

МІНІСТЕРСТВО ОХОРОНИ ЗДОРОВ'Я УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ФАРМАЦЕВТИЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет фармацевтичних технологій та менеджменту
Кафедра біотехнології

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**на тему: «ОРГАНІЗАЦІЯ ВИРОБНИЦТВА БІОГАЗУ НА ОСНОВІ
МЕТОДУ АНАЕРОБНОГО ЗБРОДЖУВАННЯ»**

Виконав : здобувачка вищої освіти групи 162БТ620(3,10з)-01а
спеціальності 162 Біотехнології та біоінженерія
освітньої програми Біотехнологія
Софія АЛЬ-САДУН

Керівник: Доцент закладу вищої освіти кафедри біотехнології,
к.фарм.н, доцент Ольга КАЛЮЖНАЯ

Рецензент: Завідувачка кафедри біотехнології, біофізики та
аналітичної хімії Національного технічного університету
“Харківський політехнічний інститут”, професор
Ольга БЛИЗНЮК

Харків – 2025 рік

АНОТАЦІЯ

У роботі досліджено організацію виробництва біогазу на основі методу анаеробного зброджування як ефективного способу переробки органічних відходів та отримання відновлюваної енергії. Робота спрямована на вирішення проблем утилізації відходів тваринництва і рослинництва, зниження негативного впливу на довкілля, а також забезпечення сталого розвитку сільських територій. Проведено аналіз біохімічних процесів анаеробного зброджування, обґрунтовано вибір сировини (гній свиней та залишки кукурудзи) та технологічного режиму (мезофільного). Основними результатами роботи є: оптимізація складу сировини для підвищення ефективності процесу, розробка технології виробництва біогазу з мінімізацією енергетичних витрат, утилізація дигестату як високоякісного органічного добрива. Реалізація запропонованих рішень сприятиме зменшенню викидів парникових газів, зниженню екологічного навантаження, створенню додаткових джерел доходу для аграрного сектора та покращенню екологічної ситуації в сільській місцевості. Робота має прикладне значення і може бути використана для впровадження біогазових установок у фермерських господарствах України.

Ключові слова: біогаз, метантенк, анаеробне збродження, дигестат.

ANNOTATION

The study investigates the organization of biogas production based on the method of anaerobic digestion as an effective way of processing organic waste and obtaining renewable energy. The work focuses on addressing issues related to the utilization of livestock and crop waste, reducing the negative environmental impact, and ensuring sustainable development of rural areas. The biochemical processes of anaerobic digestion were analyzed, and the choice of raw materials (pig manure and corn residues) and technological regime (mesophilic) was substantiated. The main results of the study include optimizing the composition of raw materials to enhance process efficiency, developing a biogas production

technology that minimizes energy costs, and utilizing digestate as a high-quality organic fertilizer. The implementation of the proposed solutions will contribute to reducing greenhouse gas emissions, lowering environmental impact, creating additional income sources for the agricultural sector, and improving the ecological situation in rural areas. The study has practical significance and can be applied to the implementation of biogas plants in agricultural enterprises in Ukraine.

Keywords: biogas, digester, anaerobic digestion, digestate.

ЗМІСТ

Вступ.....	3
1 Аналітичний огляд.....	6
2 Характеристика готового продукту, сировини, матеріалів, напівпродуктів.....	16
2.1 Характеристика готового продукту.....	16
2.2 Характеристика сировини.....	19
2.3 Характеристика біологічних об'єктів.....	20
2.4 Біосинтез цільового продукту.....	22
3 Технологічна частина.....	30
3.1 Розрахунок матеріального балансу.....	30
3.2 Розрахунок і вибір обладнання	34
3.3 Опис технологічного процесу.....	41
3.4 Схеми виробництва.....	47
3.5 Критичні параметри виробництва.....	53
3.6 Екологічні аспекти виробництва.....	54
Висновок.....	59
Список використаної літератури.....	61
Додатки.....	65

					162.01.04.00 000 ПЗ			
Змн..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив	Аль-Садун				Організація виробництва біогазу на основі методу анаеробного зброджування Пояснювальна записка	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевірів	Калюжная						2	60
Н. контр.						НФаУ Кафедра біотехнології		
Затвердив	Хохленкова Н.В.							

ВСТУП

Актуальність теми. Сучасні екологічні та енергетичні виклики вимагають впровадження ефективних технологій переробки органічних відходів та отримання відновлюваної енергії. Використання методу анаеробного зброджування для виробництва біогазу стає актуальним у контексті необхідності скорочення викидів парникових газів, зниження залежності від викопного палива та забезпечення сталого розвитку сільських територій.

Органічні відходи тваринництва та рослинництва є значним джерелом забруднення довкілля, зокрема через виділення метану та забруднення ґрунтових вод. Натомість їх переробка в біогаз дозволяє не лише вирішити проблему утилізації, а й створити цінний енергетичний продукт і органічне добриво.

Україна має значний аграрний потенціал, який передбачає високий рівень генерації органічних відходів. Водночас, зростання попиту на альтернативні джерела енергії стимулює розвиток біогазових технологій, особливо у фермерських господарствах. Використання біогазу як джерела енергії дозволяє зменшити витрати на енергоресурси, сприяти енергетичній незалежності та покращити екологічну ситуацію.

Актуальність теми також зумовлена необхідністю інтеграції України до глобальних екологічних трендів, які передбачають впровадження відновлюваних джерел енергії та скорочення викидів парникових газів.

Отже, розробка та впровадження технологій виробництва біогазу на основі анаеробного зброджування є не лише економічно доцільними, але й екологічно необхідними для забезпечення сталого розвитку сільських територій та енергетичної безпеки країни.

					162.01.04.00 000 ПЗ	Арк.
						3
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Анаеробне розщеплення органічних відходів, яке призводить до утворення біогазу, забезпечує унікальну можливість досягти всіх цих цілей. Використання органічних відходів як палива усуває необхідність у вирощуванні спеціальних культур, оскільки постачання органічних відходів є достатнім. Такий підхід сприяє покращенню практик поводження з відходами та одночасно досягає цілей сталого енергетичного управління. Використання біомаси відходів для виробництва біогазу створює вуглецево-нейтральний цикл, у якому вуглець, що виділяється при спалюванні газу, поглинається новими культурами, а залишки відходів можуть бути використані як сировина.

Біогазові установки для обробки відходів зменшують кількість відходів, які потрапляють на неконтрольовані звалища, що у разі нерегулювання забруднюють повітря, воду та ґрунт, завдаючи шкоди довкіллю та сприяючи викидам парникових газів. Залишок після обробки біогазу є цінним добривом для фермерів і особливо корисний у країнах, де якість ґрунтів погіршилася через надмірну інтенсивність сільського господарства. Усі країни утилізують великі обсяги органічних відходів, тому всі можуть отримати користь. Усі ці аргументи підтримують використання біогазу як перспективного джерела енергії майбутнього та ефективного способу поводження з відходами.

Мета роботи Розробити систему виробництва біогазу на основі методу анаеробного зброджування для ефективної переробки органічних відходів, забезпечення енергетичної незалежності фермерських господарств, підвищення екологічної безпеки та сталого розвитку сільських територій.

Для досягнення мети були визначені завдання:

1. Вивчити склад і характеристики органічних відходів тваринництва та рослинництва, що використовуються як сировина для біогазового виробництва, обрати оптимальне співвідношення сировини для забезпечення максимальної ефективності процесу зброджування.
2. Обґрунтувати вибір технологічного режиму анаеробного зброджування.

					162.01.04.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

3. Розробити схему підготовки сировини.
4. Розробити конструктивні рішення для метантенка для підтримання однорідності субстрату та проведення ефективного анаеробного зброджування.
5. Запропонувати систему збирання, зберігання та використання біогазу.
6. Передбачити механізми обігріву установки з використанням частини отриманого біогазу.
7. Запропонувати технологію утилізації дигестату як органічного добрива для підвищення родючості ґрунтів.
8. Провести оцінку ефективності впровадження запропонованої біогазової установки.

Об'єктом роботи є біогаз, що утворюється в процесі анаеробного зброджування тваринних та рослинних відходів.

Предметом роботи є процес анаеробного зброджування для отримання біогазу.

Методи. У роботі використані методи аналітичні та порівняльні, а також розрахункові для обрахування показників та графічні для побудови креслень.

Практичне значення отриманих результатів. Впровадження методу анаеробного зброджування та біогазової установки на фермерському господарстві забезпечить: енергетичну автономність сільськогосподарського підприємства - частина отриманого біогазу використовується для обігріву біогазової установки, що зменшує витрати енергії з інших джерел; утилізацію зброженої маси у вигляді дигестату, який пропонується використовувати як органічне добриво для підвищення родючості ґрунтів або реалізовувати іншим господарства; зниження обсягів органічних відходів, які потрапляють на звалища, зменшення викидів метану в атмосферу через ефективний збір і використання газу.

					162.01.04.00 000 ПЗ	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

1.1 Загальна характеристика анаеробного зброджування при виробництві біогазу

Анаеробне розщеплення – це мікробіологічний процес, при якому органічна речовина розкладається в умовах відсутності кисню. Цей процес зустрічається в природних середовищах, таких як болота або шлунки жуйних тварин. Використовуючи інженерні підходи та контрольоване обладнання, процес анаеробного зброджування застосовується для переробки органічної біорозкладної речовини в герметичних реакторних резервуарах – біогазових установках з метою отримання біогазу. У процесі анаеробного розщеплення беруть участь різні групи мікроорганізмів, які виробляють два основних продукти: енергетично багатий біогаз і поживний дигестат (органічне добриво) [3].

Анаеробне розщеплення органічних відходів забезпечує багато переваг, зокрема: генерацію відновлюваної енергії, скорочення викидів парникових газів, зменшення залежності від викопного палива, створення робочих місць, замкнення циклу поживних речовин [7].

Цей процес трансформує органічні відходи у цінні ресурси, одночасно зменшуючи обсяги твердих відходів і витрати на їх утилізацію. Біогаз як джерело відновлюваної енергії не лише покращує енергетичний баланс країни, але й сприяє збереженню природних ресурсів, зменшуючи вирубку лісів, а також захищає довкілля, знижуючи забруднення відходами та використанням викопного палива [20].

Аеробне розщеплення відбувається в присутності кисню. Воно проходить швидше за анаеробне, оскільки бактерії, що працюють в аеробних умовах, мають коротші цикли розмноження. Під час аеробного компостування

					162.01.04.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

температура всередині купи часто досягає 70 °С завдяки енергії, що виділяється мікроорганізмами [7].

Анаеробний процес менш ефективний у розкладанні відходів, оскільки бактерії не можуть отримати стільки енергії з розщеплення молекул їжі без кисню. Однак анаеробне розщеплення виробляє метан, який є джерелом енергії. Цей процес чутливіший до змін у навколишніх умовах, зокрема від типу сировини чи токсичних інгібіторів, ніж аеробний компостинг [20].

Калорійна цінність біогазу становить приблизно 6,0–6,5 кВт·год/м³ залежно від вмісту метану, який зазвичай становить 55–70% об'єму. Приклади калорійної цінності різних видів палива у порівнянні з біогазом і приблизна маса палива, еквівалентна 1 м³ біогазу, наведені у табл. 1.1. Чиста калорійна цінність залежить від ефективності обладнання, яке використовує біогаз. Наприклад, газовий генератор може перетворювати приблизно 2 кВт·год у корисну електроенергію, тоді як решта енергії виділяється у вигляді тепла [27].

Таблиця 1.1

Калорійна цінність різних видів палива

Джерело палива	Приблизна калорійна цінність	Еквівалент для 1 м ³ біогазу (приблизно 6 кВт·год/м ³)
Біогаз	6–6.5 кВт·год/м ³	
Дизель, гас	12 кВт·год/кг	0,50 кг
Дрова	4,5 кВт·год/кг	1,30 кг
Гній корів	5 кВт·год/кг сухої речовини	1,20 кг
Рослинні залишки	4,5 кВт·год/кг сухої речовини	1,30 кг
Кам'яне вугілля	8,5 кВт·год/кг	0,70 кг
Пропан	25 кВт·год/м ³	0,24 м ³
Природний газ	10,6 кВт·год/м ³	0,60 м ³
Скраплений нафтовий газ	26,1 кВт·год/м ³	0,20 м ³

Приблизно 10 кг (у вологому вигляді) біовідходів необхідно для виробництва 1 м³ біогазу. Цей обсяг біогазу містить приблизно 6 кВт·год (або 21,6 МДж) енергії [28].

1.2 Характеристика проєктів біогазових установок

Біогазова установка являє собою систему апаратів:

резервуарів-накопичувачів, резервуарів-змішувачів для приготування субстрату для зброджування – рослинних та тваринних відходів,

біореактору (метантенку) – герметичної ємності для здійснення анаеробного зброджування,

ємностей для збору біогазу (газгольдерів), який утворюється в метантенках [30].

Система облаштовується трубопроводами та насосами для перекачування рідких компонентів, апаратами для створення необхідних температурних параметрів залежно від обраного режиму, автоматичними лічильниками газу та ін. Установка може сполучатись із когенераційними апаратами для комбінованого виробництва електричної та теплової енергії, додатковими відстійними резервуарами для збору зброженої маси – дигестату, яка містить велику кількість макро- та мікроелементів і використовується як добриво [20].

