НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСТИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Механіко-технологічний факультет

УДК 504.064.4:658.567.1

ПОГОДЖЕНО
Декан механіко-технологічного факультету
_____ Братішко В.В.
(підпис) (ПІБ)
“___” _____ 2023 р.

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач кафедри
кафедра охорони праці та біотехнічних систем у тваринництві
_____ Хмельовський В.С.
(підпис) (ПІБ)
“___” _____ 2023 р.

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему

Удосконалення технології анаеробного зброджування відходів свинарства

Спеціальність – 208 «Агроінженерія»
Освітня програма – Агроінженерія
Орієнтація освітньої програми – освітньо-наукова

Гарант освітньої програми

д.т.н., професор. _____ Голуб Геннадій Анатолійович
(науковий ступінь та вчене звання) (підпис) (ПІБ)

Керівник магістерської роботи

к.т.н , доцент _____ Потапова Світлана Євгеніївна
(науковий ступінь та вчене звання) (підпис) (ПІБ)

Виконав _____ Ільченко Євгеній Володимирович
…… (підпис) (ПІБ студента)

КИЇВ – 2023

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСТИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Механіко-технологічний факультет

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
кафедра охорони праці та біотехнічних систем у тваринництві
д.т.н., проф. _____ Хмельовський В.С.
(підпис) (ПІБ)
“__” _____ 2023 р.

З А В Д А Н Н Я

на виконання магістерської кваліфікаційної роботи студенту

Ільченку Євгенію Володимировичу
(прізвище, ім’я, по батькові)

Спеціальність – 208 «Агроінженерія»
Освітня програма – Агроінженерія
Орієнтація освітньої програми – освітньо-наукова

Тема магістерської роботи: Удосконалення технології анаеробного зброджування відходів свинарства
затверджена наказом ректора НУБіП України від “21” грудня 2021р. № 2218«С»
Термін подання завершеної роботи (проекту) на кафедру _____
(рік, місяць, число)

Вихідні дані до магістерської роботи
_____
_____
_____

Перелік питань, які потрібно розробити:
_____
_____
_____
_____

Перелік графічних документів (за потреби) _____
_____
_____
_____

Дата видачі завдання “_____”_____20___ р.

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи _____ С.Є. Потапова
(підпис) (прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання _____ Є.В. Ільченко
(підпис) (прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

Завдання на магістерську роботу 2
РЕФЕРАТ 5
ВСТУП 6

1. СТАН ПИТАННЯ ТА ПЕРСПЕКТИВИ БІОГАЗОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ 7
1.1. Перспективи виробництва біогазу в Україні 7
1.2. Технологічні аспекти виробництва біогазу 13

2. ОГЛЯД КОНСТРУКЦІЙ БІОГАЗОВИХ УСТАНОВОК 20
2.1. Аналіз конструктивних рішень біогазових установок 20
2.2. Будова реактора біогазових установок 21

3. УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ АНАЕРОБНОГО ЗБРОДЖУВАННЯ 37
3.1. Конструктивні особливості анаеробних біофільтрів 37
3.2. Динамічна модель процесу накопичення метаноутворюючих мікроорганізмів в анаеробному біофільтрі 42
3.3. Енергетична модель біогазової установки з анаеробним біофільтром 46
3.4. Аналіз результатів експериментальних досліджень 49
3.5. Удосконалення існуючої технології утилізації гною на свинофермі ФГ «Агрорось» Черкаської області Корсунь-Шевченківського району 54
3.6. Експериментальні дослідження біогазової установки з анаеробним біофільтром 58

4. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА РОЗРОБЛЕНИХ РІШЕНЬ 64
4.1. Розрахунок річних економічних показників

НУБіП України

5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ 67

5.1. Охорона праці при роботі на біогазових установках 67

5.2. Безпека праці під час обслуговування БГУ 69

5.3. Розрахунок охоронного освітлення 72

ВИСНОВКИ 74

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

НУБіП України
НУБіП України
НУБіП України
НУБіП України
НУБіП України
НУБіП України

РЕФЕРАТ

Магістерська робота на тему: Удосконалення технології анаеробного зброджування відходів свинарства.

Робота складається з вступу, п’яти розділів, висновків та списку використаних інформаційних джерел. Викладена на 74 сторінках комп’ютерного тексту, містить 12 таблиць, 55 рисунків.

Мета дослідження – удосконалення технології анаеробного зброджування відходів свинарства та обґрунтування параметрів біогазової установки, що підвищують ефективність процесу метаноутворення.

Об'єкт дослідження – процес переробки гнійних стоків свинарства у метантенку з анаеробним біофільтром.

Предмет дослідження – закономірності впливу режимів та параметрів біогазової установки з анаеробним біофільтром на технологічні показники процесу метаноутворення.

Розвиток ринку біогазу в Україні, зважаючи на високу інвестиційну вартість, відбувається в основному завдяки великим компаніям. В той час як у країнах Європи більш ніж 50% фермерських господарств мають БГУ різної потужності завдяки програмам державної підтримки [за даними Європейської біогазової асоціації]. Так, у Німеччині кількість діючих на базі фермерських господарств біогазових станцій складає близько 10000. Здебільшого це установки малої потужності, а кількість великих біометанових заводів становить 194 [16].

Ключові слова: анаеробне зброджування, біогазова установка, метантенк, іммобілізація, біофільтр.

НУБіП України

ВСТУП

Енергозабезпечення населення і глобальна екологічна криза змушує країни світу впроваджувати і застосовувати нові альтернативні засоби виробітку енергії. Постає необхідність пошуку інноваційних джерел енергії, які не завдають шкоди довкіллю і мають значний економічний ефект.

Виробництво біогазу є привабливою альтернативою з точки зору виробітку енергії. Враховуючи майже невичерпні сировинні ресурси все більше уваги держав привертають методи видобування і переробки біогазу. До того ж, цей вид палива є багатофункціональним і може застосовуватися у різних сферах. Сприятливі зміни в законодавстві ще більше стимулюють інвесторів вкладати кошти у будівництво біогазових установок.

Особливо доцільно встановлення біогазових установок біля ферм і утворення енергетичних кооперативів, оскільки фермери не лише забезпечують себе електроенергією, а й продають її державі за вигідними тарифами. Тони сміття утворюються щороку і лише незначна частка використовується за призначенням і переробляється, через це виробіток біогазу зі сміття – один із способів зменшити накопичення відходів і скоротити рівень забруднення довкілля. Будівництво біогазових установок – це крок до економіки замкненого циклу (циклічної економіки), спрямованої на впровадження відновлюваних джерел енергії, скорочення викидів парникових газів тощо.

Методи утилізації відходів в Україні постійно оновлюються у відповідності до європейських стандартів. Вибір ефективної системи утилізації відходів має грунтуватися на їх детальному аналізі, енергетичних та екологічних властивостях в межах кожного регіону України

В даний час в умовах свиноферм, особливо свинокомплексів, при утворенні великої кількості рідких органічних відходів на відносно малих площах значно зростають енергетичні витрати, пов'язані з їх переробкою та вивезенням на поля. При існуючих технологіях утилізації органічних відходів

тваринництва свинарські гнойові стоки погано переробляються в більш короткі терміни і приносять непоправну шкоду природному середовищу, призводять до багаторічних накопичень їх поблизу ферм і комплексів, розташованих поряд з природними водоймищами, що спричиняє збільшення захворюваності сільського населення на різні інфекційні захворювання. У зв'язку з цим, насьогодні одним з перспективних напрямів переробки гною та гнійних стоків є біохімічне перетворення шляхом анаеробного зброджування в метантенках, що дасть можливість вирішити проблеми, пов'язані з екологією та охороною навколишнього середовища.

НУБіП України
НУБіП України
НУБіП України
НУБіП України
НУБіП України
НУБіП України

1. СТАН ПИТАННЯ ТА ПЕРСПЕКТИВИ БІОГАЗОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

1.1. Перспективи виробництва біогазу в Україні

Виробництво біометану та біогазу з органічних відходів - це екологічна та дешевша альтернатива природному газу, на який Україна щорічно витрачає декілька мільярдів доларів.

Збагачений біометан не відрізняється від природного газу, тому його можна транспортувати та використовувати таким же чином. При цьому він має серйозні переваги, залишаючись при цьому не шкідливим для екології. Саме тому Європейський союз робить ставку на біометан, як паливо майбутнього, а Україна з її величезним потенціалом може зайняти на цьому ринку значну долю.

Розгалужена газотранспортна система нашої країни може бути використана для експорту біометану в країни Європейського союзу. Тобто на випадок припинення російським "Газпромом" транзиту газу по нашим газогонам, що рано чи пізно станеться, потужності української ГТС стануть головним каналом постачання біопалива в Європу.

Закачування біометану у газові мережі є прикладом так званого розподіленого виробництва енергії, коли енергоносії не видобуваються з надр, не транспортуються газопроводами на великі відстані і споживаються безпосередньо поруч із виробничими потужностями. Такий підхід несе менше інфраструктурних ризиків і дуже розповсюджений в таких економічно розвинутих країнах як Франція, Німеччина, Бельгія.

У країнах Європейського союзу біомаса відіграє значну роль у секторі виробництва теплової енергії. Її частка нині становить близько п'ятнадцяти відсотків загального обсягу споживаної теплової енергії.

ЄС чітко зазначив свої перспективні плани щодо переходу з традиційного палива - вугілля, газу, бензину та дизелю на більш екологічних види із низьким вмістом вуглецю. Якщо не рахувати атомну галузь, то біоенергетика – швидко стає паливом номер один в Європі.

НУБіП України

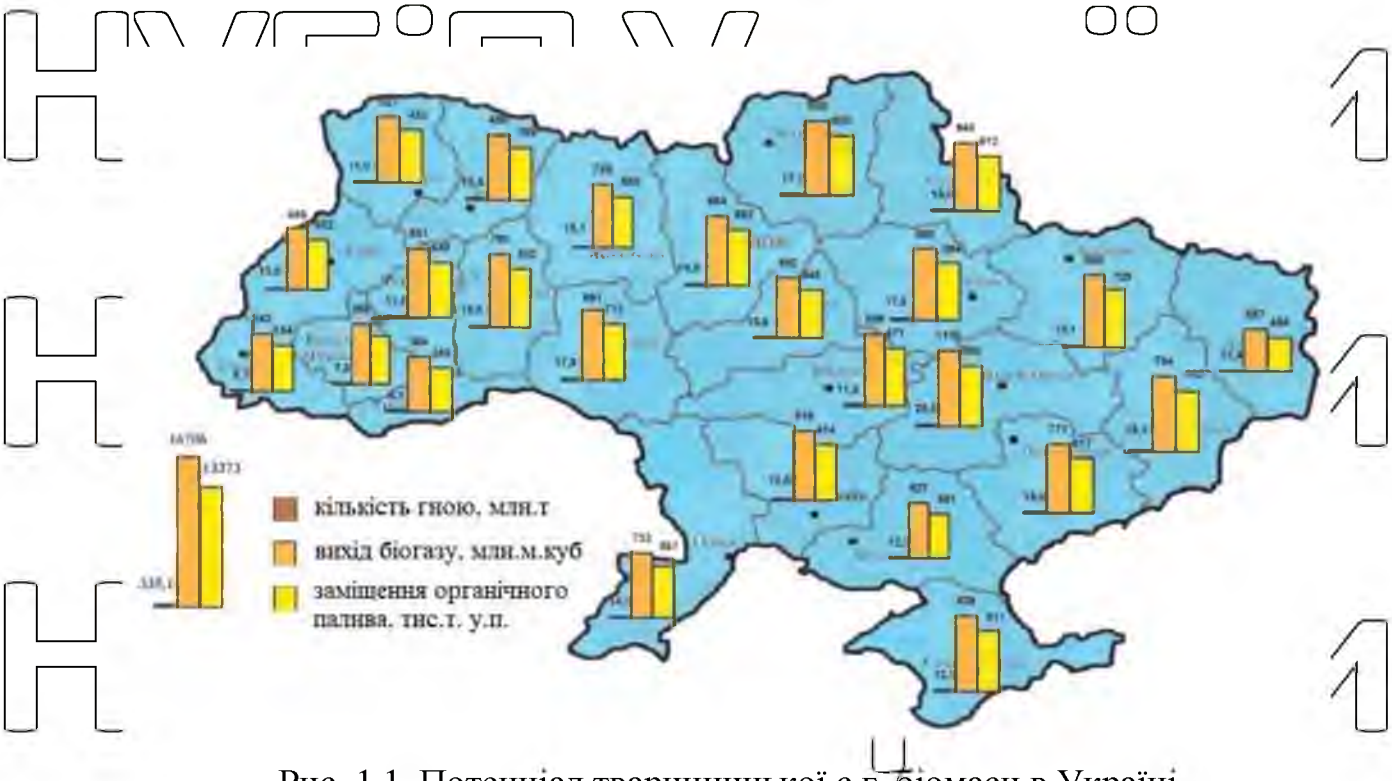


Рис. 1.1. Потенціал тваринницької с.г. біомаси в Україні

Наразі частка біоенергетики у долі всіх відновлювальних джерел енергії складає шістдесят відсотків, на другому місці вітрова та гідрогенерація, далі ідуть теплові насоси та сонячна генерація. В Європі працює вже більше тисячі біогазових та біометанових заводів. При цьому щорічно доля обсягів виробництва біометану зростає на третину.

Наприклад, Данія замістила біогазом і біометаном 24 відсотки споживання природного газу, Швеція – 15 відсотків, Словаччина – 12 відсотків. В середньому країни ЄС виробляють 18,4 мільярдів кубометрів біопального на рік, із цього об'єму біометан – три мільярди.

Євросоюз планує до 2030 року виробляти 35 мільярдів кубометрів біометану, щоб замістити 10 відсотків споживання звичайного газу. А до 2050 року хоче збільшити цю частку до 60 відсотків.

В Україні 73 біогазові установки, що виробляють електрику для продажу за "зеленим" тарифом, і а біометанові заводи знаходяться тільки в розробці. Втім, переобладнання будь якої біогазової установки дозволить виробляти метан.

НУБіП України

На відміну від біогазу, держава не встановлює ціни біометану, до того ж він не заборонений до експорту на відміну від газу, який має залишатись в країні через військовий стан.

Потенціал України з виробництва біометану, за оцінкою Біоенергетичної асоціації, складає близько десяти мільярдів кубометрів на рік. При тому, що річна потреба країни до війни становила близько тридцяти мільярдів кубометрів блакитного палива, але зараз споживання газу значно знизилось.

Енергетичний баланс України за 2021 та 2022 роки не опублікований через військовий стан і необхідність не дати ворогу інформації про стратегічно важливий сектор енергетики. Але станом на 2020 рік 5,2 мільярди кубів газу було заміщено біоенергетикою при загальному споживанні у три десятки мільярдів кубометрів газу.

За словами голови правління Біоенергетичної асоціації України Георгія Гелетухи в Україні біоенергетика в цілому замістила понад 15 відсотків споживання природного газу. Середній темп зростання сектору десь 11 відсотків на рік [12]

Україна планує збільшити виробництво біогазу до 0,5 мільярдів кубометрів вже у 2023 році та виробляти щорічно близько 8 млрд кубометрів біометану до 2050 року.

Аналітики Центру стратегічних і міжнародних досліджень (CSIS) вважають, що таке швидке зростання вимагатиме проведення ринкових реформ і отримання фінансування з боку ЄС.

"Закон про біометан 2021 року став відправною точкою для цього сектора, оскільки він дозволив закачування біометану в систему трубопроводів. Українські виробники біогазу дуже активні, враховуючи потужний аграрний сектор країни, і цього року планують перевести свою діяльність з виробництва біогазу на біометан. Україна може отримати кредити на відновлювану енергетику, експортуючи біометан до Європейського Союзу", - зазначають в CSIS.

Вже цього року Україна може добудувати та почати експлуатацію щонайменше п'яти біометанових заводів.

Голова Біоенергетичної асоціації Гелетуха зазначив [3], що європейські компанії звертаються із запитом про можливий експорт українського біометану, але очікують, коли розпочнеться комерційне виробництво цього палива, а також чекають чіткого сигналу від уряду про можливості його транспортування в Європу.

Українському бізнесу експорт біометану наразі цікавіший за продаж його на внутрішньому ринку, оскільки в Європі платять так звану премію за відновлюваність, тобто за скорочення викидів парникових газів.

Виробництво електроенергії з біомаси в Україні поки є низько рентабельним, або взагалі – збитковим. Із початком війни влада дозволила сплачувати виробникам електроенергії з відновлювальних джерел тільки половину "зеленого" тарифу. Це призвело до того, що частина виробників просто зупинилась, бо дешевше було не виробляти нічого. У січні оплату було повернуто у повному обсязі, тож можливе нарощування виробництва електрики у найближчий час.

Технічним бар'єром є обмежені можливості подачі біометану у ГРС (особливо в літній час). Необхідний редизайн ГРС з об'єднанням споживачів у більш потужні кущі споживання, та встановлення компресорів, які зможуть перекачувати надлишковий біометан з ГРС у ГТС ("reverse flow" компресори).

Також потрібно запустити реєстр біометану у вигляді, який вимагають профільний закон і постанова КМУ. Потребує зняття заборони експорту біометану та визначення для біометану власного коду УКТЗЕД.

Для використання біометану на транспорті необхідне розроблення і прийняття закону щодо використання біометану як моторного палива, у т.ч. для громадського транспорту та сільськогосподарської техніки.

Необхідне включення до Енергетичної стратегії цілей споживання біометану (5-10% від споживання природного газу на транспорті до 2030 року), а також цілей щодо кількості газових заправних станцій.

Потребує розроблення механізму підтримки розвитку мережі газових заправних станцій (CNG і LNG). Необхідна розробка технічних вимог щодо використання біометану як моторного палива (CNG і LNG).

В Україні ринок біопалива знаходиться в стадії становлення та розвитку. Проведення ефективної державної політики дозволить нашій країні підтягнутися до європейських стандартів життя, нарешті, перестати імпортувати дорогий газ, а також залучити західних інвесторів у відбудову та створення сучасної енергетики.

Крім того, розподілена генерація, яка видає енергію, в тому числі, з біомаси, зробить вітчизняну енергетику більш стійкою і мало вразливою перед підлими ракетними атаками сусідньої держави-агресора.

На шляху до нової енергетики велику роль буде грати активна позиція суспільства і регіональної влади. Реформа децентралізації наочно довела, що громади на місцях мають гарні можливості самим подбати про впровадження в життя нових більш екологічних технологій.

Держава в свою чергу має створити правильні економічні стимули для запуску внутрішнього ринку теплопостачання у містах, та регуляторне поле, щоб стимулювати підприємців, які стануть виробляти біометан, виходити на український та євролейський ринки.

Розвиток ринку біогазу в Україні, зважаючи на високу інвестиційну вартість, відбувається в основному завдяки великим компаніям. В той час як у країнах Європи більш ніж 50% фермерських господарств мають БГУ різної потужності завдяки програмам державної підтримки [за даними Європейської біогазової асоціації]. Так, у Німеччині кількість діючих на базі фермерських господарств біогазових станцій складає близько 10000. Здебільшого це установки малої потужності, а кількість великих біометанових заводів становить 194 [16].

НУБіП України

1.2. Технологічні аспекти виробництва біогазу

Метаногенез - це багатофазний безперервний процес трансформації органічного субстрату в біогаз з генерацією проміжних метаболітів, який відбувається в реакторі.

Утворення біогазу здійснюється в результаті біохімічних процесів і симбіотичної життєдіяльності 3-х основних груп бактерій: гідролізних, кислотогенних і метаногенних, при цьому продукти метаболізму одних є продуктами харчування інших. Видовий склад ідентифікованих мікроорганізмів метанового бродіння складає понад 500 видів.

Синтез біогазу здійснюється в 4 фази (рис. 1.2).

