродіння може спинитись з блокуванням виділення біогазу.

Суттєве значення у процесі бродіння мають мікроорганізми. Для забезпечення метанової ферментації необхідна наявність у речовині метаногенних мікроорганізмів, а саме *Bacillus perfringens*. Ці мікроорганізми розвиваються лише у сприятливих умовах – в анаеробному середовищі у

слаболужній реакції при температурі 60–70°C. Для поліпшення протікання ферментації необхідне прививання відповідних колоній бактерій. Бажано також стимулювати початок ферментації шляхом додавання вже ферментованого субстрату, тобто, привити сировині бактерій відповідного

штаму, які реалізують цей процес. З метою уніфікації температури органічної речовини, що піддається ферментації, а також розповсюдження мікроорганізмів в біомасі, проводять систематичне її перемішування.

Перемішування зброджуваної речовини попереджає місцеву ферментацію, що викликається патогенами. Ферментація біомаси, як правило, проходить три етапи: гідролізу, кислої та метанової ферментації. Так як процес протікає завдяки бактеріям, їм необхідно створити відповідні умови, а саме:

- температуру, яка підходить для даного штаму бактерій,
- час експозиції, що визначають за часом притоку сировини до біогазового реактору (його підбирають так, щоб попередити вимивання бактерій з місткості),
- відповідне завантаження порцією додаткових матеріалів (надто високе призводить до перенавантаження системи, а надто мале – до згасання реакції),
- вміст інгібіторів процесу, таких як антибіотики або засоби охорони рослин.

Важливими умовами є збереження постійної температури під час протікання процесу в усьому об'ємі резервуару, а також заборона зміни складу та кількості завантаженої маси способом, що не контролюється (ці останні умови особливо важливі у випадку ферментації різних видів завантаженої маси). Тому правильність протікання процесу ферментації повинна контролюватися оцінкою вмісту метану у біогазі, що виробляється. Більш точним шляхом контролю протікання процесу є вимірювання вмісту летючих жирних кислот методом газової хроматографії, який є надто дорогим для господарського використання. Безкиснева переробка органічних речовин веде до виробництва летючих жирних кислот, які у другій фазі ферментації перетворюються у метан.

У сучасному біогазовому виробництві використовують три основні технології метанової ферментації: безперервну, змінну та періодичну.

Безперервна ферментація полягає у постійному – або з короткими перервами в часі – надходженні сировини (органічних відходів, відпелю тварин тощо) до реактора. Одночасно з подачею свіжої гноївки відбувається відтік маси, що перебродила. Сировина, що піддається ферментації, повинна мати рідку або напіврідку консистенцію. Найкраще для цього підходить гноївка великої рогатої худоби або свиней. Ця технологія потребує найменших ферментаційних камер і реалізує процес безперервного виробництва біогазу. Ферментаційні резервуари можуть встановлюватись горизонтально або вертикально, різними можуть бути способи перемішування (механічною мішалкою, перекачуванням сировини, вдуванням біогазу тощо) маси, а також способи введення та виведення сировини. Технологія з безперервною ферментацією належить до найбільш технічно відпрацьованих.

Змінна ферментація потребує побудови щонайменше двох ферментаційних резервуарів, які по черзі заповнюються сировиною. Через певний час (від 8 тижнів до декількох місяців) звільняють перший завантажений резервуар, залишивши в ньому невелику кількість шламів для прививання бактерій при наступному завантаженні. Виробництво біогазу при

використанні цієї технології є циклічним. Чим більше резервуарів, тим коротші перерви між циклами виробництва газу з різних місткостей.

Періодична ферментація відбувається за подібним до змінної ферментації процесом, але з використанням одного ферментаційного резервуару, який періодично заповнюють і після закінчення ферментації звільняють. Ця технологія застосовується за наявності густої сировини, такої як гній.

Ферментаційний резервуар являє собою ще і склад гною, який звільняється під час вивозу гною на поле. Часто ставляться вимоги, щоб період перебування гною у ферментаційному резервуарі був не меншим за 6 місяців. За таких

вимог і такої технології, виробництво газу можливе лише двічі на рік і є найнижчим у порівнянні з іншими технологіями.

Результати, що досягнуті в розвитку технічного забезпечення сільської місцевості з використанням біогазових установок, це лише невеликий крок в

напрямку вирішення загальної комплексної проблеми. Технології переробки органіки з використанням біомаси рослинного походження в біогазових установках набувають поширення у зв'язку зі скороченням поголів'я великої рогатої худоби та зростанням вартості традиційних енергоносіїв. Проте

технічне забезпечення в Україні цих технологій не відповідає сучасним вимогам і потребує відповідної розробки. Важливою умовою розвитку біогазових технологій на сучасному етапі є підвищення ефективності технічних засобів для виробництва біогазу з мінімальними викидами шкідливих газів в навколишнє середовище.

Вироблено та реалізовано концепцію технічного і технологічного вирішення проблеми сумісного використання органічних добрив та рослинної біомаси в біогазових реакторах [21]. Технологічний процес розпочинається в первинній місткості, де рідкі і тверді органічні добрива перемішуються до однорідної маси і подаються в реактор за допомогою помпи. Якщо суміш достатньо рідка, то від первинної місткості можна відмовитись, подаючи сировину безпосередньо в реактор. Це стає можливим при застосуванні суміші з сінажу кормових буряків. Бродіння проходить в реакторі, в якому

підтримується постійна температура 35–45°C. В цьому температурному режимі бактерії працюють найефективніше. З реактора суміш самоплином перетікає в місткість-сховище, де завершується бродіння. Так протікає технологічний процес роботи біогазової установки сховищно-поточного типу.

Під час бродіння в реакторі до бродильної суміші постійно додається свіжа суміш, яка і витісняє перероблену в іншу місткість. За допомогою механічних змішувачів процес бродіння в реакторі розподіляється рівномірно за об'ємом. Бродильна суміш залишається в реакторі стільки часу, скільки це біологічно необхідно для розкладання органічних речовин бактеріями. При

оптимальних умовах і температурі в реакторі 35–45°C органічні речовини розкладаються на 90...95 % за 35–45 діб. Особливу увагу необхідно звертати на однорідність бродильної суміші. В реакторі бактерії повинні бути постійно забезпечені органічними речовинами. Це потребує постійної подачі

однорідної органічної суміші в реактор. Біогаз має в своєму складі незначну кількість сірки, яка впливає на довговічність агрегатів біогазової установки. Для виділення сірки з біогазу на поверхню бродильної суміші в реакторі за допомогою невеликого компресора задувається свіже повітря. Це призводить до того, що спеціальні мікроорганізми перетворюють газоподібну сірку в твердий стан, яка стає цінною складовою органічних добрив.

Технологія вирощування рослинної маси обумовлює ефективність процесу зброджування. Вміст сирової фази в біомасі визначає час перебування субстрату в реакторі, а вміст сирової фази залежить від ступеню розвитку рослин. Тому, щоб забезпечити максимальний вихід метану з газу потрібно оптимізувати час скошування. Пізнє збирання дає високий вихід біомаси з гектара, а раннє – низький. Тому можливий питомий вихід метану з біомаси на гектар площі вирощеної біомаси може коливатись у значних межах.

Оскільки в суміші, якою є сировина для зброджування в біогазовому реакторі, важливим компонентом є гній, необхідно визначити його ефективність при утворенні біогазу. Оскільки одна гектова ВРХ виробляє щорічно близько 1,5 т сировини в формі органічних добрив, з яких вихід

метану становить в середньому 355 м³, а вихід метану з гектара рослин на енергетичні потреби відповідає виходу метану від 8-18 голів ВРХ. Ці розрахунки не визначають переробку органічних добрив як менш ефективну.

Доцільно використовувати обидва субстрати, які при об'єднанні створюють субстрат з поліпшеними якостями. Зокрема, підвищується якість органічних добрив, що одержують в процесі утилізації відходів тваринництва і рослинництва.

Всі, побудовані на даний момент, біогазові установки, як господарські, так і промислові, відрізняються великим різноманіттям специфічних виробничих, технологічних та технічних рішень.

1.3 Біогаз – важливий продукт метанового збродження органічних відходів

Одним із шляхів доповнення і часткової заміни традиційних видів палива в сільській місцевості є використання біогазу. Важливим аргументом на користь даного джерела енергії є необхідність вирішення на сучасному рівні екологічних проблем, що виникають при утилізації відходів у сільському господарстві. Однією з основних тенденцій у розгортанні екологічно безпечного виробництва продукції рослинництва і тваринництва є розвиток комплексних технологій із використанням процесів метанового збродження при утилізації біомаси, в результаті якого утворюється біогаз. Для виробництва біогазу придатними є різноманітні відходи агропромислового комплексу, які містять целюлозу та інші цукри. У сільськогосподарських та побутових відходах при певних умовах виникають біохімічні процеси, які називаються ферментацією. В результаті ферментації з сільськогосподарських відходів одержують не лише біогаз, але й концентровані органічні добрива, які є цінним продуктом для застосування в сучасних технологіях вирощування культур – системах органічного землеробства тощо.

Виробництво біогазу з різних видів сільськогосподарських відходів, головним чином гною, є традиційною технологією в ряді країн, що розвиваються. В останні роки біогазові установки отримали розповсюдження і в промислово розвинутих країнах, особливо в Західній Європі, де приблизно 3/4 приходить на невеликі установки з ємністю реакторів від 100 до 300 м³, утилізуючих в основному відходи тваринництва. Біля 90 більш великих промислових біогазових установок з робочим об'ємом реактора до 5000 м³ застосовуються для переробки стоків гною. Доцільність автономного енергозабезпечення ферм з власного джерела енергії та необхідність зменшення шкідливих викидів в оточуюче середовище роблять енергетичний біогазовий блок є обов'язковим елементом сучасних тваринницьких комплексів.

Зараз, загальна кількість промислових біогазових установок на території ЄС складає близько 750 одиниць, з них найбільше (500) знаходиться у Німеччині, в Австрії – 120, Італії – 70, Швейцарії – 59 і Данії – 40. Сьогодні у Данії існує близько 20 великих централізованих об'єктів типу CAD (Centralised Anaerobic Digestion), що обслуговують господарства у радіусі 10 – 15 кілометрів. В Австрії функціонує 3 об'єкти такого типу, у Швеції – 8, Італії – 5 і Німеччині – 3. Великі CAD-системи щорічно постачають з аграрних кооперативів по декілька сотень тонн сільськогосподарських відходів. Перевагами централізованих систем є можливості використання передових технологій знезаражування та звільнення від великої кількості баластних речовин у сировині. Такі централізовані CAD-системи мають ферментаційні камери місткістю до 10000 м³, в яких можна виробляти енергію у кількості від кількох сотень кВт до декількох МВт. Одним з недоліків централізованих систем є великі відстані, на які необхідно перевозити субстрати. Слід зазначити, що розмір інвестицій не обумовлює кількості установок, а їх число – обсягів виробленого біогазу. Наприклад, Італія, яка має 70 біогазових установок, виробляє у 6 разів менше біогазу, ніж Данія, де переважають великі централізовані CAD-системи [1].

Ферментація у невеликих камерах, без додаткового підігріву системи, де сировиною можуть бути гноївка та комунальні відходи, – можлива в країнах з високою середньою температурою навколишнього середовища та іншими, ніж у розвинених країнах, структурами сільського господарства. Ферментаційні камери місткістю 4 – 12 м³, що обслуговують одне або декілька господарств, найбільш популярні у країнах Африки та Азії. Біогаз, що виробляється в малих системах задовольняє енергетичні потреби господарств, служить для приготування їжі та освітлення приміщень. Найбільша кількість таких установок (8 мільйонів ферментаційних камер) знаходиться в Китаї.

Фізико-механічні властивості стоків гною залежать в основному від умов утримання тварин на фермі і способів прибирання гною (механічний, самоплинний або гідрозливний) і змінюються в межах: вологість 76,8–98,3%, зольність 14–22%. Об'єми стоків визначаються кількістю тварин, що одночасно утримуються на фермі, і сягають 44–468 м³ на фермах ВРХ і 37–2580 м³ на свинарських фермах. Частка метану у газах, які являють собою продукт метанової ферментації гноївки, залежить від її виду. Біогаз зі свинної гноївки складається з 70–80% метану, великої рогатої худоби – з 55–75%, а птишиної – з 60–80% метану. Іншу частину складають: двоокис вуглецю у кількості 20–45%, водень – 1–3%, кисень – 0,5–1%, а також сірководень і азот (на рівні 1–5%). Ємність метантенків на фермах, розрахована як величина, зворотна нормі добового завантаження з урахуванням коефіцієнта об'ємного розширення і густини стоків гною, коливається в широких межах. Наприклад, для ферм на 400 голів ВРХ молочного напрямку при зброджуванні в мезофільному режимі необхідно мати метантенк ємністю від 950 до 19530 м³, у термофільному – від 425 до 9765 м³. Утворений в результаті метанової ферментації біогаз є джерелом теплової або електричної енергії. Енергетична цінність біогазу залежить від частки метану і в середньому складає 17 – 23 МДж/м³ (табл. 1.1). З одного метра кубічного гноївки можна отримати близько 20 м³ біогазу енергетичною цінністю 20 – 25 МДж/м³ [1]. Після виділення з біогазу двоокису вуглецю шляхом розчинення його у лужній воді, можна

Отримати газ з вмістом до 95% метану, тоді його енергетична цінність зростає до 36 МДж/м³. Очищений метан є неотруйним горючим газом без кольору і запаху. У звичайних умовах метан важко зріджувати. Швидкість переміщення полум'я у біогазі не перевищує 50 м/с. Біогаз у суміші з повітрям вибухонебезпечний, якщо його частка становить 5–15%. Біогаз має октанове число біля LO≈125. Неочищений біогаз має характерний запах ферми або болота, завдяки чому його витік можна легко відчутти.

Таблиця 1.1

Фізичні властивості біогазу та його компонентів [22]

№ п/п	Найменування показника	Одиниця вимірювання	Складові біогазу				Біогаз (60% CH ₄ і 40% CO ₂)
			Метан CH ₄	Двоокс вуглецю CO ₂	Водень H ₂	Сірководень H ₂ S	
1	Об'ємна частка	%	55-70	27-44	1	3	100
2	Теплота згоряння	МДж/м ³	35,8	-	110	22,3	17 – 23
3	Температура запалення	°C	650-950	-	585	-	650-950
4	Критичний тиск	МПа	4,7	7,5-304	1,3	89	7,5-8,9
5	Критична температура	°C	190,5	1,98	0,09	373	190,5
6	Нормальна щільність	г/см ³	0,72	468	31	1,54	1,2
7	Критична щільність	г/см ³	162	2,5	0,07	349	320
8	Відносна щільність (до повітря)	-	0,55	-	-	1,2	0,83

В Україні обсяги виробництва біогазу з агропромислової сировини можна оцінити на рівні 1,6 млн. тонн умовного палива. Враховуючи сучасні технологічні можливості використання зеленої маси в якості вихідної сировини для одержання біогазу, потенціал біогазового палива можна вважати істотно більшим. Встановлено, що вихід метану з біомаси з одного гектара в середньому дорівнює виходу метану з органічних добрив від 8–18 голів ВРХ.

За попередніми оцінками з сировинної бази України, при частковому використанні ріллі і пасовищ для вирощування біомаси та органічних відходів тваринницьких комплексів, можна одержувати енергії у кількості до 2·10¹⁰

МДж/рік

Широке використання біогазу розпочалося на початку двадцятих років минулого століття, після розробки Імгоффом технології безперервного виробництва біогазу з очисних комунальних стоків. Перша установка для отримання газу зі стоків була побудована неподалік від Гааги. Проте, вона не забезпечувала переробки органічних відходів сільськогосподарської продукції, що містять більше целюлози. У 1942 році в Алжирі професори Дуцеллер та Ісманн запатентували установку для виробництва біогазу із гною з періодичною системою роботи, без засобів підігрівання сировини.

Енергетичні труднощі повоєнного періоду сприяли поширенню нової технології автономного енергозабезпечення. За короткий проміжок часу в Північній Африці, Італії та Франції було побудовано майже 1000 установок типу Дуцеллер – Ісманн для ферментації твердого гною. Пізніше, в останній чверті ХХ століття, в багатьох країнах Європи відновились інтенсивні експериментальні пошуки ефективної технології метанової ферментації, що дає можливість виробництва біогазу з різної сировини сільськогосподарського походження. В результаті широкомасштабних досліджень було створено технологію безкисневої переробки сільськогосподарських відходів, що відома

сьогодні в усьому світі. Її реалізація у різних регіонах має свою специфіку. В Європі, внаслідок низьких температур, застосовують додаткове підігрівання для забезпечення необхідної температури метанової ферментації. У більшості випадків використовують комплексні системи, що виробляють з біогазу одночасно теплоту та електроенергію, проте їх недоліком є високі одиничні інвестиційні витрати.

У порівнянні з іншими носіями енергії, біогаз вирізняється своєю перспективністю, особливо, для сільської місцевості (табл.1.2).