Основним апаратом є резервуар, в якому відбувається анаеробне зброджування. Він може бути побудований у формі конструкції з цегли, бетону або, навіть, старих і використаних матеріалів, може бути виготовлений залізобетонним або металевим за типом ємнісних апаратів – реакторів (біореактор, метантенк). Резервуар може бути побудований як повністю в землі, так і з частиною на землі. Для інтенсифікації процесу застосовують перемішування перемішувачами або іншим видом. Типи метантенків розглянуто у технологічній частині роботи, у цьому розділі розглянемо загальні підходи до конструкції біогазових установок [18].

У різних країнах проєктування біогазових установок засновано на кліматичних умовах навколишнього середовища, у різних господарствах –

					162.01.04.00 000 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

залежно від потужності та економічних можливостей. Різні типи біогазових установок можна розділити на такі: вертикальна, горизонтальна, традиційна, приклади облаштування яких наведено нижче.

Вертикальна біогазова установа (рис. 1.1). Внаслідок глибини 3,5 м утворюється западина округлої форми (2 м). З одного боку цього поглиблення вирізається земля для створення вхідної труби. Поверхня шару цегляної кулі (0,15 м) покривається цементно-піщаним покриттям; для формування фундаменту. Круговий метантенк будують шляхом зведення цегляної стіни. Цей резервуар для зброджування побудований таким чином, що він знаходиться на 3,5 м під землею та на 0,5 м над землею. Вхідний патрубок (діаметром 0,15 м і довжиною 3,5 м) фіксується в похилому положенні таким чином, щоб його нижній кінець прилягав до стінки варильної ємності, яка знаходиться приблизно на 0,6 м над рівнем фундаменту. Її верхній кінець розташований на відстані 0,9 м від краю зброджувальної ємності і з'єднаний з дном комбінованої ємності (об'ємом 0,5 м³), яка складається з цегли з поєднанням піску та цементу. Дно комбінованого резервуара знаходиться на 0,15 м вище кромки резервуара для зброджування. Вихідна труба (діаметром 0,15 м і довжиною 0,9 м) закріплена з протилежного боку вхідної труби в стінці резервуара зброджування, близько до краю. Три залізні пруті (діаметром 0,025 м і довжиною 1,2 м) закріплені на однаковій відстані поза стінкою резервуара для виварювання. Метантенк облаштований сталевим балоном з кришкою (діаметром 1,4 м і висотою 1,4 м). Три залізних кільця (діаметром 0,30 м) приварені до трьох шматків круглого заліза (товщиною 0,025 м і довжиною 0,38 м), які вертикально з'єднані з краями газового резервуара на однаковій відстані до вертикального руху. Щоб полегшити збереження газу, кільця проходять крізь три залізні пруті, прикріплені до стінки резервуара для зброджування. Зверху газового резервуара встановлено клапан, який з'єднується з гнучкою трубою. В основному, виробництво біогазу у вертикальних установках для забезпечення дрібних, малих, середніх

					162.01.04.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

сільськогосподарських підприємств (ферм) збільшується влітку та зменшується взимку, що доводить його непридатність для регіонів із холодним кліматом. Вертикальна біогазова установка з цими параметрами виробляє близько $2,8 \text{ м}^3$ біогазу залежно від кількості субстрату кожного літнього дня. Взимку, або коли температура повітря знижується до $8 - 10 \text{ }^{\circ}\text{C}$, ця кількість зменшується до $1,6 \text{ м}^3$. Цей пристрій підходить для регіонів, в яких температура не нижче $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ цілий рік [21].

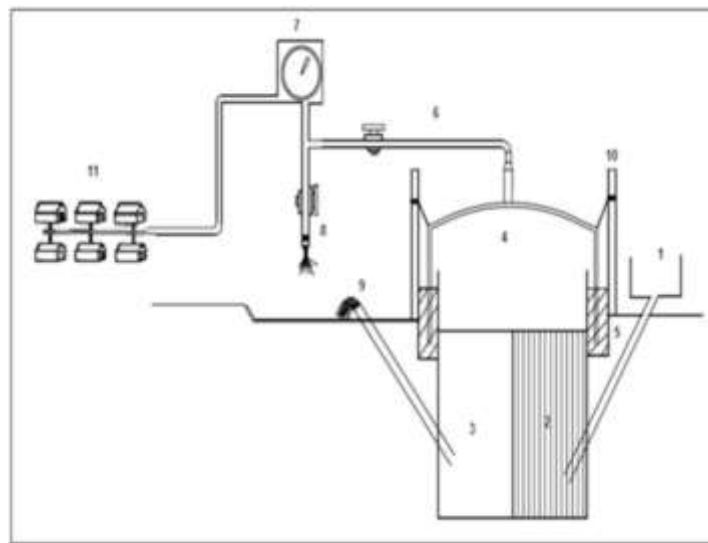


Рис. 1.1 - Вертикальна біогазова установка: 1. Змішувальні резервуари 2. Первинна камера 3. Вторинна камера 4. Газовий резервуар 5. Вхідна труба 6. Газопровід 7. Шкала вимірювання газу 8. Водяний клапан 9. Випускний клапан 10. Захист руху ролика 11. Ферма

Горизонтальна біогазова установка (рис. 1.2). Прямокутний резервуар для зброджування (3 м завдовжки, 1,5 м завширшки та 1,5 м завглибшки) будують під землею з цегли (0,114 м завтовшки) і розміщують на цементній поверхні. Підпірна стінка (0,9 м заввишки) зводиться всередині резервуара для зброджування, щоб розділити резервуар для зброджування на дві камери однакового розміру. Вхідний і вихідний патрубки (діаметром 0,15 м і довжиною 3,5 м) закріплені одна навпроти одної в зовнішніх стінках двох

камер, які розташовані приблизно на 0,46 м над підлогою. Техніка кріплення труб схожа на техніку, що використовується у вертикальних біогазових установках. Обидва відділення кріпляться до внутрішньої частини. Цей резервуар зброджування закритий бетонним блоком товщиною 0,102 м. Кругла камера з подвійною стінкою (внутрішній діаметр 1,4 м і висота 1,5 м) побудована над круглою порожниною в бетонному блоці. Відстань між подвійними стінами 0,15 м, вся цегла, яка використовується, приклеюється як на зовнішню, так і на внутрішню поверхню цементно-піщаною сумішшю. Технології, які використовуються для створення комбінованих резервуарів, газоутримувача та комбінації залізних стрижнів, які використовуються для спрямування руху вгору та вниз утримувача газу, точно такі ж, як детально описані для вертикальної біогазової установки. Втрати тепла відбуваються менше в горизонтальних біогазових пристроях, що пов'язано з належним покриттям та системою ізоляції. Крім того, ці інновації запобігають зносу резервуару для зброджування та не дозволяють дощовій воді занадто сильно розбавляти добриво, роблять пристрій більш гігієнічними та зменшують запах у порівнянні з вертикальними пристроями. Горизонтальні біогазові пристрої підходять для місцевостей з високим рівнем ґрунтових вод. При зниженні виробництва біогазу взимку на 20 % цей пристрій виробляє 2,4 м³ біогазу щодня. Метан у цьому типі пристроїв є більш ефективним, ніж вертикальні біогазові пристрої, завдяки тому, що щойно заповнений гній і активний гній знаходяться у двох окремих камерах. Цей пристрій має високу ефективність у дощових районах [23].

					162.01.04.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

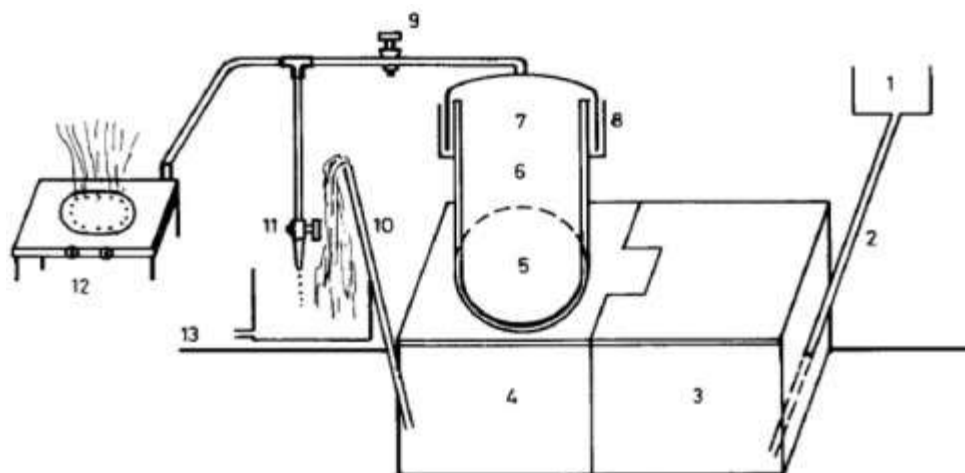


Рис. 1.2 - Горизонтальна біогазова установка: 1. Змішувальні резервуари 2. Впускна труба 3. Первинна камера 4. Вторинна камера 5. Основна порожнина 6. Надземна секція резервуара для зброджування 7 . Газосховище 8. Водо-масляна суміш 9. Газопровід 10. Випускний клапан 11. Випускний клапан води 12. Піч 13. Рівень землі

Традиційна біогазова установка (рис. 1.3). Встановлюють циліндричний резервуар для зброджування (діаметр 0,3 м і глибина 3,7 м) зі зведенням цегляної стіни (товщина 0,2 м) на фундаменті. Цей резервуар для зброджування розташований на 3 м під землею та на 0,6 м над землею та розділений на дві однакові камери, створюючи роздільну стінку. Дві вхідні та вихідні труби (діаметром 0,228 м і довжиною 3,78 м) розташовані на протилежних сторонах від стінки резервуара для зброджування і розташовані на висоті 0,6 м над підлогою. Резервуар для зброджування розміщується індивідуально на висоті 2,3 м. Поверх цього рівня споруджено двошарову стіну приблизно 1,4 м, відстань між двома стінами 0,15 м. Споруджений резервуар об'ємом 1,73 м³ зі зведенням цегляних стін (товщина 0,15 м) на бетонному перекритті. Впускна труба знаходиться на одному рівні з дном резервуара для суміші. Газоутримувач розміщений у порожнині між двома шарами стінки отвору резервуара. Цю порожнину заповнюють 20 % мастила, змішаного з водою, і роблять його газовим ущільненням. Цей пристрій

виробляє 10,33 м³ біогазу щодня влітку. Цього газу вистачає для приготування їжі та опалення 5 сімей при нормальному споживанні. Взимку спостерігається лише 15% зниження газоутворення, що спричинено втратою тепла з поверхні сталевого газопротектора. Цей пристрій задовільно використовується для сільських місць. Почорніння сталевого котка, зарядка біогазового пристрою ввечері та розбавлення добрив водою, нагрітою сонцем, зменшать втрати тепла взимку [22].

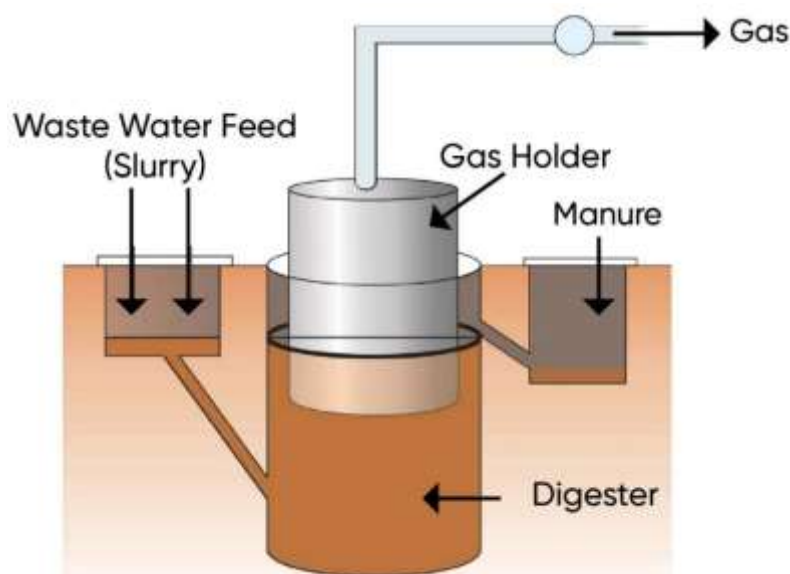


Рис. 1.3 – Традиційна біогазова установка

В Україні одним з перших була біогазова установка КОБОС-1 (рис. 1.4), яка забезпечує перероблення тваринних відходів для ферми на 200 тварин, завдяки чому утворюється біогаз, що йде на власні потреби, та дигестат, який використовується як добриво [17].