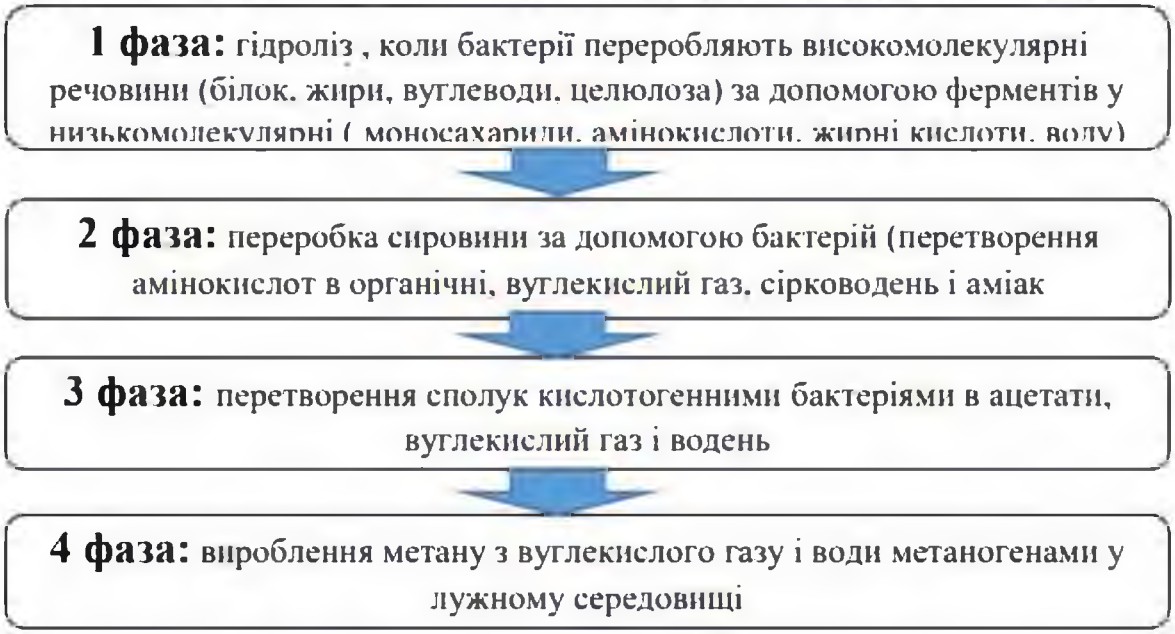


Рис. 1.2. Фази виробництва біогазу

Розщеплення органіки на окремі складові і перетворення в метан може проходити лише у вологому середовищі, оскільки бактерії можуть переробляти лише речовини в розчиненому вигляді. Таким чином, для бродіння твердих субстратів (помилково іноді називається сухим бродінням) існує потреба у воді. Біологічний процес послідовної (стадійної) конверсії органічних з'єднань можливий тільки в анаеробному середовищі, тобто в закритій від доступу кисню камері (біологічний реактор або ферментатор). На

першій стадії аеробні бактерії перебудовують високомолекулярні органічні субстанції (білок, вуглеводи, жири, целюлозу) за допомогою ензимів - на низькомолекулярні сполуки, такі як цукор, амінокислоти, жирні кислоти і воду. Ензими, виділені гідролізними бактеріями, прикріплюються до зовнішньої стінки бактерій (так звані екзоферменти) і при цьому розщеплюють органічні складові субстрату на малі водорозчинні молекули. Полімери перетворюються на окремі молекули. Цей процес, який отримав назву гідроліз, протікає повільно і залежить від позаклітинних ензимів таких як наприклад целюлоза, амілази, протеази і ліпази. На процес впливає рівень pH (4,5- 6) і час перебування в резервуарі.

Далі при другій стадії розщепленням займаються бактерії, які утворюють кислоти. Окремі молекули проникають у клітини бактерій, де вони продовжують розкладатися. У цьому процесі частково беруть участь анаеробні бактерії, що вживають залишки кисню і утворюють тим самим необхідні для метанових бактерій анаеробні умови. При рівні pH 6-7,5 виробляються в першу чергу нестійкі жирні кислоти (карбонові кислоти - оцтова, мурашина, масляна, пропіонова кислоти), низькомолекулярні алкогольні речовини - етанол і гази – двоокис вуглецю, вуглець, сірководень та аміак (рис 1.1). Цей етап називають фазою окислення (рівень pH знижується).

Після цього на третій стадії кислотоутворюючі бактерії з органічних кислот створюють вихідні продукти для утвоорення метану, а саме: оцтову кислоти, двоокис вуглецю, водень і вуглець. Такі бактерії, які знижують кількість вуглецю є дуже чутливими до температури.

На останньому етапі утворюється метан, двоокис вуглецю і вода як продукти життєдіяльності метанових бактерій з оцтової та мурашиної кислоти, вуглецю і водню. 90% всього метану виробляється на цьому етапі, 70% походить з оцтової кислоти. Таким чином, утворення оцтової кислоти (тобто 3 етап розщеплення) є фактором, що визначає швидкість утворення метану. Метанові бактерії виключно анаеробні. Оптимальний рівень pH

становить 7, при чому амплітуда температурних коливань може бути в межах 6-8.

Біогаз з органічної біомаси (відходи побутові, сільськогосподарського походження чи харчової промисловості) є конкурентоспроможним по відношенню до природного газу за рахунок низької вартості сировини. На прийняття рішення інвестором щодо вибору біогазових установок впливають наступні фактори: вид і властивості сировини, її доступні обсяги і логістика. На рис. 1.3 показано вихід біогазу при використанні різних видів сировини.

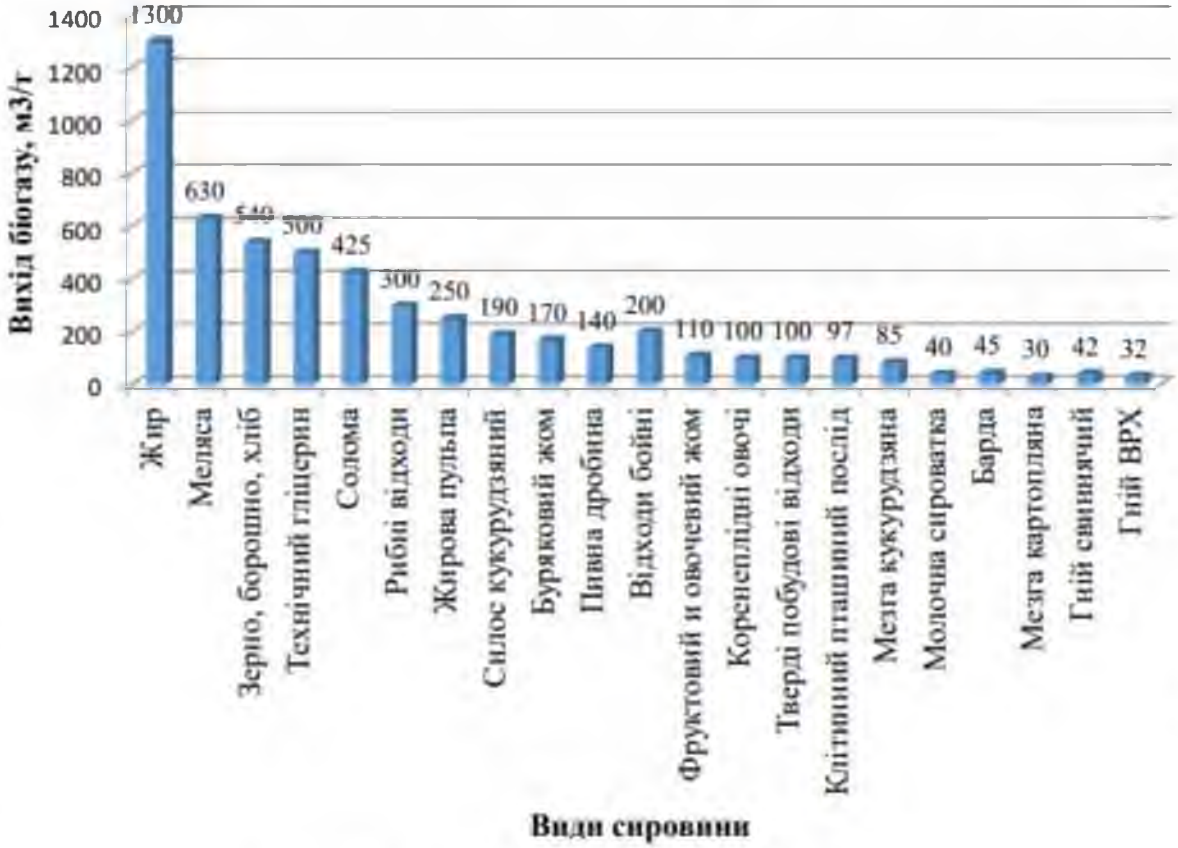


Рис. 1.3. Вихід біогазу з 1 тони сировини

При виборі біогазових установок враховують, що вони можуть працювати на різних видах сировини одночасно і використовувати різні способи її переробки залежно від вологості. Для підвищення ефективності виходу біогазу і скорочення терміну окупності обладнання застосовують

спеціальні добавки (ензими). Переваги і недоліки використання біогазових технологій представлені на рис. 1.5.

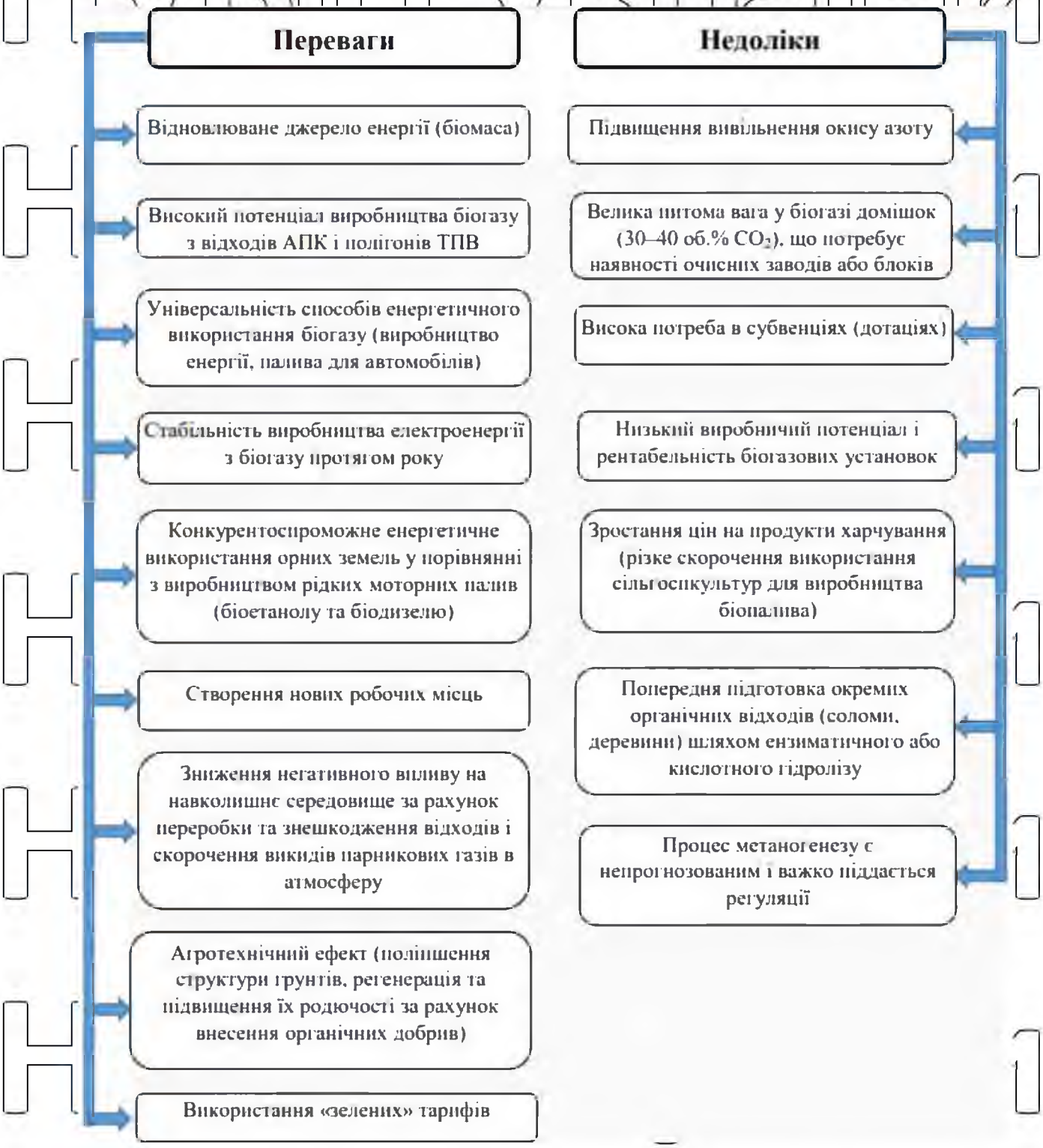


Рис. 1.3. Переваги і недоліки використання біогазових технологій

При застосуванні біогазової установки процес переробки сировини здійснюється на протязі 3–4 тижнів, а при регулярному поповненні біомасою

фази проходять паралельно у поточному режимі. Спочатку спостерігається поступове нарощування кількості метану, але у подальшому підтримується постійний рівень газу.

Процес анаеробного бродіння відбувається ефективніше при його інтенсифікації та термостабілізації. Інтенсифікувати процес вивільнення біогазу можна за рахунок перемішування органічної маси біоактивацією, барботуванням чи механічним способом. Важливим аспектом стабільності теплового режиму в біогазовій установці є підігрівання субстрату та одночасна теплоізоляція стінок реактора від коливань температур навколишнього середовища.

Виробництво електроенергії і тепла із біогазу здійснюється на біогазових електростанціях і електростанціях на біомасі. Обидва види електростанцій працюють на біомасі, різниця полягає лише у характеристиках сировини для біогазу і незначних змінах у технологічному процесі. При цьому, завдяки сучасним технологіям біогаз можна виробляти після попередньої підготовки практично з будь-якої органічної сировини. Для біогазових електростанцій найбільш ефективними є наступні види сировини: відходи з ферм, сільськогосподарських підприємств (силос, жом, гній, послід і т.д.), стічних вод, побутові відходи зі сміттєзвалищ і полігонів. Тобто та сировина, для якої характерна ферментація (мікробне розкладання та бродіння за допомогою бактерій) і здатність виділяти біогаз, який на 60-70% складається з метану і на третину із CO_2. Прискорення процесу перетворення і ферментації сировини відбувається за рахунок її підігріву в спеціальних реакторах, подальшого перемішування і акумулювання біогазу в резервуарах перед здійсненням процесу виробництва теплової та електричної енергії і, якщо треба, біометану після очищення біогазу від вуглекислого газу (рис. 1.6)

На виході процесу виробництва біогазу може залишатися ферментована сировина (дігестат), яку можна застосовувати як екологічно чисте добриво.

НУБіП України

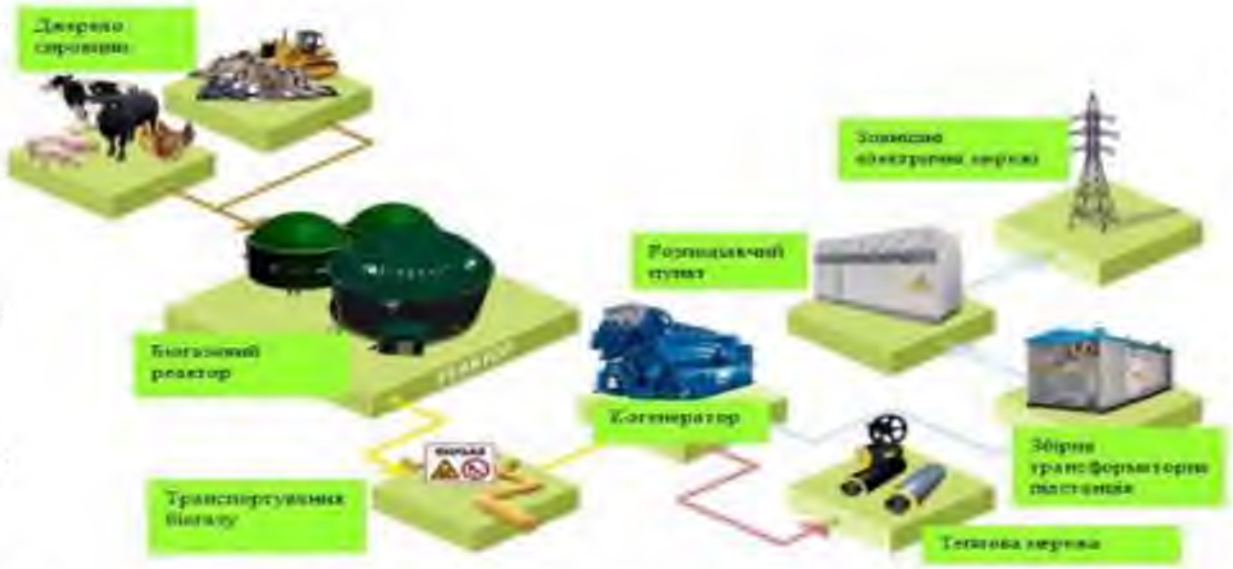


Рис. 1.6 Схема роботи біогазової електростанції

Варто також зазначати, що в процесі виробництва біогазу важливе місце займає когенерація, яка являє собою процес спільного вироблення електричної і теплової енергії в єдиному термодинамічному циклі, використовуючи один вид палива. Когенерація одночасно задовольняє потреби по багатьом видам енергії і може використовуватися майже при будь-якому виробництві, переробці або у сфері комунальних послуг. Таким чином, після отримання необхідного продукту – біогазу, потрібно його ефективно використати.

Біогаз відкриває такі численні можливості використання:

- біогаз може застосовуватися на місці його виробництва у якості палива;

- з біогазу можна виробляти енергію. У той же час можна використовувати відхідне тепло, яке при цьому утворюється. Тому біогаз пропонує цікаві можливості для децентралізованого енергозабезпечення і є цікавою альтернативою, зокрема, для великих аграрних підприємств в Україні;

- біогаз, доведений до якості природного газу (біометану), може подаватися в загальну газорозподільну мережу, яка є відмінним шляхом транспортування біогазу до споживачів та енергонакопичувачів. На відміну від дорогих і неефективних можливостей накопичення перемінних резервів

НУБіП України

сонячної та вітрової енергії, газорозподільна мережа дозволяє майже без втрат поєднати виробництво і споживання енергії. Крім того, виробництво біогазу створює додаткову зайнятість і є джерелом доходу, зокрема, в сільській місцевості. На відміну від вітрової і сонячної енергетики, одна біогазова установка може легко досягти показника 70-80% у використанні «місцевої складової», що є важливим плюсом для економіки країни.

НУБіП України
НУБіП України
НУБіП України
НУБіП України
НУБіП України
НУБіП України
НУБіП України

2. ОГЛЯД КОНСТРУКЦІЙ БІОГАЗОВИХ УСТАНОВОК

2.1. Аналіз конструктивних рішень біогазових установок

При всій різноманітності біогазових технологій серед них виділяються два великі класи:

– централізовані біогазові установки, що характеризуються великими габаритами, а денний об'єм сировини, яка піддається ферментації, складає від 50 до 100 тонн;

– індивідуальні біогазові установки, значно менших розмірів та об'ємів перероблюваної сировини.

Розмір та продуктивність біогазових установок залежать від багатьох чинників, але, не зважаючи на це, принцип їхньої роботи подібний. Після збору й підготовки сировини, що полягає в доведенні її до необхідної вологості в спеціальній ємності, вона подається в реактор, в якому створюються умови для оптимізації процесу анаеробного бродіння, після чого відбувається очищення біогазу від різноманітних домішок та відведення отриманих продуктів у накопичувальні ємності

Анаеробне зброджування органічних відходів з отриманням біогазу і біодобрив здійснюється в спеціальних установках, основним елементом яких є біореактор. Корпус біогазового реактора повинен бути досить міцним при абсолютній герметичності його стінок. Обов'язковими також є надійна теплоізоляція стінок та їх властивість протистояти корозії. За цього необхідно передбачити можливість завантаження та вивантаження реактора, а також доступ до його внутрішнього простору для обслуговування. Конструкції біологічних реакторів (метантенків) достатньо різноманітні, відрізняються, здебільшого, гідравлічним режимом (проточні або періодичного наповнення) і способами завантаження (безперервний або періодичний). При безперервній схемі біомасу завантажують безперервно або через певні проміжки часу, видаляючи таку ж кількість збродженої маси. При дотриманні всіх умов зброджування така схема дозволяє одержати максимальний вихід біогазу. При періодичній схемі метантенки (їх як правило два) завантажують по черзі [14].

Аналіз конструктивних рішень біогазових установок показав, що більшість з них має одноступінчатий реактор проточного типу з повним перемішуванням. Їх загальне число складає 68% від всіх типів реакторів, що перебувають в експлуатації.

Водночас досвід експлуатації вітчизняних і зарубіжних установок для анаеробного зброджування біомаси свідчить, що при використанні одноступінчатих реакторів мають місце «проскакування» необробленої біомаси, що знижує їх ефективність при виробництві біогазу [15]. Для субстратів з швидким розщепленням, які через це мають схильність до окислення, рекомендується для гідролізу і окислення передбачити окремий резервуар, щоб з нього продукти розкладання дозовано подавати у ферментатор (двоступенева технологія). Перевагою таких конструкцій є висока ефективність роботи бактерій через створення оптимальних умов життєдіяльності (в першу чергу, рівень pH). У такий спосіб можна видобути більшу кількість біогазу. Бродіння барди, наприклад, вимагає саме такого розділу фаз. Крім того, гази, що не використовуються, завдяки такому розділу можна відокремлювати через біофільтр, отримуючи лише біогаз із високим вмістом метану.