Таблиця 1.2

Енергомісткість біогазу у порівнянні з іншими носіями енергії [1]

№ п/п	Продукт	Одиниці вимірювання	Еквівалент 1 м ³ неочищеного біогазу 23 МДж/м ³	Еквівалент 1 м ³ очищеного біогазу 35,2 МДж/м ³
1	Спирт	дм ³	1,10	1,70
2	Бензин	дм ³	0,73	1,10
3	Електроенергія	кВт·год	0,620	0,940
4	Природний газ	м ³	0,61	0,93
5	Вугілля	кг	0,82	1,25

Іншим, після біогазу, продуктом метанової ферментації є погазовий шлам, який ще називають біошламом або обробленою гноївкою, який є цінним органічним добривом. Завдяки виробництву біогазу, власники господарств мають можливість отримання додаткових доходів від використання або продажу як біогазу, так і обробленої гноївки у вигляді високоякісних органічних добрив. Поживні речовини з переробленої гноївки набагато краще засвоюються сільськогосподарськими рослинами. Оброблена гноївка краще зневоджується (займає менший об'єм, завдяки чому її легше утилізувати) і майже не має запаху в порівнянні з необробленою. При застосуванні її в якості добрив зменшується забруднення ґрунтових вод і розповсюдження хвороб та бур'янів, що у свою чергу дозволяє зменшити витрати на хімічні засоби підживлення та захисту рослин.

1.4 Характеристика сировини

Вміст органічних речовин у біомасі, що піддається ферментації,

становить:

- у стоках – 0,04–0,06%;
- у харчових відходах – 15%;
- у гної та гноївці – 15–20%.

Виробництво біогазу суттєво залежить від складу вихідного матеріалу, тобто речовини, що завантажуються до ферментаційної камери. Сировиною, яку можна піддати метановій ферментації можуть бути практично всі відходи, що містять органічні компоненти, а особливо відходи рослинництва та

виділення тварин (рис. 1.2).

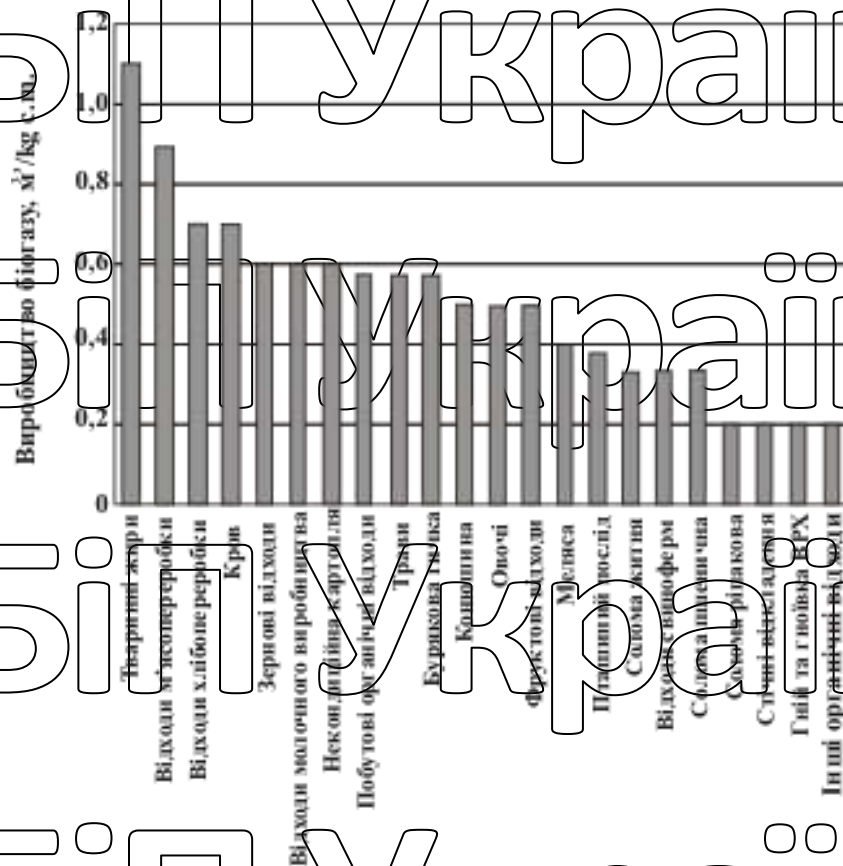


Рис. 1.2 Вихід біогазу з різних видів біомаси [1]

Компоненти, що знаходяться в органічній масі, сильно відрізняються як за швидкістю їх розпаду, так і за продуктивністю виробництва метану. Швидкість розпаду та вихід газу залежать від наступних чинників, а саме вмістів у сировині:

- сухої органічної маси (с.о.м.), що піддається біодеградації,
- вуглеводів, жирів (ліпідів) та білків,
- сухої маси (с.м.) — всієї сухої маси, яку завантажують у ферментаційну камеру.

Перший чинник, тобто вміст сухої органічної маси, показує кількість органічних речовин, які в процесі ферментації підлягають розкладу (табл.1.3).

Таблиця 1.3
Вміст сухої маси (с.м.) та сухої органічної маси (с.о.м.) у виділеннях тварин [1]

Вид тварин та вид відходів	Вміст у свіжих виділеннях та гноївці, %	
	Сухої маси	Сухої органічної маси
Виділення ВРХ	41	9
Гноївка ВРХ	6,5–10,5	4,8–8,0
Виділення свиней	8,5	6,5
Гноївка свиней	1,8–8,0	1,4–5,8
Виділення птиці	22	17
Гній	20	17

Таблиця 1.4

Етапи розпаду різних органічних компонентів [1]

Походження компоненту	Розпад органічних компонентів в процесі ферментації		
	Швидкий	Середній	Повільний
Корм для тварин	Крохмаль, цукри, жирові кислоти, білки, амінокислоти, вітаміни, антибіотики	Целюлоза, геміцелюлоза, пентозани, пектини, хітин, жири, олії	Здерев'янілі матеріали (лігнін), солома, кератин (волосся), куїн, віск
Елементи з тіл тварин	Слиз, кров, клітини з тіл тварин, ензими, гормони		
Мікрофлора у виділеннях тварин	Біомаса		
Тимчасово утворені продукти та кінцеві продукти ферментації	Органічні кислоти, спирти	Індол, скатол, фенол, полісахариди	Лігніно-білкові сполуки

Вміст вуглеводів, жирів та білків впливає на виробництво біогазу. З 1 кг сухої органічної маси в результаті анаеробної ферментації вуглеводів $(C_6H_{10}O_5)_n$ утворюється 0,8 – 0,9 м³ біогазу, з жирів – від 1,2 до 1,5 м³ і з білків – від 0,6 до 0,7 м³ біогазу (табл. 1.4).

В якості сировини при виробництві біогазу використовують, перш за все, виділення тварин (гній, гноївка), відходи виробництва рослинництва (стебла томатів, картопляне бадилля, листя, дрібно поріzana солома), стоки переробки сировини у харчовій промисловості (сиворотка), а також комунальні стоки. Як

згадувалось раніше, до найбільш розповсюдженої сировини відносяться відходи тваринництва. Отримують з них найбільшу кількість біогазу (табл. 1.5). Рослинні речовини, переважно целюлоза, також піддаються ферментації.

Середній вміст целюлози складає у соломах: вівсяній – 36,7%, пшеничній – 37,2% і житній – 38,3 %; у стеблах кукурудзи – 33,7% та 24,0% – у сухому листі.

Значні можливості закладено у різно компонентних сумішах, які застосовують у якості сировини для анаеробної ферментації. Дослідженнями також встановлено, що істотне підвищення вихіду метану досягається при

додаванні у суміш свинської гноївки та біомаси енергетичних культур 3 – 6% гліцерину. Це істотно підвищує прибутковість виробництва біогазової продукції.

Таблиця 1.5

Питоме виробництво біогазу з виділень сільськогосподарських тварин

[1]

Найменування виду тварин	Добове виробництво біогазу, м ³		
	з 1 кг с.о.м.	з 1 кг с.м.	від 1 тварини
Молочна ВРХ	0,3–0,4	0,2	1,0
М'ясна ВРХ	0,3–0,4	0,2	0,35
Телята	0,3	0,2	0,15
Свиноматки з приплодом	0,45	0,4	1,3
Молоді свиноматки	0,4	0,3	0,25
Свини на відгодівлі	0,46	0,3	0,12–0,28
Птиця (кури)	0,31–0,35	0,29	0,01

Прогноз кількості виробленого біогазу з відходів тварин розраховується на основі інформації про їх кількість та вид. У зв'язку з тим, що у літні місяці худоба часто перебуває на пасовищі, – слід врахувати, що кількість отриманих виділень буде меншою. У табл. 1.5 представлено середнє добове виробництво біогазу, який можна отримати в процесі ферментації. Кількість виробленого біогазу залежить від фізико-хімічних властивостей сировини, що завантажують у ферментер. Звичайно рівень виробництва біогазу розраховують на один кілограм сухої маси, що міститься в сировині.

На кількість біогазу з тваринних відходів істотний вплив справляє раціон годівлі тварин, їх вік та інші чинники, що виявляються при експериментальному дослідженні процесів ферментації.

У Віденському університеті ВОРУ визначено вплив раціону годівлі молочних корів на вихід біогазу з їх виділень. В дослідженнях враховані методичні підходи [1]. Найбільше метанового потенціалу має сировина від молодших за віком корів. Результати цих досліджень представлено в таблицях 1.6 та 1.7. Виявлено також, що ці корови виробляють середню кількість молока при збалансованому раціоні годівлі.

Таблиця 1.6
Вплив раціону годівлі корів на їх молочну продуктивність

Варіанти дослідження	Концентрат, кг (с.м.)	Сіно, кг (с.м.)	Трав'яни сенаж, кг (с.м.)	Кукурудзяни силос, кг (с.м.)	Молочна продуктивність, л/день
1	0	5.2	10.4	0	11.2
2	0	5.4	6.4	5.8	11.2
3	4.6	4.0	4.8	5.2	17.6
4	5.8	5.0	10.0	0	16.0
5	11.0	3.2	3.8	3.6	29.2
6	10.0	3.0	6.2	0	29.2

Таблиця 1.7
Вплив раціону годівлі корів на вихід біогазу та метану

Варіанти	Характеристика вмісту виділень корів молочної групи*, г /кг (с.м.)										Вихід газів N/kg VS біогазу метану	
	pH	DM	XP	XF	Cel	HCel	ADL	XL	XA	GE [MJ]	біогазу	метану
1	6.95	143.7	162.6	265.9	194.7	144.0	162.1	46.4	157.1	15.8	208.2	136.5
2	6.79	128.8	154.3	265.8	227.3	175.9	128.2	34.5	155.0	17.3	213.1	131.8
3	6.60	135.0	156.6	310.1	250.8	190.3	124.7	23.8	131.7	14.6	245.8	166.3
4	6.60	159.6	150.6	279.5	164.1	187.9	183.3	29.1	162.8	19.3	222.5	143.1
5	6.70	148.5	180.2	273.3	161.8	208.7	190.4	28.5	148.4	15.6	238.9	125.5
6	6.66	157.3	296.5	248.5	210.1	195.5	121.7	30.3	167.8	16.8	267.7	159.2

*де pH – водневий показник, DM – маса сухої речовини, XP – сирий протеїн, XF – сире волокно, Cel – целюлоза, HCel – геміцелюлоза, ADL – лігнін, XL – жири, XA – зола, GE [МДж] – загальний вміст енергії

Динаміка зміни у часі продуктивності виробництва метану при різних

раціонах годівлі молочних корів свідчить, що саме переробка відходів тваринницьких ферм у метантенках дозволяє істотно зменшити викиди шкідливих газів у навколишнє середовище. А раціона годівлі тварин потребують подальшого удосконалення з точки зору одержання найбільшого економічного при дозволеному рівні впливу на екологію.

Іншим джерелом біогазу є звалища сміття. Запаси твердих побутових відходів (ТПВ) в Україні орієнтовно становлять 460–490 млн. м³. З урахування ряду обставин вважають, що приблизно на 50% звалищ можна продукувати біогаз. Для розрахунків середню густину ТПВ у тілі звалища прийнято на рівні 0,8 т/м³, вміст органіки – 60%, термін розкладання органіки в анаеробних умовах – 40% протягом 20 років, нижчу теплоту згоряння біогазу – 20,95 МДж/м³. За таких обмежень, потенційні можливості добування біогазу зі звалищ можуть становити 2300 млн. м³/рік, що еквівалентне 1,6 млн. тон умовного палива [22].

Як згадувалось, виробництво біогазу є найбільшим при ферментації відходів тварин, таких як гноївка чи гній. Ці виділення можна перемішувати з іншими господарськими відходами або відходами переробки сировини харчової промисловості. В залежності від складу сировини, що переробляється, можна очікувати різного рівня та енергетичної цінності вихід біогазу. Кількість утворених відходів залежить від віку та виду тварин, яких розводять, а також від пори року. Середня кількість біогазу, яку можна отримати з 1 м³ виділень тварин, оцінюється у 20 – 25 м³, хоча рентабельною кількістю в техніко-економічному відношенні вважається 30 – 35 м³. Таку кількість газу можна отримати шляхом сполучення виділень тварин та господарських відходів з іншою сировиною, яка відрізняється високим вмістом сухої органічної маси, а саме відходами з підприємств харчової промисловості або рослинної маси (особливо трав з площ під паром). За даними [1], добавка 10% за масою силосу з кукурудзи при вологомісткості 30% до гноївки (W=85%) збільшує виробництво біогазу на 50–60%, а добавка 5% за об'ємом відходів гліцерину (від виробництва ефіру при W=71%),

збільшує кількість біогазу, що виробляється, на 60 – 70%. Значно збільшує вихід біогазу на одиницю об'єму сировини додання жирів і комунальних стоків з господарств, розміщених неподалік.

Сировину, що завантажується, можна поділити на три основних категорії:

- сільськогосподарську: гноївка, гній, (враховуючи більшу гідратацію лише як додатковий матеріал), енергетичні культури, залишки біомаси і інше;

- промислову: крохмаль, відходи скотобоєнь, молочних, цукрових заводів; фармацевтичної, косметичної та паперової промисловості тощо;

- господарську: органічні відходи, комунальні стоки, обрізки саду тощо.

Ферментаційний матеріал можна також розділити на основний (ферментація якого може протікати самостійно, без додавання інших речовин)

та допоміжний. Основним ферментаційним матеріалом вважають гній, гноївку, гнійну жижу, молоду траву, а допоміжним – рослинні відходи від фруктів, органічні відходи, залишки їжі, жири, м'ясо, органічні продукти, що розпадаються природно – біологічним шляхом, господарські стоки тощо.

Завдяки додаванню допоміжного матеріалу з високим вмістом с.о.м., виробництво газу може значно зрости, особливо при використанні жирів, додавання яких призводить до збільшення продукції біогазу у декілька разів.

Змішана ферментація, тобто одночасне бродіння різних матеріалів, затягує процес ретекції (накопичення) і потребує спорудження резервуарів великого об'єму, проте цей захід окупається завдяки збільшенню виробництва біогазу.

Надто велике завантаження органічних речовин може однак порушити співвідношення і в результаті призвести до раптового зниження виробництва біогазу, і навіть до загибелі колоній бактерій, що відповідають за процес ферментації.

В процесі змішаної ферментації при значному вмісті органічних речовин, може виникнути проблема значного зниження величини рН, що веде до гальмування процесу. У порівнянні з ферментацією однорідного матеріалу,

обслуговування установки для змішаної ферментації потребує великого досвіду, оскільки можуть відбуватися незвичні явища, такі як, наприклад, піноутворення у реакторі. Це явище можна попередити, якщо збільшити інтенсивність перемішування біомаси у камері або зменшити завантаження додаткових матеріалів.

Дозований ферментаційний матеріал повинен бути однорідним, а додавання додаткових компонентів потребує фахового підходу. Попередня механічна підготовка відходів полягає у відокремленні шкідливих матеріалів і підтримці необхідного рівня гомогенності сировини, що завантажується.

Високий ступінь ризику, пов'язаний з обслуговуванням систем для змішаної ферментації, викликаний тим, що кожний компонент суміші має відмінні фізико-хімічними властивості і звичайно потребує індивідуального технологічного підходу. Перед початком спорудження виробничої установки процес ферментації досліджують експериментально для визначення відповідних параметрів і режимів роботи системи (спосіб перемішування, контроль формування піни та осаду) та управління процесом (обсягів завантаження додаткових матеріалів, часу експозиції тощо).

1.5 Технології виробництва звалищного газу

Щорічно в світі утворюється дуже велика кількість органічних відходів побутового, промислового, комерційного і сільськогосподарського походження. Лише у містах утворюється 400–450 млн. т твердих побутових відходів (ТПВ), де на одного жителя в середньому доводиться 250–700 кг/рік. Кількість ТПВ щорічно збільшується на 3–6 %, що значно перевищує швидкість приросту населення Землі. У світовій практиці склалися три способи знешкодження ТПВ:

- спалювання на спеціальних заводах;
- компостування;
- поховання на стихійних або санітарних звалищах.

У деяких розвинених країнах, переважно з невеликою територією

(Швейцарія, Японія та ін.), сміття і осад стічних вод в основному спалюють. При цьому в атмосферу може викидатись велика кількість надзвичайно шкідливих речовин. Саме тому спалювання ТПВ вимагає використання складних і дорогих технологій очищення продуктів згорання від важких металів, шкідливих газів і інших домішок.