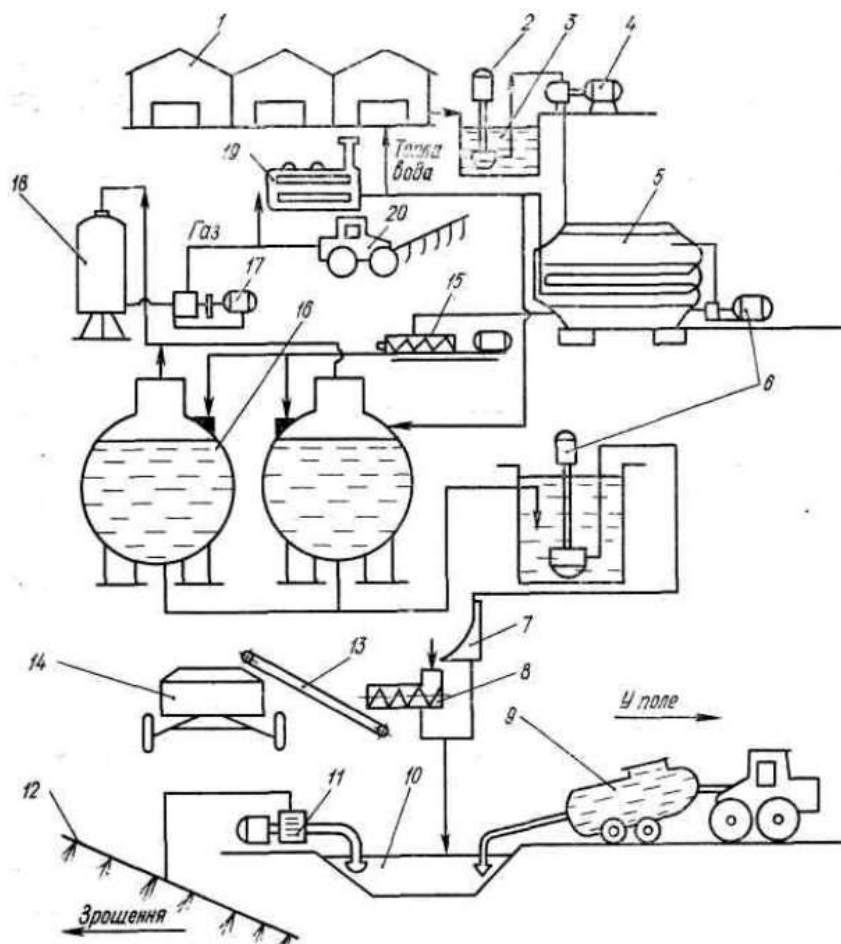


Рис. 1.4 – Конструктивні складові біогазової установки КОБОС-1
 1 – сільське господарство (свинарники, коровники), 2, 6, 8 – фекальні насоси, 3 – колектор, 4 – подрібнювач, 5 – підігрівник з теплообмінником, 7 – блок механічного очищення (дугове сито), 8 – прес-фільтр, 9 – цистерна, 10 – приймальний резервуар для гною, 12 – подання рідкої фракції дигестату на зрошення, 13 – шнековий транспортер, 14 – транспорт для відвантаження твердої фракції дигестату на поля, 15 – гвинтовий насос, 16 – метантенк (з лопатевою мішалкою, газовим ковпаком, трубами для завантаження та вивантаження), 17 – компресори (для подачі газу до блоку очищення), 18 – резервуар для збору газу (газгольдер), 19 – водогрійний котел; 20 – транспорт, що використовує утворений біогаз

Іншим прикладом вітчизняної біогазової установки є Біогаз-310С (рис. 1.5), що містить метантенк об'ємом 310 м³, висотою 18 м, діаметром 6 м із двома шнековими мішалками [11].

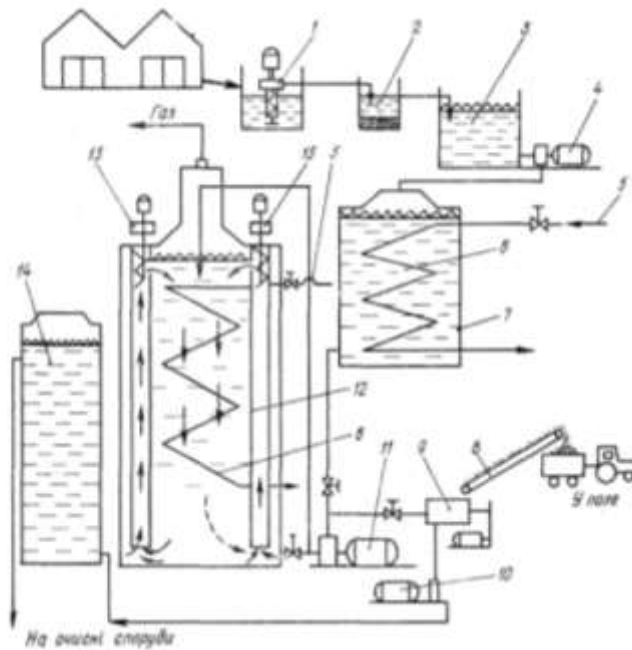


Рис. 1.5 – Конструктивні складові біогазової установки «Біогаз-310С»

1 –насос шнековий, 2 – блок механічної очистки гною, 3 – резервуар-накопичувач, 4, 10, 11 – фекальні насоси, 5 – трубопріпід подачі тепла, 6 – трубчастий теплообмінник, 7 – резервуар з теплообмінником, 8 – шнековий вивантажувач, 9 – центрифуга, 12 – метантенк, 13 – шнекові мішалки, 14 – первинний відстійник маси

З метою забезпечення ефективної переробки тваринних та рослинних відходів на сільськогосподарському підприємстві середнього розміру та для забезпечення самого підприємства біогазом, який може застосовуватись у вигляді електричної та теплової енергії для потреб самої ферми, та добривами у цій роботі нами запропоновано встановлення біогазової установки періодичної дії із метантенком, працюючим у мокрому режимі при мезофільних умовах.

					162.01.04.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

2 ХАРАКТЕРИСТИКА ГОТОВОГО ПРОДУКТУ, СИРОВИНИ, МАТЕРІАЛІВ, НАПІВПРОДУКТІВ

2.1 Характеристика готового продукту

Кінцевим продуктом цієї роботи є біогаз, який являє собою суміш газів, що утворюються внаслідок розкладу та утилізації органічних відходів людини, рослин і тварин за відсутності кисню під впливом анаеробних бактерій, зокрема метаногенних. Як було зазначено вище також в процесі анаеробного зброджування утворюється дигестат, який може застосовуватись господарством як органічне добриво або реалізовуватись іншим господарствам. В природних умовах біогаз утворюється у болотах, заболочених місцевостях або на міських звалищах, але для його використання необхідно збирати газ у спеціальні резервуари [18].

Для економічного використання біогазу зброджування проводять в контрольованих умовах у біогазових установках, метантенках (у закордонній термінології зустрічається термін дігестер (digester)). Біогаз отримують внаслідок анаеробної ферментації біомаси. Насправді біогаз – це суміш різних газів, головним компонентом якої є метан (CH_4). Його частка становить приблизно 55–70%, а вуглекислий газ (CO_2)– 35–40% (табл. 2.1). У невеликих кількостях також присутні азот (N_2), сірководень (H_2S), водень (H_2) тощо, і їхній вміст залежить від температури в резервуарі та типу органічного матеріалу [20].

Незважаючи на нерозвинену галузь застосування біогазових установок у промислових масштабах, нормативна база містить перелік стандартів, що регламентують отримання та використання біогазу, зокрема ДСТУ 7721:2015 Газоподібне паливо. Біогаз. Технічні вимоги та методи контролювання, ДСТУ 4516:2006 Поновлювані джерела енергії. Установки біогазові, ДСТУ 7509:2014 Газоподібне паливо. Біогаз. Методи відбору проб.

					162.01.04.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

Таблиця 2.1

Склад біогазу, отриманого у штучних умовах (біогазові установки)

Тип газу	Вміст у біогазі (%)
Метан	55–70
Вуглекислий газ	35–40
Азот	0–3
Водень	0–1
Кисень	0–1
Сірководень	0–1

Стандарт ДСТУ 7721:2015 «Газоподібне паливо. Біогаз. Технічні вимоги та методи контролювання» визначає вимоги до фізико-хімічних характеристик біогазу, який виробляється на біогазових установках різної потужності із біомаси, що утворюється на сільськогосподарських, сміттєпереробних, переробних виробництвах, а також на комунальних і міських очисних спорудах, а також описує методи контролю цих показників.

Цінним елементом біогазу є метан: чим вища його частка, тим якісніший біогаз і тим економічніше його виробництво. Біогаз має прозорий колір, впізнаваний запах (нагадує запах тухлих яєць), без смаку. Подібно до вуглекислого газу, він є парниковим газом, але його парниковий ефект у 25 разів сильніший, ніж у CO₂.

При згорянні біогаз утворює блакитний полум'я з температурою близько 800 °С. Газ змішується з повітрям у пропорції 1:20 та має високу швидкість займання.

Оптимальний тиск для приготування їжі з використанням біогазу становить 5–20 см водяного стовпа. Згорання одного кубічного метра біогазу виділяє приблизно 5 500–6 500 ккал тепла, чого достатньо для роботи двигуна

внутрішнього згоряння потужністю 1 кінська сила протягом двох годин.
Еквіваленти 1 м³ біогазу іншим видам палива були наведені у розділі 1.

					162.01.04.00 000 ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.2 Характеристика сировини

Загалом, джерелом виробництва біогазу є біомаса (біологічні матеріали рослинного і тваринного походження, які ще не повністю розклалися або ферментувалися), яка повинна бути відповідним чином підготовлена для отримання прийняттого субстрату.

Визначення терміну «біомаса» надано ДСТУ 7721:2015 Газоподібне паливо. Біогаз. Технічні вимоги та методи контролювання. Згідно з цим документом біомаса поділяється на п'ять основних груп:

Відходи та залишки сільського господарства та суміжних виробництв (рослинництво, тваринництво)

Тверді побутові відходи

Міські стічні води

Екскременти тварин (гній)

Промислові тверді та рідкі відходи (промислові шлами).

Біомаса перед внесенням до біогазової установки (біореактору, метантенку) повинна бути певним чином оброблена – підготовлена до зброджування. Ця підготовка включає механічну обробку та подрібнення, підігрів, перемішування, внесення води, підібраних бактерій та іншої сировини. В результаті отримують субстрат готовий до подачі до установки.

Відповідно до завдання роботи як біомасу для створення субстрату використовують тваринні відходи – гній як відхід при вирощуванні свиней, рослинні відходи – залишки зеленої біомаси кукурудзи, які змішують у відношенні 1:3 та розбавляють водою до кінцевої вологості 90 % для отримання високопродуктивної біомаси.

					162.01.04.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

2.3 Характеристика біологічних об'єктів

У процесі анаеробного зброджування, що лежить в основі виробництва біогазу, бере участь консорціум мікроорганізмів (рис. 2.1).

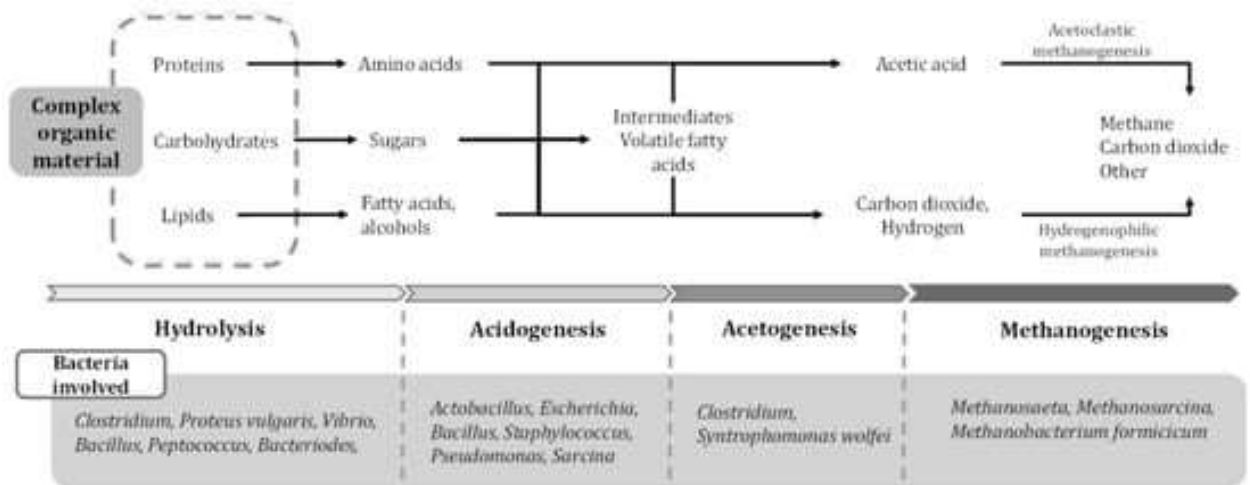


Рис. 2.1 – Етапи анаеробного зброджування при утворенні біогазу та характерні роди мікроорганізмів, що приймають участь на кожному етапі

Загалом у процесі анаеробного зброджування бере участь багато різних видів мікроорганізмів, які перетворюють складні молекули на прості.

Анаеробне зброджування складається з чотирьох стадій, кожна з яких передбачає участь різних видів мікроорганізмів і утворення різних метаболітів. В основному, різні види мікроорганізмів можна розділити на чотири групи залежно від їхньої функціональності. У табл. 2.1 перелічені мікроорганізми, які беруть участь у кожній стадії анаеробного зброджування [20, 23].

Бактерії першої групи відповідають за гідроліз складної органічної речовини, такої як вуглеводи, білки та жири, до їх простих розчинних продуктів. *Streptococcaceae* та *Enterobacteriaceae* є прикладами родин, що належать до цієї групи.

На стадії ацидогенезу проміжні продукти, такі як органічні кислоти, використовуються ацетогенними бактеріями, що продукують водень, і

перетворюються на ацетат, H_2 і CO_2 . На цій стадії ця група бактерій повинна культивуватися разом із бактеріями, що споживають водень, для забезпечення перетворення. Далі процес передбачає перетворення метаболітів на кінцевий продукт цієї стадії - ацетат. Це може здійснюватися двома типами бактерій: автотрофами та гетеротрофами. Автотрофи використовують CO_2 і H_2 як джерело вуглецю, гетеротрофи використовують органічні кислоти, такі як форміат і метанол, для утворення ацетогену [7].