2.2. Будова реактора біогазових установок

Резервуар біогазової установки є її основною частиною і вимоги до нього досить високі. До основних вимог належать: гідравлічні, технологічні, теплотехнічні, економічні та естетичні.

За формою резервуари бувають (рис. 2.1):

- яйцеподібні;
- циліндричні;
- кулеподібні;
- з конусом доверху, донизу, з обох боків;
- у вигляді траншеї;

- кубічні;
- еластичні.

Найоптимальнішими за своїми гідравлічними та експлуатаційними характеристиками є яйцеподібні резервуари. Далі за якостями протікання процесу йдуть резервуари з конусами та циліндричні резервуари. Ці форми дозволяють зменшити гідравлічний опір при перемішуванні субстрату, уникнути застійних зон, через відсутність кутків, локалізувати місця збирання шламу та біогазу. Основним матеріалом для виробництва резервуарів є бетон і полімерні матеріали.

За конструктивними особливостями біогазові установки поділяють на одно- та багатореакторні. Багатореакторні установки дозволяють досягти безперервного циклу бродіння та мають велику продуктивність, що дозволяє забезпечити потреби великого господарства біогазом.

Найпростіші за своїм виконанням циліндричні, кубічні та кулеподібні резервуари виробляють з старих металевих діжок, цистерн та інших ємностей, що використовуються в промисловості.

Біогазовий реактор – основа будь-якої біогазової установки, тому до його конструкції висуваються досить жорсткі вимоги. Корпус біогазового реактора повинен бути досить міцний при абсолютній герметичності його стінок. Обов'язковими є надійна теплоізоляція стінок та їх властивість протистояти корозії. При цьому необхідно передбачити можливість завантаження та вивантаження реактора, а також доступ до його внутрішнього простору для обслуговування [3]. Принцип роботи всіх біогазових установок однаковий: після збору й підготовки сировини, що полягає в доведенні її до необхідної вологості в спеціальній ємності, вона подається в реактор, в якому створюються умови для оптимізації процесу анаеробного бродіння [15]. Класифікацію біогазових реакторів за конструктивними ознаками наведено на рис. 2.1.

НУБіП України

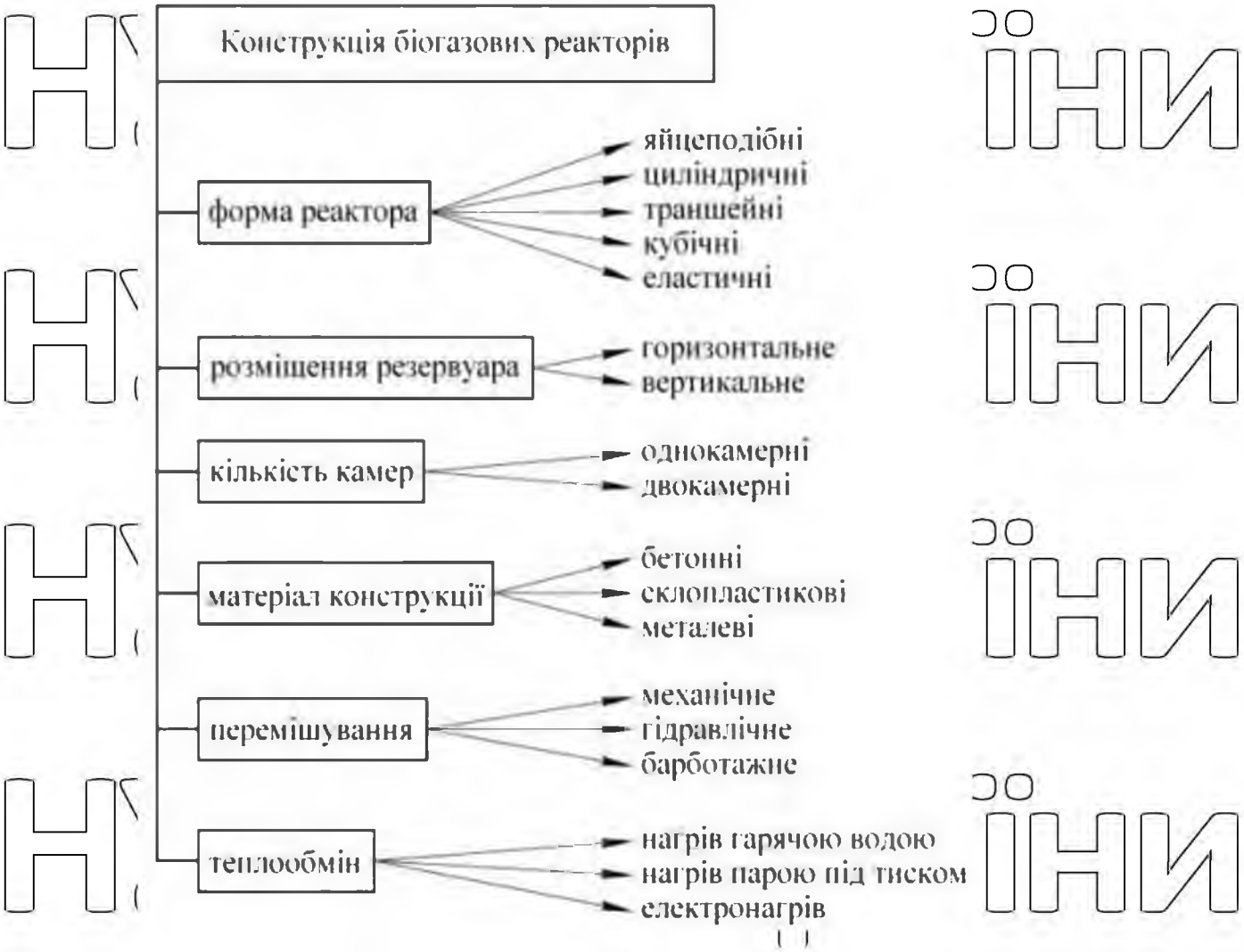


Рис. 2.1. Класифікація біогазових реакторів за конструктивними ознаками

Практично досяжний в промисловій установці вихід газу залежить від багатьох факторів, вплив яких обумовлюється конструкцією установки та виробничими умовами. Суттєве значення впливу конструктивних параметрів мають такі фактори [3, 4]:

- завантаження робочого простору (кількість завантаженого субстрату, що припадає на одиницю чистого об'єму реактора, а також продуктивність його завантаження);

- технологічний час циклу анаеробного бродіння (час перебування в реакторі органічної маси, яка в нього закладена);

- інтенсивність перемішування субстрату в об'ємі реактора.

НУБіП України

Більшу продуктивність мають багатореакторні установки, в яких забезпечується безперервний цикл анаеробного бродіння.

Форми реакторів різноманітні. З точки зору створення найбільш сприятливих умов для перемішування рідкого субстрату, накопичення газу, видалення відпрацьованих добрив та руйнування кірки, що утворюється на поверхні, доцільно використовувати резервуар, який за формою нагадує яйце (рис. 2.2). Великі реактори такої форми зазвичай споруджують із бетону, тому для них характерна висока вартість виготовлення, що суттєво обмежує їх застосування. Проте реактори менших об'ємів зовсім нескладно виконати із склопластика, тобто із армованої поліефірної смоли, до того ж вони мають

Для циліндричного резервуара з конусними верхньою та нижньою частинами, як і для яйцеподібних, характерні невеликий простір для накопичення газу, обмежений об'єм плаваючої кірки, а також зручне вивантаження відпрацьованої маси. Однак в подібних реакторах створюються менш сприятливі умови для переміщення рідкого субстрату. В індивідуальних господарствах корпус реактора вищевказаної форми, але меншої місткості, виготовляють із сталі або склопластика. В реакторах із склопластика створюються кращі умови для переміщення субстрату [3].

Циліндричні резервуари відносно прості у виготовленні, що пояснюється значним досвідом будівництва ємностей для сільськогосподарських цілей (сталеві, бетонні, склопластикові цистерни-бункери для силосу та інших кормів) [14].

У горизонтально розташованому резервуарі субстрат перемішується в поздовжньому напрямі. Для невеликих установок застосовуються циліндричні реактори із сталі чи склопластика. Горизонтальні резервуари великої місткості, виготовлені із бетону, мають форму паралелепіпеда.

Нахилене розташування таких резервуарів полегшує відтік відпрацьованої маси до вивантажувального отвору. Така конструкція зручна для розміщення простого перемішувального механізму.

НУБіП України

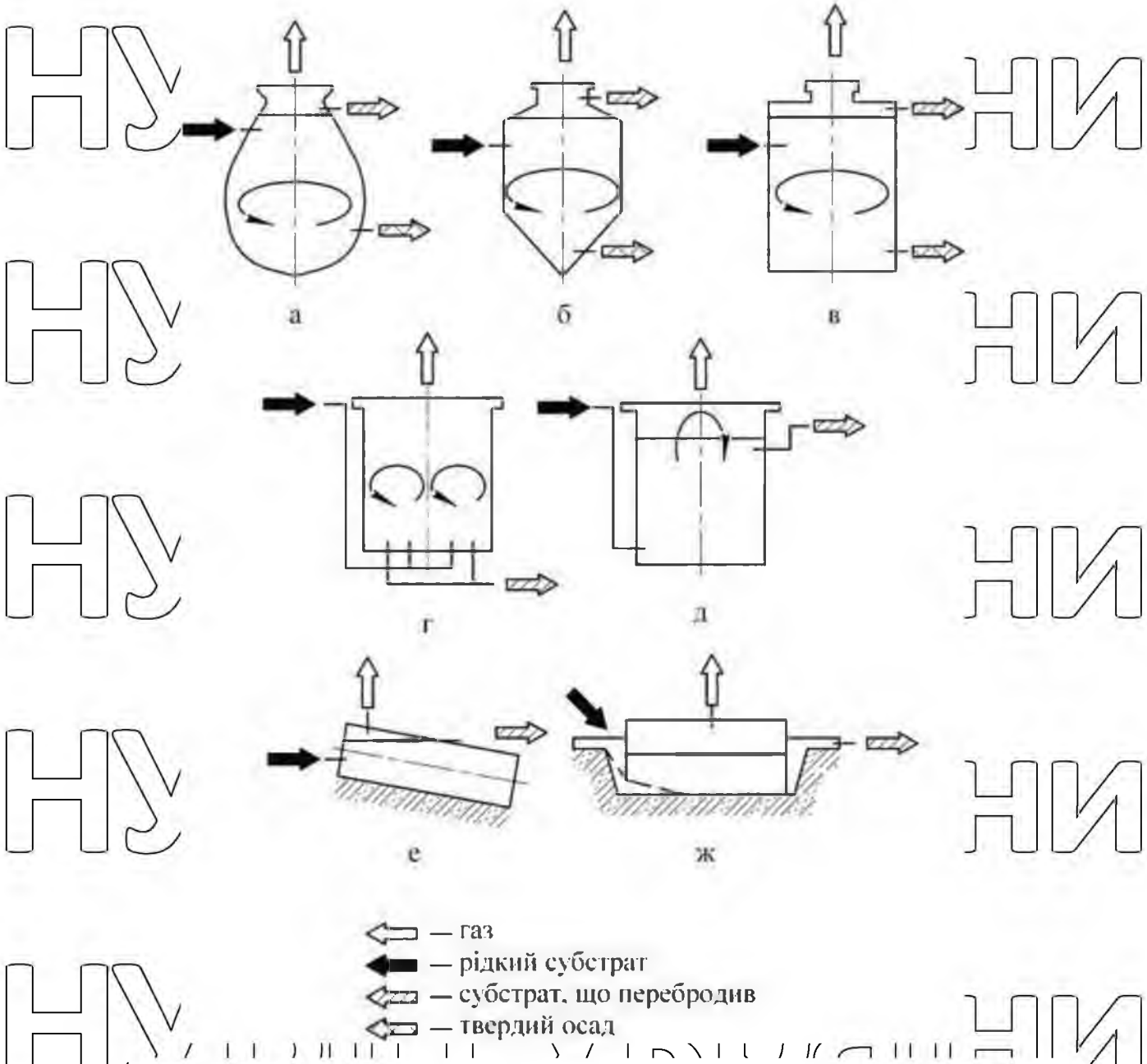


Рисунок 2.2. Найбільш поширені типи резервуарів біогазових реакторів:

а – у вигляді яйця, б – циліндричний з конусними верхньою та нижньою частинами, в – циліндричний, г – циліндричний з перегородкою, д – у вигляді паралелепіпеда (з перегородкою), е – циліндричний (розміщений з нахилом), ж – траншея в ґрунті (із кришкою).

Проте порівняно з резервуарами попередніх форм в циліндричному резервуарі неможливо організувати достатні умови для переміщення субстрату в установці, а тому при цьому доводиться враховувати високі витрати на видалення осаду та руйнування плаваючої кірки, що пов'язано зі збільшенням витрат енергії на перемішування біомаси.

НУБіП України

У простих, зокрема в невеликих біогазових установках, які споруджуються власними силами, бродильна камера має форму паралелепіпеда (басейн або яма з кришкою). Для підвищення ефективності такий реактор перегороджують вертикальною стінкою, створюючи головну бродильну камеру та камеру для остаточного зброджування та осадження шламу. Проте установки такого типу не дозволяють досягти високого ступеню розкладення субстрату, оскільки в них практично неможливо забезпечити рівномірне перемішування біомаси, управління завантаженням робочого об'єму камери та дотримання часу перебування маси в реакторі, що є необхідним для отримання максимальної кількості газу. Руйнування плаваючої кірки та осаду пов'язано зі значними витратами [14].

На рисунку 2.3 зображено типову конструкцію біореактора, що використовується в Україні та інших країнах.

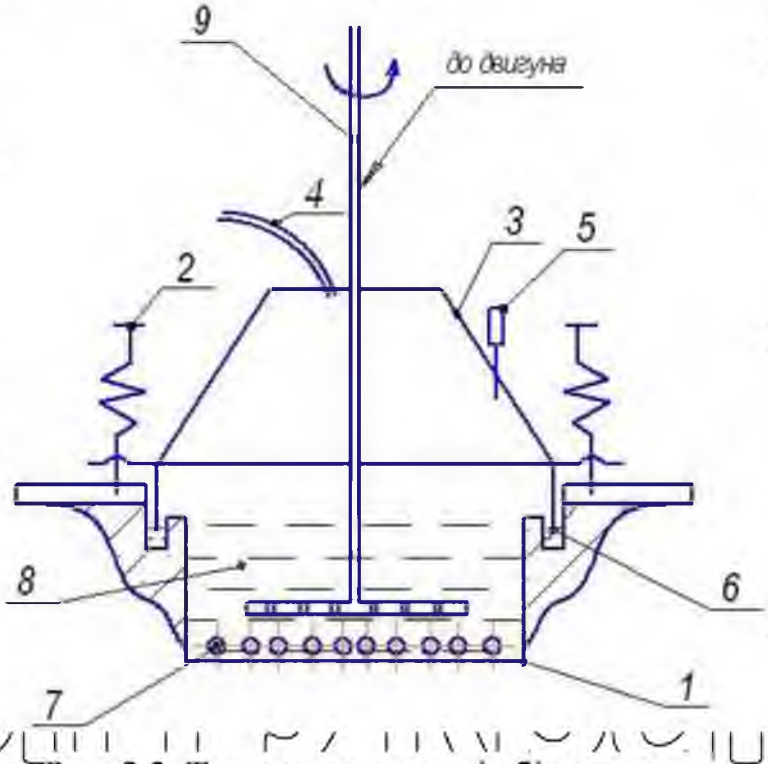


Рис. 2.3. Типова конструкція біореактора:

1 – корпус, 2 – напрямні ковпака, 3 – ковпак, 4 – газовідвідна трубка, 5 – манометр, 6 – гідрозатвори, 7 – нагрівальний елемент, 8 – субстрат, 9 – мішалка.

НУБіП України

Якщо резервуар циліндричної форми розділити поперечною вертикальною перегородкою на дві камери, то можна організувати систему отримання біогазу з почерговим використанням камер резервуара (рис. 2.4). Будівництво резервуара з перегородкою буде дешевшим, ніж спорудження двох окремих резервуарів. При такому компонуванні зменшується значення теплоізоляції зовнішніх стінок резервуара, а в перегородку, що виготовлена із досить теплопровідного матеріалу, нескладно вмонтувати будь-який нагрівальний пристрій, який надасть установці конструктивні переваги.

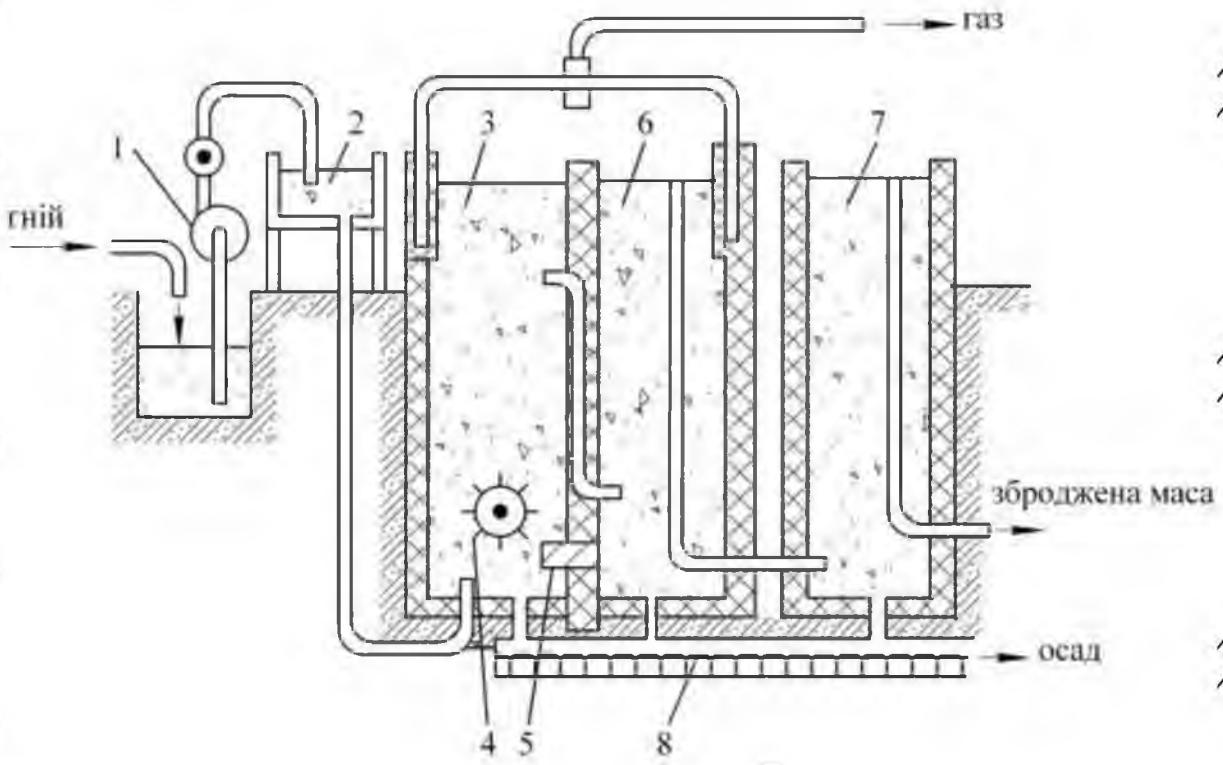


Рис. 2.4. Двокамерна біогазова установка проточного типу:
1 – насос; 2 – приймальна камера; 3 – бродильна камера; 4 – пристрій для перемішування; 5 – підігрівач біомаси; 6 – камера остаточного зброджування; 7 – збірник збродженої маси; 8 – шнек

У горизонтально розташованому резервуарі субстрат перемішується в поздовжньому напрямі. Для невеликих установок застосовуються циліндричні реактори із сталі чи склопластика. Горизонтальні резервуари великої місткості, виготовлені із бетону, мають форму паралелепіпеда

НУБіП України

Нахилене розташування таких резервуарів полегшує відтік відпрацьованої маси до вивантажувального отвору. Така конструкція зручна для розміщення простого перемішувального механізму.

Резервуар у вигляді викопаної в грунті траншеї дозволяє обробляти велику кількість субстрату. Як будівельний матеріал для стінок реактора використовують, як правило, бетон.