Компостування ТПВ ще довгий час не знайде широкого використання, оскільки не вирішене питання отримання компосту, вільного від солей важких металів, міграція яких в родючий ґрунт неприпустима.

На сьогодні широко поширена думка, що поховання ТПВ на спеціальних полігонах більш економічне і універсальне, ніж спалювання, тому в деяких країнах ТПВ в основному вивозяться на звалища і полігони.

В найпростішому випадку сміття, що захоронюється, пересипають шарами піску або глини. ТПВ на звалищах піддаються ущільненню за допомогою спеціальних тракторів-трамбувальників. При закритті полігону товщина замикаючого шару ґрунту зазвичай складає близько 0,5 м. У більшості розвинених країн осад стічних вод після попереднього зневоднення утилізували разом з ТПВ. Поховання ТПВ на звалищах пов'язане

з екологічними проблемами: значними викидами в атмосферу метану (що приводить до посилення парникового ефекту), забрудненням підземних вод, неприємним запахом, розвитком хвороботворних мікрорганізмів. Найефективніший спосіб скоротити вихід в атмосферу метану з полігонів ТПВ

– це його збирання і використання. Звалищні гази (лендфілл-гази) почали отримувати в багатьох країнах на початку 80-х рр. ХХ ст. з метою запобігання екологічним проблемам, пожежам і вибухам. Пізніше широке поширення отримало їх енергетичне використання.

Найбільш поширена система отримання звалищних газів складається з мережі вертикальних свердловин, зв'язаних разом горизонтальними трубами, які збирають отримуваний газ і передають його до спеціального устаткування для комерційного використання (рис. 1.3). У середині вертикальної свердловини, що виконується в шарі ТПВ, вміщується пластикова труба

діаметром 12–25 см. Труба перфорована прорізами у вигляді щілин шириною 3–6 мм від нижнього краю до відстані 3–5 м від верху насипу. Діаметр свердловини становить 0,6–1,2 м, глибина – мінімум 7 м і відповідає 50–90 % товщини шару ТПВ. Об'єм свердловини довкола перфорованої збірної труби засипається гравієм. Верхні 0,5 м свердловини ущільнюються бетоном або глиною з метою запобігання припливу атмосферного повітря в свердловину і витіку в атмосферу звалищного газу.



Рис. 1.3 Вертикальні свердловини на полігонах з утилізації ТПВ [Ошибка!

Источник ссылки не найден.]

Свердловини робляться, коли звалище або повністю, або одна з його секцій, заповнені. Свердловини також можуть споруджуватись поступово, по мірі заповнення відходами працюючого звалища. В останньому випадку на звалищі встановлюються сталеві труби великого діаметра, в кожній з яких поміщається перфорована труба для видалення звалищного газу. Відстань між трубами заповнюється гравієм, уламками цеглин тощо. Після того, як насипається шар звалища заввишки 2–5 м, сталеві труби піднімаються, а після заповнення звалища вони видаляються. Завдяки горизонтальному зв'язку вертикальних свердловин в нижній їх частині, витягання звалищного газу може початися вже під час заповнення звалища.

Радіус впливу свердловини для відкачування звалищного газу

змінюється в межах 8–80 м із середнім значенням 30–35 м. Відстань між свердловинами не має бути меншою подвоєного радіусу впливу. Залежно від місцевих умов, швидкість відкачування звалищного газу з однієї свердловини становить від 50 до 250 м³/год.

Коли система збирання газу встановлюється при заповненні звалища, бажано монтувати мережу горизонтальних труб для відкачування звалищного газу. Горизонтальні системи для видалення звалищного газу можуть бути розміщені в поверхневих шарах звалища під верхньою частиною засипаних відходів, оскільки звалищний газ переміщується у напрямку до поверхні звалища. На глибоких звалищах для збільшення впливу всмоктування використовують спільно вертикальні свердловини і горизонтальні труби. Якщо масив звалища має верхнє покриття, можуть бути встановлені також системи поверхневого збору.

Звалище осідає на 5–20 і навіть до 30–35% її глибини. Тому свердловини для видалення звалищного газу сполучають з колектором за допомогою гнучкого з'єднання. Найбільш широко використовуваним матеріалом для збирання звалищного газу є поліетилен низького тиску (для наземного і підземного використання) і полівінілхлорид (для підземного використання).

Утворення звалищного газу є результатом розкладання органічної частини ТПВ за анаеробних умов, які виникають незабаром після санітарного поховання відходів. У товщі відкладень звалищ переважають анаеробні мікробіологічні процеси, а мікробіологічне окислення відбувається лише в самому верхньому шарі ґрунту, що аерується (зазвичай не більш 1 м). Для крупних полігонів ТПВ характерна підвищена температура в анаеробній зоні, зазвичай вона становить 25–35°C, сягаючи інколи на поверхневих ділянках 50–55°C. Звалищний газ утворюється як на звичайних, так і на санітарних звалищах (полігонах), проте при санітарному похованні його утворюється більше.

Вологість ТПВ зазвичай приймається рівною 35 %, середня величина

органічної речовини в ТПВ, що піддається органічному розкладанню – 75 % маси сухих відходів. Середня щільність ТПВ в місцях їх поховання становить 140–180 кг/м³, але при спеціальному механічному ущільненні на полігонах вона збільшується до 600–800 кг/м³ і більше. У більшості розвинених країн ТПВ при похованні ущільнюються до 900–1000 кг/м³. Це дозволяє не лише ефективно використовувати об'єм полігону і продовжити термін його служби, але і забезпечити більш швидке утворення метану і стабільний його вихід протягом багатьох років.

Життєдіяльність мікрофлори веде до глибокої анаеробної мінералізації органічних речовин звалища і до утворення біогазу, схожого з тим, який отримують при твердофазній ферментації рослинних і тваринних відходів. Він містить 40–60 % метану, 30–45% вуглекислого газу, декілька відсотків азоту, все решта – домішки. Теплотворна здатність звалищного газу становить 17–20 МДж/м³.

Теоретично біологічне розкладання 1 т ТПВ дає близько 400 м³ звалищного газу, що містить 55 % метану. На практиці умови на звалищі не ідеальні і там розкладається тільки близько 1/4 органічних відходів. Більше того, навіть на добре спроектованих і керованих санітарних звалищах можна отримувати лише близько 70 % звалищного газу, що виділяється. Отже, більш реальною, підтвердженою практикою, є величина виходу звалищного газу на рівні 100 м³/т ТПВ з вмістом метану 55 %.

Зі всіх сучасних систем з виробництва біогазу звалища – найбільш великі. Навіть найбільші промислові біогазові установки (з об'ємом реактора близько 10000 м³) менші середнього звалища в тисячі разів. Органічна речовина розкладається на звалищах приблизно протягом 20 років. Активне газоутворення в товщі складованих відходів починається приблизно з третього року від початку складування, поступово наростаючи, і продовжується 10–15 років, після чого процес поступово сповільнюється. Тому при середньому виході звалищного газу 100 м³/т ТПВ середня швидкість виходу його приймається, як правило, 5 м³/т ТПВ за рік.

Виділення звалищного газу залежить від багатьох параметрів: вологості, кислотності, щільності, хімічного складу, морфологічного стану і віку ТПВ. Склад ТПВ є визначальним фактором для складу звалищного газу і для інтенсивності його виділення. Максимальна інтенсивність газоутворення на одиницю сухої маси ТПВ отримана для наймолодших верхніх шарів анаеробної зони на глибині приблизно 4 м. Встановлено, що оптимальна для виділення звалищного газу температура ТПВ становить 35–40°C, вологість – 90–96 % [Ошибка! Источник ссылки не найден.].

1.6 Використання продуктів метанового бродіння

Переробляючи біомасу шляхом метанового бродіння, отримують біогаз та органічне добриво. Продукти метанового бродіння можуть також використовуватись у якості кормових добавок в тваринництві.

1.6.1 Використання біогазу

При нормальній роботі метантенка біогаз містить 60–70% метану, 30–40% вуглекислого газу, до 3% сірководню, незначні домішки водню, аміаку і оксидів азоту. Без вищевказаних домішок біогаз не має неприємного запаху, його нижча теплота згорання в середньому становить 25 МДж/м³ (залежить від виду сировини і режиму роботи метантенка). Кількість біогазу, яка може бути виділена із субстрату за оптимальних умов анаеробної переробки, залежить від кількості субстрату, умов протікання процесу, бактерійного складу в метантенку тощо. Звичайно зброджується 2–4% вихідного продукту. Вихід біогазу складає 0,2–0,4 м³ з 1 кг зброджуваного сухого матеріалу за нормальних умов при витраті 50 кг сухої біомаси на 1 м³ води. Якщо прийняти нижчу теплотворну здатність біогазу 20 МДж/м³ (60% метану), то з 1 м³ біогазу можна отримати 1,7 кВт·год електроенергії і 2,5 кВт·год теплоти.

Крім використання біогазу в енергетичних цілях, його застосовують для отримання теплової енергії, в побутових цілях (для приготування їжі),

стиснутий біогаз у балонах придатний як пальне для машин і тракторів. Його також можна подавати в газорозподільну мережу. В останніх випадках потрібно проводити очищення біогазу: сушіння, видалення вуглекислоти і сірководню. Очищений біогаз нічим не відрізняється від метану з інших джерел, тобто природного газу [Ошибка! Источник ссылки не найден.].

1.6.2 Використання продуктів метанового бродіння в якості органічних добрив

Біошлам, отриманий у результаті метанового бродіння, має одну суттєву перевагу: він не містить хвороботворних мікроорганізмів, якщо вони навіть були присутні в оброблюваному матеріалі. Хвороботворні мікроорганізми гинуть у процесі метанового бродіння. Це стосується навіть таких стійких організмів, як яйця гельмінтів. Залишок, що утворюється в процесі отримання біогазу, містить значну кількість живильних речовин і може бути ефективно використаний як добриво. Склад залишку, отриманого при анаеробній переробці відходів, залежить від хімічного складу сировини, що завантажується в реактор. Під час бродіння розкладається в середньому 30% органічної речовини, що складає 1–2% маси рідкого гною. Цінність біошламу як добрива залежить від його хімічного складу. Під час процесу бродіння зменшується лише вміст вуглецю і, отже, співвідношення вуглецю до азоту. Фосфор, калій і азот повністю зберігаються в біошлямі. При тривалому зберіганні у відкритих місткостях можуть виникати втрати азоту у вигляді аміаку.

Органічні добрива, що утворюються при метановому бродінні, забезпечують додатковий приріст врожайності в середньому на 20% в порівнянні з незбродженим гноєм. При анаеробній переробці відбувається мінералізація азоту і фосфору – основних складових органічного добрива. Це забезпечує їх краще зберігання на відміну від традиційних способів приготування органічних добрив методом компостування, при яких втрачається до 30–40% азоту. При анаеробній переробці в біошлямі в 4 рази

збільшується вміст амонійного азоту в порівнянні з незбродженим гноєм (20–40% азоту перетворюється на амонійний). При цьому вміст засвоєного фосфору подвоюється і складає 50 % загального фосфору.

1.7 Умови експлуатації біогазової установки

1) Для біогазової установки вологість завантажуваної маси повинна бути в межах 88 – 95%; тривалість збродження 20 – 22 доби; щодоби камери завантажуються сирим гноєм в кількості 5% від їх об'єму.

2) При пуску установки в роботу спочатку завантажуються одна бродильна камера. Для прискорення процесу збродження завантаження проводити невеликими порціями.

3) Щоб уникнути забивання трубопроводу, по якому маса випускається з камери збродження, потрібно не рідше одного разу на рік очищати дно камер від осаду за допомогою спеціальних механізмів.

РОЗДІЛ 2. МІСЦЕ, ОБ'ЄКТИ І МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

НУБІП України

2.1 Місце і об'єкти проведення досліджень

Дослідження проводились на випусковій кафедрі екобіотехнології та біорізноманіття НУБІП України та в пунктах практичного виконання досліджень стосовно біогазу з біогазових установок і полігонів твердих побутових відходів.

Для дослідження процесу метанового зброджування органічної біомаси використана лабораторна установка, яка знаходиться у лабораторії ННЛ біоконверсії органічної сировини НУБІП України.

Об'єктами експериментальних досліджень були: процес підготовки біомаси безпідстилкового гною ВРХ і курячого посліду до ферментації і процесу метанового зброджування. Експерименти проводились впродовж 2021–2022 рр. Методи досліджень стосувались постановки експериментів з підготовки до ферментації і метанового зброджування реальної органічної біомаси.

Досліджуваний полігон твердих побутових відходів знаходиться у місті Маріуполь, Донецької області. Маріуполь – один з найважливіших промислових центрів України, який знаходиться на північному узбережжі Азовського моря у гирлі р. Кальміус. Чисельність населення складає 440 367 чоловік.

На протязі тривалого часу ТПВ, що утворились у місті, вивозили на полігон, що має площу 13,26 га та розташовується на лівому березі р. Кальміус на відстані 6 700 м від місця її впадання в Азовське море. З 1976 р. на полігоні зібралось біля 12,8 млн м³ відходів, швидкість накопичення яких складає 125 тис. т/рік [19].

Власником полігону є Комунальне підприємство «Полігон ТПВ», яке було створене у 2002 році Міською Радою Маріуполя. Основними завданнями та функціями підприємства є експлуатація та утримання полігонів твердих

побутових відходів як повний комплекс планувальних, організаційних, санітарно-технічних, екологічних і господарських заходів по прийому, розміщенню, зберіганню, сортуванню, обробці (переробці), утилізації, видаленню, знешкодженню і захороненню всіх видів відходів, дозволених для прийому на полігони, згідно з чинним законодавством, з метою запобігання негативного впливу факторів життєдіяльності на життя і здоров'я людини, забезпечення санітарного та епідеміологічного благополуччя населення, надання платних послуг юридичним та фізичним особам.

На полігон ТПВ приймаються побутові відходи (крім рідких побутових і небезпечних відходів у складі побутових відходів) з житлових будинків, адміністративних і громадських установ і організацій, підприємств торгівлі і громадського харчування, закладів культури і мистецтва, навчальних та лікувально-профілактичних закладів та інших підприємств, установ і організацій незалежно від форм власності, вуличний і садово-парковий коштирив і листя, а також подрібнені будівельні відходи і промислові відходи III та IV класів небезпеки, шлак і золу від сміттєспалювальних заводів, згідно санітарних правил і норм, а також відповідно до пожежних вимог, норм і правил ДБН В.2.4-2-2005 «Полігони твердих побутових відходів. Основи проектування», наказу Міністерства з питань житлово-комунального господарства України від 01.12.2010 № 435 «Про затвердження Правил експлуатації полігонів побутових відходів».

КП «Полігон ТПВ» діє на підставі ліцензії на право здійснення господарської діяльності з захоронення побутових відходів, виданої Національною комісією, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики і комунальних послуг (постанова від 07.09.2017 №1097) [Ошибка! Источник ссылки не найден.].

2.2 Методика проведення досліджень

Відбір матеріалу для субстрату – для дослідження беремо свіжий гній

Оскільки для дослідів для кожного завантаження потрібно невелика кількість гною, відбір проводимо з допомогою невеликої лопатки, гній набираємо у відро.

Приготування субстрату – для дослідів потрібно приготувати субстрат однорідної консистенції у співвідношенні гній ВРХ : вода = 1:2. Для цього у відро з гноєм ВРХ (зважену масу) додаємо воду (вдвічі більше ніж гною) і інтенсивно перемішуємо доки субстрат не отримає однорідну масу.

Завантаження і вивантаження субстрату з реактора – після приготування субстрату його завантажують в реактор через вхідний клапан, а до вихідного клапана підставляємо ємність для виведення матеріалу після збродження. Завантаження і вивантаження субстрату проходять одночасно і однакового об'єму для запобігання потрапляння в реактор повітря. Виставляємо температурний режим для збродження. Проводимо очистку всіх інструментів.

Дослідження виходу біогазу: дослід триває 10–15 діб, об'єм отриманого біогазу вимірюємо двічі на день та вносимо до журналу обліку виходу біогазу із метантенка.

Після завершення експерименту дані зводяться в таблицю, та будується крива виходу біогазу щогодинно на протязі всього часу експерименту.

Дослідження залежності виходу біогазу

Дослід із впровадження технологій метаногенезу в сільськогосподарську практику показує, що в ієрархії ефективності цього методу перше місце займає його екологічний ефект, потім реалізується ефект від отримання високоякісних добрив, і тільки третє місце займає часто недооцінена енергетична складова процесу.

Фізико-механічні властивості стоків гною залежать в основному від умов утримання тварин на фермі і способів прибирання гною (механічний, самопливний або гідрозливний) і змінюються в межах: вологість 76,8–98,3%, зольність 14–22%. Обсяги річних стоків визначаються кількістю тварин, що утримуються, і сягають 44–468 м³ на фермах ВРХ і 37–2580 м³ у свинарниках.

Вихід біогазу залежить від кількості сухої органічної речовини (с.о.р.) у гної і його якісного складу. Максимальний вихід біогазу (в розрахунку на 1 кг с.о.р.) складає: 0,35 м³ із гною ВРХ, 0,45 м³ із гною молочної худоби; 0,5 м³ із свинячого гною і 0,7 м³ з пташиного посліду. Якісний склад стоків визначається співвідношенням його компонентів: білків, жирів, вуглеводів, целюлози, лігніну. При високому вмісті лігніну, який практично не розпадається при метановому зброджуванні (що характерно для гною ВРХ на відгодівлі), отримуємо мінімальну кількість біогазу – до 0,35 м³, а при високому вмісті білків, жирів і вуглеводів у вихідному гної – до 0,7 м³ біогазу.