Таблиця 2.1

Мікроорганізми, що беруть участь у процесі утворення біогазу на різних стадіях анаеробного зброджування

Етап	Рід мікроорганізму
Гідроліз	<i>Clostridia, Micrococci, Bacteriodes</i>
Ацидогенез	<i>Enterobacterium, Acetobacterium, Eubacterium</i>
Ацетогенез	<i>Acetobacterium (A. woodii), Clostridium, Acetilicum</i>
Метаногенез	<i>Clostridiales, Halanaerobiales, Thermoanaerobacteriales</i>

На останній стадії відповідають за виробництво метану метаногени. Цю групу можна знайти у великій кількості в озерах, болотах, а також в органічних матеріалах, де умови середовища переважно анаеробні.

Метаногени є строгими анаеробними археями і є облігатними продуцентами метану. Метаногени можуть рости шляхом відновлення одновуглецевих (C1) сполук - CO_2 (вуглекислий газ), CO (монооксид вуглецю), метанол, метиламіни та метилсульфіди, ацетату або вугілля до метану за допомогою одного з кількох шляхів метаногенезу. Незалежно від використовуваного субстрату, молекула метилкоферменту M в кінцевому підсумку відновлюється до метану ферментом метилкоензим M редуктазою,

Мсг. Метаногени відрізняються від бактерій і архей, які можуть виробляти метан як побічний продукт метаболізму, їх обов'язковою потребою синтезувати метан для збереження енергії за допомогою циклу Вулфа. За цією відмінністю всі відомі на сьогоднішній день метаногени належать до домену евриархей [3].

На сьогодні відомі сім порядків метаногенів, розпізнаних на основі філогенії *mcrA* і рибосомального гена. П'ять з груп метаногенів (*Methanopyrales*, *Methanococcales*, *Methanobacteriales*, *Methanomicrobiales* і *Methanocellales*) наразі містять лише гідрогенотрофні метаногени, тоді як порядок *Methanomassiliicoccales* поки визначена як така, що має облігатні метилотрофні метаногени, що дихають метилом. *Methanosarcinales* мають найрізноманітніший склад, з багатьма представниками, здатними до більш ніж одного шляху метаногенезу, а також облігатними гідрогенотрофними або облігатними ацетокластичними членами. Вважається, що три ряди близькоспоріднених *Euryarchaea* (*Halobacteriales*, *Archaeoglobales* і *Thermoplasmatales*) еволюціонували від метаногенових предків, але втратили здатність до росту в результаті метаногенезу [2]. Характеристика реакцій процесу метаногенезу наведено в наступному підрозділі.

2.4 Біосинтез цільового продукту

Цільовий продукт – біогаз утворюється в результаті анаеробного зброджування (розщеплення) органічних речовин у чотири етапи та здійснюється різними групами бактерій, які діють спільно (рис. 2.1). На рис. 2.2 показано загальну схему процесів, що беруть участь у виробництві біогазу з органічної сировини.

					162.01.04.00 000 ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Хоча ці етапи описані поетапно, насправді вони відбуваються одночасно, злагоджено працюючи, коли різні групи бактерій спільно перетворюють біомасу у біогаз.

Також певні групи бактерій знижують токсичність водню, перетворюючи його на аміак, сірководень та метан. Більшість бактерій, що беруть участь у цьому процесі, є факультативними анаеробами, тобто вони можуть виживати у присутності кисню, хоча не використовують його. Метаногени, навпаки, є obligatними анаеробами, тобто можуть жити й рости тільки за відсутності кисню [21].

Етапи анаеробного розщеплення працюють у динамічній рівновазі, тому якщо одна реакція буде пригнічена, це уповільнить наступні реакції.

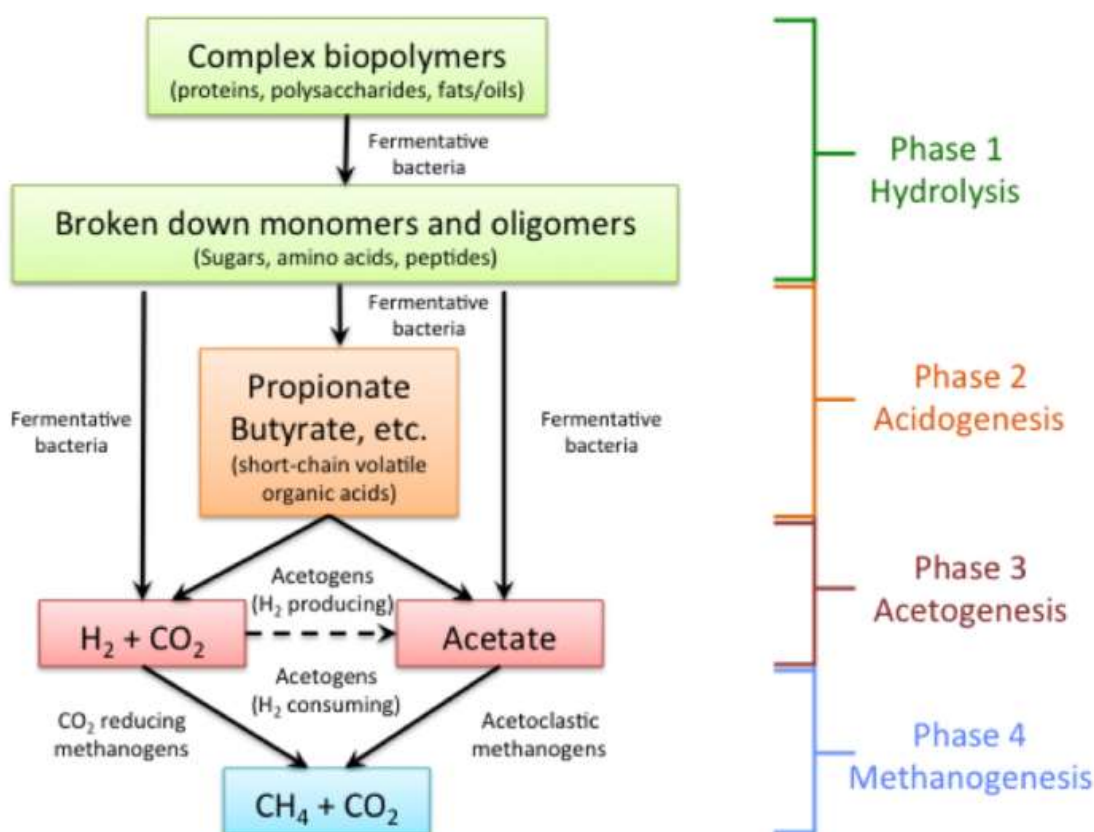


Рис. 2.2 – Етапи анаеробного зброджування при утворенні біогазу:

1. Гідроліз: Мікробне розщеплення вихідної сировини призводить до утворення простих цукрів, жирних кислот та амінокислот, які стають доступними для інших бактерій.

2. Ацидогенез: Бактерії перетворюють продукти гідролізу на леткі жирні кислоти з коротким ланцюгом, кетони, спирти, водень та вуглекислий газ.
3. Ацетогенез: Бактерії конвертують органічні кислоти у оцтову кислоту, аміак, водень і вуглекислий газ.
4. Метаногенез: Метанопродукуючі мікроорганізми використовують оцтову кислоту, водень і вуглекислий газ для утворення метану.

Анаеробне зброджування – складний біологічний процес. Воно базується на процесі редукції, що включає низку біохімічних реакцій, які відбуваються в безкисневих умовах. Формування метану під час анаеробного зброджування проходить через чотири основні етапи: гідроліз, ацидогенез, ацетогенез і метаногенез. Загалом, у процесі анаеробного зброджування швидкість лімітується тим етапом, який стає причиною відмови процесу під впливом кінетичного стресу.

Іншими словами, у контексті неперервної культури кінетичний стрес визначається як постійне зменшення значення часу утримання твердих частинок до значення, яке є нижчим за граничне. Це призводить до вимивання мікроорганізмів. Більшість дослідників вказує, що для складних органічних субстратів лімітуючим етапом є гідроліз, оскільки під час цього етапу утворюються токсичні побічні продукти (складні гетероциклічні сполуки) або небажані леткі жирні кислоти. Натомість для легко біорозкладних субстратів лімітуючим етапом є метаногенез.

Мікроорганізми, що забезпечують деградаційні реакції на кожній з цих фаз, суттєво відрізняються за своєю фізіологією, харчовими потребами, кінетикою росту та чутливістю до умов довкілля. Дуже часто важко підтримувати баланс між двома групами мікроорганізмів: тими, що формують кислоти, та тими, що утворюють метан. Це призводить до нестабільності реактора та низької врожайності метану.

Дві основні групи мікроорганізмів можна фізично розділити, щоб скористатися різницею в їх кінетиці росту. Для реалізації такого поділу фаз

використовують різні техніки, такі як мембранне розділення, кінетичний контроль і контроль рН.

Гідроліз є першим етапом процесу анаеробного зброджування. Включає ферментативну трансформацію нерозчинних органічних матеріалів та сполук із високою молекулярною масою (таких як ліпіди, полісахариди, білки, жири, нуклеїнові кислоти тощо) у розчинні органічні речовини. Наприклад, гідроліз цукрів наведено на рис. 2.2.

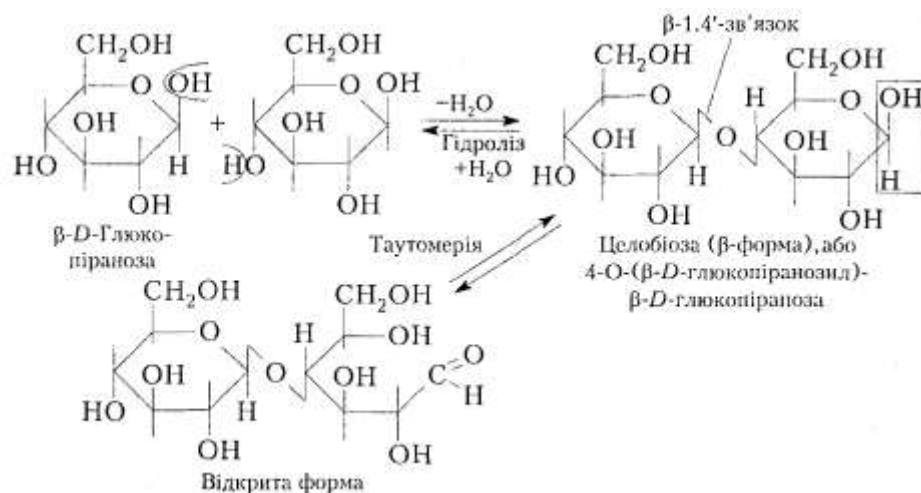


Рис. 2.2 – Реакція гідролізу цукрів

Утворенні органічні сполуки підходять для використання як джерело енергії та клітинного вуглецю, наприклад, моносахариди, амінокислоти та інші прості органічні сполуки.

Цей етап здійснюється строгими анаеробами (наприклад, *Bacteroides*, *Clostridia*) і факультативними бактеріями (наприклад, *Streptococcus*). Він має вирішальне значення, оскільки великі органічні молекули занадто великі, щоб бути безпосередньо поглиненими та використаними мікроорганізмами як субстрат або джерело живлення.

Для здійснення біодеградації деякі мікроорганізми виділяють різні типи ферментів - позаклітинні ферменти, які "розрізають" великі молекули на менші, придатні для поглинання клітинами. Одні мікроорганізми виробляють

кілька різних ферментів для розщеплення різних органічних матеріалів, інші спеціалізуються, наприклад, виділяючи ферменти лише для розщеплення цукрів або білків.

Мікроорганізми, які розщеплюють цукри, - цукролітичні, ті, що розщеплюють білки – протеолітичні. Існують різні ферменти для розщеплення цукрів, білків, жирів тощо.

Швидкість розкладу на етапі гідролізу значною мірою залежить від природи субстрату. Трансформація целюлози та геміцелюлози, як правило, відбувається повільніше ніж білків.

Ацидогенез. Мономери, утворені на гідролітичній стадії, поглинаються різними факультативними та облігатними анаеробними бактеріями і далі розкладаються до коротколанцюгових органічних кислот, таких як масляна, пропіонова, оцтова кислоти, спирти, водень і вуглекислий газ. Основними реакціями метаболізму, що лежать в основі цього етапу, відносяться до різних видів бродіння. Наприклад на рис. 2.4 наведені реакції спиртового, на рис. 2.5 – молочнокислого, на рис. 2.6 – мурашинокислого типів бродіння.