Значного поширення отримали траншейні біогазові установки (рис. 2.5). Із приміщення, де утримують худобу, гній, розбавлений водою, надходить в біогазовий реактор, в якому відбувається бродіння. В установці передбачені механічне перемішування субстрату та грейфер для вивантаження збродженого гною.

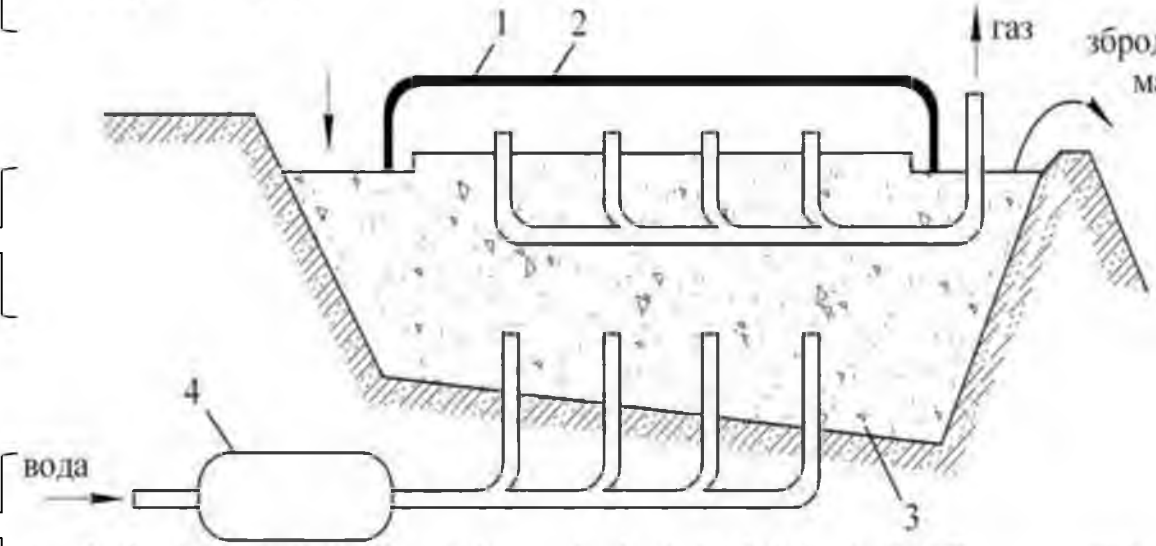


Рис. 2.5. Траншейна біогазова установка:

1 – еластичний збірник біогазу; 2 – плити із пінопласту; 3 – бродильна камера; 4 – нагрівач (бойлер)

Особливу увагу привертають еластичні реактори (рис. 2.6), які широко використовуються в країнах Південно-Східної Азії.

НУБіП України

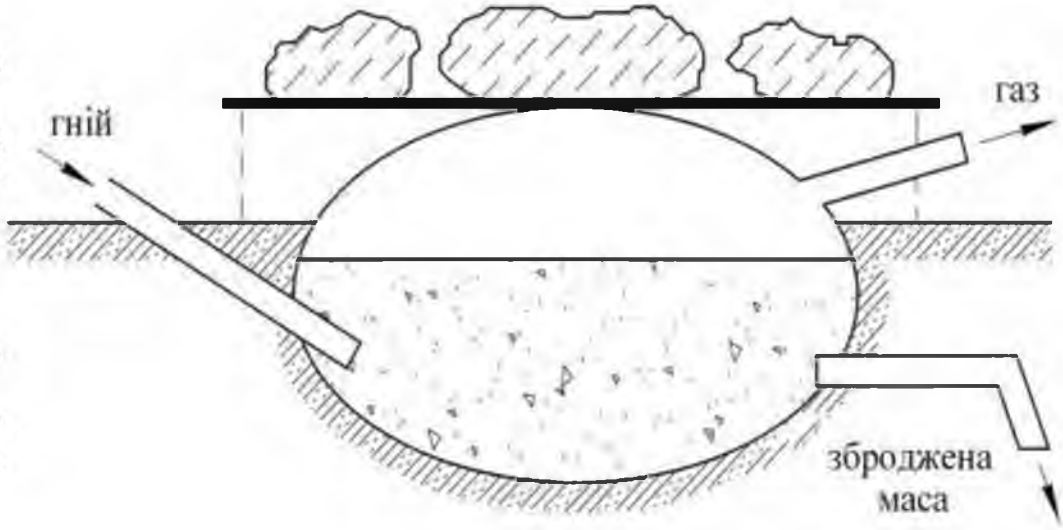


Рис. 2.6. Еластичний біогазовий реактор

Подібні реактори (ємності) виготовляють із міцної прогумованої тканини або із синтетичної плівки. Для організації роботи таких біогазових реакторів їх доводиться або заглиблювати в грунт, або розміщувати всередині досить міцного огородження [4].

Необхідними умовами для перероблення органічних відходів всередині реактора біогазової установки є [3, 4, 5]:

- створення безкисневого режиму;
- дотримання температурного режиму;
- доступність поживних речовин для бактерій;
- вибір оптимального часу бродіння та своєчасне завантаження і вивантаження сировини;
- дотримання кислотно-лужного балансу;
- дотримання співвідношення вмісту вуглецю і азоту;
- правильна пропорція твердих частин в сировині та перемішування;
- відсутність інгібіторів процесу.

Класифікацію факторів оптимізації напрямків процесу анаеробного бродіння наведено на рис. 2.7.

НУБіП України

Рис. 2.7. Класифікація факторів оптимізації напрямків процесу анаеробного бродіння

Для збільшення виходу біогазу в результаті анаеробного бродіння субстрату в біогазовій установці широко застосовується процес перемішування суміш. Перемішування інтенсифікує процеси всередині біореактора та запобігає утворенню осаду і плаваючої кірки на поверхні біомаси, що призводить до збільшення утворення біогазу із органічних відходів, а отже до зростання ефективності біогазової установки. Відомо механічне, гідравлічне і аеродинамічне перемішування сумішей. Найбільш перспективним устаткуванням для інтенсифікації процесу анаеробного бродіння субстрату є біореактори із механічним перемішуванням. Механічне перемішування сумішей здійснюється лопатевими, пропелерними, турбінними та спеціальними мішалками. Класифікацію перемішувальних пристроїв для біогазових реакторів наведено на рис. 2.8.

Турбінні мішалки оснащено лопатями і вони мають чітко окреслений ротор. В залежності від способу кріплення лопатей і їх конфігурації в

анаеробній біоконверсії зустрічаються різні типи турбінних мішалок. Найбільш простою та одночасно високоефективною є мішалка з прямими радіально розміщеними лопатями. Плоскі лопаті можуть бути нахилені під певним кутом відносно площини обертання мішалки для кращого перемішування субстрату.

Пропелерні мішалки вважаються найбільш ефективними в тих випадках, якщо необхідно створити значну циркуляцію субстрату в біогазовій установці при мінімальній витраті механічної енергії. Вони виконують цю задачу краще, ніж мішалки іншого типу, наприклад, турбінні. Пропелерні мішалки створюють осьову циркуляцію органічних відходів всередині реактора за рахунок насосного ефекту, тому вони легко піднімають тверді частинки з його дна.

Лопатеві мішалки почали першими використовуватись в системах біоконверсії та в хімічній промисловості взагалі. На сьогодні вони використовуються у тих випадках, якщо немає необхідності в інтенсивній радіально-осьовій циркуляції органічної суміші в біогазовій установці. Основною перевагою лопатевих мішалок є їх простота та низька вартість.

Якірні та рамні мішалки вирізняються виключно низьким числом обертів. Діаметр таких мішалок наближається до діаметра біогазового реактора, а зазор між лопаттю та стінкою реактора є незначним. Таким чином, у випадку застосування цих мішалок, можна уникнути місцевого перегріву субстрату чи виникнення осаду на дні реактора.

НУБіП України

Шнекові мішалки працюють за тим принципом, що і пропелерні, але при менших числах обертів. Вони застосовуються для перемішування сумішей значної в'язкості, зокрема для органічного субстрату всередині біогазової установки. В цьому випадку вони затрачають менше енергії, ніж пропелерні мішалки, для створення однакової циркуляції субстрату в біореакторі. Використання дискових та скребкових мішалок в процесах біоконверсії є неефективним, тому майже не застосовується.

2.3. Режими зброджування в біогазових установках

В залежності від температурного інтервалу, що підтримується в біогазовій установці в процесі роботи, розрізняють такі режими зброджування:

кріофільний (t < 20°C; topt = 5 – 15°C);

мезофільний (t = 25 – 45°C; topt = 32 – 42°C);

термофільний (t = 45 – 55°C; topt = 48 – 51°C).

Кріофільний режим зброджування не потребує спеціального підігріву субстрату, протікає при температурі навколишнього середовища і використовується на невеликих індивідуальних установках у країнах з теплим кліматом. Як правило, такі установки мають дискретний характер завантаження і вивантаження. Перевагою кріофільного режиму є відсутність витрат теплової енергії на підтримку стабільної температури. До недоліків слід віднести повільне протікання біологічних процесів і низький вихід біогазу.

Мезофільний режим зброджування, як це підтверджено численними дослідженнями і практикою експлуатації установок, протікає найбільш інтенсивно в температурному інтервалі 32 – 42°C. При цьому найбільш активно «працюють» метаногенні бактерії з максимальним утворенням біогазу. Однак відхилення від оптимального інтервалу температур на ± 5°C приводить до зменшення виходу біогазу в 2 – 2,5 раза, що свідчить про чутливість бактерій до температури середовища і потребує виконання заходів щодо її підтримки. Підігрівання і підтримання стабільної температури

зброджування здійснюється, як правило, прокачуванням нагрітої води через спеціальні теплообмінники, змонтовані в біогазовій установці. Нагріту воду одержують у котельному агрегаті, використовуючи для його роботи частину одержуваного біогазу.

Термофільний режим дає можливість одержувати максимальну кількість біогазу за короткий термін зброджування. Інтенсивність зброджування в 2 рази вища, а час перебування в біогазовій установці в 2 рази менший, ніж при мезофільному. Однак підтримання порівняно високої температури потребує значних витрат енергії.

На інтенсивність процесу зброджування і, як наслідок, утворення біогазу впливають чотири групи факторів:

1. Біологічні;
2. Фізичні;
3. Хімічні;
4. Організаційно-технологічні.

До біологічних факторів належать:

- склад зброджуваної біомаси (вміст білків, жирів, вуглеводів, лігнінів);
- склад мікрофлори (кількість і групи мікроорганізмів відповідної стадії розкладання);
- умови життєдіяльності мікроорганізмів (зміст шкідливих домішок).

Фізичні фактори включають:

- температуру зброджування;
- тиск у біогазовій установці;
- гідравлічний режим.

Хімічні фактори визначаються:

- кислотністю середовища (величина pH);
- вмістом ЛЖК у зброджуваній масі;
- обсягом і складом біогазу, що утворюється.

Організаційно-технологічні фактори передбачають:

- дозу добового завантаження нових порцій зброджуваної маси;

НУБіП України

- навантаження за беззольною речовиною;

- вміст у біомасі речовин, що не піддаються переробці.

Відома конструкція реактора з циліндричним резервуаром і конусами зверху та знизу [6]. Конструкція біореактора з прошарком між утепленим корпусом та робочим резервуаром (рис. 2.8) дозволяє підвищити термічний опір стінки резервуара без додаткових капіталовкладень на ізоляційний матеріал.

Перевагою також є покращення процесу бродіння шляхом утилізації теплоти щойно виробленого біогазу на підігрівання біомаси в зимових умовах. Також міжкорпусний простір виконує роль газгольдера, в якому відбувається тимчасове зберігання виробленого біогазу. В результаті досягається і покращення процесу анаеробного бродіння, що призводить до збільшення виходу біогазу і зниження енерговитрат.

Реактор (рис. 2.8) містить утеплений корпус 1. До корпусу за допомогою верхньої 4 та нижньої 2 опорних газорозподільних решіток кріпиться робочий резервуар 3. В верхній частині робочого резервуара 3 закріплено газопровід 5. Газопровід 5 сполучає низ утепленого корпусу та верх робочого резервуара 3. У нижній частині робочого резервуара 3 розміщено нагрівальний елемент 6 та мішалку 8. У верхній частині утепленого корпусу розмщено патрубок відведення біогазу 7, який приєднано до резервуара накопичення.

Процес вироблення біогазу протікає таким чином. У холодний період року в реакторах дискретного типу відбувається завантаження холодної порції біомаси, яка має досить низьку температуру і призводить до термічного розшарування середовища. Нижня зона стає холодною, а верхня – перегрівається. Газ при виході з робочого резервуара 3 має температуру процесу tгазу, яка згідно з вимогами повинна бути в межах вибраного режиму. Ця надлишкова температура перевищує температуру навколишнього середовища tзов.

НУБіП України

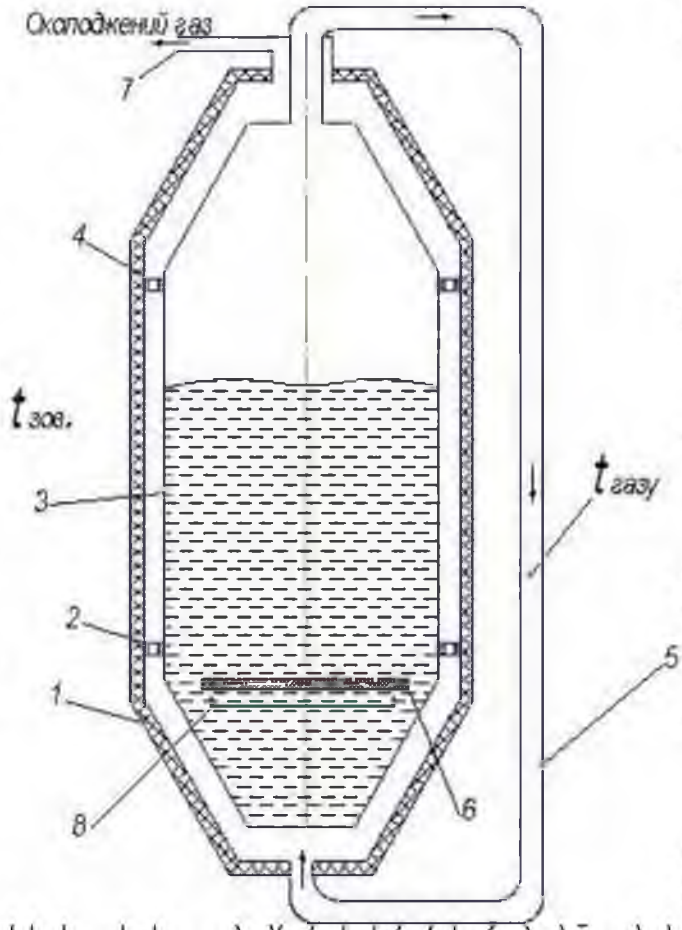


Рис. 2.8. Біогазовий реактор з утепленим корпусом

Температура середовища в робочому резервуарі 3 нерівномірна та її необхідно підтримувати на заданому технологічному рівні. Для досягнення меж температурних режимів слугує нагрівальний елемент 6, а для якісного перемішування суміші - мішалка 8. Температура суміші коливається в об'ємі нерівномірно: від перегріву навколо нагрівального елемента tнагрів в верхній зоні до неприпустимого переохолодження в нижній зоні.

Біогаз за допомогою газопроводу 5 направляється в нижню зону, де розподіляється в міжкорпусному просторі за допомогою опорних газорозподільних решіток 2 та 4 і рівномірно обтікає внутрішню частину робочого резервуара. При цьому він віддає своє тепло нижній холодній частині середовища шляхом теплопровідності через металеву стінку. При перегріві отриманий біогаз забирає надлишкове тепло з верхньої зони.

НУБіП України

При цьому досягається термостабілізація всього процесу, що покращує процес бродіння і збільшує вихід газу. Також газ виконує роль додаткового теплоізолятора. Біогаз виводиться з міжкорпусного простору за допомогою патрубка відведення газу 7. Міжкорпусний простір виступає як газгольдер для тимчасового зберігання газу.

При накопиченні біогазу в міжкорпусному просторі за необхідності відбувається його відбір на потреби господарства. Для запобігання критичних режимів у верхній частині встановлюють манометр із запобіжним клапаном та термометр.

Фактори забезпечення якості біогазу:

Впровадження повностадійної схеми метаногенезу. Проведення процесу ферментації органічної сировини з впровадженням усіх стадій забезпечує високу концентрацію метану в біогазовій суміші.

1. Підтримання у ферментаторі оптимального температурного режиму. Необхідний моніторинг температури органічного субстрату з метою контролю кількості утворення вуглецю (CO_2), який обмежує вихід метану - чим більша кількість CO_2 переходить у газоподібну форму, тим меншим буде вміст CH_4 в біогазі
2. Глибоке очищення кінцевого продукту – біометану - від сірководню(H_2S), кислот і аміаку. Абсорбація біогазу від агресивних компонентів, зокрема H_2S, запобігає корозії устаткування КГУ, арматури, газових пічильників та двигунів; скорочує витрати на заміну масла та обслуговування обладнання в цілому; сприяє усуненню неприємного запаху

НУБіП України

3. УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ АНАЕРОБНОГО ЗБРОДЖУВАННЯ

3.1. Конструктивні особливості анаеробних біофільтрів

Нині наукові дослідження, створені задля підвищення інтенсивності процесу анаеробної переробки органічних відходів тваринництва ведуться у наступних основних напрямах: вивчення процесу зброджування органічних відходів із концентрацією твердих частинок 30-50%; багатостадійне анаеробне зброджування органічних відходів, засноване на життєдіяльності кислотогенних та метаноутворюючих бактерій; створення високоактивних штамів мікроорганізмів, що вирощуються у спеціальних установках та вносяться у вигляді закваски в метантенк; вивчення процесу метанового зброджування за участю психрофільних бактерій; рециркуляція збродженого осаду та застосування анаеробних біофільтрів у камері зброджування метантенка.

Одним із шляхів вдосконалення процесу анаеробної переробки гнійних стоків може бути застосування системи анаеробного біофільтра тобто, продовження терміну знаходження метаноутворюючих мікроорганізмів у робочій камері метантенка. Біогазова установка з біофільтром у метантенку дозволяє пристосовуватися до будь-яких типів відходів тваринництва від найбільш насичених, що знаходяться у зваженому стані органічними речовинами (свинячий гній, бичачий гній, пташиний послід) та менш насиченими - відходи агрохарчової промисловості.

Штучне накопичення метаноутворюючих мікроорганізмів у метантенку з біофільтром ставить за мету стабілізацію активності мікроорганізмів, розширення pH, температурного оптимуму, подовження терміну дії біофільтра.

До всіх методів накопичення метаноутворюючих мікроорганізмів і до біофільтрів, що при цьому застосовуються, пред'являються певні вимоги:

НУБіП України

- або виключити, або звести до мінімуму контакт метаноутворюючих мікроорганізмів з токсичними для них речовинами, а також запобігти небажаному впливу на мікроорганізми температурних та осмотичних стресів;

- здійснювати іммобілізацію таким чином, щоб у результаті клітини надійно утримувалися носієм;

- необхідна хороша операційна стабільність одержуваних біокаталізаторів для їхньої тривалої експлуатації, що залежить від механічної, хімічної та біологічної стійкості біофільтра в умовах конкретного технологічного процесу;

- забезпечення накопичених мікроорганізмів поживними речовинами та відведення продуктів життєдіяльності, тобто. матеріал носія біофільтра не повинен створювати значних дифузних перешкод масообмінним процесам;

- невисока вартість (економічна складова) застосовуваного методу іммобілізації клітин мікроорганізмів та доступність вихідних компонентів.

Метод використання анаеробного біофільтра заснований на здатності метаноутворюючих мікроорганізмів адсорбуватися на відповідних розвинених поверхнях.

Анаеробні біофільтри повинні відповідати цілому ряду технічних вимог. Такі фільтри повинні мати насадки з великою кількістю пор, мати достатню міцність, не створювати перешкод для масообмінних процесів, відрізнятися простотою конструкції та довговічністю.

Оскільки явище адсорбції мікроорганізмів, обростання постійно існують у природі, то засновані на цьому методи не є новими. Новизна в основному полягає у застосуванні матеріалів, не існуючих у природі, як правило, різних полімерів. Ступінь закріплення метаноутворюючих мікроорганізмів часто залежить не так від полімерного адсорбенту, як від його форми. Основні труднощі при використанні фізичних методів накопичення мікроорганізмів виникають у забезпеченні достатньої пористості одержуваного матеріалу, оскільки адсорбовані на носії біофільтра

НУБіП України

мікроорганізми виділяють продукти життєдіяльності, що забивають пори та створюють труднощі для доступу продукту, що переробляється.