В установках, що працюють у мезофільному режимі, добовий вихід біогазу складає 1,0 м³, у термофільному режимі – 2,0 м³ біогазу з 1 м³ робочого об'єму метантенка.

Вихід біогазу з біомаси залежить від ряду факторів:

- тип біомаси;
- ступінь подрібнення сировини;
- температурний режим;

На процес анаеробного бродіння в біогазовій установці впливають:

- біологічні;
- фізичні;
- хімічні;
- організаційно-технологічні фактори;

Вирішальними факторами інтенсифікації виробництва біогазу є:

- первинні та експлуатаційні витрати;
- надійність біогазового устаткування в експлуатації;
- вимоги до технічного обслуговування та персоналу;
- ефективність використання отриманої продукції.

Вдосконалення факторів призводить до збільшення ефективності використання сировини для утворення біогазу та зменшення затрат на весь технологічний процес. Фактори вдосконалення напрямків інтенсифікації

виробництва біогазу як альтернативного джерела енергії в біогазовій установці наведено на рис. 2.1



Рис. 2.1 Фактори удосконалення енергоефективних напрямів інтенсифікації виробництва біогазу

2.3 Технологічна схема екстракції та утилізації звалищного газу

Для екстракції звалищного газу (ЗГ) на полігонах використовували наступну схему: мережа вертикальних газодренажних свердловин з'єднана лініями газопроводів, в яких компресорна установка створює розрідження необхідне для транспортування газу до місця використання. Установки по збору і утилізації монтуються на спеціально підготовленому майданчику за межами звалищного тіла. Принципова технологічна схема системи зі збору ЗГ приведена на рис. 2.2.

Кожна свердловина здійснює дренаж конкретного блоку ТПВ та умовно має форму циліндра. Стійкість роботи свердловини може бути забезпечена, якщо її дебіт не перевищує обсягу звалищного газу, що знову утворюється. Оцінка газопродуктивності існуючої товщі ТПВ проводиться в ході попередніх польових газо-геохімічних досліджень [Ошибка! Источник ссылки не

найдено.]



Рис. 2.2 Принципова технологічна схема збору звалищного газу

Спорудження газодренажної системи здійснюється цілком на всій території полігону ТНВ після закінчення його експлуатації. Видобуток метану відбувається так: кожні 30 метрів через товщу відходів бурять свердловину і вставляють перфоровану трубку, через яку відкачують газ. Звідти газ через трубопровід потрапляє в систему очищення. Система оснащена пристроями для контролю якості та кількості газу, повноти спалювання [Ошибка! Источник ссылки не найден.].

Після завершення будівництва свердловини приступають до установки оголовка свердловини, що представляє собою металевий циліндр, забезпечений газозапорною арматурою для регулювання дебіту свердловини і контролю складу ЗГ, а також патрубком для приєднання свердловини до

газопроводу.

На заключній стадії на оголовок свердловини встановлюється металевий або пластмасовий короб для запобігання несакціонованого доступу до свердловини.

Температура ЗГ в товщі відходів може досягати 40–50 °С, а вміст води 5–7%. Після екстракції ЗГ зі звалищного тіла і його надходження в транспортні газопроводи, відбувається різке зниження температури, що призводить до утворення конденсату, який може виділятися в значних кількостях. При видобутку ЗГ в обсязі 100 м³/год, в добу утворюється близько

1 м³ конденсату. Тому відведення конденсату за допомогою спеціальних пристроїв є завданням першорядної важливості, тому що його наявність в газопроводі може ускладнити чи зробити неможливою екстракцію ЗГ.

Газопровід прокладається в траншеях, на глибині, що запобігає промерзанню труб в зимовий час. При прокладанні ліній газопроводу з метою запобігання накопиченню конденсату необхідно дотримуватися певних ухилів, а також встановлювати конденсатовідвідники, що забезпечують видалення води з системи.

Конденсатовідвідник є сталевим зварним резервуаром для стоку конденсату з системою гідрозатворів, що забезпечують мінімальні трудовитрати з підтримки їх в робочому стані. Для регулювання роботи газопроводу використовується запірна арматура з матеріалів корозійностійких до біогазу – крани, засувки і заслонки. Запірна арматура повинна забезпечити надійність, оперативність і безпеку при управлінні роботою газопроводу з мінімальними гідравлічними втратами.

За системою трубопроводів ЗГ надходить на пункт збору ЗГ.

Газозбірний пункт призначений для примусового вилучення ЗГ з звалищного товщі. Для цього за допомогою спеціального електровентильатора в системі газопроводів створюється невелике розрядження (близько 100 мбар).

У світовій практиці відомі такі способи утилізації звалищного газу

[Ошибка! Источник ссылки не найден.]

НУБІП України

- смолокипне спалювання, що забезпечує усунення неприємних запахів і зниження пожежонебезпеки на території полігону ТПВ, при цьому енергетичний потенціал ЗГ не використовується в господарських цілях;

- пряме спалювання ЗГ для виробництва теплової енергії;

НУБІП України

- використання ЗГ як паливо для газових двигунів з метою отримання електроенергії і тепла;
- використання ЗГ як паливо для газових турбін з метою отримання електричної та теплової енергії;

- доведення вмісту метану в ЗГ (збагачення) до 94–95% з подальшим його використанням в газових мережах загального призначення.

У випадку з полігоном ТПВ у Маріуполі (рис. 2.3), газ добувають та перетворюють на електроенергію. Проект пройшов екенертизу для реалізації електроенергії на ринку України за "зеленим тарифом", згідно Кіотського протоколу [Ошибка! Источник ссылки не найден.]



Рис. 2.3 Видобування ЗГ з Маріупольського полігону ТПВ (м. Маріуполь, Донецька обл.) [Ошибка! Источник ссылки не найден.]

НУБІП України

2.4 Газогеохімічні дослідження біогазу

2.4.1 Хімічний склад фільтратів

При хімічному аналізі проб ґрунтових вод зі звалища ТПВ Маріупольського полігону №2 виявили в них наявність великої кількості металів (свинцю, марганцю, алюмінію, кадмію), в концентраціях, які в десятки і, навіть, сотні разів перевищують ГДК. Максимальна наявність характерна для заліза, концентрація якого перевищує ГДК в 3500 разів та для ртуті – в 2500 разів. Також фенолів – в 920 разів, роданідів – в 3536 разів. У водоймі-збірнику фільтрату поруч зі звалищем: роданідів – в 40 разів, фенолів – в 6 разів. Самі високі концентрації спостерігаються у пробах з дренажного каналу та відстійника. Забруднені фільтратом ґрунтові води течуть до р. Кальміус, що є серйозним, постійно діючим та багатоконпонентним джерелом забруднення, вплив якого наподегливо рекомендується ліквідувати або мінімізувати [Ошибка! Источник ссылки не найден.].

Таблиця 2.1

Вплив полігону на підземні та поверхневі води в районі його розміщення

[Ошибка! Источник ссылки не найден.]

Показник	Перевищення концентрації, факт/ГДК	
	Підземні води	Поверхневі води
Сухий залишок	2,1-3,4	1,5-6,3
Сульфати	1,1-1,3	0,2-1,3
Хлориди	1,8-2,3	-
Жорсткість загальна	2,0-2,7	1,9-2,3
Азот амонійний	2,3-3,3	-
Нітриди	1,1-1,9	0,0
Фтор	1,8-3,2	-
ХСК	1,2-2,2	-

Фенони	24310-30450	0-3,0
Марганець	1,5-2,8	-
Залізо	230-340	0-2,2
Алюміній	1,3-2,2	0-1,2
Барій	1,2-3,7	-
Селен	1,2-3,7	-
Свинець	0-3,2	0-1,2
Нікель	1,4-2,1	0-1,8
Кобальт	0-3,0	0-1,5
Кадмій	0-3,0	0-0
Нафтопродукти	0-1,8	0-1,2

2.4.2 Склад поверхневого біофільтра

В точках 1 і 2 вироблялося поглиблене шпурове випробування з відбиранням проб ґрунтового повітря в борботери з глибин 0,2, 0,4, 0,6 і 0,8 м. Результати газового аналізу цих проб представлені в табл. 2.2.

Таблиця 2.2

Вміст метану та діоксиду вуглецю в шпурах різної глибини

Номер точки	Глибина шпура, м	Вміст метану, %об.	Вміст діоксиду вуглецю, %об.	Відношення вмісту метану до діоксиду вуглецю	Вміст кисню, %об.
1	0,2	1,506	6,47	0,23	15,13
	0,4	4,153	14,02	0,29	9,00
	0,6	4,863	13,95	0,35	9,63
	0,8	7,831	20,10	0,39	4,96
2	0,2	0,867	0,91	0,95	18,93
	0,4	1,664	1,58	1,05	15,08
	0,6	1,821	1,16	1,60	15,92
	0,8	2,371	1,53	1,50	13,67

За даними через трансформаційні зміни вмісту метану, діоксиду вуглецю і киецю з глибиною можна простежити окислення метану в верхній частині звалищної товщі. Результати експерименту показують, що вміст метану і діоксиду вуглецю в ґрунтовому повітрі також значний, але зменшується з глибини 0,8 до 0,2 м.

Вміст кисню зростає з глибини 0,8 м до глибини 0,2 м від 4,96 до 15,13% об. в точці 1 і з 13,67 до 18,93% об. в точці 2. Якщо вважати, що в поверхневому шарі ґрунту відбувається розсіювання компонентів біогазу, розведення їх атмосферним повітрям, то співвідношення концентрацій метану і діоксиду вуглецю з наближенням до поверхні полігону має залишатися незмінним. Однак за даними табл. 2.2 відношення величин потоків і вмісту метану і діоксиду вуглецю з наближенням до поверхні зменшується. Цей факт говорить про відносне збільшення кількості CO_2 і зменшення кількості CH_4 в ґрунтовому повітрі в міру наближення до поверхні полігону.

За результатами досліджень в шпурах на глибині 0,8 м вміст метану в ґрунтовому повітрі зазвичай перевищує вміст діоксиду вуглецю (в об.). В атмосферу метану потрапляє в 2,2 рази менше, ніж діоксиду вуглецю (в м^3).

Це пояснюється фактом окислення метану в приповерхневому шарі ґрунтів, якими перекриті полігон. У поверхневому шарі відбувається окислення метану метанотрофними бактеріями. При цьому зменшується кількість метану, що підіймається до поверхні і, відповідно, збільшується кількість діоксиду вуглецю. Так, в точці 2 відношення концентрацій метану і діоксиду вуглецю зменшується з наближенням до поверхні від 1,50 на глибині 0,8 м до 0,95 на глибині 0,2 м.

2.4.3 Забрудненість ґрунтів

Негативний вплив важких металів залежить по суті від їх рухливості, т.т. розчинності. Рішення проблеми біологічної активності ґрунту передбачає видачу оперативної інформації про ступінь забруднення ґрунтів, яку можна умовно розділити на три категорії: низьку, середню і високу. Низька ступінь забруднення характеризується тим, що вміст важких металів в ґрунті

відрізняється від незабрудненого і його можна визначити хімічним методом, але при цьому рівень забруднення ґрунту за рахунок буферних властивостей не змінює свої фізичні і хімічні показники. При середньому ступені забруднення вміст важких металів впливає тільки на ґрунтову біоту. У ґрунті починаються процеси перерозподілу різних груп мікроорганізмів і їх адаптація до умов забруднення. Разом з тим, як і при низькому рівні забруднення, процес накопичення важких металів не змінює основні властивості ґрунту, які впливають на родючість. При високому ступені забруднення ґрунтів проходить не тільки процес зміни і перебудови співвідношення мікроорганізмів, яке дуже сильно відрізняється від незабрудненого, але і зміна деяких хімічних і фізичних властивостей ґрунту.

Отримані результати (табл. 2.3) дали можливість зробити висновки, що накопичення елементів відбувається в зонах зниження рельєфу місцевості за рахунок стоку поверхневих і ґрунтових вод, найнебезпечнішим з них є свинець, кадмій, хром, нікель, концентрації яких перевищують ГДК до 5 разів, або знаходяться на межі перевищення.

Таблиця 2.3

Концентрація важких металів у ґрунті

Елементи	Визначення концентрації (середнє значення), мг/кг				ГДК
	1	2	3	4	
Залізо	25,45	52,92	311,06	439,27	
Марганець	96,99	50,53	179,1	248,45	50,00
Цинк	3,75	12,00	5,93	5,62	23,00
Мідь	0,08	0,15	0,6	0,28	3,00
Нікель	3,72	3,26	3,70	4,51	4,00
Свинець	2,59	3,11	6,52	7,12	2,00
Хром	4,67	5,04	5,92	6,23	6,00
Кадмій	0,26	0,36	0,57	0,73	0,70

В даній таблиці наведені усереднені дані щодо напрямів відбору зразків.

Також, найвищі концентрації вмісту важких металів були виявлені на північно-східному схилі, що могло бути зумовлено найбільшою крутизною схилу в даному напрямку. Дослідження щодо впливу положення ділянки на різних елементах рельєфу і експозиціях на властивості ґрунтів до теперішнього часу мають обмежений характер. На сучасному етапі залежність різних властивостей ґрунту і в тому числі його хімічного складу, від географічних чинників на рівні елементарних ландшафтів вдається встановити лише на рівні тенденцій, тому що складний комплекс факторів, і їх неоднозначний прояв в конкретних умовах створює дуже строкату картину, в якій можна виділити лише найбільш загальні закономірності. Основними з них можуть бути: неоднорідність мікрокліматичних умов на різних ділянках, тобто, режиму зволоження, температурного, вітрового режимів і т. п., які в свою чергу визначаються експозицією схилу; розбіжністю в інтенсивності і напрямленнях ерозійних процесів; різною інтенсивністю біогенної акумуляції елементів.

2.5 Морфологічний склад біогазу

Дослідження морфологічного складу показали, що ресурсно-цінні матеріали складають значну частину ТПВ (рис. 2.4).

За повної рекультивациі полігону може бути вилучено $1 \cdot 10^5$ т металу, $3,0 \cdot 10^5$ т скла, $3,5 \cdot 10^5$ т пластмаси.

Загальне мікробне число 430 КОЕ/см^3 . Присутні патогенні мікроорганізми (*Clostridium perfringens*, *Bacillus anthracis*, *Salmonella enterica*, *Staphylococcus aureus*) і навіть дуже небезпечні (*Vibrio cholerae*, *Yersinia pestis*, *Francisella tularensis*).

Також були виявлені яйця гельмінтів, *Enterobius vermicularis*, *Ascaris lumbricoides*, *Diphyllobothrium latum*, *Taeniarrhynchus saginatus*, *Taenia solium*, *Ancilostoma duodunale*, *Echinococcus granulosus*, *Strongyloides stercoralis*. Для зниження негативного впливу полігону на навколишнє середовище, необхідний комплексний підхід, який включає в себе сортування відходів з виділенням цінних компонентів, збір біогазу та знезараження

фільтрату.

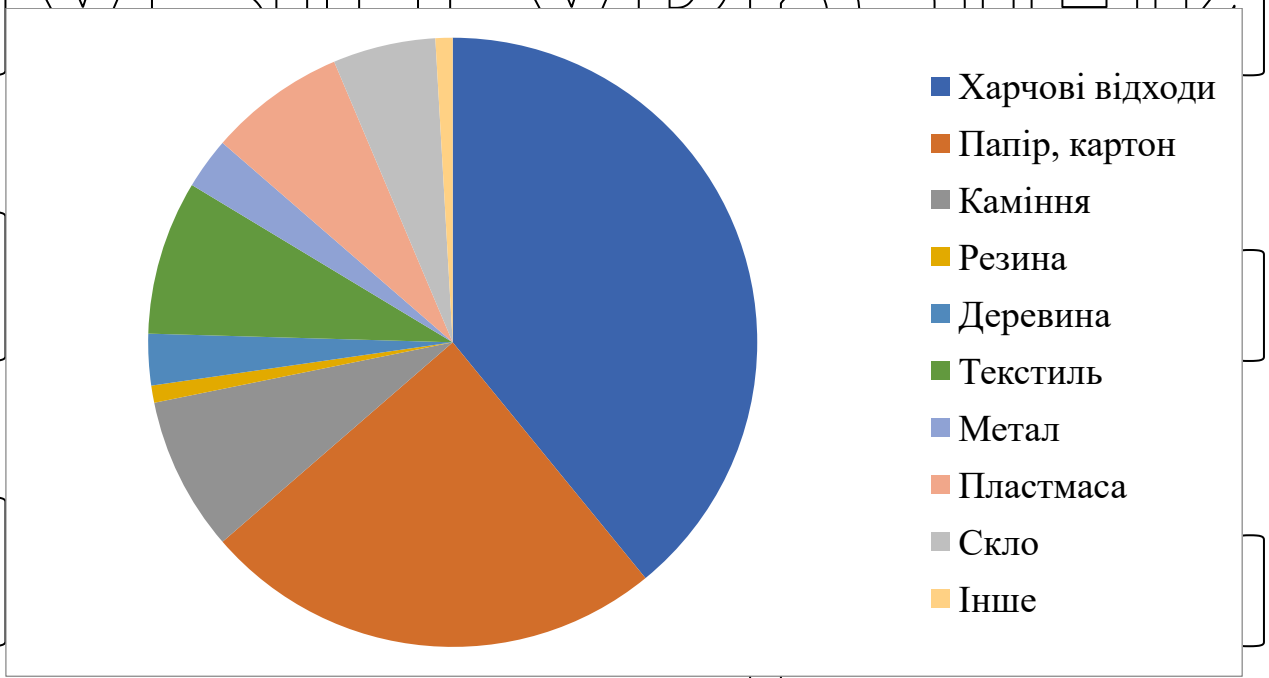


Рис. 2.4 Морфологічний склад Маріупольського полігону ТПВ, (м. Маріуполь, Донецька обл.)