					162.01.04.00 000 ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

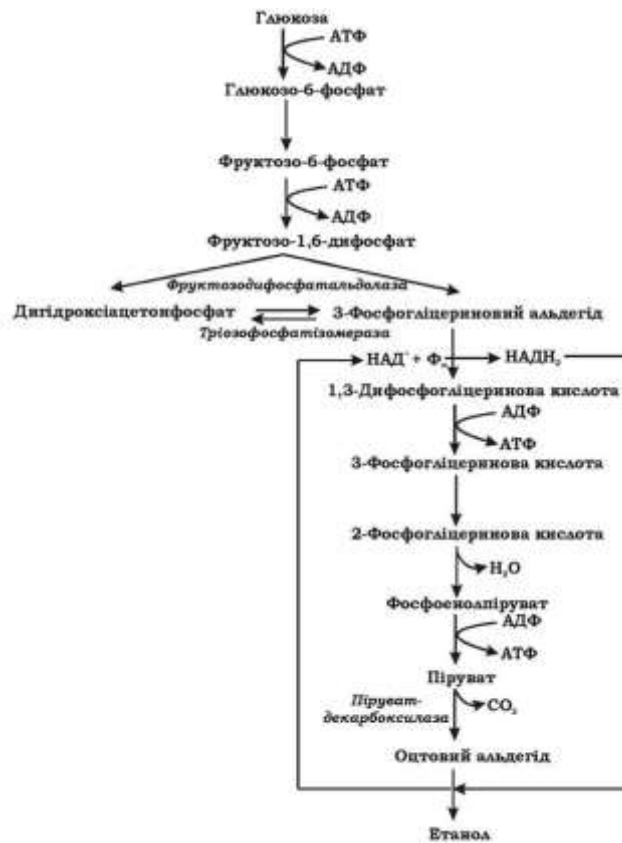


Рис. 2.4 – Схема спиртового бродіння

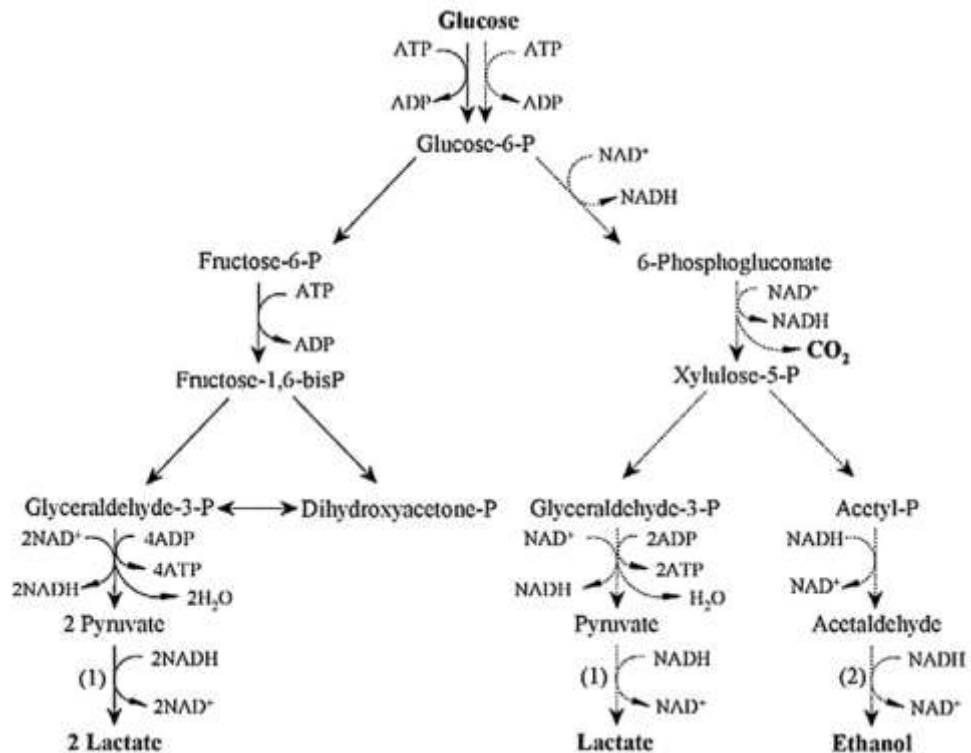


Рис. 2.5 – Схема гомоферментативного та гетероферментативного молочнокислого бродіння

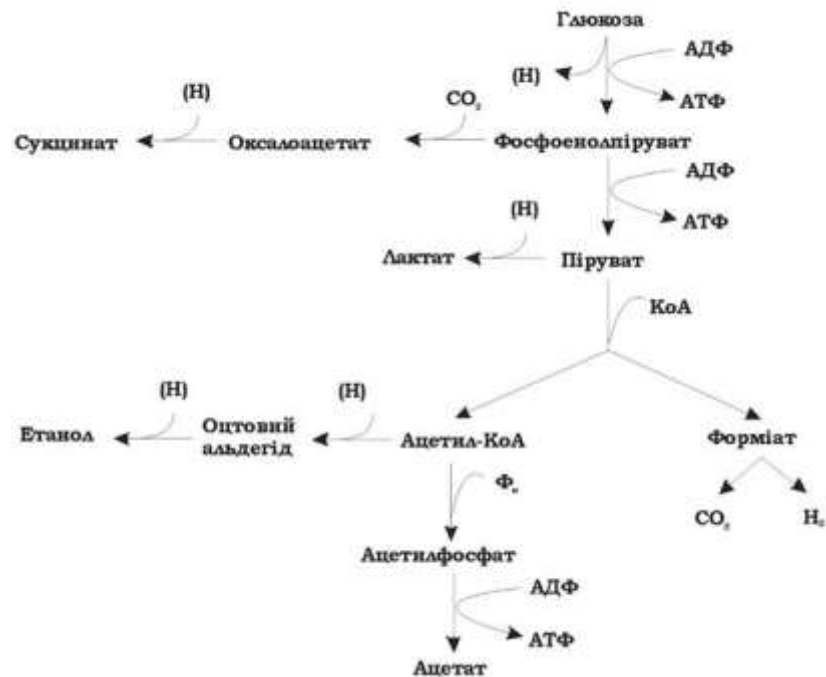


Рис. 2.6 – Схема мурашинокислого бродіння

Концентрація водню, що утворюється як проміжний продукт на цій стадії, впливає на тип кінцевого продукту, утвореного в процесі ферментації. Наприклад, якщо парціальний тиск водню занадто високий, це знижує кількість відновлених сполук. Загалом, на цій стадії прості цукри, жирні кислоти та амінокислоти перетворюються в органічні кислоти та спирти.

Ацетогенез. Продукти, утворені на ацидогенній стадії, використовуються як субстрати іншими мікроорганізмами, що активні на третій стадії. На третій стадії, яка також називається ацетогенною, відбувається анаеробне окислення. Продукти, які не можуть бути безпосередньо перетворені в метан метаногенними бактеріями, перетворюються в субстрати для метаногенезу. Леткі жирні кислоти та спирти окислюються до субстратів метаногенезу, таких як ацетат, водень і вуглекислий газ. Леткі жирні кислоти з довгими карбоновими ланцюгами окислюються до ацетату і водню.

Важливо, щоб організми, які виконують реакції анаеробного окислення, співпрацювали з наступною групою – мікроорганізмами, що утворюють метан. Ця співпраця залежить від парціального тиску водню, присутнього в системі. У процесі анаеробного окислення протони використовуються як кінцеві акцептори електронів, що призводить до утворення H_2 . Однак ці реакції окислення можуть відбуватися лише за низького парціального тиску водню. Це пояснює важливість співпраці з метаногенами, які постійно споживають H_2 для утворення метану. Таким чином, під час цієї симбіотичної взаємодії відбувається міжвидова передача водню.

На стадії *метаногенезу* відбувається утворення метану та вуглекислого газу з проміжних продуктів (рис. 2.7) за участі метаногенних бактерій у суворо анаеробних умовах. Метаногенез є критичним етапом усього процесу анаеробного зброджування, оскільки це найповільніша біохімічна реакція в процесі.

					162.01.04.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

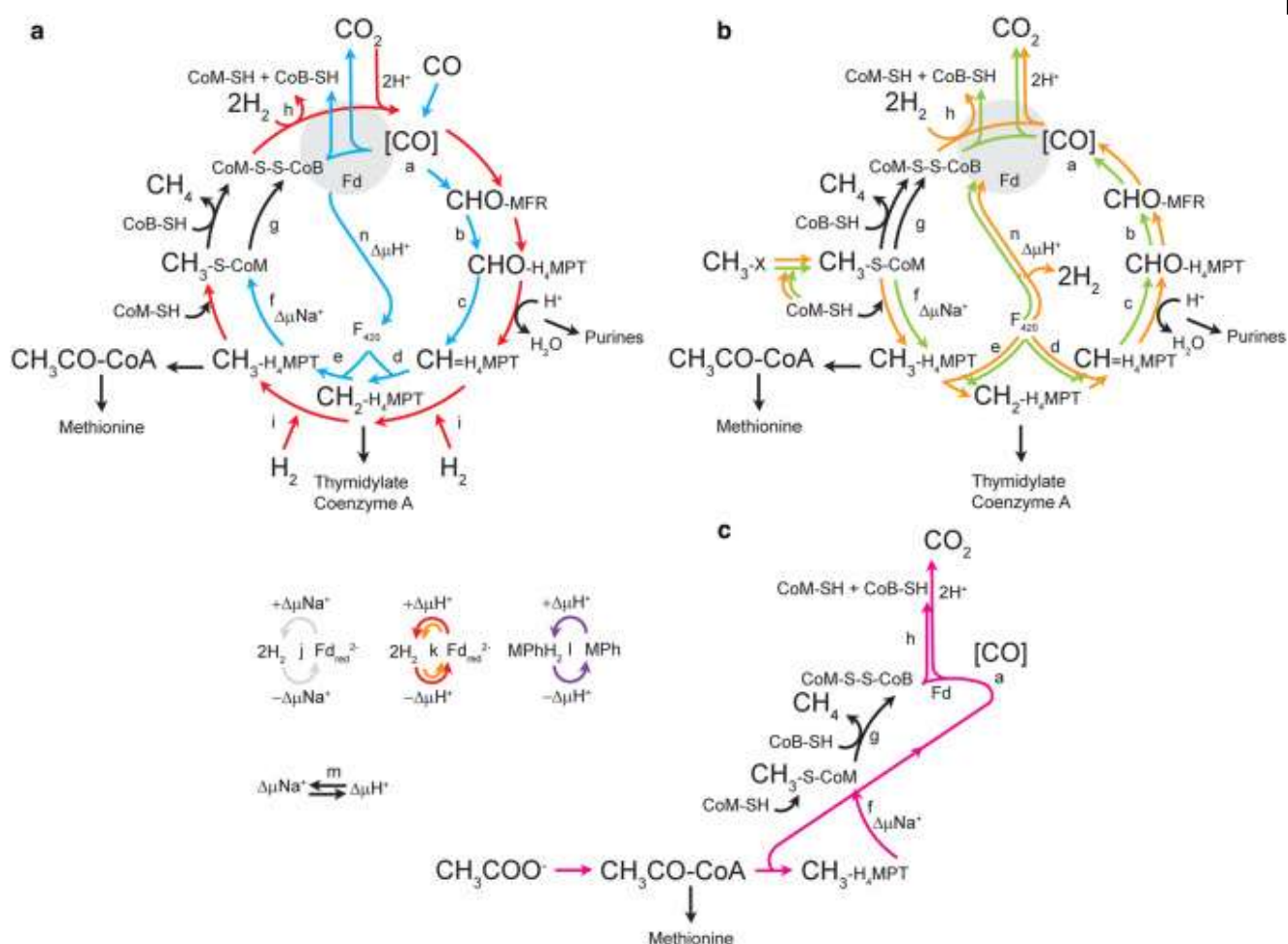


Рис. 2.7 – Шляхи метаболізму метаногенними бактеріями:

Стрілки вказують напрямки біохімічних реакцій. Чорний колір позначає реакційні етапи та напрямки, які є спільними для всіх п'яти шляхів метаболізму з C1 сполук або ацетату.

(а) Гідрогенотрофний (червоний) і карбоксидотрофний (синій) шляхи метаболізму.

Мурашина кислота та первинні або вторинні спирти окиснюються до CO_2 , і тому метаногени, які ростуть на цих субстратах, використовують гідрогенотрофний шлях.

(б) Шлях метилового дихання (помаранчевий) і метилотрофний шлях (зелений).

(с) Ацетокластичний шлях (фіолетовий).

Фіолетовий колір позначає реакції, які зустрічаються тільки у видів *Methanosarcina*; сірий - запропоновані реакції. Затінені ділянки вказують на етапи реакцій роздвоєння/злиття електронів.

Позначення: CoB-SH - тіол коензиму B; CoM-SH - тіол коензиму M; CoM-S-S-CoB - гетеродисульфід коензиму M і коензиму B; Fd - ферредоксин; Fd_{red} — відновлений ферредоксин; H₄MPT - тетрагідрометаноптерин; MFR - метанофуран; MPh - метанофеназин; MPhH₂ — відновлений метанофеназин.

3 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

3.1 Розрахунок матеріального балансу

У роботі пропонується організація виробництва біогазу на основі методу анаеробного зброджування на сільськогосподарському підприємстві – фермі з вирощування свиней. Біогаз, який буде утворюватися у біогазовій установці, на перших етапах планується для забезпечення власних енергетичних та теплових потреб ферми з можливістю розширення потужностей для продажу біогазу іншим споживачам. Як біомаса використовується гній свиней із додаванням целюлозовмісних субстратів – рослинних залишків кукурудзи. Безпідстилова система утримання свиней та метод видалення відходів з свинарників гідрозмивом, що застосовуються на підприємстві, забезпечує однорідну консистенцію та високий вміст вологи 91-93 % у вихідній біомасі - гною, що є економічно вигідним для виробництва біогазу, так як не вимагає громіздких методів підготовки субстрату. Рослинні залишки подрібнюють на дробарці, а потім змішують із зібраним у ємності гноем у пропорції 75 % рослинних відходів і 25 % тваринних відходів у біогазовій установці. Це співвідношення оцінюється як оптимальне для даного виду сировини у експериментальних дослідженнях [12]. Метод зброджування – мокрий, підготовлений субстрат, який подається до установки має вологість, що досягається додаванням води до загальної вологості 90 %. Суміш перемішують. Для економічності процесу обрано мезофільний режим – температурні параметри підтримувались на рівні 35 С.