Нанесені на гранульованих адсорбентах метаногенні мікроорганізми застосовують у реакторах, що отримали назву анаеробних фільтрів (біофільтрів). Останнім часом виявляється великий інтерес до анаеробних біофільтрів, до дослідження та застосування їх при переробці рідких стоків тваринництва. Біофільтр є одним з основних елементів кооперації иної біогазової установки, де біоплівка утворюється в основному з асоціації анаеробних мікроорганізмів, які розкладаючи органічні речовини перетворюють їх на метан, водень, вуглекислоту без доступу кисню. Перевагою таких біофільтрів, порівняно з аеробними, є менше споживання електроенергії та отримання біогазу.

За конструкцією насадки таких фільтрів можуть бути (рис. 3.1): жорсткими засипними, жорсткими блочними, м'якими блочними та рулонними.

а б в г

Рис 3.1. Конструктивні особливості жорстких анаеробних біофільтрів: а) дискові, б) рулонні, в) засипні, г) блочні.

Жорсткі засипні біофільтри по конструкції виготовлення бувають у вигляді кілець, сідел, обрізків труб та інших елементів і призначені для анаеробної переробки слабонасиченої органіки, а як джерело виготовлення можуть бути використані керамічні, сталеві та пластмасові матеріали.

Жорсткі блокові у вигляді грат, блоків, зібраних листів та м'які блокові або рулонні можуть бути виготовлені з пластмас (полівінілхлорид),

поліетилен, азбестоцемент, кераміка, піноскло, металева сітка, синтетичні тканини (капрон, нейлон) та інших матеріалів.

Наприклад, фірма «СЖН» (Франція) широко рекламує очищення тваринницьких стоків шляхом анаеробного бродіння, заснованого на використанні фіксованих мікроорганізмів на пластиковому носії довільного наповнення і біофільтр-метантенк з наповнювачем у вигляді пористих утворень або довгих вертикальних трубок з наскрізними паралельними каналами. Біофільтр-метантенк складається з двох вертикальних ємностей, з'єднаних між собою і з патрубками для вивантаження і подачі вихідного зброджоного субстрату і відведення біогазу, у верхній і нижній частині якої шарами закріплений матеріал, що фіксує біоплівку. Недоліком даної технології є форма пристрою біофільтра, звідси, низька ефективність процесу очищення стоків через малу питому площу накопичувального матеріалу і малу поверхню контакту стоків, що очищаються.

Останнім часом для очищення стоків тваринницьких комплексів анаеробні біофільтри застосовують у Японії, де наповнювачем в основному використовують природне каміння, що містить карбонат магнію. Для очищення тваринницьких висококонцентрованих стоків застосовують багатоступінчасті біофільтри з використанням високоактивних анаеробних мікроорганізмів Застосування анаеробних біофільтрів практикується і в США, особливо при очищенні змішаних стоків (побутових, промислових та тваринницьких стоків). Наповнювачем в біофільтри використовують пластмасові блоки типу «Полігрид», «Доупак», «Флокор» розміром 0,9 х 0,52 х 0,36 м, висота шару 7…16 м. (Патент 4221657, Sep.9.1980). роботи біофільтрів із завантаженням із пластмаси та доменного шлаку показало, що ефект очищення склав 82 та 62 % відповідно. У сільській місцевості в США для очищення концентрованих стоків використовують солом'яні мати, рисове лушпиння, які досить стійкі до забруднень і сприяють хорошому розвитку та утриманню анаеробних мікроорганізмів у метантенку [18].

НУБіП України

У Німеччині проведено випробування анаеробного фільтра, призначеного для очищення промислових та побутових стічних вод, у яких як накопичувальний матеріал використовують відходи бурого вугілля у вигляді нерухомого та псевдорухливого шару. Надмірну біоплівку, що утворюється, визначають за різницею щільності [10, 26].

У республіці Польща розроблено метод двоступеневого очищення концентрованих стоків. Відповідно до цієї технології спочатку проводять анаеробне зброджування в біофільтрі в термофільному режимі (50...55оС) протягом 4...6 діб, а потім обробку стоків здійснюють в аеробному фільтрі, також в термофільному режимі. Процес ведуть до повного очищення стоків. Отриманий біогаз використовують підтримки теплового балансу установки. Тверду масу використовують як добрива [10].

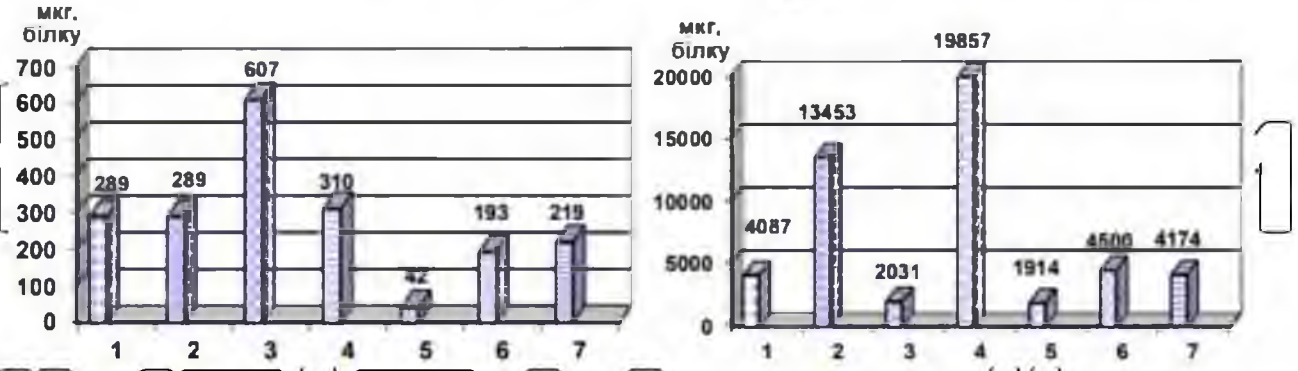
Широкого застосування отримали занурювальні дискові та барабанні біофільтри з жорсткими та м'якими дисками, призначені для очищення малих та середніх витрат стічних вод. Такі біофільтри складаються з дисків 0,65-3 м, насаджені на горизонтальний вал, відстань між дисками 2-3 см. Коефіцієнт нерівномірності надходження стоків великий.

Дослідження, щодо визначення окисної здатності занурювальних біофільтрів різної конструкції показали, що ці біофільтри можна рекомендувати для очищення невеликих кількостей висококонцентрованих стоків від промислових підприємств та сільськогосподарських об'єктів. Ефект зниження органічного забруднення даних біофільтрах залежить від тривалості контакту стічної рідини з біоплівкою, тобто. швидкості руху рідини, а також від ступеня її забруднення. Також, дослідженя в галузі застосування дискових обертових біофільтрів для очищення стічних вод, практикуються в Японії, в Німеччині розроблений порожнистий спіральний біофільтр для фізико-хімічної та біологічної очистки стічної води, що обертається, зокрема, біофільтр із зовнішньою і внутрішньою поверхнями для зростання відповідних мікроорганізмів, а в США – обертовий барабанний біофільтр жорсткого виконання, всередині наповнений носіями мікроорганізмів.

В результаті дії метаногенного консорціуму мікроорганізмів відбувається різке зниження концентрації органічних забруднень у відходах або стічних водах з одночасним утворенням біогазу, який можна надалі використовувати як енергоносій або вуглецевий субстрат для синтезу (кормової) біомаси. Активне використання метаногенезу при зброджуванні органічних відходів є, за сучасними уявленнями, одним із найперспективніших шляхів спільного вирішення екологічних та енергетичних проблем.

Була проведена порівняльна оцінка матеріалів для виготовлення біофільтрів. З діаграми (рис.4.3) видно, що максимальне кількість метаноутворюючих мікроорганізмів накопичено на поверхні металевої сітки, приблизно вдвічі менше на поверхні склотканини, і втричі менше на поліхлорвінілі і капроновому шнурі.

Переваги поверхні металевої сітки із заліза для адсорбції мікроорганізмів пов'язані з вкрай вираженою шорсткістю поверхні та її гідрофільними властивостями (гідрофобність заліза на поверхні) порівняно з порівняно гладкими поверхнями органічних матеріалів.



а б

Рис.3.2. Діаграма загальної кількості метаноутворюючих мікроорганізмів (мкг), що утримується на поверхнях носіїв на 1 $см^2$ (а) та на 1 г матеріалу (б) : 1 - армоване скловолокно (тканина); 2 – тканина (пенька армована поліетиленом); 3 – сітка металева; 4 – фліселін; 5 – волосінь капронова; 6 – шнур капроновий; 7 – поліхлорвінілова сітка.

Якщо розглядати діаграму, що характеризує кількість бактеріального білка на одиницю маси випробуваного матеріалу, найбільш сприятливим для накопичення бактеріальних клітин є фліселін та комбінована тканина, а на склотканині, капроновому шнурі та поліхлорвініловій сітці вміст білка становила в 4,5 рази менше. В даному випадку ми бачимо переваги полімерних матеріалів, які на одиницю маси матеріалу здатні підтримувати значно більше бактеріальних клітин, ніж на металевій поверхні. Однак, для створення конструктивних елементів анаеробного ферментатора скловолокно армоване, тканина (пенька армована поліетиленом), волосінь, фліселін та поліхлорвінілова сітка за своїми фізико-структурними характеристиками в агресивному гною є непридатними, порівняно з капроновими носіями: капроновий шнур.

3.2. Динамічна модель процесу накопичення метаноутворюючих мікроорганізмів в анаеробному біофільтрі

Необхідною умовою інтенсивного проведення анаеробної переробки гною є утримання активної біомаси в камері зброджування метантенка. Це головний технологічний принцип розробки анаеробних біофільтрів, реалізація якого можлива з урахуванням здатності метаноутворюючих мікроорганізмів створювати закріплені макроструктури, здатні до седиментації, шляхом іммобілізації на поверхнях $F_б$ носіїв біофільтра. Динамічну модель функціонування метантенка з анаеробним біофільтром М (АБ) представимо у наступному вигляді (рис. 3.2):

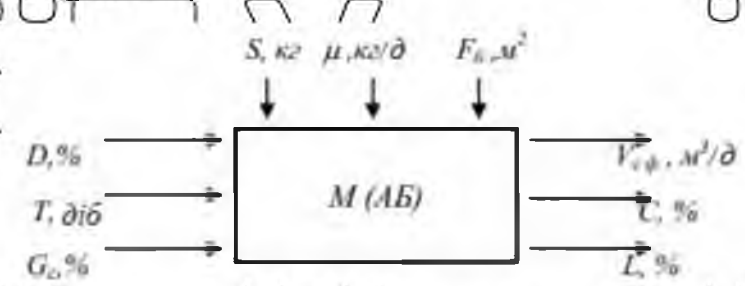


Рис. 3.3. Динамічна модель функціонування метантенка (М) з анаеробним біофільтром (АБ)

НУБіП України

Вхідні параметри: доза D (%), періодичність завантаження T (добу) метантенка та вміст органічної сухої речовини у гнійному стоку G_c (%); вихідні параметри: швидкість утворення біогазу в метантенку з анаеробним біофільтром $V_{сф}$, ($м^3$ /добу), вміст метану у біогазі C (%) і ступінь розкладання органічної речовини L (%); внутрішні параметри: вихідна концентрація органічних речовин у субстраті S (кг), максимальна швидкість зростання мікроорганізмів у заданому процесі ферментації μ (кг/добу), загальна площа поверхні носія біофільтра $F_б$ ($м^2$). Теоретичною основою для побудови математичної моделі іммобілізації метаноутворюючих мікроорганізмів у біологічних фільтрах стала кінетична модель Конто, яка застосовується до ширшого класу органічних стоків. Вона описує швидкість утворення біогазу V_C ($м^3$/добу) залежно від технологічних параметрів процесу анаеробної ферментації:

$$v_c = \frac{V_б S}{\tau_ц}\left(1 - \frac{k_s}{\mu\tau_ц - 1 + k_s}\right) \quad (3.1)$$

де $V_б$ ($м^3$/кг) – граничний вихід біогазу з органічної речовини заданого складу при безкінечному часі експозиції $\tau_ц$ (добу); S (кг) – вихідна концентрація органічної речовини у субстраті; μ (кг/добу) – максимальна швидкість зростання мікроорганізмів у заданому процесі ферментації; k_S – кінетичний параметр (константа напівнасичення).

Швидкість утворення біогазу $v_{СФ}$ у метантенку з іммобілізованою активною біомасою метаноутворюючих мікроорганізмів в анаеробному біофільтрі визначаємо за виразом:

$$v_{сф} = v_C + \Delta v \quad (3.2)$$

де v_C ($м^3$/добу) - швидкість утворення біогазу в традиційній біогазовій установці; ΔV ($м^3$/ добу) – зміна швидкості утворення біогазу в анаеробному біофільтрі. Звідси випливає, що Δv може залежати від таких параметрів:

$$\Delta V = f(X_{бм}, F_б, S, L, dS/d_{τц}, \mu, \tau_ц \text{ та ін.}), \quad (3.3)$$

де $X_{бм}$ (кг) – кількість активної біомаси, іммобілізованої на носіях біофільтра; $F_б$ ($м^2$) - загальна площа поверхні носія біофільтра; S (кг) - концентрація органічної речовини у субстраті; L (%) - ступінь розкладання органічної речовини; $dS/d_{τц}$ - зміна концентрації органічної речовини за час експозиції ($\tau_ц$); μ (кг/добу) - швидкість зростання мікроорганізмів у біофільтрі.

Тоді зміну швидкості утворення біогазу в анаеробному біофільтрі визначаємо, як:

$$\Delta v = \frac{X_{бм} K_б \mu}{S}, \quad (3.4)$$

де $K_б$ ($м^3$/кг) - коефіцієнт утворення біогазу з одиниці активної біомаси біофільтра.

У мікробіологічних системах, як правило, швидкість зростання мікроорганізмів μ (кг/добу) лімітується концентрацією субстрату, що відбивається залежністю Ж. Моно:

$$\mu = S\mu s/(ks+S), \quad (3.5)$$

де μS (кг/добу) – питома швидкість зростання мікроорганізмів за даних умов. Кількість активної біомаси, іммобілізованої на поверхнях носія кулястого анаеробного біофільтра, визначаємо за формулою:

$$X_{бм} = F_б \, \delta \, \rho_б, \quad (3.6)$$

де δ (м) – товщина шару активної біомаси, утвореної в біофільтрі; $\rho_б$ (кг/$м^3$) – щільність активної біомаси. Звідси, загальну площу поверхні носія Fб ($м^2$), розробленого нами кулястого біофільтра, визначаємо наступним чином:

$$F_б = F_л \, n_л, \text{ або} \quad (3.7)$$

$$F_б = \pi \, d_ш \, l_ш \, n_л, \quad (3.8)$$

де $F_л$ ($м^2$) – загальна площа поверхні носія (капроновий шнур) лопат біофільтра; $n_л$ (шт) – кількість лопатей біофільтра; $d_ш$(м) – діаметр капронового шнура; $l_ш$ (м) – загальна довжина шнура.

НУБіП України

Після перетворень вираз (3.2) швидкості утворення біогазу з іммобілізованою активною біомасою метаноутворюючих мікроорганізмів в анаеробному біофільтрі набуде вигляду:

$$v_{сф} = \frac{BS}{\tau_ц}\left(1 - \frac{k_s}{\mu\tau_ц - 1 + k_s}\right) + \frac{X_{бм}K_б\mu}{S}$$

Таким чином, отримаємо математичну модель процесу накопичення метаноутворюючих мікроорганізмів на носіях кулястого біофільтра, що характеризується швидкістю утворення біогазу $V_{с.ф}$ (м^3/добу), у наступному вигляді:

$$v_{сф} = v_с + [X_{бм} \cdot K_б (\mu / S)] \quad (3.10)$$

За розробленою математичною моделлю (3.9) та системним аналізом процесу іммобілізації метаноутворюючих мікроорганізмів на носіях біофільтра розроблено структурну модель технології анаеробної переробки гнійних стоків у метантенку з біофільтром. Звідси випливає, що при іммобілізації метаногенної мікрофлори на носіях біофільтра контролюючим параметром є швидкість утворення біогазу $V_{сф}$ (м^3/добу), в одиницю часу сировини, що переробляється, який залежить від дози завантаження метантенка D (%):

$$D = \frac{100\rho_б v_{сф}}{L\rho_г G_o} \quad (3.11)$$

де $\rho_б$, кг/м^3 – щільність біогазу; L, % - Ступінь розкладання органічної речовини; G_o, м3/добу – склад органічної речовини; $\rho_г$, (кг/м^3) - щільність гнойових стоків.

Ефективність виробництва біогазу багато в чому залежить від властивостей гною і схем його переробки, а й від технологічного процесу, конструктивних параметрів біогазової установки, і навіть температури довкілля.

Головний показник технологічного процесу утворення біогазу - тривалість зброджування гною в метантенку τ визначають наступним чином:

$$\tau = \frac{V_б \rho_г}{v_{сф} G_н} \quad (3.12)$$

де $V_б$ ($м^3$) - об'єм утвореного біогазу; Gн(кг) - маса гнойових стоків, що зброджується в метантенку;

Знаючи тривалість зброджування сировини визначаємо необхідний об'єм камери зброджування метантенка V_k ($м^3$) з наступного виразу:

$$V_k = \frac{G_H \tau (1+\beta)}{\rho_г}$$

де β - коефіцієнт об'ємного розширення гною.

3.3. Енергетична модель біогазової установки з анаеробним біофільтром

Для оцінки енергетичної ефективності роботи біогазової установки (БГУ) з анаеробним біофільтром (АБ) проведено аналіз теплових потоків при зброджуванні стоків гною, який представлений у вигляді схеми (рис. 4):

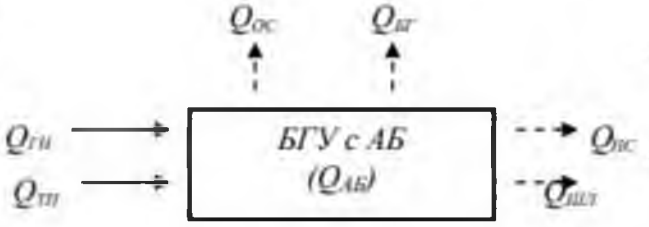


Рис. 3.4. Схема теплових потоків біогазової установки (БГУ) з анаеробним біофільтром (АБ)

Вхідну частину теплового балансу БГУ становить кількість енергії, що міститься у вихідному гнійному стоку $Q_{гн}$, енергія технологічного процесу метаноутворення $Q_{тп}$ та енергія активної біомаси, іммобілізованої в анаеробному біофільтрі $Q_{АБ}$, а вихідна частина підсумовується втратами

енергії в довкілля через огороджувальні поверхні метантенка $Q_{НС}$, енергіями біогазу $Q_{БГ}$, що утворюється, і збродженого мулу $Q_{ШЛ}$ у наступному вигляді

$$Q_{ін} + Q_{ТП} + Q_{АБ} = Q_{НС} + Q_{БГ} + Q_{ШЛ}, \text{ (кДж)} \quad (3.11)$$

Однією з основних характеристик, що визначає товарність біогазу, що отримується, є енергоємність анаеробного біофільтра $Q_{АБ}$ (кДж), що залежить від кількості активної біомаси $X_{бм}$ (кг), закріплених на поверхнях носіїв біофільтра та її питомої теплоємності $C_{бм}$(кДж/(кг·К), температур технологічного процесу зброджування ТПІ та довкілля $T_{ОС}$ (К).

Енергоємність анаеробного біофільтра визначаємо наступним чином:

$$Q_{АБ} = X_{бм} C_{бм} (T_{ТП} - T_{ОС}) \quad (3.12)$$

Ефективність отримання біогазу можлива лише в тому випадку, коли сумарна енергія отриманого біогазу значно перевищуватиме витрати на його виробництво, тобто повинна виконуватися умова отримання товарної енергії Q_{VT} (кДж), яка у загальному вигляді може бути представлена як:

$$Q_{VT} - \frac{Q_{ТП} - Q_{АБ}}{\vartheta} \geq 0 \quad (3.13)$$

де $Q_{ТП}$ (кДж) - Витрата енергії на технологічний процес; $Q_{АБ}$ (кДж) - енергія, що міститься в анаеробному біофільтрі; ϑ (кДж/м^3) – теплотворна здатність біогазу.