НУБІП України

РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Дослідження виходу біогазу

3.1.1 Дослідження виходу біогазу з БГУ

Для дослідження процесу метанового зброджування органічної біомаси використана лабораторна установка, яка знаходиться у лабораторії біоконверсій органічної сировини НУБІП України.

Завдання досліджень:

1. Провести аналітичні дослідження щодо визначення основних керованих параметрів процесу метанового зброджування органічної біомаси суміжних біотехнологічних процесів як біотехнічної системи в складі біоконверсного комплексу.

2. Дослідити основні параметри процесу метанового зброджування біомаси, визначити технологічний режим процесу.

3. Дослідити основні параметри процесу підготовки біомаси до метанового зброджування, визначити технологічний режим процесу.

4. Дослідити інтенсифікацію процесу метанового зброджування біомаси шляхом підвищення активної біомаси анаеробних бактерій.

5. Визначити економічну ефективність використання вдосконаленого процесу.

Дослідження проводились у лабораторії біоконверсій органічної сировини НУБІП України.

Об'єктами експериментальних досліджень були: процес підготовки біомаси безпідстилкового гною ВРХ і курячого посліду до ферментації і процесу метанового зброджування. Експерименти проводились впродовж 2021–2022 рр. Методи досліджень стосувались постановки експериментів з підготовки до ферментації і метанового зброджування реальної органічної

біомаси.

Дослід із впровадження технологій метаногенезу в сільськогосподарську практику показує, що в ієрархії ефективності цього методу перше місце займає його екологічний ефект, потім реалізується ефект від отримання високоякісних добрив, і тільки третє місце займає, часто недооцінена, енергетична складова процесу.

Фізико-механічні властивості стоків гною залежать в основному від умов утримання тварин на фермі і способів прибирання гною (механічний, самопливний або гідрозливний) і змінюються в межах: вологість 76,8–98,3%,

зольність 14–22%. Обсяги річних стоків визначаються кількістю тварин, що утримуються, і сягають 44–468 м³ на фермах ВРХ і 37–2580 м³ у свинарниках.

Вихід біогазу залежить від кількості сухої органічної речовини (с.о.р.) у гної і його якісного складу. Максимальний вихід біогазу (в розрахунку на 1 кг с.о.р.)

складає: 0,35 м³ із гною ВРХ, 0,45 м³ із гною молочної худоби; 0,5 м³ із свинячого гною і 0,7 м³ з пташиного посліду. Якісний склад стоків

визначається співвідношенням його компонентів: білків, жирів, вуглеводів, целюлози, лігніну. При високому вмісті лігніну, який практично не

розпадається при метановому зброджуванні (що характерно для гною ВРХ на відгодівлі), отримуємо мінімальну кількість біогазу – до 0,35 м³, а при

високому вмісті білків, жирів і вуглеводів у вихідному гної – до 0,7 м³ біогазу. В установках, що працюють у мезофільному режимі, добовий вихід біогазу

складає 1,0 м³, у термофільному режимі – 2,0 м³ біогазу з 1 м³ робочого об'єму метантенка.

Вихід біогазу з біомаси залежить від ряду факторів:

- тип біомаси
- ступінь подрібнення сировини
- температурний режим

На процес анаеробного бродіння в біогазовій установці впливають:

- Біологічні;
- Фізичні;

Хімічні; Організаційно-технологічні фактори; Вирішальними факторами інтенсифікації виробництва біогазу є:

- первинні та експлуатаційні витрати;
- надійність біогазового устаткування в експлуатації;
- вимоги до технічного обслуговування та персоналу;
- ефективність використання отриманої продукції.

Вдосконалення факторів призводить до збільшення ефективності використання сировини для утворення біогазу та зменшення затрат на весь технологічний процес.

Дослідження основних параметрів процесу метанового зброджування безпідстилкового гною ВРХ.

Для визначення впливу експозиції ферментації, дози завантаження і вологості початкової біомаси на процес метанового зброджування безпідстилкового гною ВРХ в мезофільному режимі нами проведено дослід на лабораторній установці, оснащеній мікробіологічними реакторами повного змішування. Виділяли два основні температурні режими метанового зброджування біомаси: мезофільний (25°C–40°C) та термофільний (40°C–75°C).

Проведено дослід в двох температурних режимах 35°C та 45°C (табл. 3.1) тому, що керування температурним процесом підтримується в межах 35–45°C. Ця температура є оптимальною з точки зору протікання процесу метанової ферментації та енергетичних затрат біореактора.

Таблиця 3.1

Залежності генерації газу при різних температурах розчину від часу роботи реактора після добавки свіжого розчину

Дослід 1		t=35 °C	Дослід 2		t=45 °C
Час роботи реактора	Виділення газу Σ см ³	Виділення газу за годину	Час роботи реактора Σ год	Виділення газу Σ см ³	Виділення газу за годину

Σ год		h – см ³ /год				h см ³ /год	
15	15	10240	665,6	15	15	11008	716,8
24	9	15360	563,2	24	9	17920	768
39	15	19200	665,6	39	15	30208	819,2
48	9	25600	691,2	48	9	34816	793,6
63	15	33280	512	63	15	46592	783,36
67	4	35328	512	67	4	49920	832
69	2	36352	512	69	2	51456	768
88	14	43008	460,8	83	14	61184	691,2
93	10	48384	537,6	93	10	67584	640
108	15	55552	486,4	108	15	75776	537,6
118	10	60160	460,8	118	10	80384	460,8
132	14	66304	435,2	132	14	86528	435,2
139	7	68608	327,68	139	7	88832	327,68
141	9	69376	332,8	141	9	89600	332,8
156	15	74752	358,4	156	15	95232	373,76
163	22	77824	384	163	22	98304	394,24
180	17	83200	314,88	180	17	103680	314,88

Метанові бактерії проявляють свою життєдіяльність в межах температури 0–70°C. Якщо температура вище – вони починають гинути, за винятком кількох штамів, які можуть жити при температурі середовища до 90°C. При мінусовій температурі вони виживають, але припиняють свою життєдіяльність. У літературі як нижню межу температури вказують 3–4°C.

Дослідження показали, що термофільний режим є більш ефективним (рис. 3.1) ніж мезофільний (рис. 3.2).

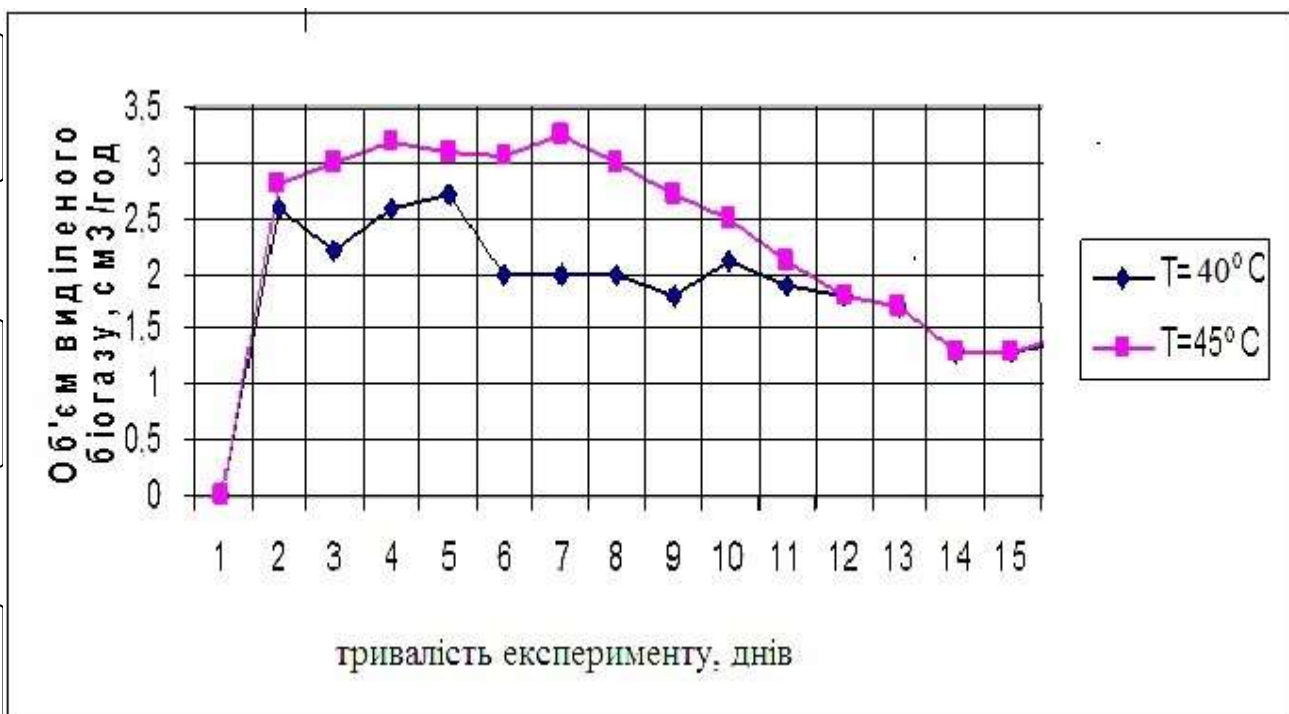


Рис. 3.1 Графік залежності виходу біогазу із метантенка при метановому збродженні в термофільному температурному режимі

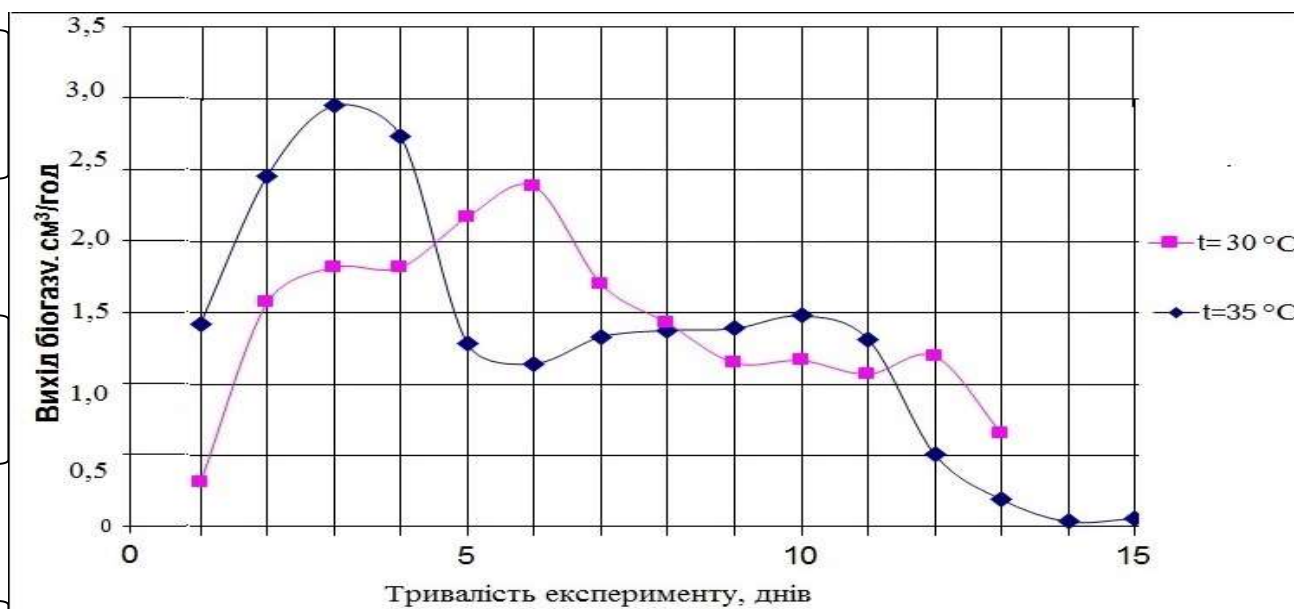
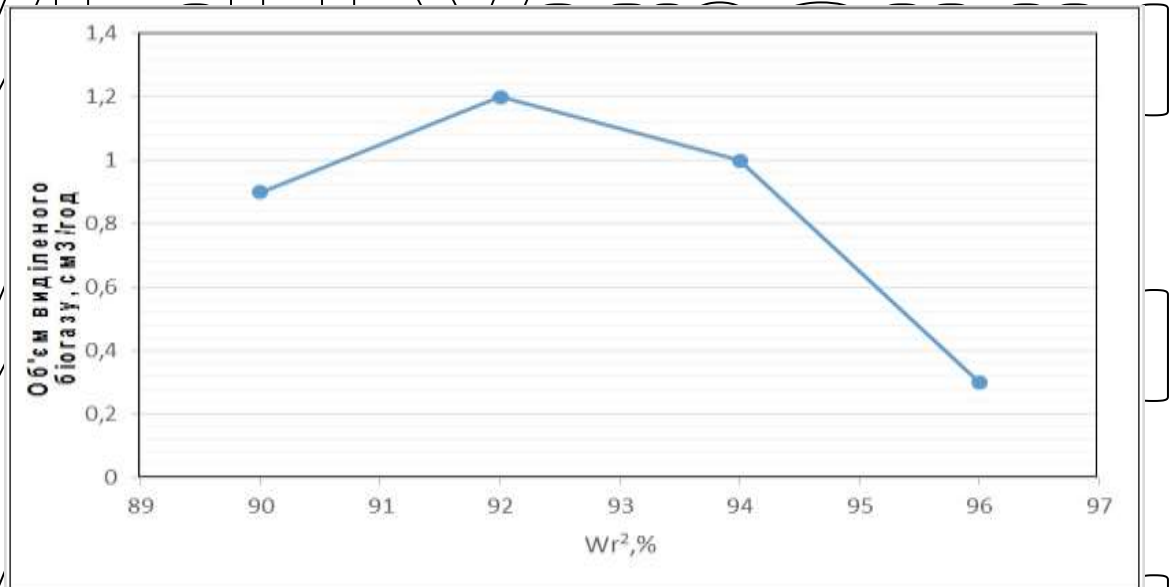


Рис.3.2 Графік залежності виходу біогазу із метантенка при метановому зброджуванні в мезофільному температурному режимі

Результати дослідження впливу дози завантаження реактора і вологості початкової біомаси на вихід біогазу з реактора представлені у вигляді графіка (рис. 3.3).

Також при проведенні дослідів виходу біогазу від показника вологості початкової біомаси, з'ясувалось, що оптимальна вологість органічної біомаси

(90–92%) (див. рис. 3.3).



Де: Wr^2 – відносна оптимальна вологість ґною (90–92%)

Рис. 3.3 Залежність виходу біогазу від вологості початкової біомаси

При опрацюванні даних, отриманих при проведенні експерименту отримали такий результат: 1 м³ біосуміші (суміш ґною ВРХ і курячого посліду) за 24 години виділяє – 0.9 м³ – 1.2 м³ біогазу, при підвищенні температури вихід біогазу збільшується (рис. 3.4)

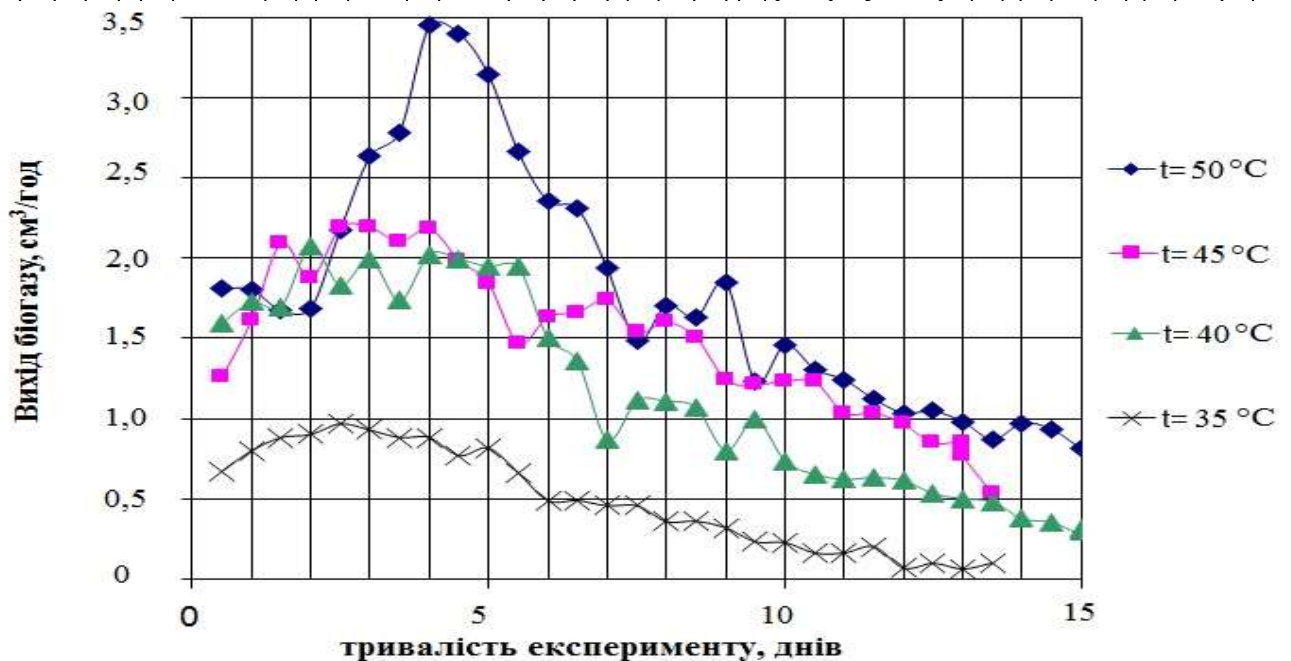


Рис. 3.4 Графік залежності виходу біогазу в часі від температурного режиму (суміш гною ВРХ і курячого посліду)

Кожен вид мікроорганізмів анаеробного розкладання відрізняється специфічною потребою в макро- і мікроелементи та вітаміни. Концентрація і доступність цих компонентів впливають на швидкість росту і активність різних популяцій. Залежно від виду мікроорганізмів існують мінімальні і максимальні концентрації, визначення яких ускладнено внаслідок різноманіття культур і їх частково яскраво вираженою адаптивною здатністю.