Розрахуємо потреби у компонентах субстрату, який буде завантажуватись до біогазової установки, - тваринні відходи – гній, рослинні відходи – зелена біомаса кукурудзи, вода.

					162.01.04.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

1. Розрахунок витрат тваринних відходів (за добу на всю кількість голів свиней).

За літературними даними середньодобовий вихід екскрементів від однієї свиноматки з поросятами 22 кг, свиноматки без поросят – 17 кг, кнурів – 15 кг, свиней на відгодівлі – 7,5 – 17 кг. Витрати підстилки не враховуються, так як метод утримання – безпідстилковий. Розрахунки ведемо для середнього господарства (до якого відносяться ті, що утримують від 201 до 3000 голів свиней) з кількістю свиней 1000 голів, із яких 500 свиноматки, 500 особини на відгодівлі.

Отже, маса гною за добу буде складати: $G_{гд} = 500 \cdot 22 + 500 \cdot 17 = 16400$ кг.

Вологість гною свиней до 93 %, тоді маса сухих речовин у гної, що утворюється за добу, становить $m_{гс.р.д} = G_{гд} \cdot (1 - 0,93) = 16400 \cdot 0,07 = 1148$ кг.

2. Розрахунок витрат рослинних відходів (за добу на всю кількість голів свиней).

Співвідношення тваринного і рослинного субстратів 1:3, тоді залишків кукурудзи для створення оптимального субстрату з гноєм у кількості 16400 кг за добу потрібно: $G_{кд} = 16400 \cdot 3 = 49200$ кг.

Оптимальним значенням вологості зеленої маси кукурудзи для заготівлі на силос є 65 %. Отже, маса сухих речовин у рослинних відходах: $m_{кс.р.д} = G_{кд} \cdot (1 - 0,65) = 49200 \cdot 0,35 = 17220$ кг.

3. Розрахунок загальної витрати субстрату (за добу на всю кількість голів свиней).

До установки вихідний субстрат подається із вологістю 90 %. За розрахованими даними субстрат складається з 16400 кг гною вологістю 93 % та 49200 кг залишків кукурудзи вологістю 65 %. Розрахуємо кількість води, яка необхідна для розбавлення субстрату до остаточної вологості 90 %.

Вміст сухих речовин у вихідному субстраті складає 10 %.

Тоді маса субстрату (що потрібно утилізувати від всіх свиней за 1 добу):

					162.01.04.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

$$G_{сд} = (m_{гс.р.д} * 100) / 10 + (m_{кс.р.д} * 100) / 10 = 1148 * 100 / 10 + 17220 * 100 / 10 = 183680 \text{ кг.}$$

4. Розрахунок витрат води (за добу на всю кількість голів свиней).

Тоді маса води, яка потрібна за даних умов, становить:

$$G_{вд} = G_{сд} - G_{кд} - G_{гд} = 183680 - 1148 - 17220 = 165312 \text{ кг.}$$

5. Розрахунок об'ємів компонентів субстрату (за добу на всю кількість голів свиней).

Враховуючи щільність гною (ρ_g) від 1030 до 1060 кг/м³, об'єм рідкого гною за добу $V_{гд} = G_{гд} / \rho_g = 16400 / 1060 = 15,5 \text{ м}^3$.

Враховуючи щільність води (ρ_v) від 1000 кг/м³, об'єм води за добу $V_{вд} = G_{вд} / \rho_v = 165312 / 1000 = 165,3 \text{ м}^3$.

Як щільність субстрату приймемо $\rho_c = 900 \text{ кг/м}^3$, тоді $V_{сд} = G_{сд} / \rho_c = 183680 / 900 = 204 \text{ м}^3$.

					162.01.04.00 000 ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.2 Розрахунок і вибір обладнання

Основним апаратом біогазової установки є метантенк, який являє собою герметичний резервуар із залізобетону або металу, які мають теплоізоляційне покриття. Їх форма може бути циліндричною з конусним днищем та конічним або сферичним перекриттям, а також конічною, кулястою або яйцеподібною. Зазвичай встановлюють два або більше метантенків, об'єднаних загальною камерою управління та системою збору й видалення газу. Метан, що утворюється, використовується в газогенераторах для виробництва електроенергії, а зброджена біомаса застосовується як добриво (дигестат).

Для забезпечення кращої теплоізоляції метантенки часто заглиблюють у ґрунт або обваловують землею, але за якісної теплоізоляції їх встановлюють і на поверхні. Кожен метантенк обладнаний трубопроводами для подачі вихідного субстрату та видалення збродженої біомаси, системами нагрівання, перемішування, збору й видалення газу, трубопроводами для виводу збродженої біомаси та системою автоматизації. Для перемішування осаду застосовують насоси, гідроелеватори, пропелерні мішалки тощо. Ефективним є перемішування субстрату за допомогою рециркуляції газу, що утворюється в метантенках.

Рівень осаду підтримується вище основи горловини, щоб уникнути утворення кірки та проникнення повітря в резервуар, що важливо для запобігання створенню вибухонебезпечної суміші газу та кисню. Оскільки метаногенез не виділяє тепла, необхідний підігрів метантенків. Осад нагрівають за допомогою теплообмінників або введення пари через пароструминні інжектори. Питома витрата тепла залежить від режиму зброджування, конструкції метантенків, типу субстрату та його початкової температури. Для підігріву використовують пару під тиском 0,1–0,5 МПа.

					162.01.04.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

Газ виділяється нерівномірно, тому його збирають і зберігають у газгольдерах для подальшого використання. Комплекс із двох-чотирьох метантенків включає інжекторну та насосну станції, газозбірний пункт та диспетчерський пункт. Резервуари виготовляють із залізобетону або сталі з антикорозійним покриттям і розраховують на надлишковий тиск газу до 5 кПа.

Субстрат перемішують механічними змішувачами або насосами, які забезпечують циркуляцію всього об'єму зброджуваної маси за 5–10 годин. Також використовують газ для перемішування. Підігрів субстрату здійснюється введенням пари через пароструминні інжектори або за допомогою теплообмінників. Питома витрата пари при проведенні зброджування за мезофільних умов становить 25–40 кг/м³ субстрату, за термофільних умов – 50–70 кг/м³.

За характером потоку через резервуар метантенки класифікують на установки із прямим потоком та з повним перемішуванням.

Установка із прямим потоком - цей тип резервуара є довгим, вузьким, ізольованим і, за потребою забезпечений підігрівом. Він виготовляється з армованого бетону, сталі або скловолокна та оснащений герметичною кришкою для збору біогазу.

Потік у цьому типі апарату зазвичай не має внутрішньої циркуляції. Він добре підходить для систем управління субстратом, де використовується мінімальна кількість підстилки та відсутній пісок.

Теоретично щоденне додавання до такого апарату створює новий «поршень», що просувається до виходу, коли додається свіжа порція. Насправді субстрат може не залишатися як єдиний потік: рідкі компоненти можуть протікати швидше, а тверді частинки можуть осідати або спливати.

Апарат із повним перемішуванням зазвичай являє собою наземний або підземний резервуар, який є частиною системи управління субстратом із вмістом твердих часток від 2 до 10%.

					162.01.04.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

Основні апарати біогазової установки для здійснення процесу анаеробного збродження підготовленого субстрату наведено на рис. 3.1.

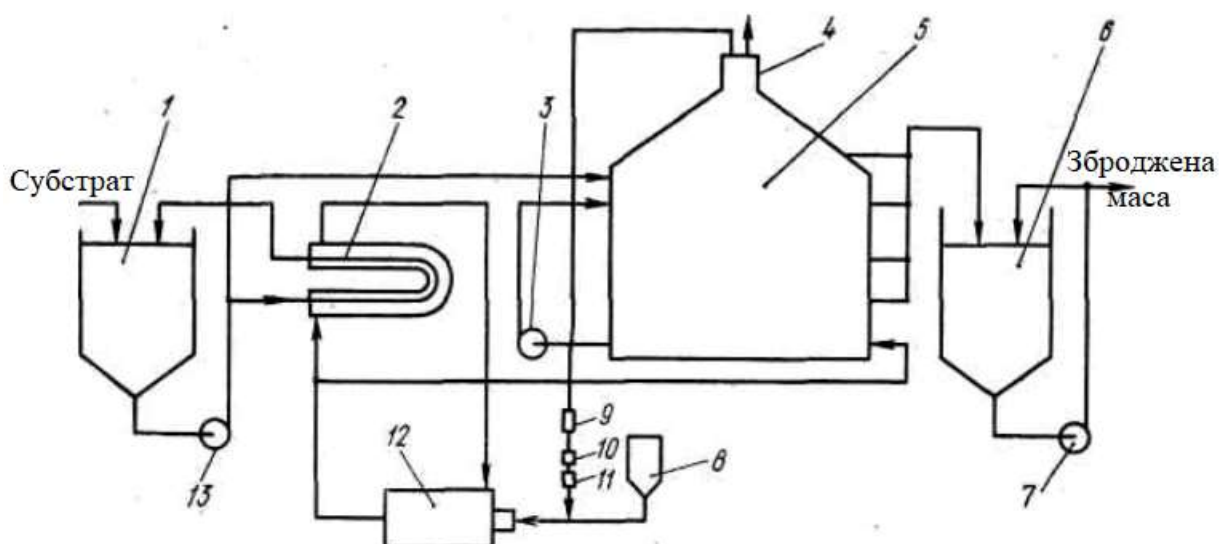


Рис. 3.1 – Конструктивні елементи (апарати) біогазової установки для анаеробного зброджування:

1 – резервуар для підготовки субстрату (змішування тваринних та рослинних відходів з водою та нагрівання рідкого субстрату), 2 – теплообмінник, 3, 7, 13 – дренажно-фекальні насоси, 4 – збірник утвореного біогазу, 5 – біореактор (метантенк), 6 – відстійник збродженої біомаси, 8 – бак для палива, 9–

лічильник газу, 10 – компресор, 11 – газгольдер; 12 – автоматизований
водогрійний котел

Розрахуємо об'єм та кількість біореакторів (метантенків) для функціонування біогазової установки. Враховуємо попередні розрахунки:

Маса субстрату, що завантажується до установки, $G_{сд} = 183680$ кг, об'єм - $V_{сд} = 204$ м³

Для приготування субстрату потрібно:

Маса гною $G_{Гд} = 1148$ кг, об'єм - $V_{Гд} = 15,5$ м³.

Маса залишків кукурудзи $G_{Кд} = 17220$ кг.

Маса води $G_{Вд} = 165312$ кг, об'єм - $V_{Вд} = 165,3$ м³

При розрахунках потрібно враховувати біохімізм загального анаеробного збродження. Бактеріям у метановій фазі потрібно більше часу для розмноження, ніж у ацидогенних фазах. Тому швидкість і масштаб збродження залежить від бактеріального метаболізму метану. Іншими словами, метаногенним бактеріям необхідно трансформувати продукти ацидогенних бактерій з попередніх фаз. Тому необхідно забезпечити умови для хорошого симбіозу обох бактерій, щоб потік газоутворення був рівномірним. В ідеалі повинна бути можливість налаштувати умови так, щоб утворена кислота негайно перетворювалася на метан. Якщо інтенсивність перетворення кислоти в метан нижча, ніж інтенсивність утворення кислоти, деяка кількість кислоти завжди зберігається в середовищі, що спричиняє зниження рН середовища, а оскільки метаногенні бактерії чутливі до умов процесу, зокрема до рН середовища, то це може призвести до припинення утворення метану. Важливим технологічним параметром, який це враховує, є добова норма завантаження до біогазової установки (H_d), яка враховує відношення об'єму вихідного субстрату до об'єму збродженого субстрату відведеного від біореактору та залежить від терміну процесу, протягом якого субстрат перебуває у установці (T), і обернено пропорційна йому: $H_d = 100 / T$.

					162.01.04.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

Для обраного режиму – мезофільні умови, мокре зброджування (вологість гною 91-93 %) рекомендоване значення дози добового завантаження $N_d = 10 \%$ [3].

Тоді, процес зброджування триває: $T = 1 / 0,1 = 10$ діб.

Загальновживаним є застосування метантенків циліндричної форми. Оптимальним коефіцієнтом заповнення таких апаратів є $\kappa = 0,9$.

Отже, сумарний об'єм камери апаратів для проведення процесу зброджування розрахованого субстрату, що відповідає добовому виходу тваринних відходів з ферми, становить:

$$V_a = (V_{c_d} * 100) / (N_d * \kappa) = 204 * 100 / 10 * 0,9 = 2267 \text{ м}^3.$$

Це дозволяє обрати 1 метантенк зі стандартним об'ємом $V_M = 2500 \text{ м}^3$.

Стандартним співвідношенням висоти до внутрішнього діаметру циліндричних метантенків складає $h / d = 0,9 - 1,3$. Якщо обрати $h / d = 1$, то $V_M = (\pi * d^2 / 4) * h = (\pi * d^3) / 4$. Звідси розмір метантенку буде дорівнювати $d = ((4 * V_M) / \pi)^{1/3} = 14,7 \text{ м}$. Зазвичай верхній конус метантенку встановлюється над землею (для зниження витрат тепла цю частину метантенку покривають шаром теплоізоляційного матеріалу), а нижню частину разом з нижнім конусом заглиблюють у землю до 10 м.