За результатами аналітичного розрахунку та розрахункової схеми теплового балансу метантенка з анаеробним біофільтром отримано енергетичну модель біогазової установки для переробки гнійних стоків:

НУБіП України

$$\left.\begin{aligned} Q_{\text{ГН}} &= G_{\text{н}} C_{\text{г}} (T_{\text{вн}} - T_{\text{нс}}) \\ Q_{\text{ТП}} &= \frac{V_{\text{г}} C_{\text{г}} \rho_{\text{г}} (T_{\text{тп}} - T_{\text{вн}})}{n} \\ Q_{\text{АБ}} &= X_{\text{бм}} C_{\text{бм}} (T_{\text{тп}} - T_{\text{нс}}) \\ Q_{\text{НС}} &= \frac{k F_{\text{м}} \vartheta_{\text{із}} (T_{\text{тп}} - T_{\text{нс}})}{\delta_{\text{із}} \tau} \\ Q_{\text{БГ}} &= V_{\text{б}} C_{\text{б}} (T_{\text{тп}} - T_{\text{нс}}) \\ Q_{\text{ШЛ}} &= G_{\text{шл}} C_{\text{шл}} (T_{\text{тп}} - T_{\text{нс}}) \end{aligned}\right\} \quad (3.14)$$

де $G_{\text{Н}}$ (кг) - добова маса гною стоку, що підлягає нагріванню; $C_{\text{т}}$ (кДж./кг·К) – питома теплоємність гнойових стоків; $T_{\text{ТП}}$ (К) – температура технологічного процесу, $T_{\text{вн}}$ (К) - вихідна температура нагріву гною і $T_{\text{НС}}$ (К) - втрати температури в навколишнє середовище; $V_{\text{г}}$ ($м^3$) – добовий обсяг гною,що підлягає нагріванню; n (%) – ККД установки для контактного нагріву; $X_{\text{бм}}$ (кг) - кількість активної біомаси, закріпленої на носіях біофільтра; FM ($м^2$) – площа теплообміну метантенка; $\delta_{\text{із}}$ (м) – товщина теплоізоляції метантенка; $\vartheta_{\text{із}}$, (Вт/$м^2$·К) – коефіцієнт теплопровідності теплоізоляції; k (Вт/$м^2$·К) – коефіцієнт теплопередачі; $V_{\text{б}}$ ($м^3$/добу) – добовий обсяг утворення біогазу; $C_{\text{б}}$ (кДж/($м^3$·К) – теплоємність біогазу; $G_{\text{ШЛ}}$ (кг) – маса вивантаженого зброджeного шламу; $C_{\text{ШЛ}}$ (кДж/кг·К) – питома теплоємність шламу.

Розроблена математична модель процесу накопичення метаноутворюючих мікроорганізмів в анаеробному біофільтрі дозволяє інтенсифікувати переробку гнойових стоків, а за енергетичною моделлю біогазової установки визначаємо енергоємність анаеробного біофільтра та ефективність виробництва товарного біогазу на свинофермах.

3.4. Технологія видалення гною, що використовується в базовому господарстві

Робота виконувалась на базі фермерського господарства «Агрорось», Черкаської області Корсунь-Шевченківського району. В господарстві утримується 110 свиней на відгодівлі.

НУБіП України

Відгодівельне поголів'я свиней утримується безвигульно у групових станках з щілинною підлогою.

Відгодівельне поголів'я розміщують в спеціальних приміщеннях (рис. 3.3) групами по 10-15 голів (але не більше 25) у станку. Система і технічні засоби прибирання гною використовуються гідравлічні. Площа станка має зону відпочинку (ліжко) та кормо-гнойовий прохід, в якій розміщують годівниці і автонапувалки. Водночас ця зона служить для дефекації тварин.

Рис. 3.5. Станкове утримання відгодівельного поголів'я

Для напування свиней використовують соскові напувалки АС-Ф-25.

Для приготування комбікормів використовують агрегат МКУ-0,5.

Роздавання кормів здійснюється по трубопроводу ланцюгово-шайбовим транспортером. Комбікорм подається до кормових автоматів для свиней Tube-o-Mal з вбудованими напувалками виробництва Данії.

Рівень механізації прибирання гною на фермах досягає в даний час 70…75%, а частка технологічного процесу видалення гною з тваринницьких приміщень становить 20…30% від загальних затрат праці на фермі. Гній та гноївка – головні органічні добрива, які містять майже всі поживні речовини

НУБіП України

необхідні для живлення рослин. Яким би великим не було виробництво добрив, гній завжди буде одним з головних добрив у сільському господарстві.

Гній в основному складається з твердих та рідких виділень тварин, а також з підстилочних матеріалів. Якість гною визначається і кількістю підстилкового матеріалу, що застосовується при утриманні тварин, його фізичним станом та умовами зберігання.

При безпідстилковому, як в нашому разі, утриманні тварин з щоденним прибиранням гною стаціонарними засобами механізації отримується рідкий гній вологістю до 97%.

Нагромадження гною протягом доби у тваринницьких приміщеннях відбувається нерівномірно. Понад третину його добового виходу припадає на період годівлі тварин.

Кількість гною, яку одержують протягом доби, залежить від способу утримання тварин чи птиці, їх живої маси, віку, продуктивності, виду та технології роздавання кормів, концентрації поголів'я в приміщенні, виду і норми використання підстилкових матеріалів та інших факторів.

Система гноєвидалення чинить серйозний вплив на мікроклімат у свинарнику. Установка такої системи сприяє зниженню захворюваності тварин, скороченню трудо- та енерговитрат на свинокомплексі і, отже, збільшенню ефективності виробництва підприємства. Найбільш актуальний варіант гноєвидалення для сучасних умов з мінімальною кількістю використання води - це самопливна система гноєвидалення.

Вона може бути встановлена як у маленьких приміщеннях, так і у великих корпусах. Система гноєвидалення складається з гноєприймального каналу, розділеного бетонними перегородками на ванни. Розміри ванн залежать від розмірів і розташування станків для утримання свиней, а також від розмірів панелей щілинної підлоги для свинарників. Під кожним гноєприймальним каналом прокладений пластиковий поздовжній колектор, що складається з пластикових каналізаційних труб.

Гноєприймальні канали у свинарниках для утримання всіх виробничих груп свиней перекриті панелями щілинної підлоги для свинарників.

Кожна бетонна ванна з'єднана з пластиковим поздовжнім колектором через пластиковий трійник, що знаходиться у середній частині ванни. Отвір кожного трійника закривається заслінкою пробкового типу.

На початку кожного поздовжнього колектора знаходиться повітряний клапан. Гній через решітки потрапляє у канали, де відбувається його накопичення протягом 10-12 днів. Після закінчення цього терміну, у міру заповнення каналу, виймаються пробки по черзі з кожного каналу, і магістральним трубопроводом гнойова жижа надходить у центральний колектор, звідти гній надходить у приймальний резервуар.

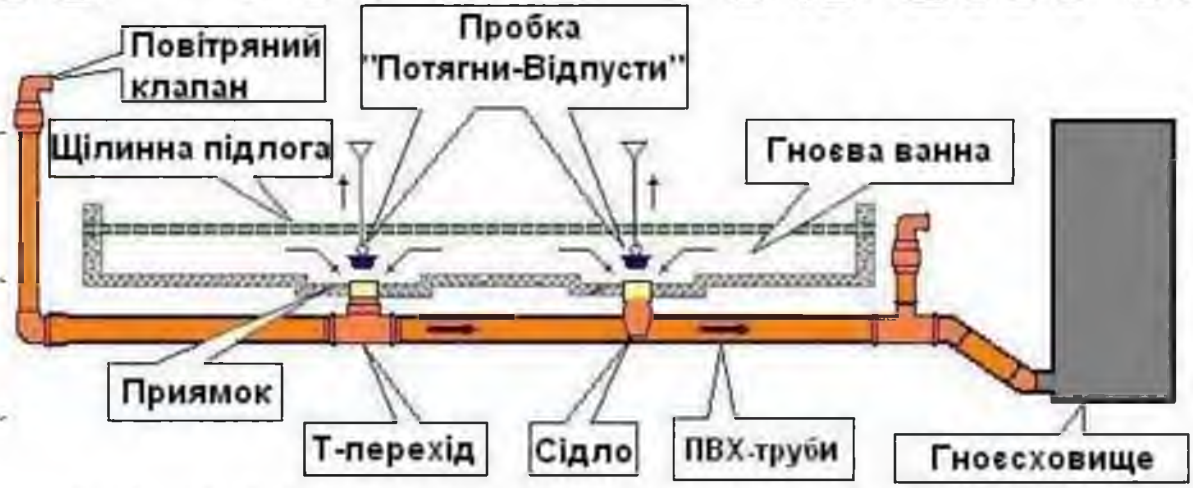


Рис. 3.6. Схема самоплавної системи гноєвидалення

При утриманні свиней на щілинній підлозі добовий вихід гною на фермі становитиме:

$$W_{доб} = m(q_к + q_с), \quad (3.15)$$

де m – кількість тварин на фермі, гол; $q_к$ – добовий вихід калу від однієї тварини, кг; $q_с$ - добовий вихід сечі, кг.

$W_{доб} = 110 (7 + 5) = 1320$ кг.

Кількість гною, яку необхідно видалити за один цикл роботи транспортера:

$$W_ц = \frac{W}{\beta},$$ (3.16)

де β – кратність прибирання гною.

$$W_ц = \frac{1320}{2} = 660 \text{ кг}.$$

Вологість свіжого гною $B_{гн}$ залежить від виду тварин, типу їх годівлі, виду і кількості внесення підстилки:

$$B_{гн} = \frac{q_к \cdot B_к + q_с \cdot B_с}{q_{гн}}$$ (3.17)

де $B_к$, $B_с$, - відповідно вологість калу та сечі, %.

$$B_{гн} = \frac{7 \cdot 76 + 5 \cdot 94}{12} = 83{,}5\%$$

Річний вихід гною Gp визначається з виразу:

$$W_р = W_{доб} \cdot D$$ (3.18)

де D- кількість днів нагромадження гною на рік:

$$W_р = 1320 \cdot 365 = 481800 \text{ кг},$$

Необхідна площа гноєсховища:

$$F_{гн} = \frac{W_{доб} \cdot Д_{зб}}{\rho \cdot h}$$ (3.19)

де $F_{гн}$ - площа гноєсховищ, м^2;

h - висота укладання гною, h = 1,5…2,5 м;

$Д_{зб}$ – тривалість зберігання гною у гноєсховищі, днів.

ρ – щільність гною, кг/м^3.

$$F_{гн} = \frac{1320 \cdot 182}{900 \cdot 2} = 133{,}5 \text{м}^2$$

НУБіП України

3.5. Удосконалення існуючої технології утилізації гною на свиноферміФГ «Агроресь» Черкаської області Корсунь-Шевченківського району

Для забезпечення утилізації відходів тваринництва пропонуємо використовувати наступну схему (рис. 3.4) Технологія включає ряд послідовних операцій (метантенк попереднього зброджування та метантенк з біофільтром) та її можна характеризувати як інтенсивну, природоохоронну та ресурсозберігаючу. Особливістю технології є переробка гнійних стоків в інтенсивному режимі з поділом їх на рідкі та тверді фракції після анаеробного зброджування. Удосконалення технології переробки гнійних стоків полягає у застосуванні біофільтру, який є конструктивним елементом метантенка.

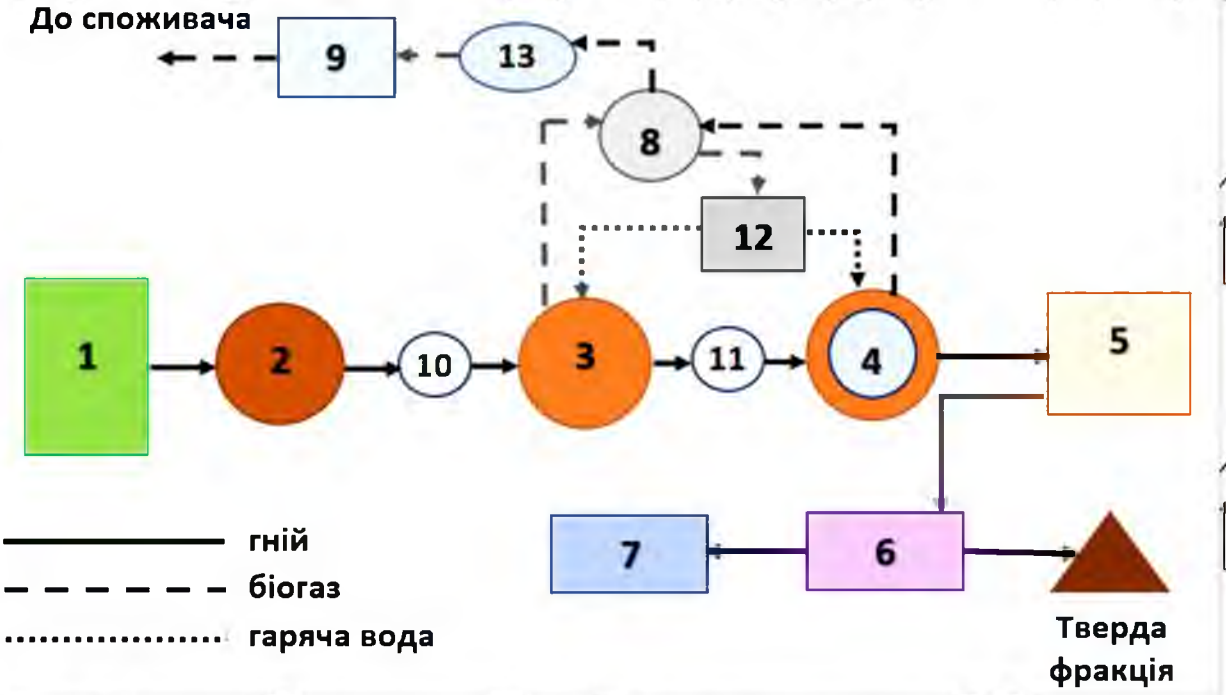


Рис 3.7. Технологічна схема системи інтенсивної переробки відходів ФГ «Агроресь» Черкаської обл. Корсунь-Шевченківського р-ну:
1 – свиноферма; 2 - гноєзбірник; 3 – метантенк попереднього зброджування; 4 – метантенк з біофільтром; 5 – відстійник зброженої біомаси; 6 – роздільник гнойових стоків на фракції; 7 – ставок - накопичувач рідкої фракції; 8 – мокрий газозбірник; 9 – газгольдер біогазу; 10, 11 – фекальні насоси; 12 – котел на біогазі; 13 – компресор

Технологія включає ряд послідовних операцій (метантенк – переднього зброджування та метантенк з біофільтром) та її можна характеризувати як інтенсивну, природоохоронну та ресурсозберігаючу. Особливістю технології є переробка гнійних стоків в інтенсивному режимі з поділом їх на рідкі та тверді фракції після анаеробного зброджування. Удосконалення технології переробки гнійних стоків полягає у застосуванні біофільтру, який є конструктивним елементом метантенка.

Існуючі технології переробки гнійних стоків тваринництва в біогазових установках, відрізняються тим, що в робочій камері метантенка відсутнє застосування біофільтра, також слід зазначити, що система підтримки температурного режиму технологічного процесу переробки сировини в метантенку засикована на використанні електроенергії, або біогазу, що утворюється, яка, у свою чергу, впливає на собівартість сировини, що переробляється.

Технологічна схема розробленої біогазової установки (БГУ) з анаеробним біофільтром (АБ), показана на рис. 3.5

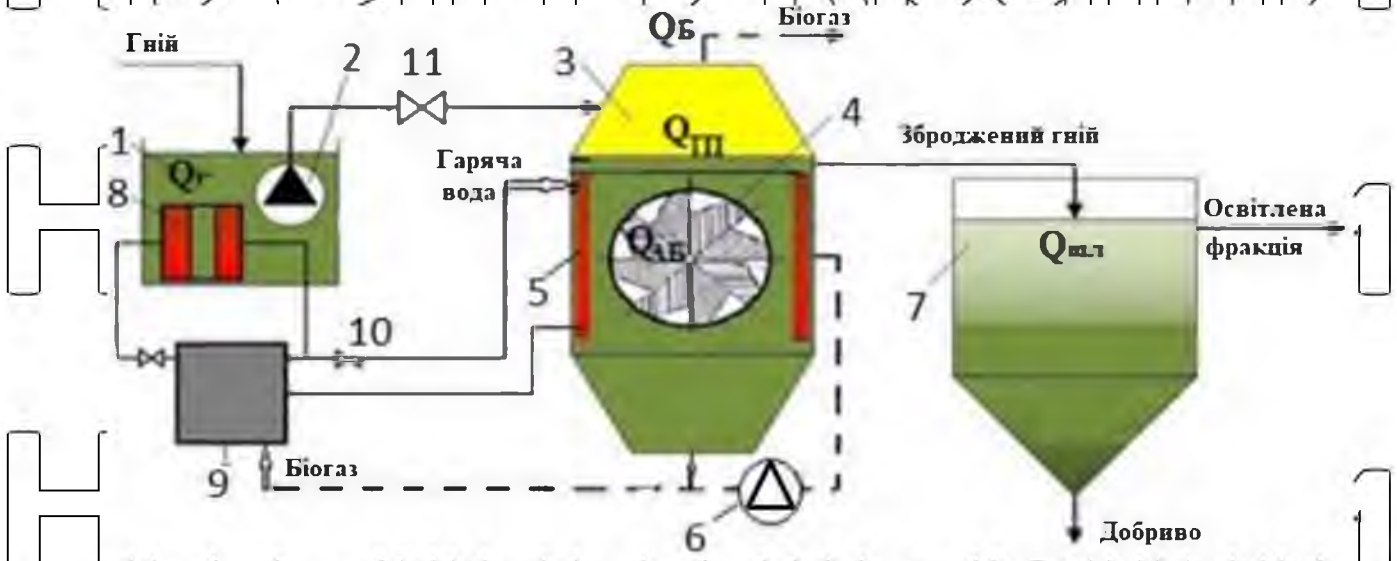
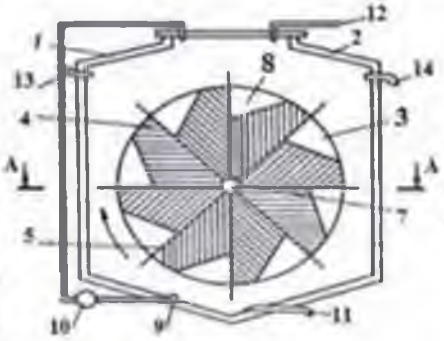
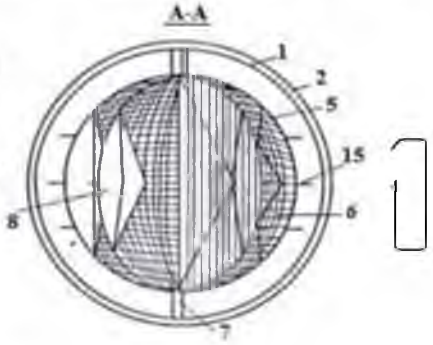


Рисунок 3.8. Технологічна схема розробленої біогазової установки з анаеробним біофільтром: 1 – приймальна ємність; 2 – насос завантаження; 3 – метантенк; 4 – біофільтр; 5 – теплова сорочка метантенка; 6 - насос перемішування гною, що переробляється; 7 – відстійник переробленого гною; 8 – теплообмінник; 9 – водогрійний котел на біогазі; 10 та 11 – крани.

Метантенк являє собою циліндричну ємність 1, висота якого дорівнює діаметру, має конусне дно. Ця форма забезпечує накопичення активного мулу на дні метантенка. Корпус має теплоізоляційний прошарок 2.

а





б

Рис. 3.9. Біогазова установка (БДУ): а – загальний вигляд метантенка, б – технологічна схема, вид із боку, в-вид зверху (перетин А-А). 1 – корпус метантенка; 2 -теплоплоізоляція; 3 – біофільтр; 4 -лопаті; 5 – каркас; 6 - капронова сітка; 7 -вал біофільтра; 8-поліетиленові ємності; 9 -штуцер; 10 компресор; 11 – труба для шламу; 12-трубка відведення біогазу; 13 - труба завантаження гною; 14-труба видалення зброджено гною, 15 - зубці.

Анаеробний біофільтр (рис. 3.5) являє собою жорстку конструкцію у формі кулі, структурним елементом якої є лопаті 4, обтягнуті капроновою сіткою 6 з коміркою 50 х 50 мм та діаметром шнура 5,0 мм. Біофільтр обертається навколо своєї осі на валу 7 за допомогою виштовхувальної сили утворюваного біогазу, який збирається в ємності 8, виконаній з полімерного матеріалу. У днище корпусу метантенка введено штуцер 9 для примусової подачі біогазу в робочу ємність 8 лопатей.