Щоб отримати з субстратів щонайбільше метану, слід забезпечити оптимальне постачання мікроорганізмів поживними речовинами. У підсумку, скільки метану можна отримати з використовуваних субстратів, визначається вмістом в них білків, жирів і вуглеводів. Ці чинники в рівній мірі впливають на питому потребу в поживних речовинах [30].

Розглянемо процес метанового зброджування сировини в метантенку об'ємом 25 л на прикладі переробки гноївки ВРХ при температурі 55° (рис. 3.5). На початковому етапі, після додавання нового субстрату, спостерігається лаг-фаза, або фаза звикання мікроорганізмів до нових умов. У метантенк додається від 1/2 до 1/3 його об'єму гноївки, і стільки ж біошламу зливається. Метанові бактерії, які залишилися в «затравочній» порції субстрату в метантенку, певний час звикають до нового субстрату. На рис. 3 процес звикання триває перші чотири дні. У даному випадку, такий довгий період лаг-фази обумовлений тим, що до нової заправки в якості субстрату в метантенку був курячий послід, розведений водою, а температура зброджування становила 40°C. У разі додавання в метантенк однотипного субстрату за умови незмінності температурного режиму час лаг-фази істотно скорочується. Після звикання бактерій до нових умов вони починають активно рости і розмножуватися, виділяючи при цьому велику кількість біогазу. Процес переходить в експотенціальну (логарифмічну) фазу (на рис. 3.5 відповідає період з 4 по 8 добу зброджування). По мірі вичерпання поживних

властивостей субстрату та накопичення в ньому продуктів обміну, швидкість росту знижується і процес переходить у фазу уповільнення росту (період з 8 по 15 добу на рис. 3.5) і далі в стаціонарну фазу, в якій процеси ділення і відмирання бактерій в популяції знаходяться в динамічній рівновазі (період з 15 по 20 добу на рис. 3.5). Коли вичерпання поживних речовин в субстраті і накопичення продуктів метаболізму долають порогові концентрації, починається фаза відмирання і число бактерій в популяції поступово знижується. Відповідно, знижується і обсяг виробленого біогазу. Період фази відмирання відповідає часу з 20 по 35 добу на рис. 3.5. Якщо субстрат складається із декількох компонентів, може спостерігатись явище діаксії, коли бактерії виробивши один компонент субстрату, переходять на живлення іншим компонентом. В цьому випадку спостерігається два піки максимального виходу біогазу [Ошибка! Источник ссылки не найден.].

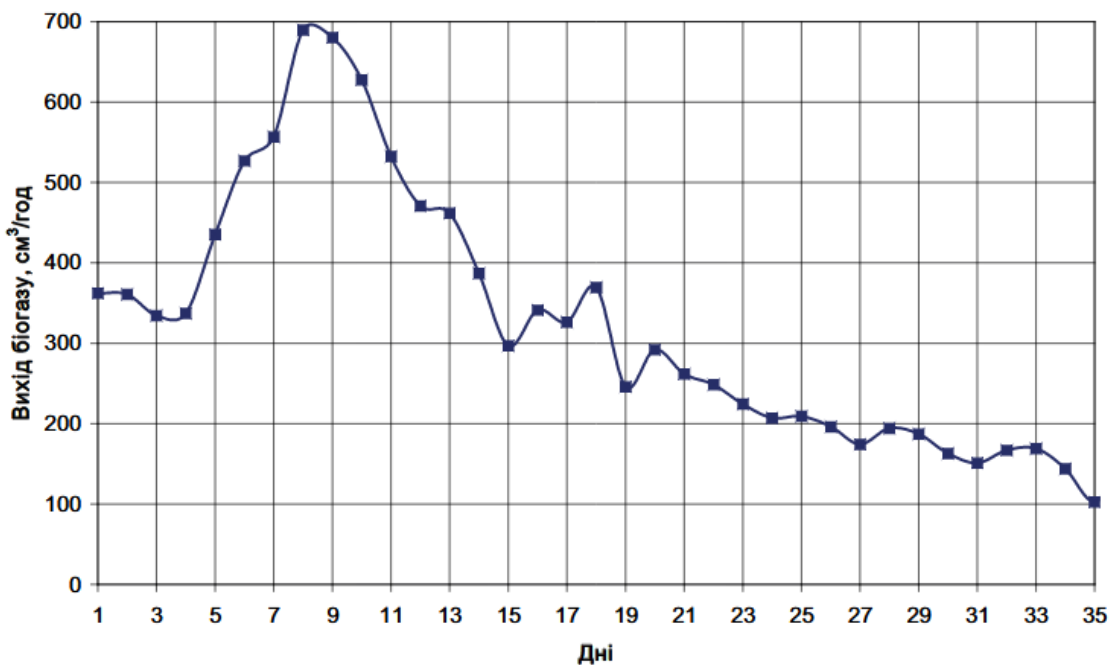


Рис. 3.5 Процес метанового зброджування гноївки ВРХ вологістю 93% при температурі 55°C

Залежно від технології переробки, залишки від процесу бродіння з біогазових установок можуть використовуватись в як добрива у сільському господарстві. Залишки від бродіння є повноцінним добривом, яке за своєю

дією схоже на мінеральні добрива. У хімічному плані вони є набагато менш агресивними, ніж сирий гній, вміст мінералізованих форм азоту в них є вищим, а запах менш інтенсивним. Залишки від бродіння містять значну кількість легкодоступного для рослин азоту, крім того – фосфор, калій, сірку та мікроелементи.

Органічні добрива (гнійна рідота, твердий гній) належать до субстратів, які найчастіше використовуються у виробництві біогазу, оскільки вони утворюються у великих кількостях і доступні безкоштовно на багатьох сільськогосподарських підприємствах. Крім того, гній ідеально підходить у якості субстрату, тобто легко зміщується з іншою сировиною, такою як кукурудза, силос, силосна маса та ін.

3.1.2 Дослідження виходу біогазу з полігону ТПВ

Після дослідження полігону в м. Маріуполь маємо наступні дані: площа – 13,26 га; накопичено ТПВ – 12,8 млн м³; глибина – 25 м; форма та покриття – крутий пагорб, частково покритий ґрунтом та будівельними відходами.

Насосний тест проводився з трьох свердловин для відкачування біогазу та семи контрольних зондів з датчиками тиску на глибині 4 м (три на відстані 5 м від кожної свердловини, три вздовж радіальної лінії на відстані від 5 до 25 м від однієї із свердловин та один рівновіддалений між трьома свердловинами).

Потік біогазу стабілізувався через 3 тижні експерименту на рівні 44 м³/год (20% від початкового значення). Склад біогазу: метан (25–40%), двоокис вуглецю (24–29%), кисень (0,2–0,5%), азот (30–46%) (рис. 3.6). Інфільтрація повітря має місце на крутих схилах.

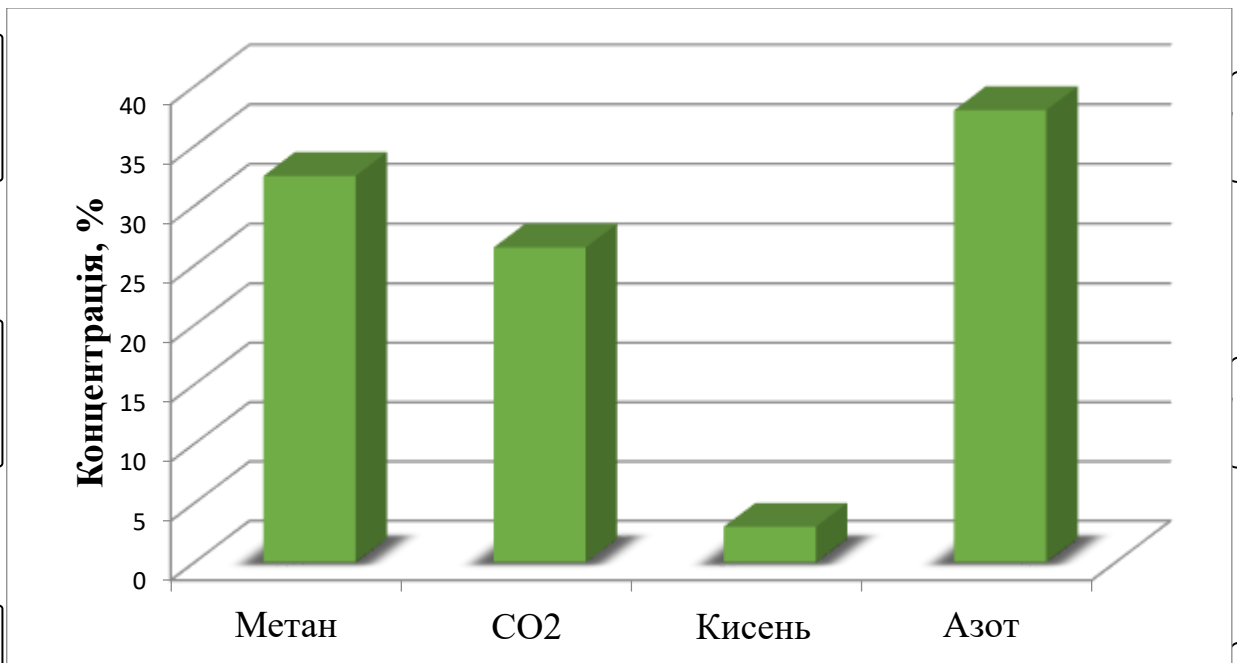


Рис. 3.6 Концентрація складових біогазу

Взаємозв'язок з розрідженням у відповідних свердловинах була виявлена в чотирьох з семи контрольних зондів, включаючи найбільш віддалений зонд, тобто радіус впливу перевищив максимальну відстань виміру розрідження. Середній радіус впливу під час насосного тесту був оцінений на рівні 2–2,5 глибини свердловини, об'єм відходів в межах радіусу впливу – від 167 тис м³ до 235 тис м³.

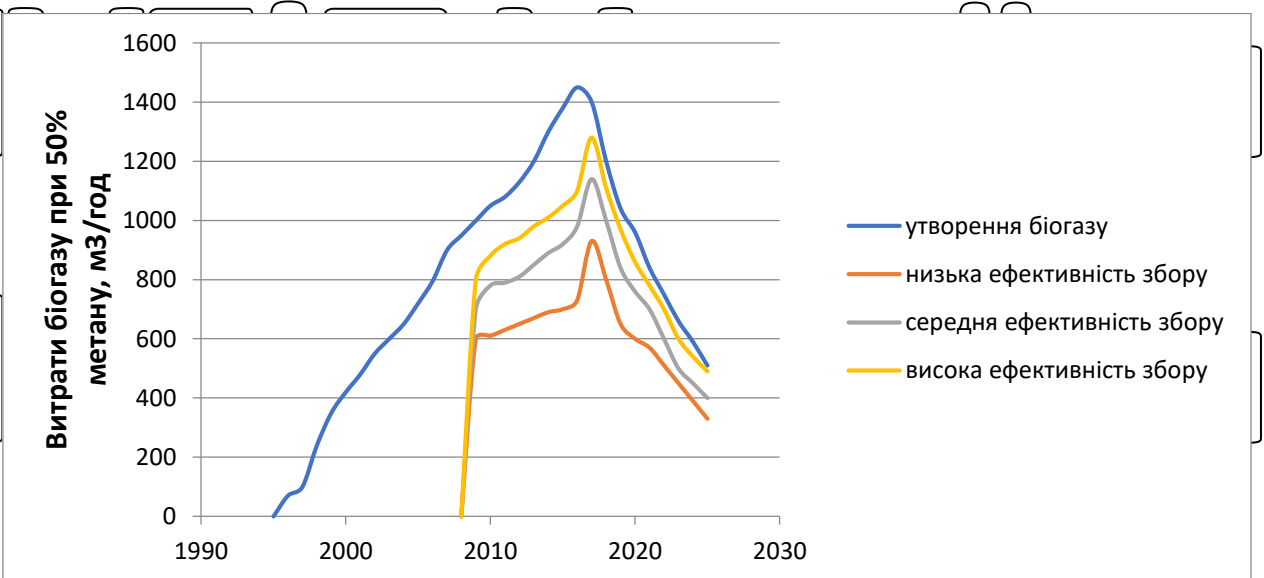


Рис. 3.7 Прогноз отримання біогазу з полігону ТНВ м. Маріуполь

Виходячи з оцінки питомого газоутворення відходів, кількість біогазу,

який можна зібрати на Маріупольському полігоні (рис. 3.7) знаходиться в діапазоні 565–753 м³/год (при ефективності збору 85%).

3.2 Розрахунки виходу біогазу

Вихідні дані (рис. 3.8):

- Вміст органічної складової – 55%;
- Вміст жироподібних речовин в органічних відходах – 27%;
- Вміст вуглецеводібних речовин в органічних відходах – 23%;
- Вміст білкових речовин в органічних відходах – 50%;
- Вологість відходів – 47%.

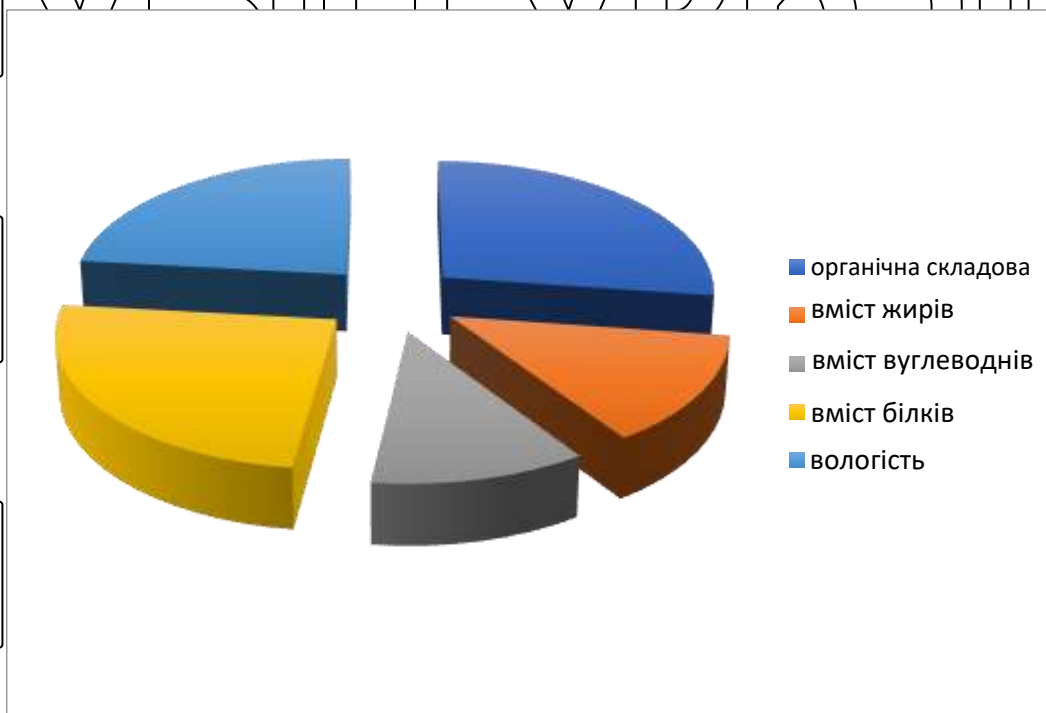


Рис. 3.8 Вміст проби з полігону ТЦВ м. Маріуполь

Полігон діє 19 років. Утворення відходів складає 163840 т.