Але, враховуючи рекомендації по встановленню не менше двох метантенків, у роботі пропонується встановлення двох апаратів, кожен з корисним об'ємом 1600 м^3 . Для можливості розширення біогазової установки і встановлення другого метантенку доцільно обрати апарат зі стандартними параметрами. Згідно зі стандартними значеннями для метантенків об'ємом 1600 м^3 обираємо діаметр апарату $d = 14,0 \text{ м}$, висота верхнього конуса $h_{вк} = 2,35 \text{ м}$, висота центральної циліндричної частини $h_{ц} = 11,8 \text{ м}$, висота нижнього конуса $h_{вк} = 2,6 \text{ м}$.

Конструктивні елементи метантенка наведено на рис. 3.2.

					162.01.04.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

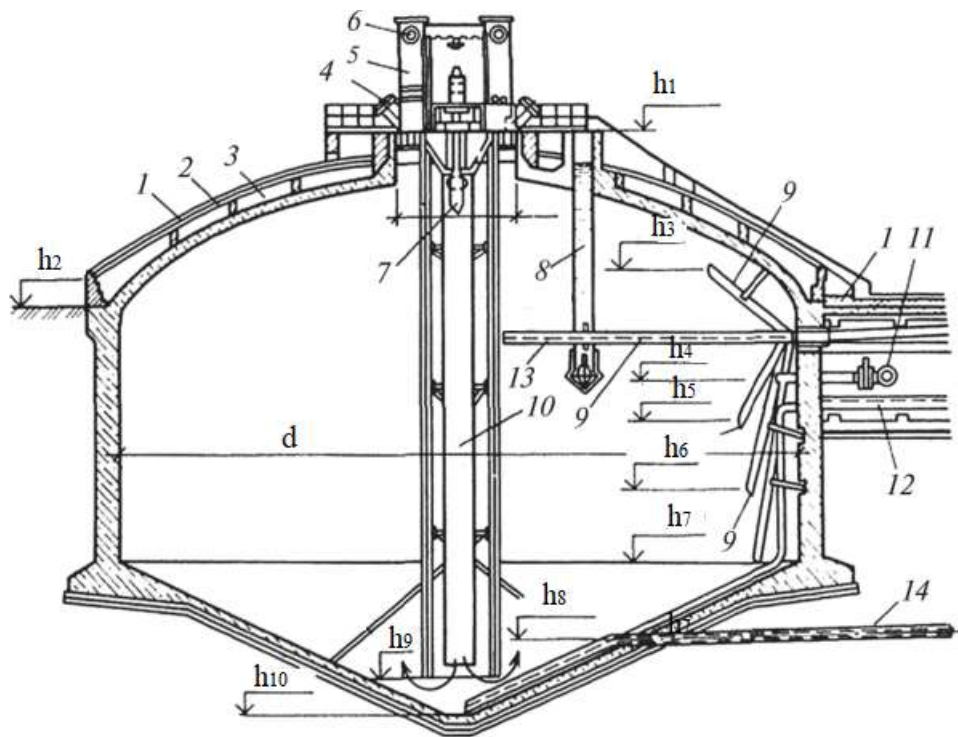


Рис. 3.2 – Конструктивні елементи метантенка:

1 - бітумна обмазка, 2 - кlinkерна кладка, 3 - теплоізоляція (шлак),
 4 - контрольний люк, 5 - газозбірна горловина, 6 - труба для відведення газу, 7 - механічний змішувач, 8 - переливна труба, 9 - випуск збродженої маси з різних рівнів, 10 - напрямна труба для циркуляції субстрату,
 11-трубопровід для подачі пари на обігрів, 12 - труба для випуску збродженої маси, 13 - труба подачі субстрату, 14 - труба для виводу маси

Розрахуємо потрібну кількість газгольдерів, необхідних для роботи біогазової установки. Спочатку розрахуємо вихід біогазу за даних умов, враховуючи вміст у субстраті сухої речовини за добу ($m_{с.р.д}$).

Розрахована маса субстрату (що потрібно утилізувати від всіх свиней за 1 добу) $G_{сд} = 183680$ кг, вологість субстрату 90 %. Тоді, вміст сухих компонентів 10 %: $m_{с.р.д} = G_{сд} * 0,1 = 18368$ кг. Прийmemo відсоток розкладання органічної сировини $K_1 = 30$ %. За ДСТУ щільність біогазу при

стандартному вмісті метану 65 % та вуглекислого газу 35 % дорівнює $\rho_{\text{бг}} = 1,17 \text{ кг/м}^3$, коефіцієнт розчинення біогазу дорівнює $K_2 = 1,5$.

Тоді вихід біогазу за сухою речовиною за добу: $V_{\text{Гд}} = (m_{\text{с.р.д}} * K_1) / (100 * K_2 * \rho_{\text{бг}}) = 18368 * 30 / 100 * 1,5 * 1,17 = 3000 \text{ м}^3$.

При високому тиску зазвичай використовують газгольдини кульові об'ємом 600 м^3 . Таким чином необхідно 5 газгольдинів.

					162.01.04.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

3.3 Опис технологічного процесу

Загалом, для виробництва біогазу органічні матеріали (біомасу) слід змішати з однаковим об'ємом води і після гомогенізації утворений субстрат вилити в резервуар для зброджування (біогазова установка, біореактор, метантенк).

Метаногенні бактерії, які застосовуються у процесі отриманні біогазу, відносяться до анаеробів, крім цього вони відносяться до організмів, які можуть перетравлювати целюлозу, що є основним компонентом рослинних волокон. Ще одна особливість цих організмів полягає в тому, що вони дуже чутливі до умов навколишнього середовища, таких як температура, рівень кислотності, кількість води, рівень концентрації тощо. Відповідно, в процесі анаеробного зброджування у біогазових установках бактерії розкладають органічні речовини в безкисневому середовищі.

Процес виробництва біогазу в основному включає розщеплення органічних матеріалів під час біохімічних перетворень і змін, що викликає розпад великих молекул на менші молекули. Метаногенні бактерії, які здійснюють розкладання та анаеробні реакції з метою виробництва біогазу, здатні розщеплювати та розкладати складні та прості органічні матеріали, що в кінцевому підсумку призводить до виробництва біогазу. Ці бактерії включають дві категорії мезофільних і термофільних бактерій і можуть жити при температурах від 37 до 45 °C і від 50 до 52 °C відповідно. У випадку термофільних бактерій ця температура може підвищуватися до 70 °C. При цій температурі бактерії мають найбільшу ферментативну активність для розщеплення органічних речовин і виробництва біогазу.

Реакції зброджування в біогазовій установці включають ряд хімічних і біологічних процесів, які здійснюються за відсутності кисню та в присутності анаеробних організмів. Основна частина газу, що утворюється, є сумішшю

					162.01.04.00 000 ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

метану та вуглекислого газу. Тому в біореакторах реакції ферментації включають серію хімічних взаємодій, які тісно пов'язані одна з одною, але є відокремленими. Анаеробне зброджування відбувається за відсутності повітря і його умовно можна розділити на 5 етапів.

1. Підготовка біомаси до субстрату

На цій стадії готуються ферментовані органічні матеріали, які після відділення всіх видів домішок змішуються з водою та виливаються в резервуар для зброджування, і починається реакція зброджування. Тобто біомаса перетворюється на субстрат для зброджування, який подається до біореактору.

2. Гідроліз (розщеплення)

На першому етапі зброджування анаеробні бактерії використовують ферменти для розщеплення великих молекул органічних речовин, таких як білки, вуглеводи, целюлоза та жири, на сполуки з меншою молекулярною структурою. Насправді ці бактерії розщеплюють складні органічні речовини до легких жирних кислот, і крім оцтової кислоти та пропіонової кислоти також виробляється деяка кількість аміаку та вуглекислого газу.

Мікробне розщеплення вихідної сировини (такої як кукурудза, зерно, тирса, харчові відходи або гній) призводить до утворення простих цукрів, жирних кислот та амінокислот, які стають доступними для інших бактерій.

3. Ацидогенез

Бактерії перетворюють продукти гідролізу на легкі жирні кислоти з коротким ланцюгом, кетони, спирти, водень та вуглекислий газ.

На другій фазі кислотоутворюючі бактерії ведуть процес розпаду до утворення біологічних кислот, таких як вуглекислий газ, сірководень і аміак. На цій стадії кислотоутворюючі бактерії (молочнокислі, пропіоновокислі, оцтовокислі та маслянокислі) перетворюють органічні сполуки в легкі кислоти. Білки спочатку розщеплюються на амінокислоти, а потім на легкі кислоти, вуглеводи спочатку перетворюються на прості цукри, а потім на легкі жирні кислоти, а жирні кислоти перетворюються на легкі жирні кислоти.

					162.01.04.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

4. Ацетогенез

Бактерії конвертують органічні кислоти у оцтову кислоту, аміак, водень і вуглекислий газ.

У третій фазі кислотоутворюючі бактерії виробляють вуглекислий газ, водень, ацетат, сірководень, етанол і дуже невеликі кількості газів метану, азоту та аміаку. Насправді на цій стадії метаногенні бактерії розкладають кислоти, що утворилися на попередній стадії, на метан і вуглекислий газ. Ця група складається з невеликої кількості бактерій, які ростуть і розмножуються повільно і дуже чутливі до навколишнього середовища. У правильно функціонуючій біогазовій установці баланс цих двох груп бактерій має бути таким, щоб метаногени споживали лише ті кислоти, які виробляються ацидогенами. Деякі інші види бактерій використовують водень і вуглекислий газ для виробництва метану. Насправді саме на цьому етапі відбуваються основні метаногенні взаємодії.

5. Метаногенез.

Метанопродукуючі мікроорганізми використовують оцтову кислоту, водень і вуглекислий газ для утворення метану.

На цій фазі метаногенні бактерії виробляють метан, вуглекислий газ і луги. Бактеріям у метановій фазі потрібно більше часу для розмноження, ніж у ацидогенній фазі (2 попередні фази). Тому швидкість і масштаб зброджування залежить від бактеріального метаболізму метану. Іншими словами, метаногенним бактеріям необхідно трансформувати продукти ацидогенних бактерій з попередніх фаз. Тому необхідно забезпечити умови для хорошого симбіозу обох бактерій, щоб потік газоутворення був рівномірним. Успіх у цій операції залежить від виробництва газу метану. В ідеалі повинна бути можливість налаштувати умови так, щоб утворена кислота негайно перетворювалася на метан. Якщо інтенсивність перетворення кислоти в метан нижча, ніж інтенсивність утворення кислоти, деяка кількість кислоти завжди зберігається в середовищі, що спричиняє зниження рН середовища, а

					162.01.04.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

оскільки метаногенні бактерії дуже чутливі до рН середовища, то це може призвести до припинення утворення метану.

Процес виробництва біогазу за обраною технологією мокрого зброджування в періодичному мезофільному режимі у циліндричному метантенку з перемішуючим пристроєм, при якому утворений біогаз збирається у газгольдері та частково витрачається на обігрів самої біогазової установки, містить наступні стадії:

ДР 1. Підготовка повітря

Включає операції забору атмосферного повітря, очищення на фільтрі від механічних часток та нагрівання повітря для технологічних цілей, зокрема для перетискання утвореного біогазу із газгольдерів та зневодненні збродженої біомаси після видалення її із метантенка.

ДР 2. Підготовка субстрата

Включає операції збору гною із свинарників шляхом змиву у резервуарах-накопичувачах та прокачування його через дугове сито, на якому відбирають тверду фракцію. Рідку фракцію перекачують дренажно-фекальними насосами до резервуара-змішувача, в якій також завантажують подрібнену на дробарці біомасу кукурудзи (співвідношення тваринних відходів до рослинних 1:3). Суміш розбавляють водою до кінцевої вологості 90 %. Після перемішування готовий субстрат нагрівають за допомогою теплообмінника «труба в трубі» до температури мезофільного режиму (35 С) та дренажно-фекальним насосом подають на стадію анаеробного зброджування до першого метантенка.

ДР 3. Підготовка закваски

Для інтенсифікації процесу у метантенку як закваску використовують осад відстійника, який утворився на попередньому циклі роботи установки, та тверду фракцію гною після розділення на дуговому ситі. Суміш витримують у резервуарі-змішувачі 3 міс та подають до метантенку.

ТП 4. Анаеробне збродження

					162.01.04.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

До першого метантенка подають добову норму субстрата (10 %) та витриману закваску, кожні 2 год здійснюється додавання цієї ж дози субстрата при постійному перемішуванні мішалкою. Метантенк нагрівається теплообмінником, температура підтримується на рівні 35 С протягом всього процесу. При додаванні всієї норми субстрата суміш перекачується до другого метантенка, загальна тривалість процесу анаеробного зброджування 12 діб. Перший метантенк готується під загрузку нового циклу. У процесі анаеробного збродження утворюється біогаз, який нагнітається компресором до газгольдерів, та зброджена маса, яка подається до резервуара-накопичувача.

ТП 5. Отримання біогазу та енергії

Включає стадії видалення вологи із газової суміші, очистки від сульфідів водню та вуглекислого газу, накопичення у газгольдері та отриманні електричної та теплової енергії.

Біогаз із першого газгольдера проходить через трубову систему конденсатора для конденсації вологи та подається до адсорбера для відділення сульфідів водню та вуглекислого газу. Після цього біогаз збирається у другому газгольдері та компресором подається до когенераційної установки, в якій відбувається спалювання біогазу та комбіноване виробництво електричної та теплової енергії. Тепло використовується для власного обігріву метантенка, електроенергія використовується для потреб ферми.