Примусове подання біогазу (рисунок 3.5б) здійснюється компресором 10. У днищі корпусу 1 встановлено вентиль 11 для зливу осаду з активним мулом. Труба 12 служить для відведення біогазу, що утворюється, труба 13 - для подачі вихідної маси і введення активного мулу (система рециркуляції), труба 14 – для видалення перероблено гною, зубці 15 – для руйнування кірки, що утворюється на поверхні перероблюваного гною.

НУБіП України

При проведенні експериментальних досліджень процесу накопичення процесу метаногенної мікрофлори в біофільтрі, оптимальний температурний режим метаноутворення відповідав термофільному режиму процесу анаеробного зброджування гною. Загальна однорідність гною в метантенці підтримувалася шляхом перемішування типу “Up-flow” перистальтичним насосом.

Основні показники технологічного процесу анаеробної переробки гною:

Вологість гною 95%

Вміст сухої речовини 0,250 кг.

Оптимальний температурний режим 54°С

Окисно-відновний потенціал 360 мВ

pH – середовище 7,5

Доза завантаження субстрату в метантенк 1,0-7,5%

Технічна характеристика БГУ

Метантенк

Тип циліндричний з конічним дном та верхом

Корисна місткість 1,5 м^3

Добова доза завантаження 4,5%

Періодичність завантаження на добу 7,0

Температура зброджування 54 С

Поверхня тепловіддачі 5,59 м ^{2}

Спосіб перемішування сировини, що переробляється газовий

Спосіб підігріву гною в метантенці - водяний теплообмінник

ККД нагрівального пристрою 0,75

Габаритні розміри (діаметр х висота) м 1,2 х 1,2

Біофільтр

Тип кулеподібний

Матеріал носія лопатей біофільтра - капроновий шнур

НУБіП України

Площа поверхні носія 36,0 м ^{2}

Габаритні розміри діаметр м 1,0

Спочатку, повільне переміщення лопатей (4) анаеробного біофільтра забезпечується примусовою подачею біогазу компресором (10) через штуцер (9). Далі в міру адаптації метаноутворюючих мікроорганізмів до гною, що переробляється, і накопичення мікроорганізмів на поверхнях лопатей біофільтра здійснюється високоефективне зброджування. Збільшення швидкості утворення біогазу в метантенку призводить до більш інтенсивного перемішування без примусової подачі газу ззовні. Основною умовою ефективності переробки гнійних стоків у метантенці є накопичення метаноутворюючих мікроорганізмів на робочих поверхнях лопатей, від яких залежить енергоємність біофільтра.

3.6. Експериментальні дослідження біогазової установки з анаеробним біофільтром

Метою експериментальних досліджень стало підтвердження проведених раніше теоретичних передумов процесу іммобілізації метаноутворюючих мікроорганізмів на носіях та переваг анаеробного біофільтра в метантенку на утворення біогазу при зброджуванні гнійних стоків.

Проводилися дослідження спільного впливу основних факторів: періодичності завантаження метантенка Т, (діб) та дози завантаження Д,(%) на швидкість утворення біогазу $V_{сф}$, (м^3/добу), вміст метану в біогазі С,(%) та ступінь розкладання органічної речовини L,(%).

У дослідах були використані термофільні метаноутворюючі бактерії родів Methanotrix та Methanosarcina як основні компоненти метаногенної асоціації. Дослідження проводили у термофільному режимі зброджування (54°С). Перемішування субстрату, що зброджується, здійснювали перистальтичним насосом типу «Uplow» при швидкостях циркуляції від 2 до

5 робочого об'ємів на добу. Згідно з плануванням експерименту початкова доза завантаження становила 1,0 % (0,1 кг ацетату натрію), далі до кінця дослідження доза була збільшена до 7,0 % (0,7 кг) від загального обсягу біомаси, що зброджується.

Періодичність завантаження відповідно від 1 до 10 діб. Відповідно до поставленої мети дослідження при плануванні експерименту кількісна сторона технологічного процесу зброджування гнійних стоків характеризувалася швидкістю утворення біогазу – У1 (Vсф,м^3/добу), яка дозволила оцінити інтенсивність переробки субстрату, а якісна сторона процесу зброджування гнійних стоків – вмістом метану в біогазі – У2 (С,%) та ступенем розкладання органічної речовини У3 (L,%). При плануванні експерименту дослідження проводили на двох рівнях варіювання: максимальний (+1) та мінімальний (-1). З метою повного дослідження прийняли повний факторний експеримент (22) із проведенням 10 дослідів. При виборі факторів, що варіюються, спочатку були проведені пошукові експерименти. За їх результатами та ранжування факторів у дослідах було вирішено варіювати трьома факторами: періодичністю завантаження метантенка - Х1 (Т, діб), дозою завантаження - Х2 (Д,%) і вмістом органічної сухої речовини в субстраті, що зброджується - Х3 (Gc,кг).

Обробку експериментальних даних проводили методом множинної регресії у програмі STATISTIKA. За результатами лабораторних дослідів та відповідно до матриці планування експерименту отримано значення швидкості утворення біогазу, вмісту метану в біогазі та ступеня розкладання органічної речовини субстрату, що зброджується.

Перед запуском біогазової установки у роботу, камера зброджування метантенка продувалась вуглекислим газом для створення анаеробних умов. При проведенні виробничої перевірки доза завантаження метантенка становила 5,2 % від обсягу сировини, що зброджується, з періодичністю завантаження 7,0 діб, вологість – 93 %. Біогаз, що утворюється, збирався в мокрому газозбірнику об'ємом 1,0 м^3.

В результаті проведення лабораторних дослідів анаеробного зброджування гнійних стоків свиней було встановлено (табл.), що відсотковий вміст метану в біогазі варіювався і був пов'язаний як з фазою розвитку метаногенної мікрофлори, так і з завантаженням метантенка.

Таблиця 3.1. Результати експериментальних досліджень

Показники	Номер досліду									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Періодичність завантаження(x1) Т, діб	2	2	4	4	6	6	8	8	10	10
Доза завантаження(x2) Д,%	1,0	1,0	2,5	2,5	4,0	4,0	5,0	5,0	7,5	7,5
Суха органічна речовина (x 3) Gc,кг	0,203	0,213	0,234	0,240	0,238	0,240	0,250	0,310	0,320	0,370
Швидкість газоутворення (y1) Vсф, л/добу	0,029	0,68	3,47	3,99	4,01	4,15	4,81	4,90	5,22	5,94
Вихід біогазу (дослідний) Vб, л	0,23	3,82	12,90	14,31	22,76	24,56	29,11	44,15	61,20	78,91
Вихід біогазу (розрахунковий) Vб л	0,31	2,86	11,30	19,71	21,12	23,71	27,65	42,80	58,93	74,85
Вміст метану (y2) С, %	15,1	29,75	30,12	42,48	50,34	63,43	68,70	64,44	55,10	45,10
Ступінь розкладання (y3) L, %	10,29	12,27	16,91	25,98	26,01	35,93	45,8	40,89	28,74	22,10

За результатами дослідів розроблені математичні моделі процесу накопичення метаноутворюючих мікроорганізмів на носіях біофільтра в залежності від: Т – періодичності завантаження сировини в метантенк, D – дози завантаження. Отримані наступні рівняння ренресії:

Швидкість утворення біогазу з одиниці субстрату, що зброджується

$$v_{сф} = 4,5 + 0,8T + 0,9D - 0,19D^2 + 0,5T \cdot D; \quad (3.20)$$

Вміст метану в біогазі

$$C = 66,5 + 1,9T + 2,95D - 2,4\ T \cdot D - 17,1D^2; \quad (3.21)$$

Ступінь розкладання органічної речовини

$$L = 43{,}7 + 3{,}4\,T + 4{,}7\,T \cdot D - 10{,}2\,T^2 - 2{,}15\,D^2; \quad (3.22)$$

На основі отриманих рівнянь були побудовані залежності критеріїв оптимізації від змінних факторів (рис.3.10-3.12).

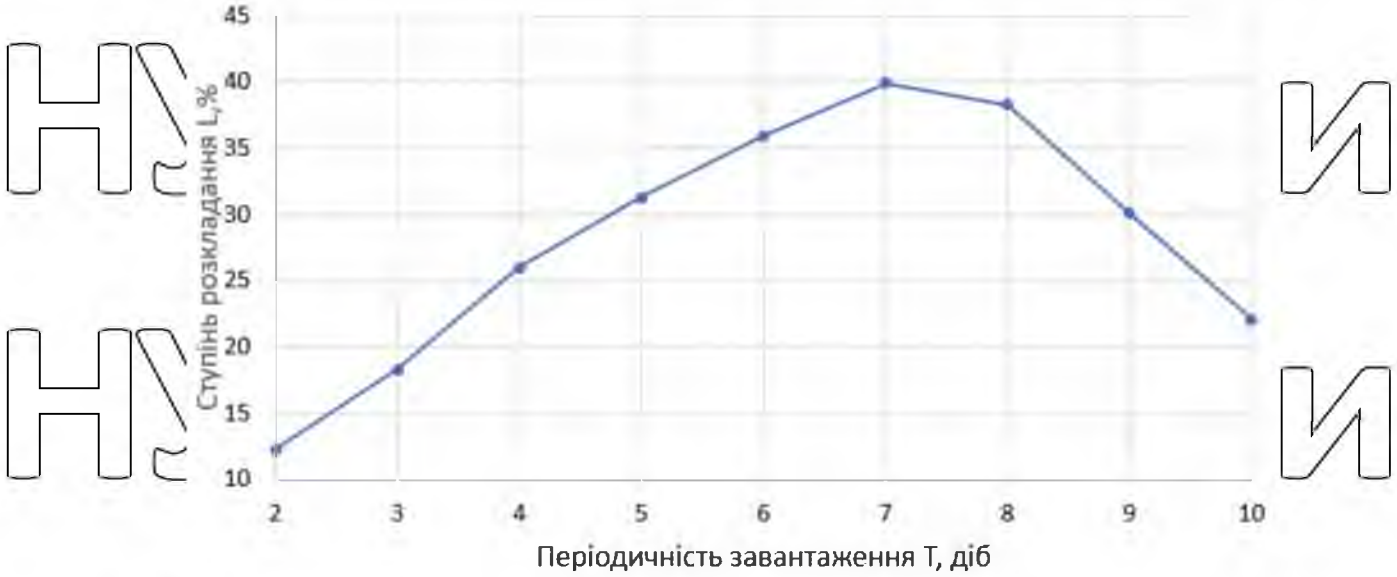


Рис. 3.10. Залежність ступеня розкладання L органічної речовини від періодичності Т завантаження сировини в метантенк

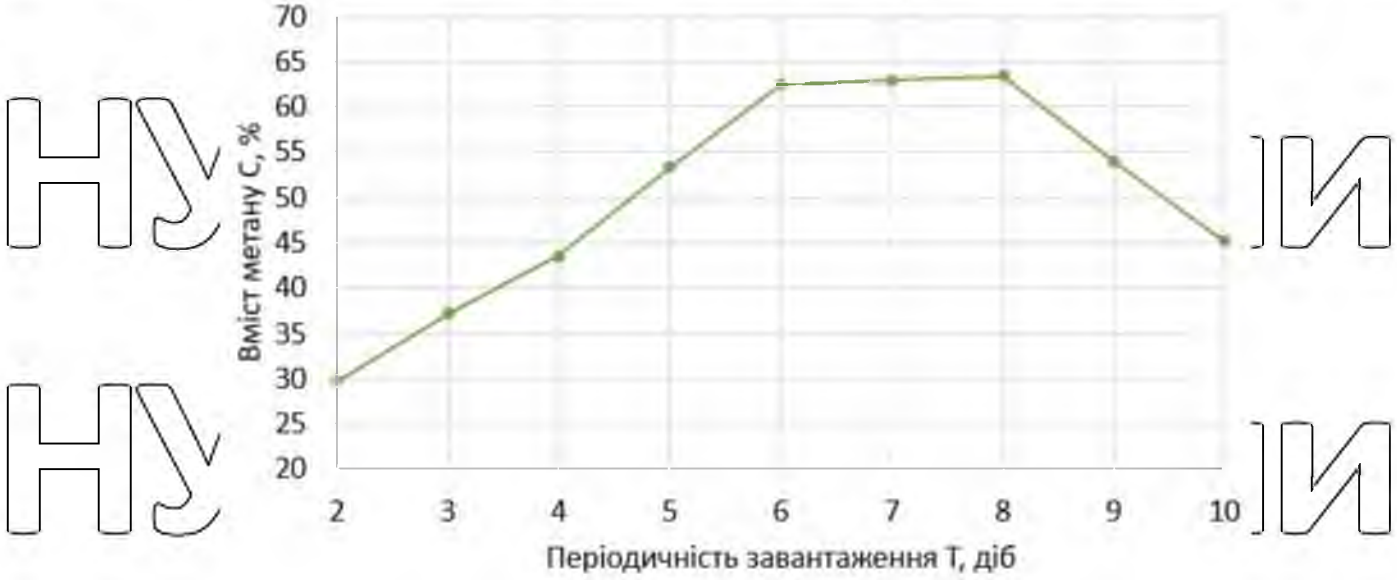


Рис. 3.11. Залежність вмісту С метану в біогазі від періодичності Т завантаження сировини в метантенк

НУБіП України

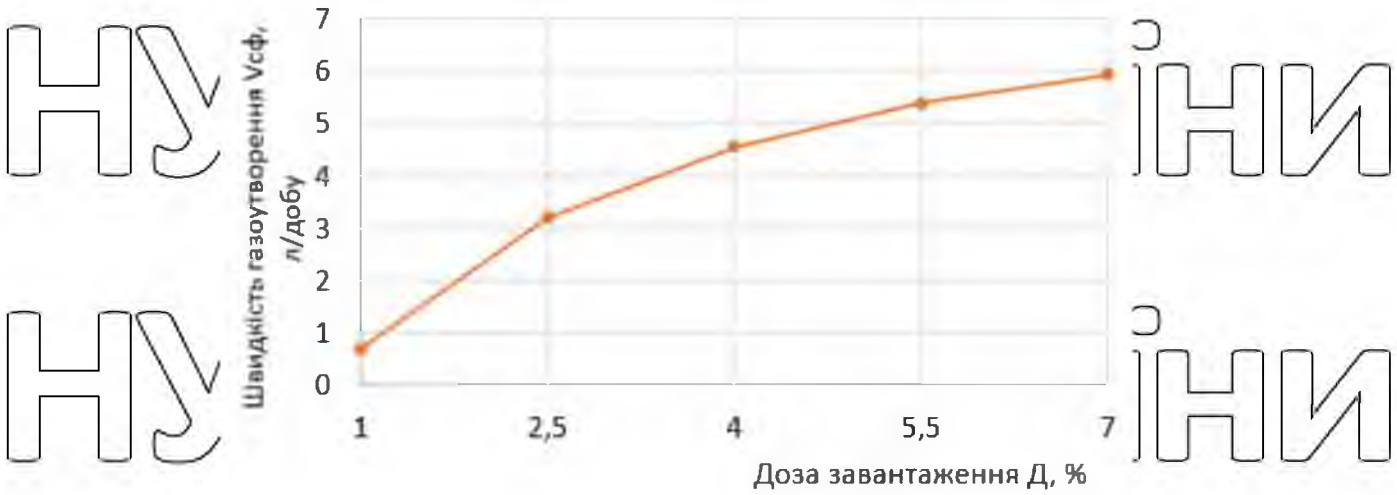


Рис. 3.12. Залежність швидкості $v_{сф}$ утворення біогазу від дози завантаження D.

Аналіз отриманих залежностей дає змогу зробити рекомендації щодо раціональних режимів та параметрів біогазової установки з анаеробним біофільтром:

Оптимальна доза завантаження D = 5,2% від обсягу субстрату, що зброджується.

Періодичність завантаження метантенка T = 7,0 діб.

Раціональні параметри кулястого анаеробного біофільтра:

діаметр $d_б$ = 1,0 м,

кількість лопатей $n_л$ = 8,0 шт,

площа поверхні носіїв $F_б$ = 36,4 м^2.

На підставі проведених експериментальних досліджень переробки гнійних стоків у біогазовій установці із застосуванням анаеробного біофільтра пропонуються наступні рекомендації з виробництва:

1. При розробці та створенні анаеробного біофільтра як конструктивних елементів носія метаногенної мікрофлори найбільш придатним є

капроновий шнур і при його застосуванні в метантенці слід суворо враховувати негативний ефект акумуляції надлишкової бактеріальної маси.

НУБіП України

яка може змінити характеристику сировини, що зброджується. Цей ефект має бути зведений до мінімуму.

2. Слід суворо контролювати температурний режим. Значне підвищення температури призводить до загибелі метаногенної мікрофлори, а також проникнення слідів кисню призводить до збільшення окисно-відновного потенціалу середовища, окислювальних процесів, припинення метаногенезу та створення негативних тисків усередині метантенка. Потрібний контроль окисно-відновного потенціалу середовища;

3. Найбільш оптимальною дозою завантаження метантенка органічною біомасою при накопиченні метаноутворюючих мікроорганізмів на носіях анаеробного біофільтра відповідає 4,5% від загального обсягу маси, що зброджується.

НУБіП України
НУБіП України
НУБіП України
НУБіП України
НУБіП України
НУБіП України
НУБіП України

4. ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА

4.1. Розрахунок річних економічних показників

Розрахунки економічної ефективності проводились з урахуванням впровадження інтенсивної технології анаеробної переробки гнійних стоків у метантенку з біофільтром на свинофермі ФГ «Агрорось», Черкаської області Корсунь-Шевченківський району.

В основу розрахунку економічної ефективності покладено принцип порівняння нової анаеробної технології та існуючих варіантів переробки гнійних стоків і складалася з енергетичних та екологічних позитивних ефектів.

де уі (тис. руб/т) - збитки від і-го компонента шкідливих викидів;

Ві(т/рік) – зниження шкідливих викидів за рахунок скорочення споживання палива на базовій енергетичній установці під час використання біогазу.

Зниження шкідливих викидів за рахунок споживання базового енергетичної сировини при використанні біогазу можна визначити за формулою

Розрахункову економічну ефективність проектних рішень порівняно з базовим варіантом визначають за різницею приведених витрат. Якщо обсяг виробництва продукції не змінюється, річний економічний ефект *Ер* розраховується за формулою:

$$Ер = (c_1 + E_н K_1) - (c_2 + E_н K_2), \quad (4.1)$$

де c_1 і c_2 — річні експлуатаційні витрати на виробництво одиниці продукції відповідно за базовим та спроектованим варіантами; K_1 і K_2 — сума капіталовкладень у відповідних варіантах; $E_н$ — нормативний коефіцієнт ефективності капіталовкладень, $E_н = 0{,}15$.

Екологічний ефект характеризується зниженням забруднення повітряного середовища від шкідливих викидів при згорянні палива та виключенням збитків від забруднення водойм солями та органічними

речовинами наявних у гною [38, 53]. Звідси, випливає визначення річного екологічного ефекту $E_{ек}$,(тис. грн) як:

$$E_{ек} = E_{вод} + E_{ат} \quad (4.2)$$

де $E_{АТ}$ - річний економічний ефект від зниження забруднення атмосфери від шкідливих викидів при згорянні палива, тис. грн; $E_{вод}$ - річний економічний ефект від запобігання забруднення водойм солями та органічними речовинами, тис. грн.

Річний економічний ефект від зниження забруднення водойм Евг визначають за формулою:

$$E_{ВГ} = P_{год}\ \beta\ (Z_1\ C_1 + Z_2\ C_2) \quad (4.3)$$

де Ргод(т) – річне утворення гною на фермі, речовин у тонні гною; С1, С2 - питома шкода на 1 кг забруднювача, руб: відповідно солей і БПК (0,16 грн/кг і 12,00 руб/кг). Річний економічний ефект від зниження сумарних збитків від скорочення шкідливих викидів в атмосферу складе:

$$E_{аг} = \sum_{i=1}^{н} y_i B_i$$

$$B_i = \frac{S_T B_i}{10^6}$$

Обчислення показників економічної ефективності згідної приведеної методики здійснювався за допомогою програми Excel Microsoft. Отриманні результати бдули занесені в таблицю 4.1.