Питомий вихід біогазу за період активного його виділення визначаємо

за формулою 1:

$$V_{\text{б.п}} = 10^{-6} R(100 - W)(0,92Ж + 0,62У + 0,34Б), \text{ де} \quad (1)$$

W – середня вологість відходів, %;

R – вміст органічної складової у відходах, %;

$Ж$ – вміст жироподібних речовин в органічних відходах, %;

$У$ – вміст вуглецевоподібних речовин органічних відходах, %;

$Б$ – вміст білкових речовин в органічних відходах, %.

$$V_{б.п} = 10^{-6} \times 55 \times (100 - 47) \times (0,92 \times 27 + 0,62 \times 23 + 0,34 \times$$

$$50) = 0,16353 \frac{\text{кг}}{\text{кг}} \text{ відходів}$$

Період активного виділення біогазу ($t_{ср} = 12,7^\circ\text{C}$; $T_{тепл} = 244 \text{ дн.}$)

дорівнює:

$$\tau_{\text{вид}} = \frac{163840 \div 19}{244 \times (12,7)^{0,301}} = 16,5 \text{ років}$$

(2)

Визначемо кількість виходу біогазу на рік, відносно однієї тонни заборонених відходів за формулою 3:

$$Q_6 = \frac{0,16353}{16,5} \times 10^3 = 9,9 \text{ кг/т відходів на рік} \quad (3)$$

Щільність біогазу визначимо за формулою 4.

$$\rho_6 = 10^{-6} \times K, \text{ де} \quad (4)$$

K – кількість утворених відходів, м^3 .

$$\rho_6 = 10^{-6} \times 12800000 = 12,8 \text{ кг/м}^3$$

Активніше виробляють біогаз відходи, що були завезені на полігон за період від початку роботи до моменту розрахунку мінус останні два роки, тобто за 17 років.

$$Q_{\text{сум}} = 163840 \times 17 = 2785280 \text{ т} \quad (5)$$

Сумарний максимальний разовий викид біогазу з полігону становить:

$$V_{б.макс} = \frac{9,9 \times 2785280}{86,4 \times 244} = 1308 \text{ т} \quad (6)$$

Валові викиди біогазу розраховуються за формулою 7:

$$V_{б.вал} = 1308 \times \left(\frac{5 \times 365 \times 24 \times 3600}{12} + \frac{5 \times 365 \times 24 \times 3600}{12 \times 1,3} \right) \times 10^{-6} = 25119,63 \text{ т/рік} \quad (7)$$

Після проведення дослідів та розрахунків, можна зробити висновки, що з полігону ТПВ в м. Маріуполь може бути отримано 1,2 млрд м^3 біогазу, що

відповідає 24 млрд МДж. Такої енергії вистачить, щоб забезпечити тепло- та електроенергією всю Донецьку область на багато десятиків років.

Якщо ж реалізувати весь потенціал полігонів ТПВ країни, то його вистачить, щоб цілком перейти на альтернативне паливо, що допоможе покращити екологічну ситуацію та зменшити об'єми сміттєзвалищ, які займають значну частину території.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

РОЗДІЛ 4. ЗАХОДИ БЕЗПЕКИ ПРИ РОБОТІ З МЕТАНТЕНКОМ

4.1 Заходи безпеки при монтажі і ремонті метантенка БГУ

а) При механічній обробці різанням і шліфуванням електроінструменту.

Вид небезпеки: небезпека електротравми; травмування подрібненим металом (стружкою); високий вміст абразивного пилу в повітрі (при шліфовці); можливість електротравми, опіку.

Заходи безпеки: металевий корпус електроінструменту необхідно заземлити; працювати з електроінструментом в діелектричних калошах і рукавичках; працювати із застосуванням засобів індивідуального захисту (окуляри, головний убір, респіратор); не перевіряти шорсткість оброблюваної деталі на дотик; стружку і абразивний пил змитати щіткою.

б) При зварюванні.

Вид небезпеки: забруднення повітряного середовища робочої зони зварювальним аерозолем; можливість отримання електротравми, опіку, порізу.

Заходи безпеки: всі з'єднання ацетиленових генераторів, трубопроводів, рукавів і т.п. повинні герметизуватися; зварювач і підручні повинні бути забезпечені індивідуальними засобами захисту: маскою з світлофільтром, брезентовим захисним спецодягом і взуттям; робоче місце повинне бути обладнано черговими діелектричними чобітьми, килимком, рукавичками.

в) При фарбуванні.

Вид небезпеки: сильне забруднення повітря отруйними парами і газами (аерозолем і парами розчинників). Небезпека виникнення пожежі.

Заходи безпеки: потрібно працювати в спецодязі (рукавичках, респіраторі і окулярах); учасники виробництва робіт забарвлень повинні бути забезпечені засобами пожежогасіння.

г) При монтажі з використанням підйомно-транспортного устаткування.

Вид небезпеки: травмування деталлю, що зірвалася, травмування перетертими жилами стропа.

Заходи безпеки: працювати із застосуванням засобів індивідуального захисту (каски, страхувального троса); призначити відповідального по виробництву робіт; кранівники і стропальники повинні мати відповідний допуск на виробництво робіт, підйомно-транспортні машини повинні бути оглянутий.

4.2 Заходи безпеки при експлуатації БГУ

Правила складені для робітників, що виконують виробничі завдання по обслуговуванню БГУ під час роботи, а також встановлюють основні вимоги по технічному обслуговуванню БГУ.

Загальні вимоги безпеки:

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

2. Інструктаж по охороні праці з обслуговуючим персоналом повинен проводитися щодня перед заступанням зміни на роботу. Обличчя, виконуючі роботи по обслуговуванню БГУ, проходять медичний огляд не рідше 1 разу на 6 місяців. Вагітні і годуючі жінки до роботи по обслуговуванню БГУ не допускаються.

3. При роботі з БГУ необхідно пам'ятати про вибухонебезпеку метану і строго стежити за герметичністю газгольдера і його комунікації. При виявленні витoku газу роботу потрібно припинити, усунути дефект повинні тільки фахівці, добре знаючі правила поводження з вибухонебезпечними

речовинами.

4. Порожніх цистерн і резервуарів БГУ оглядається не менше ніж двома фахівцями, що знають заходи безпеки і забезпеченими планговими протигазами, гумовими рукавичками і страхуючими вірьовками. Після роботи необхідно провітрити спецодяг в спеціально відведеному для цього приміщенні.

5. При роботі по обслуговуванню БГУ можливо виникнення наступних небезпечних і шкідливих виробничих чинників: висока напруга живлення електроустановок, виділення токсичних газів, підвищений рівень шуму, вібрації, підвищений тиск газу, відкрите подум'я.

До складу біогазу входять сірководень (H_2S), вуглекислий газ (CO_2) і Метан. Метан, що входить до складу біогазу, практично не отруйний. Він легше за повітря, легко запалає і утворює з повітрям (5–15% метану) або киснем вибухову суміш. У разі витoku, за наявності вентиляції, газ випаровується без яких або наслідків. Сірководень, якщо і представляє небезпеку для здоров'я людей, то зустрічається в невеликих кількостях і легко виявляється по неприємному запаху. Оскільки сірководень важче за повітря, необхідно звертати увагу на те, щоб при витоках цей газ не зміг нагромаджуватися в поглибленнях. При високих концентраціях він пригнічує сприйняття запаху, що утрудняє його виявлення і може привести до смертельних отруєнь, але ще раз можна відзначити, що частка сірководня в біогазі дуже мала і становить не більше 1 %. Вуглекислий газ (CO_2) входить до складу біогазу, теж може скоплюватися в глибоких виїмках, оскільки він важче за повітря, за наявності нещільності в установці викликає небезпечну задуху.

РОЗДІЛ 5. ЕФЕКТИВНІСТЬ БІОГАЗОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Досвід із впровадження технологій метаногенезу в сільськогосподарську практику показує, що в ієрархії ефективності цього метода перше місце займає його екологічний ефект, потім реалізується ефект від отримання високоякісних добрив, і тільки третє місце займає часто недооцінена енергетична складова процесу.

Фізико-механічні властивості стоків гною залежать в основному від умов утримання тварин на фермі і способів прибирання гною (механічний, самопливний або підрозливний) і змінюються в межах: вологість 76,8–98,3%, зольність 14–22%. Обсяги річних стоків визначаються кількістю тварин, що утримуються, і сягають 44–468 м³ на фермах ВРХ і 37–2580 м³ у свинарниках.

Вихід біогазу залежить від кількості сухої органічної речовини (с.о.р.) у гної і його якісного складу. Максимальний вихід біогазу (в розрахунку на 1 кг с.о.р.) складає: 0,35 м³ із гною ВРХ, 0,45 м³ із гною молочної худоби; 0,5 м³ із свинячого гною і 0,7 м³ з птишиного посліду. Якісний склад стоків визначається співвідношенням його компонентів: білків, жирів, вуглеводів, целюлози, лігніну. При високому вмісті лігніну, який практично не розпадається при метановому зброджуванні (що характерно для гною ВРХ на відгодівлі), отримуємо мінімальну кількість біогазу – до 0,35 м³, а при високому вмісті білків, жирів і вуглеводів у вихідному гної – до 0,7 м³ біогазу.

В установках, що працюють у мезофільному режимі, добовий вихід біогазу складає 1,0 м³, у термофільному режимі – 2,0 м³ біогазу з 1 м³ робочого об'єму метантенка.

5.1 Енергетична доцільність

Слід зазначити, що біогазові установки з невеликим об'ємом реакторів (до 25 м³) мають негативний енергетичний баланс. І тільки установки з об'ємом метантенка 100 м³ і більше, з витриманою технологією зброджування

дають енергетичний ефект. Важливою умовою для сприятливого протікання процесу є постійність температури на вибраному рівні, так як будь-які відхилення зменшують метаболічну і репродуктивну активність мікроорганізмів.

Проведемо оцінку енергетичного балансу біогазової установки. Відповідно до технології отримання біогазу, показаної на рис. 5.1, у загальний енергетичний баланс процесу включаються витрати енергії на перекачку гною, починаючи від подачі його в пристрій для попереднього нагрівання, на акумулюючі місткості і метантенк, і закінчуючи вивантаженням зброженої маси у сховище і прокачуванням її через теплообмінники. У кожному конкретному випадку кількість енергії визначається в'язкістю маси, що переміщується, продуктивністю і тривалістю роботи помп, а також характеристиками теплотраси (довжиною і перерізом трубопроводів тощо).

У загальному вигляді витрати енергії (кВт·год) можуть бути визначені за формулою:

$$P_0 = V P \eta / W, \quad (5.1)$$

де V – об'єм гною, що переміщується, м^3 ; P – потужність, що споживається помпою, кВт; W – продуктивність помпи, $\text{м}^3/\text{год}$; η – ККД помпи.

При розрахунку енергетичного балансу біогазової установки враховувались: типорозмірний ряд тваринницьких ферм, їх кількість, кліматичні зони, способи прибирання гною та його кількість, що підлягає переробці, обсяги стоків та їх фізико-механічні властивості, робочі параметри метантенка і вихід біогазу. Суттєвий вплив на енергоємність процесу справляє підтримання постійної температури зброджування всередині метантенка. На енергетичний баланс установки мають істотний вплив природно-кліматичні умови розміщення тваринницької ферми.

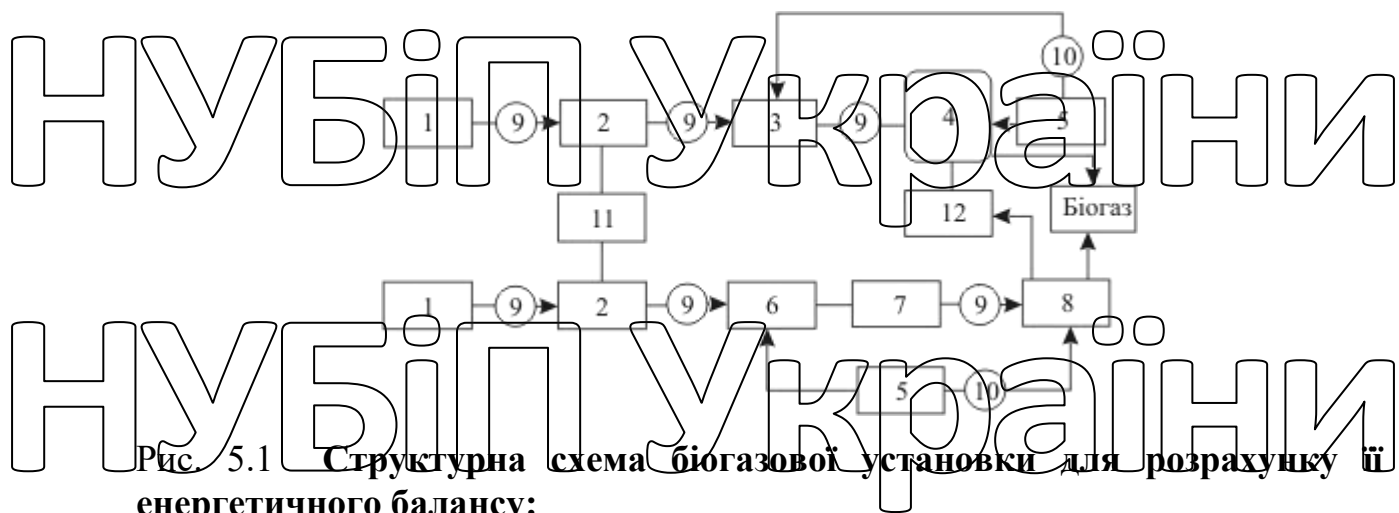


Рис. 5.1 Структурна схема біогазової установки для розрахунку її енергетичного балансу:

1 – гносприймач; 2 – відокремлювач механічних включень; 3 – теплообмінник; 4 – метантенк; 5 – газовий котел; 6 – підігрівач; 7 – розподільник; 8 – метантенк; 9 – помпа для подачі гною; 10 – водяна помпа; 11 – відбирання твердих включень; 12 – зфроджена маса

В основу енергетичної оцінки покладено структурну схему біогазової установки (рис. 5.1).

Тепловий баланс біогазової установки визначають залежністю:

$$Q_1 = (K_1 Q_2 + Q_3) K_2 =, \quad (5.2)$$

де Q_1 – енергія, отримана з біогазу;

Q_2 – енергія, що витрачається на нагрівання гною до температури бродіння;

Q_3 – енергія, що витрачається на компенсацію тепловтрат у навколишнє середовище;

K_1 – коефіцієнт, що враховує утилізацію теплоти збродженної маси для нагрівання вхідної сировини в теплообміннику ($K_1=0,5$);

K_2 – коефіцієнт, що враховує тепловтрати з біологічним газом у трубопроводах ($K_2 = 1,15$).

Теплова енергія (МДж), що отримується з біогазу і витрачається на нагрівання гною, розрахована в розділі 3:

$$Q_2 = E_{\text{БГУ}} = 16634,9 \text{ МДж,}$$

$$Q_3 = E_{\text{тепл втр}} = 3327 \text{ МДж.}$$

Тепловтрати в навколишнє середовище визначаються величиною коефіцієнта тепловіддачі, який, при застосуванні мінеральної вати в якості теплоізоляційного матеріалу, складає $0,3 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

На тепловий баланс установки суттєво впливає величина сухої органічної речовини гною, що зброджується [1]. При її вмісті на рівні $20 \text{ кг}/\text{м}^3$ і менше біогазові установки мають від'ємний тепловий баланс у всіх кліматичних зонах при будь-яких режимах бродіння. Найбільш вигідний тепловий баланс мають установки, що переробляють гній з сухою органічною речовиною (COP) в обсязі $80 \text{ кг}/\text{м}^3$, у районах з теплим кліматом, що працюють в мезофільному режимі. У цьому випадку частка витрат енергії на власні потреби складає $21,1\%$.

Таким чином [1], при здійсненні процесу ферментації біомаси у метантенку складові витрат енергії розподіляються на:

- теплові:

- попереднє нагрівання гною – 72% ;
- втрати в технологічних трубопроводах – $3,57\%$;
- втрати в теплоізоляційному прошарку – $14,1\%$;

- електричні:

- подача гною в нагрівальну установку – $1,16\%$;
- циркуляція гною в нагрівальній установці – $1,95\%$;
- завантаження гною в метантенк – $1,16\%$;
- створення розрідження в нагрівальній установці – $1,95\%$;
- вивантаження зброженого гною – $0,59\%$;
- переміщення зброженого гною – $3,1\%$.

Тобто, витрати електричної енергії складають $8,91\%$ від загальних.

5.2 Економічна ефективність

Застосування технологій біогазового виробництва, що обумовлене необхідністю опанування нових джерел енергії, навіть в умовах, коли

традиційні палива займають домінуюче положення, потрібно обґрунтувати з економічної точки зору. Сьогодні на енергетичному ринку країн Європи, зокрема у Чеській Республіці [1], потенційне використання біогазу може зайняти досить помітну позицію (рис. 5.2).

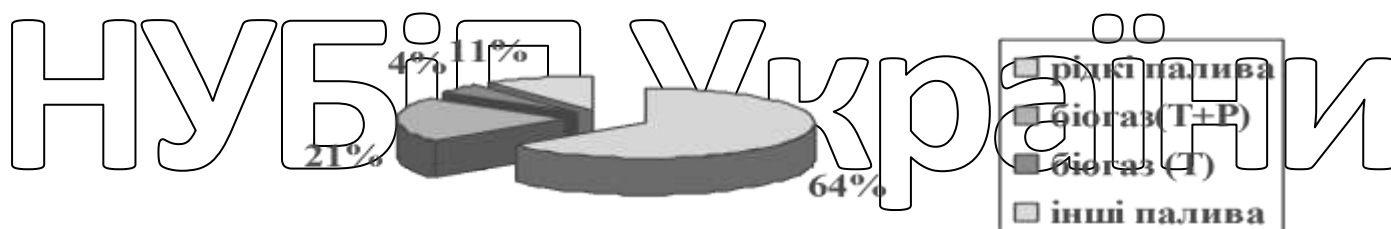


Рис. 5.2 Теоретичний прогноз використання біогазу в аграрній галузі при сучасному рівні енергоспоживання.

де:

T + P – біогаз з біомаси та виділень тварин, а T – з відходів ферм

Розрахуємо економічну ефективність біогазової установки, до складу якої входить розроблений реактор-метантенк, для ферми великої рогатої худоби на 12 голів.

Вихід гною при стійловому утриманні складає 0,63 м³/добу, вихідна вологість якого 86%, вміст сухої органічної речовини – 89 кг/добу. Добовий вихід біогазу складає 17,6 м³. При енерговмісті біогазу на рівні 23 МДж/м³ енергетичний потенціал відходів ферми можна оцінити в 14 кг умовного палива на добу. Витрати електроенергії для власних потреб становлять 2 кВт год/добу. Витрати теплоти для власних потреб: узимку – 74,5 МДж/добу, улітку – 31,5 МДж/добу. Тривалість теплового періоду приймають рівною 245 діб, холодного – 120 діб.

Капітальні вкладення (K) в біоенергетичну установку для обслуговування ферми на 12 голів ВРХ складають приблизно 79500 грн. Річні експлуатаційні витрати – 7100 грн., складаються з: амортизаційних відрахувань в розмірі 5% від вартості біогазової установки, витрат на ремонтно-технічне

обслуговування, заробітної плати в розмірі 200 грн. в місяць для обслуговуючого персоналу, інших витрат в розмірі 10% від суми перерахованих витрат.

Грошова виручка від реалізації продуктів переробки біомаси складається з виручки від продажу електроенергії, теплоти і добрив.

При ціні на електроенергію 31 коп./кВт·год грошова виручка від її продажу за рік складе:

$$R_1 = 0,31 \cdot 0,862 \cdot (17,6 \cdot 0,62 - 2) \cdot 365 = 868 \text{ грн.} \quad (5.3)$$

Річний вихід твердої фракції складає 170 т, при ціні за 1 т добрив 200 грн.,

виручка від їх продажу

$$R_2 = 170 \times 200 = 34000 \text{ грн.} \quad (5.3)$$

Загальна річна виручка

$$R = 868 + 34000 = 34868 \text{ грн.}$$

Термін окупності біоенергетичної установки

$$T_{ок} = K / (ЧП - A) \quad (5.4)$$

де ЧП – щорічна сума прибутку;

A – річні експлуатаційні витрати,

$$T_{ок} = 79500 / (34868 - 7100) = 2,86 \text{ роки.}$$

Таким чином, при прийнятих вихідних даних біогазова енергетична установка є економічно ефективною.

5.3 Екологічна безпека

Агропромислове виробництво є джерелом значної кількості шкідливих викидів газів та органічних відходів у навколишнє середовище, чим істотно погіршує стан екології довкілля. Аналізуючи сучасну ситуацію з наведенням лише трьох складових забруднень атмосфери, слід підкреслити, що екологічні втрати від такої діяльності у сільській місцевості не співвідносяться з відповідними у промисловості за питомою вагою валових продуктів

аграрної та промислової галузей. Тому, технології, що полегшують антропогенний вплив на екологію, повинні активно впроваджуватись у сільській місцевості. Саме процеси метаногенезу біомаси дозволяють ефективно протистояти збільшенню шкочинних емісій газів сільськогосподарського походження.

Деяко вважає, що головним призначенням ферментаційних установок є отримання біогазу, який служить додатковим джерелом місцевого енергопостачання. Оцінюючи з цієї точки зору економічну ефективність переробки біомаси, вони не враховують, що біогазові установки є

альтернативним обладнанням для переробки гною і відходів. Тому, витрати на їх створення і експлуатацію повинні бути віднесені до заходів знезаражування гною, виробництва високоякісних добрив і захисту навколишнього середовища. У цьому випадку біогазові установки завжди будуть мати

позитивний економічний ефект. Розрахунки показують, що, незважаючи на значні капітальні вкладення, термін окупності промислової біогазової установки складає біля трьох років.

Таким чином, вищевказані напрями технологічних і технічних розробок дозволяють забезпечити виробництво екологічно чистої продукції тваринництва і рослинництва для дилячого, дієтичного і профілактичного харчування, усунути забруднення навколишнього середовища при одночасному зменшенні енергетичних і матеріальних затрат.

ВИСНОВКИ

Виходячи з аналізу даних та проведених досліджень можна зробити наступні висновки.

1. Дослідження щодо впровадження технологій метаногенезу в сільськогосподарську практику показує, що в ієрархії ефективності цього методу перше місце займає його екологічний ефект, потім реалізується ефект від отримання високоякісних добрив, і тільки третє місце займає, часто недооцінена, енергетична складова процесу.

2. Досліджено, що термофільний (45–50 °С) режим є більш ефективним ніж мезофільний (35–40 °С), що виражається у об'ємі виходу біогазу.

3. В ході проведення експерименту отримали з 1 м³ біосуміші (суміш гною ВРХ і курячого посліду) за 24 години – 0.9 м³–1.2 м³ біогазу, при підвищенні температури вихід біогазу збільшувався.

4. Вихід біогазу залежить від показника вологості початкової біомаси, а оптимальна вологість органічної біомаси становить 90–92 %.

5. Досліджено процес метанового зброджування сировини в метантенку об'ємом 25 л на прикладі переробки гноївки ВРХ при температурі 55°

С. На початковому етапі, після додавання нового субстрату, спостерігається лаг-фаза, або фаза звикання мікроорганізмів до нових умов. Якщо субстрат складається із декількох компонентів, може спостерігатись явище діаксії, коли бактерії виробивши один компонент субстрату, переходять на живлення іншим компонентом. В цьому випадку відмічено два піки максимального виходу біогазу.

6. Досліджено полігон ТПВ в м. Маріуполь: площа – 13,26 га; накопичено ТПВ – 12,8 млн м³; глибина – 25 м.; форма та покриття – крутий пагорб, частково покритий ґрунтом та будівельними відходами. Насосний тест проводився з трьох свердловин для відкачування біогазу та семи контрольних зондів з датчиками тиску на глибині 4 м (три на відстані 5 м від кожної свердловини, три вздовж радіальної лінії на відстані від 5

до 25 м від однієї із свердловин та один рівновіддалений між трьома свердловинами).

7. Відмічено, що потік біогазу стабілізувався через 3 тижні експерименту на рівні 44 м³/год (20% від початкового значення). Склад біогазу: метан (25–40%), двоокис вуглецю (24–29%), кисень (0,2–0,5%), азот (30–46%).

8. Виходячи з оцінки питомого газоутворення відходів за період активного його виділення (244 доби), кількість біогазу, який можна збирати на Маріупольському полігоні ТПВ протягом 16,5 років знаходиться в діапазоні 565–753 м³/год (при ефективності збору 85%).

9. Проведені розрахунки підтверджують, що з полігону ТПВ в м. Маріуполь може бути отримано 1,2 млрд м³ біогазу, що відповідає 24 млрд МДж. Такої енергії вистачить, щоб забезпечити тепло- та електроенергією всю Донецьку область на багато десятків років.

10. Видобуток біогазу з полігонів ТПВ набагато більший ніж з переробки через БДУ.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

НУБІП України

1. В. Дубровін, М. Корчемний, І. Масло і ін. Биопалива (технологии, машины і обладнання) К.; ЦТІ „Енергетика і електрифікація”, 2004. – 256с.

НУБІП України

2. Животноводческие комплексы и охрана окружающей среды Ю.И.Ворошилов, С.Д.Дурбыдаев, Л.Н.Ербанов и др. М.: Агропромиздат, 1991, 107с.

3. Экологическая биотехнология: Пер. с англ./ Под редакцией К.Ф.Форстера, Д.А.Дж. Вейза.-Л.: Химия, 1990.- 383 с.

НУБІП України

4. Паламарчук І.К., Стасенко І.В. Радіаційне забруднення як фактор деградації ґрунтів та його економічна оцінка // Современные проблемы охраны земель: Труды межгосуд. науч. конференции.-К, 1997.-4.1.- С.96–98.

НУБІП України

5. Дорогунцов С.І. Охорона земель – загальнонаціональна проблема // Современные проблемы охраны земель: Труды межгосуд.научн.конференции.-К., 1997.-Ч.1.-С. 3–7.

НУБІП України

6. Про подолання кризового стану у тваринництві і птахівництві та стабілізацію розвитку галузі Постанова Кабінету Міністрів України від 29 грудня 1997 р. №1474 //Вісник Уряду України.-1997-9 січня.

НУБІП України

7. Державна політика енергозбереження в Україні.-К.: Державний комітет України з енергозбереження, 1997. - 4с.

НУБІП України

8. Таргоня В.С. Можливі перспективи подальшого розвитку технологій виробництва сільськогосподарської продукції // Зб. наук. праць УкрЦВТ Дослідницьке, 1995.- С. 188–192.

НУБІП України

9. Нікітенко А.М. Екологічні проблеми та їх значення у відтворенні великої рогатої худоби // Вісник БДАУ. Зб.наук.праць. - Біла Церква,1998. Вип.7.-4.1 - С.224–230.

НУБІП України

10. Бекер М.Е., Лиепиньш Г.К., Райпулис Е.П. Биотехнология.-М.: Агро-произдат, 1990.-334с.

11.Васильев В.А., Лукьяненко И.И., Минеев ВТ. и др. Органические удобрения в интенсивном земледелии.-М.:Колос, 1984.-190с.

12.Ляшенко А.А. Твердофазная ферментизация навоза и основные элементы блок-схемы процесса // Новые технологии и техника для механизации и электрификации процессов животноводства:

Тез.докл.международ.науч.технич. юбилейной конференции.-Запорожье: ИМЖ УААН, 1994.- С. 30–31.

13.Ялі І.І. Ресурсо- та енергозберігаючі технології виробництва в умовах ринкових відносин на прикладі проблеми гною. // Міжнарод. наук.-

техніч. конф. з питань розвитку механізації, електрифікації та автоматизації с.-г. виробництва в умовах ринкових відносин: Тези доповідей.-Глеваха: ІМЕСГ УААН, 1994.- С. 156–157.

14.Программа "Биотехнология-Продовольствие-Экология".-Херсон: МП "Интер БЭТ Аиндест", 1994.-25с.

15.Вихідні вимоги на комплексну технологію виробництва товарного біогумусу. Регіст. №Вт 46/16.20.23-95. Мінсільгосппрод України: УкрНДІПВТ, 1996.-11с.

16.Вихідні вимоги на обладнання для виробництва червокомпосту (сирого біогумусу): Регіст. №Вт 46.16.20.04-93. – Мінсільгосппрод України: УкрНДІПВТ, 1994.- 6с.

17.Использование сточных вод для орошения / Ю.Г.Бескровный, М.В.Козинец, В.И.Бойко и др. - К: Урожай, 1989. - 160с. 59.Жуков А.И. Методы очистки производственных сточных вод. - М.: Стройиздат, 1977. -204с.

18.Лер Р. Переработка и использование сельскохозяйственных отходов. - М.: Колос, 1979.- 415с.

19.Нурназаров А. Влияние суспензии хлореллы на молокоотдачу и привес КРС // Культивирование и применение микроводорослей в народном хозяйстве. - Ташкент: Фан, 1977. - С.64–66.

20. Адаменко А.И., Голодный И.М., Сокольников Л.И. Замкнутая

система вентиляції і нетрадиційні джерела енергії //

Сельскохозяйственная теплоэнергетика. - М., 1992. - С.36-37.

21. Технология использования биомассы в биогазовых установках //

Т.Амон, Б.Амон, В.Дубровин и др. // Зб.наук. праць НАУ. - 2003. - №60. -

С.18.

22. Корчемний М.О., Федорейко В.С., Щербаков В.В. Енергозбереження в агропромисловому комплексі. - Тернопіль: Підручники та посібники, 2001.

-984 с.

23. Методичні вказівки до виконання курсової роботи з "Біотехнології" для

студентів із спеціальності 7.130201 - зооінженерія / В.Г.Герасименко,

М.О. Герасименко, О.М. Мельниченко, С.В. Мерзлов, В.М. Харчишин,

Т.М. Писарук - Біла Церква, 2003. - 18 с.

24. Jewell W.J., Morris F.R., Price D.R., Gunkel W.W., Williams D.W.,

Loehr R.C. Methane Generation from Agricultural Wastes: Review of Concept and Future Applications, Cornell University, Ithaca, New York, 1974.

25. В. Баадер, Е. Донс, М. Брендерфер, Биогаз. Теория и практика. Перевод с немецкого М.И. Серебряного, М., 1982.

26. Голуб Г.А. Агропромислове виробництво їстівних грибів. Механіко-

технологічні основи / Г.А. Голуб. - К.: Аграрна наука, 2007. - 332 с.

27. Руководство по биогазу от получения до использования:

Идентификационный номер проекта (FKZ/ИИП): 22005108/ Немецкий

центр исследования биомассы Torgauer StraBe 116- 04347 Leipzig [5-е

полностью перераб. изд.] Гюльцов,: издано агентством по

возобновляемых ресурсам (FNR) Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.

V. 2010. - 214 с.

28. Системи видалення, обробки, підготовки, та використання гною: ВНТП-

АПК 09.06. Офіц. видання / - К.: Міністерство аграрної політики України

2006. - 100 с.

29. Экологическая биотехнология: Пер. с англ. / Под ред. К.Ф. Форстера,

Д.А. Дж. Вейза. - Л.: Химия, 1987. - 384 с.

30. Кухлинг Х. Справочник по физике: Пер. с нем. / Кухлинг Х. // 2-е изд.- М.: Мир, 1985. - 520 с.

31. Руководство по биогазу. От получения до использования / Специальное агентство возобновляемых ресурсов (FNR). 5-е издание. - Гюльцов: Германия, 2012. - 213 с.

32. Технічне забезпечення виробництва біогазу / [Голуб Г.А., Дубровіна О.В., Рубан Б.О., Войтенко В.О.]: Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Серія: технічні науки. - Вінниця, 2012. - Вип. 10. - 186 с. - С. 17-19.

33. Голуб Г.А. Сучасні тенденції розвитку біогазових установок / [Голуб Г., Войтенко В., Рубан Б., Єрмоленко В.]: Техніка і технології АПК. - 2012. - № 2 (29). - С. 18-21.

34. Національна комісія регулювання електроенергетики України

35. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: http://www.nerc.gov.ua/control/uk/publish/article/main?art_id=34197&cat_id=27394.

36. Amon T., Kryvoruchko V., Amon B., Buga S., Mayer K., Zollitsch W., Potsch E. (2003): Biogas aus Klee gras, Feldfutter- und Dauerwiesenmischungen. Der fortschrittliche Landwirt, 22, 52-53.

37. Франс Дж. Математические модели в сельском хозяйстве / Дж. Франс, Дж. Х. М. Торнли: Пер. с англ. А.С. Калянского. - М.: Агропромиздат, 1987. - 400 с.

38. Огороднік А.І. Кінетична модель процесу компостування субстрату у рибництві / Огороднік А.І., Голуб Г.А. // Міжвідомчий тематичний науковий збірник "Механізація та електрифікація сільського господарства". - К. - 1997. - Вип. 82. - С. 67-70.

39. Холькин Ю.И. Технология гидролизных производств / Холькин Ю.И. - М.: Лесная промышленность, 1989. - 496 с.

40. Голуб Г.А. Досвід виробництва і використання біогазу в Республіці Польща / Г.А. Голуб, С.В. Лук'янець // Економіка АПК. - 2011. - № 11. -

С. 157-160

41. Кухарень С.М., Голуб Г.А. Обґрунтування енергетичних витрат на привід обертового реактора біогазової установки. Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України: Збірник наукових праць / ДНУ "УкрНДІ прогнозування та випробування техніки і технологій для с.-г. виробництва імені Леоніда Погорілого" (УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого); Редколегія: Кравчук В.І. (головний редактор) та інші - Дослідницьке, 2014. - Вип. 18 (32), книга 2. - 387 с. - С. 356-364.

42. Марус О.А., Голуб Г.А. Аналіз конструкцій реакторів для твердофазної ферментації / О.А. Марус, Г.А. Голуб, // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК / Редкол.: С.М. Ніколаєнко (відп. ред.) та ін. - К., 2016. - Вип. 241. - 396 с. - С. 380-387.

43. Голуб Г., Войтенко В., Рубан Б., Єрмоленко В. Сучасні тенденції розвитку біогазових установок. - Техніка і технології АПК України - 2012. - № 2 (29). - С. 18-21.