Таблиця 4.1. Основні техніко-економічні показники

Назва показника	Існуюча технологія	Удосконалена технологія
Капіталовкладення, грн	184200	151000
Річний обсяг робіт, т	6450	6450
Товарний біогаз, м^3/ рік	-	78450

Ефект від запобігання захворювань тварин, тис. грн	-	28850
Ефект від запобігання, забруднення атмосфери, тис. грн	-	22950
Ефект від запобігання забруднення водойм, тис. грн	-	24000
Ефект від отримання товарного біогазу, тис. грн	-	124000
Річний економічний ефект, тис. грн	-	199800
Термін окупності, років	-	0,8

НУБіП України
НУБіП України
НУБіП України
НУБіП України
НУБіП України
НУБіП України
НУБіП України

5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ

5.1. Охорона праці при роботі на біогазових установках

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

При експлуатації обладнання для отримання біогазу і його використання необхідно враховувати вибухонебезпечність метану. Небезпека вибуху виникає при змішуванні метану з повітрям у співвідношенні від 5 до 15% за об'ємом. У разі витоку, за наявності вентиляції, газ випаровується без яких або наслідків. У зв'язку з цим на установці для отримання метану і в оточуваній її зоні необхідно суворо дотримуватись заходів безпеки, необхідних для попередження пожежі і вибуху [2].

До складу біогазу також входять сірководень (H_2S), вуглекислий газ (CO_2). Сірководень, якщо і представляє небезпеку для здоров'я людей, то зустрічається в невеликих кількостях і легко виявляється за неприємним запахом. Оскільки питома маса сірководню більша за масу повітря, тому необхідно звертати увагу на те, щоб при витоках цей газ не зміг нагромаджуватися в поглибленнях. При високих концентраціях він притупляє сприйняття запаху, що утрудняє його виявлення і може привести до смертельних отруєнь, але ще раз можна відзначити, що частка сірководню в біогазі дуже мала і складає не більше 1 %. Вуглекислий газ входить до складу біогазу, теж може накопичуватись в глибоких виїмках, оскільки він також важчий за повітря, за наявності нещільності в установці викликає небезпеку задухи [3].

Перелік заходів безпеки включає:

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

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

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

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

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

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

7. Забезпечення відповідних вентиляцій в зоні газопровідних ліній.

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

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

10. Здійснюють захист газопровідних ліній і особливо водовідокремлювачів і вогнегасників від замерзання, оскільки це може

перервати подачу газу, пошкодити газопровідну лінію і привести до значного збільшення тиску в метантенку або газгольдері, розрахованому на низький тиск.

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

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

5.2. Безпека праці під час обслуговування БГУ

Вимоги безпеки під час обслуговування установки наступні:

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

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

3. Під час роботи з біогазової установкою необхідно пам'ятати про вибухонебезпеку метану і стежити за герметичністю газгольдера і його комунікації. При виявленні витоку газу роботу потрібно припинити, усувати дефект повинні тільки фахівці, які мають допуск до роботи з вибухонебезпечними речовинами.

4. Порожні цистерни і резервуари біогазової установки оглядаються не менше ніж двома фахівцями, які знають заходи безпеки і забезпечені шланговими противогазами, гумовими рукавичками і страхуючими мотузками. Після роботи необхідно провітрити спецодяг в спеціально відведеному для цього приміщенні [3].

НУБіП України

При експлуатації біогазової установки необхідно звертати увагу на наступне:

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

– Тиск газу, який подається по газопроводу до місця споживання, не повинен перевищувати 0,15 МПа, а перед газовими приладами має бути не більше 0,13 кг/см^2. Реактор повинен бути обладнаний засувками, гідрозатворами, які у випадку необхідності могли б відключити його від магістрального скиду надлишкового тиску у газовій систему у випадку перевищення ним норми.

– Електрообладнання, яке використовується, повинно бути заземлене. Опір проводу для заземлення має бути не більше 4,0 Ом.

Випробування та запуск біогазової установки повинні відповідати ДСТУ 7588:2014 «Сільськогосподарська техніка. Установки біогазові. Методи випробування». До цього додаються вимоги з охорони праці, оскільки на БГУ

НУБіП України

працює окремий персонал. Необхідно надати документ з вибухонебезпечними зонами, за яким можна було б визначити [25]:

- Де можуть утворюватися вибухонебезпечні газові суміші і наскільки велика їх небезпека;

- Які заходи здійснюються для зменшення цієї небезпеки;

- Схематичне зображення вибухонебезпечних зон. Захисні дистанції орієнтуються на безпеку під час вибуху. Зона 0 належить до такої, в якій постійно існує небезпека вибуху (при нормальному робочому режимі її зазвичай не виникає на біогазових установках). Зона 1 охоплює територію, на якій час від часу виникає вибухонебезпечне середовище з різних газів (напр. навколо газових факелів). Зона 2 охоплює територію на якій може утворитися вибухонебезпечне середовище з газів [14].

При роботі на біогазовій установці необхідно дотримуватися вимог гігієни праці і виробничої санітарії, контролювати дотримання норм мікроклімату, освітлення, шумів та вібрацій. Параметри мікроклімату, що нормуються: температура (t, °С) і відносна вологість повітря (W, %), швидкість його переміщення (м/с), потужність теплових випромінювань (Вт/м^2). Допустимі відхилення наведені в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1. Вимоги до мікроклімату

Період року	Категорія робіт	Допустима температура на робочих місцях, °С		Допустима відносна вологість на постійних та непостійних робочих місцях	Допустима швидкість руху повітря на постійних та непостійних робочих місцях, м/с
		постійних	непостійних		
Холодний	Середньої важкості, Пб	15-21	13-23	75	≤0,4
Теплий	Середньої важкості, Пб	16-27	15-29	70 при 25°С	0,2-0,5

Джерелами виробничого шуму та вібрацій можуть бути двигуни, вентилятори, насоси. Захист від шуму повинен досягатись розробкою шумобезпечної техніки застосуванням засобів індивідуального захисту, а

також будівельно-акустичними методами. Основні технічні заходи по зменшенню шуму та вібрацій [26]:

Правильність проектування масивних фундаментів під віброактивне обладнання (дробарки та ін.) з урахуванням динамічних навантажень; застосування віброзатримуючих гнучких вставок на вихлопі з нагнітачів; застосування вібропоглинаючого резинового покриття; звукоізоляція шумних машин кожухами.

5.3. Розрахунок охоронного освітлення

Охоронне освітлення передбачається вздовж території майданчика. Воно повинно забезпечувати освітленість 0,5 лм на рівні землі.

Розрахунок ведемо виходячи з виразу:

$$\Phi_л = \frac{E_н \rho z K_З}{N \mu} \quad (5.1)$$

де Фл – світловий потік одного світильника, лм; Ен – нормована освітленість; ρ - площа, яку освітлюють; z = 1,5 – коефіцієнт, який враховує відношення середньої освітленості до мінімальної; Кз – коефіцієнт запасу; N – кількість світильників; μ - коефіцієнт використання світлового потоку.

Освітленість Е знаходимо з виразу:

$$E = \frac{\Phi_л}{\rho} \quad (5.2)$$

Визначаємо площу:

$$\rho = а \cdot в = 25 \cdot 15 = 375 м^2.$$

Звідси

$$\Phi_л = 0,5 \cdot 375 = 187,5 лм.$$

Знаходимо кількість світильників, потрібних для охоронного освітлення:

$$N = \frac{E_H \rho z K_З}{\Phi_л \mu} = \frac{0,5 \cdot 375 \cdot 1,15 \cdot 1,1}{187,5 \cdot 0,95} = 2,33$$

Приймаємо кількість світильників N = 2.

Розраховуємо потужність світильника:

$$P = \frac{P_n \rho}{N}, \quad (5.3)$$

де $P_п$ – питома потужність, Вт/м^2.

$$P = \frac{0,52 \cdot 375}{2} \approx 100 Вт$$

Розроблені заходи з охорони праці сприяють зменшенню травматизму і нещасних випадків при експлуатації удосконаленої лінії по виробництву біогазу в господарстві.

ВИСНОВКИ

1. Аналіз стану питання удосконалення процесу анаеробного зброджування відходів тваринництва показав, що існуючі установки не забезпечують переробку гнійних стоків свинарства у короткі терміни з найменшими витратами. У зв'язку з цим, одним із перспективних напрямів вирішення даної проблеми є розробка інтенсивної технології переробки гнійних стоків свинарства в біогазовій установці із застосуванням анаеробного біофільтра.

2. Розроблено математичну модель процесу анаеробного зброджування гнійних стоків свинарства в метантенці з біофільтром, що дозволяє виявити зміну швидкості утворення біогазу в залежності від вмісту органічної сухої речовини Gсв(кг) у субстраті, що зброджується, періодичності Т(добу) і дози завантаження D(%).

3. Методика розрахунку процесу іммобілізації метаноутворюючих мікроорганізмів дозволяє визначити інтенсивність накопичення метаноутворюючих мікроорганізмів на носіях біофільтра при оптимальній дозі завантаження D = 5,2% від обсягу субстрату, що зброджується, і періодичності завантаження метантенка Т = 7,0 діб. Як конструктивний елемент-носій метаноутворюючих мікроорганізмів анаеробного біофільтра при проведенні лабораторних досліджень був встановлений капроновий шнур діаметром $d_ш$=5,0мм та отримані його мікробіологічні характеристики іммобілізації метаногенної мікрофлори в залежності від поверхні 193 мкг білку/см^2 та маси 4500 мкг білку/г.

НУБіП України

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Сфера біогазу в Україні: великі перспективи та реальність // https://energytransition.in.ua/sfera-biohazu-v-ukraini-velyki-perspektyvy-ta-real-nist/.
2. Біотехнологія відходів тваринницьких підприємств: монографія / Захаренко М.О., Яремчук О. С., Шевченко Л.В., Поляковський В.М., Михальська В.М., Малюга Л.В., Коваленко В.О. – К., 2015. – 380 с.
3. Біогазова установка з реактором LIPP-КотпБіо. Протокол державних інформаційних випробувань № 1209/126-01-09/ УкрНДІПВГ ім. Л. Погорілого. – Дослідницьке, 2009. – 12 с.
4. Болтянська Н.І. Визначення заходів з підвищення енергоефективності сільськогосподарського виробництва. Міжн. ел. наук.-пр. журнал WayScience. Дніпро, 2020. Т.1. С.118-121.
5. Болтянський Б. В. Обгрунтування конструктивно-функціональної схеми біореактора – установки для переробки органічних відходів (гною). Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Мелітополь: ТДАТУ, 2015. Вип. 15. Т. 3. С. 182-188.
6. Бузовський Є.А. Нетрадиційні джерела енергії – вимоги часу / Є.А. Бузовський, О.Д. Витвицька, В.А. Скрипниченко // Наук. вісн. Нац. аграр. ун-ту. – К., 2008. – Вип. 119 – С. 289 – 294.
7. Бурдейний Д. М. Підвищення ефективності біогазових установок / Д.М. Бурдейний, В.І. Шаталов // Зб. наук. стат. – № 1 (34). – Запоріжжя. – 2009. – С. 323 – 327.
8. Вербицький П. Вимоги Європейського Союзу до переробки відходів тваринного походження / П. Вербицький, В. Влізло // Ветеринарна медицина України. – 2008. – №6. – С. 24 –26.
9. Войтов В.А. Аналіз технологій утилізації відходів птахівництва за кордоном. Праці ТДАГУ. Мелітополь, 2019. Вип. 19, т. 4. С. 100-109. DOI: 10.31388/2078-0877-19-4-100-109
10. Гелетуха Г., Драгнєв С., Кучерук П., Матвєєв Ю. Практичний посібник з використання біомаси в якості палива у муніципальному секторі України. – Київ, 2017. – 70 с.
11. Голуб Г. А. Газова автономія [Текст] / Г. А. Голуб, С. В. Кухарець // The Ukrainian Farmer. – 2016. – С. 181–182.
12. Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України. Потенціал біоенергетики при заміщенні природного газу. 2020. URL:
13. https://saee.gov.ua/uk/documents/3528
14. ДСТУ ISO 13443:2015. Гази горючі природні для промислового і комунально-побутового призначення. [Чинний від 01.09.2016]. Вид. офіц. Київ: ДП «Укрметртестстандарт», 2015.

НУБіП України

15. ДСТУ 7721:2015. Газоподібне паливо. Біогаз. Технічні вимоги і методи контролю. [Чинний від 01.08.2016]. Вид. офіц. Київ: Інститут відновлюваної енергетики Національної академії наук України, 2015.
16. ДСТУ 7509:2014. Газоподібне паливо. Біогаз. Методи відбору проб. [Чинний від 01.01.2015]. Вид. офіц. Київ: Національний університет біоресурсів і природокористування України, 2014.
17. ДСТУ 4516: 2006. Поновлювані джерела енергіїї. Установки біогазові. [Чинний від 01.10.2007]. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 2007. - 8 с.
18. 9. Закон України «Про альтернативні види палива» від 14.01.2000 № 1391-XIV [Електронний варіант].
19. Зінченко М.Г. Моделювання гідроаеродинамічних процесів при анаеробному зброджуванні відходів тваринництва у 345 біореакторі з іммобілізованою мікрофлорою / М.Г. Зінченко, О.А. Тинда // Промислова гідравліка і пневматика. – 2010. – №4 (30). – С. 93–95.
20. Енергетична стратегія України на період до 2030 року.
21. Енерго- та ресурсозбереження в тваринництві: підручник / Б.В. Болтянський та ін. К.. Видавничий дім «Кондор», 2020. 410 с.
22. Клюс С.В. Енергоефективне перетворення біомаси в горючий газ і біовугілля в газогенераторах щільного шару палива: дисертація канд. техн. наук: спец. 05.14.08 «Перетворювання відновлюваних видів енергії» / С.В. Клюс. – К.: Інститут відновлюваної енергетики НАН України, 2016. – 167 с.
23. Козир В. С. Особливості використання різної сировини при виробництві біогазу / В. С. Козир, В. О. Сокрут. // Інститут сільського господарства степової зони НААН України. – С. 4.
24. Козій І. С. Виробництво біогазу з відходів тваринництва як елемент енергоресурсозбереження / І. С. Козій, С. С. Мелейчук, В. В. Волохін // Суми: Scientific Journal «ScienceRise», 2014. – №1(1). – с. 18-21.
25. Козловець О. А. Біотехнологія одержання біогазу при коферментації посліду птахів : дис. канд. техн. наук : 03.00.20 – біотехнологія / О. А. Козловець. – К., 2017. – 189 с.
26. Кооп. Ю. Виробництво і використання біогазу в Україні: посібник / Ю. Кооп та ін.: ред. Р. Шульц. – Рада з питань біогазу з.т. / Biogasrat e.V. в партнерстві з Адвокатським об'єднанням «Arzinger». – травень 2012р. – 40 с.
27. Кудлай І.М. Якість роботи біогазової установки в зимовий період / І. Кудлай, М.Луценко // Зб. Наукових праць УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого. – Дослідницьке, 2010. – Вип. 14 (28). – С. 366–370.
28. Кудлай І.М. Технологія переробки відходів молочної ферми з використанням біогазової установки / І. Кудлай, М. Луценко // Техніка і технології АПК. – 2010. – № 10. – С. 10–13.
29. Куріс Ю. В. Метаногенез і технологічні схеми отримання біогазу [Текст] / Ю. В. Куріс // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – 2011. – № 10 (92). – С. 41-48.

30. Кучерук П.П. Дослідження ефективності метаногенезу при анаеробному зброджуванні гною ВРХ з рослинними рештками / П.П. Кучерук, Ю.Б. Матвєєв, Т.В. Ходаківська // Відновлювана енергетика. – 2010. – № 1. – С. 83-86.
31. Кучерук П.П., Матвєєв Ю.Б., Ходаківська Т.В., Грабовський М.Б. Перспективи виробництва біогазу з сумішей гнойових відходів тваринництва та рослинної сировини в Україні // Пром. теплотехника. – 2013. – 35, №1. – С. 107- 109.
32. Лемешев М.С., Майданюк А.Д. Вимоги безпеки під час роботи з установкою для отримання біогазу <file://C:/UDownloads/1461-5230-1-PB.pdf>.
33. Марцинкевич В. Поводження з відходами тваринництва: переваги технології анаеробного зброджування / В. Марцинкевич, Н. Коломієць // К.: НЕЦУ, 2015. – 20 с.
34. Мілько Д.О. Особливості процесу метаногенерації пташиного посліду. Науковий вісник ТДАТУ: Електронне наукове фахове видання. – Вип.8. Т.2.- Мелітополь: ТДАТУ, 2018. (DOI: 10.31388/2220674-2018-2-6)
35. Природо-охоронні технології. Навчальний посібник. Ч.3.: Методи переробки осадів стічних вод / [Петрук В.Г., Васильківський І.В., Безвозюк І.І., Петрук Р.В., Турчик П.М.]. – Вінниця: ВНТУ, 2013. – 324 с.
36. Рейнхард Шульц. Виробництво і використання біогазу в Україні/Рада з питань біогазу з.т. / Biogasrate.V.: травень, 2012. – 74 с.
37. Скляр О.Г. Аналіз технологій підготовки залишків після анаеробного бродіння. Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. Харків, 2015. Вип. 156. С. 649-655.
38. Скляр О. Г., Скляр Р. В. Аналіз конструкцій біогазових установок з вібраційною інтенсифікацією процесу анаеробного бродіння. Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Мелітополь: ТДАТУ, 2014. Вип. 14. Т. 3. С. 196-203.
39. Скляр О.Г., Скляр Р. В. Аналіз енергетичної ефективності метантенка. Таврійського державного агротехнологічного університету. Мелітополь: ТДАТУ, 2015. Вип. 15. Т.2. С. 316-322.
40. Скляр О.Г., Скляр Р.В. Аналіз роботи біогазових установок. Механізація та електрифікація сільського господарства: загальнодержавний збірник. Вип. № 10 (109). ННЦ «ІМЕСГ». Глеваха, 2019. С. 132138.
41. Скляр О.Г., Скляр Р.В. Властивості біодобрив, що отримуються після анаеробної ферментації гною. Праці ТДАТУ. Мелітополь, 2013. Вип. 13. Т.3. С.110-118.
42. Скляр О.Г., Скляр Р.В. Дослідження способів утилізації відходів птахівництва і тваринництва. Сучасні проблеми та технології аграрного сектору України: Зб. наукових праць. Ніжин, 2019. Вип. 12. С. 298-304.
43. Скляр О. Г., Скляр Р. В., Григоренко С. М. Програма та методика експериментальних досліджень на лабораторній біогазовій установці. Вісник

Харківського національного університету сільського господар-ства імені Петра Василенка. Харків, 2019. Вип. 199. С. 267-275.
44. Скляр Р.В., Скляр О.Г. Обґрунтування способу перемішування субстрату для експериментальної біогазової установки. Науковий вісник ТДАТУ [Електронний ресурс]. Мелітополь, 2020. Вип. 10. Т. 1. DOI: 10.31388/2220-8674-2020-1-6
45. Сокрут О. В., Чернявський С. Є. Використання різних компонентів органічної сировини для біогазових установок. Бюлетень Інституту сільського господарства степової зони. 2014. № 6. С. 146-150
46. Таргоня В. Визначення обсягів вторинної сировини та розрахунок можливого виходу біогазу на тваринницьких фермах та комплексах / В. Таргоня, В. Оверченко, Б. Щербак – Київ: Видавничий центр НУБіП України, 2013.
47. Уминський С.М. Технології одержання біогазу і органічних добрив в агровиробництві [Текст] / С. М. Уминський // Аграрний вісник Причорномор'я. Технічні науки. – 2013. – Вип. 67. – С. 167-176.
48. Четверик Г.О. Синергетичний аналіз умов виникнення автоколивань температури та концентрації органічної речовини під час анаеробного зброджування субстрату в біореакторі / Г.О. Четверик // Відновлювана енергетика. – К.: Інститут відновлюваної енергетики НАН України, 2014. – № 1. – С. 82 – 87.
49. Angelonidi E, Smith SR. A comparison of wet and dry anaerobic digestion processes for the treatment of municipal solid waste and food waste. Water Environ J. – 2015. – №29. – С.549–557.
50. Moiceanu G., Voicu G., Ferdeș M., Paraschiv G., Dincă M. N., Vlăduț V., Chițoiu M. Comparative study on biogas production using cow and swine manure mixed with Miscanthus x giganteus as substrate. Romanian Biotechnological Letters. 2016. № 21(5). P. 11968-11973.
51. Mudhoo A. Anaerobic digestion: pretreatments of substrates. Biogas production: pretreatment methods in anaerobic digestion. New Jersey. 2012. P. 199212.
52. Skliar A., Skliar R. Justification of conditions for research on a laboratory biogas plan. MOTROL: Motoryzacja I Energetyka Rolnictwa. Lublin, 2014. Vol.16. No2. b. P.183-188.
53. Haipeng Wang, Teng Teeh Lim, Cuong Duong, Wei Zhang, Congfeng Xu, Lei Yan, Zili Mei and Weidong Wang. Long-term mesophilic anaerobic co-digestion of swine manure with corn stover and microbial community analysis. Microorganisms. 2020. № 8(2). 17 p.

НУБіП України