ТП 6. Отримання дигестату

Зброджена маса виводиться з метантенку у два резервуара-накопичувача – в першому витримується осад для створення закваски для наступного циклу, в другому збирається основна частина – дигестат, який по суті є готовим біологічним добривом і його використовують одразу в ґрунті господарства без додаткової обробки. Через велику кількість утворення збродженої маси та потреби в дигестаті залежно від сезону, частину збродженої маси направляють до сепаратора для розділення на тверду (вміст сухих речовин 1-8 %) та ріdkу

					162.01.04.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

фракції (вміст сухих речовин 20-40%), які розрізняються за вмістом мікроелементів. У рідкій фракції переважає азот і калій, а вміст фосфору є нижчим. Натомість у твердій фракції спостерігається підвищений вміст азоту та фосфору, тоді як концентрація калію є меншою. Рідку фракцію фасують у бочки, тверду – у мішки та реалізують як добрива.

					162.01.04.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

3.4 Схеми виробництва

Анаеробне зброджування відбувається у чотири етапи та здійснюється різними групами бактерій, які діють спільно. На рисунку 3.3 показано біологічну схему процесів, що беруть участь у виробництві біогазу з органічної сировини. Основні етапи:

Гідроліз: Мікробне розщеплення вихідної сировини (компонентів субстрату, що містить гній та рослинні залишки кукурудзи) призводить до утворення простих цукрів, жирних кислот та амінокислот, які стають доступними для інших бактерій.

Ацидогенез: Бактерії перетворюють продукти гідролізу на леткі жирні кислоти з коротким ланцюгом, кетони, спирти, водень та вуглекислий газ.

Ацетогенез: Мікроби конвертують органічні кислоти у оцтову кислоту, аміак, водень і вуглекислий газ.

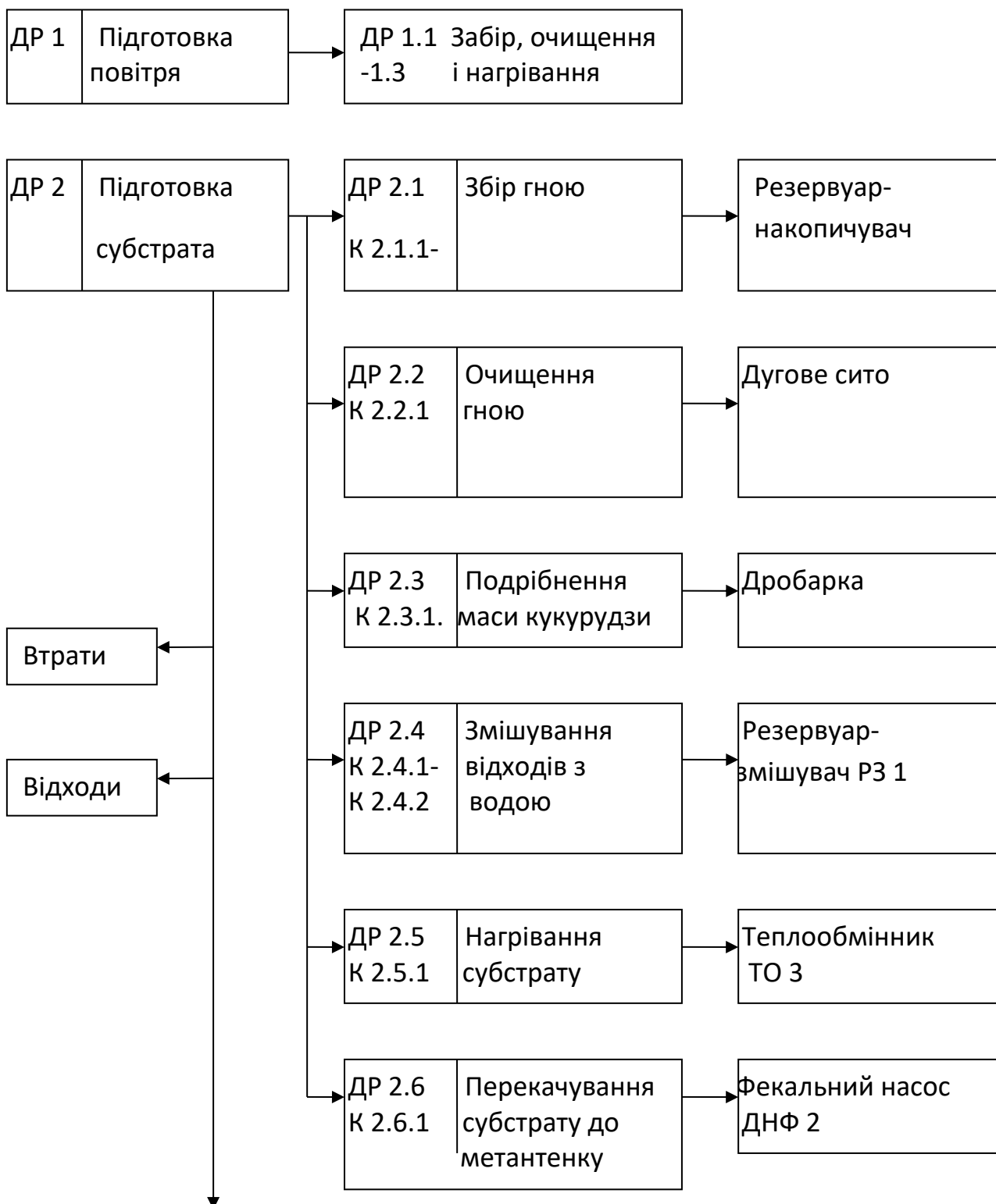
Метаногенез: Метанопродукуючі мікроорганізми використовують оцтову кислоту, водень і вуглекислий газ для утворення метану.

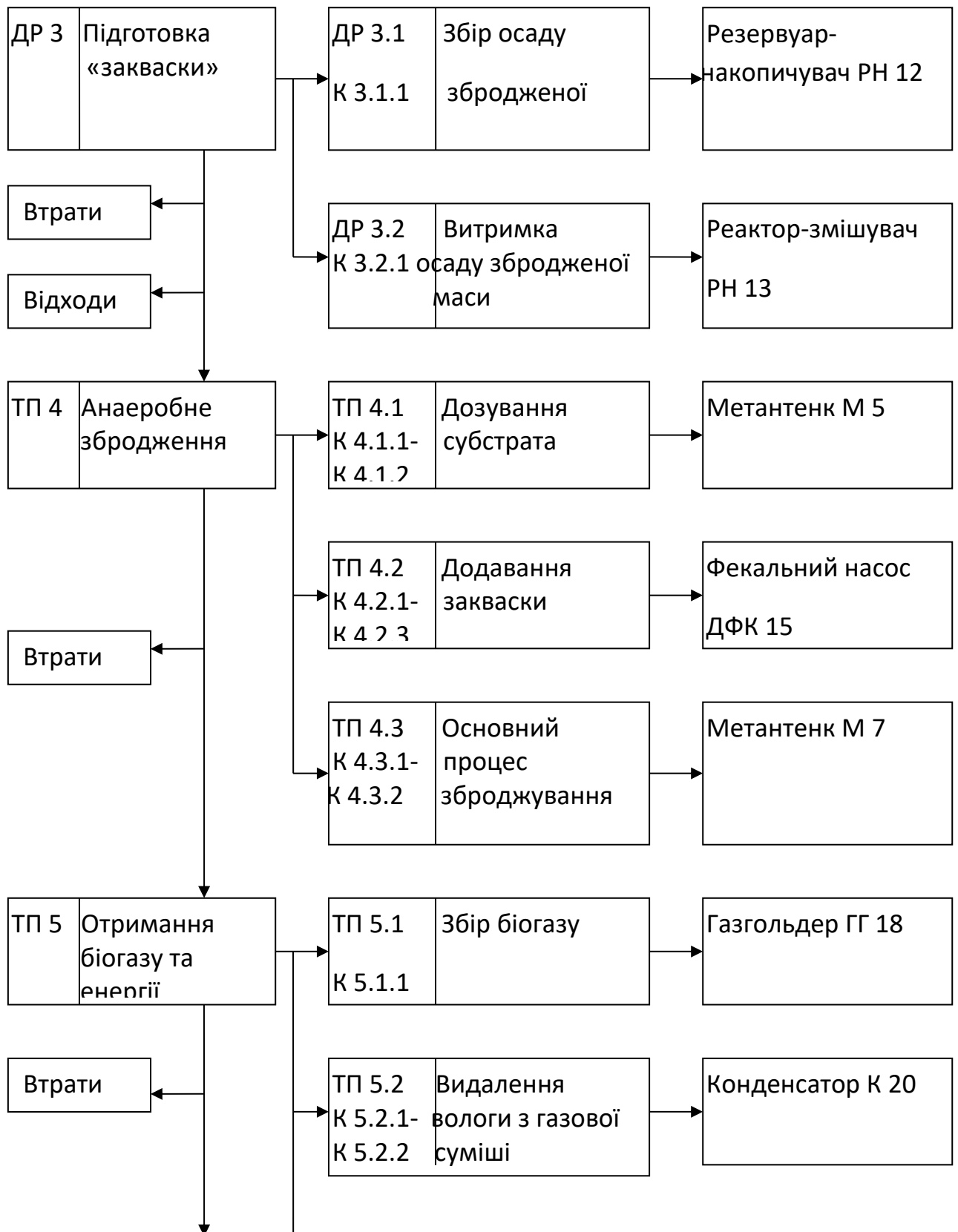
Технологічна та апаратурна схема виробництва біогазу методом анаеробного зброджування наведені на рис. 3.4 та 3.5, відповідно.

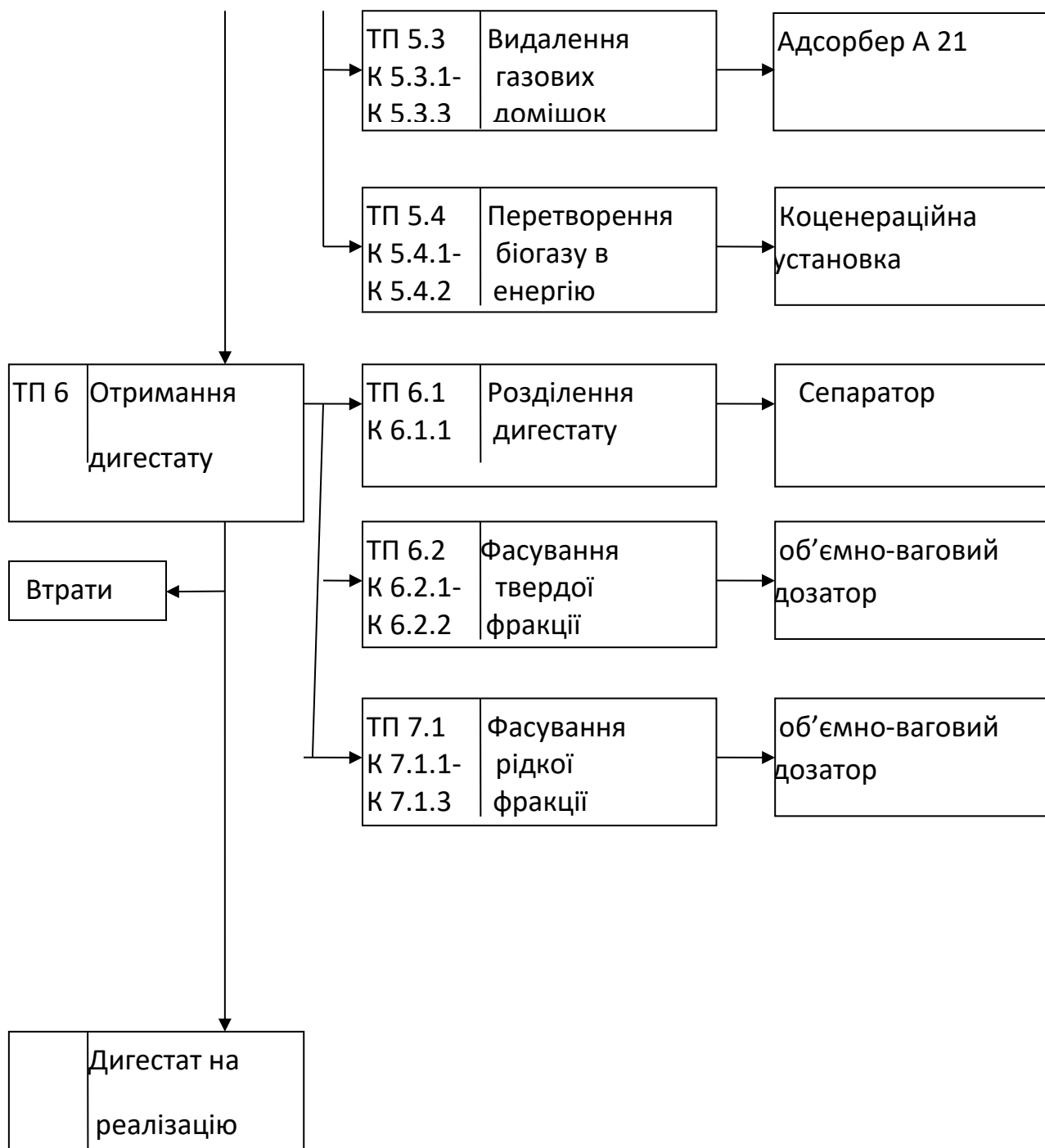
					162.01.04.00 000 ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рис. 3.3 – Біологічна схема процесів анаеробного збродження при отриманні біогазу







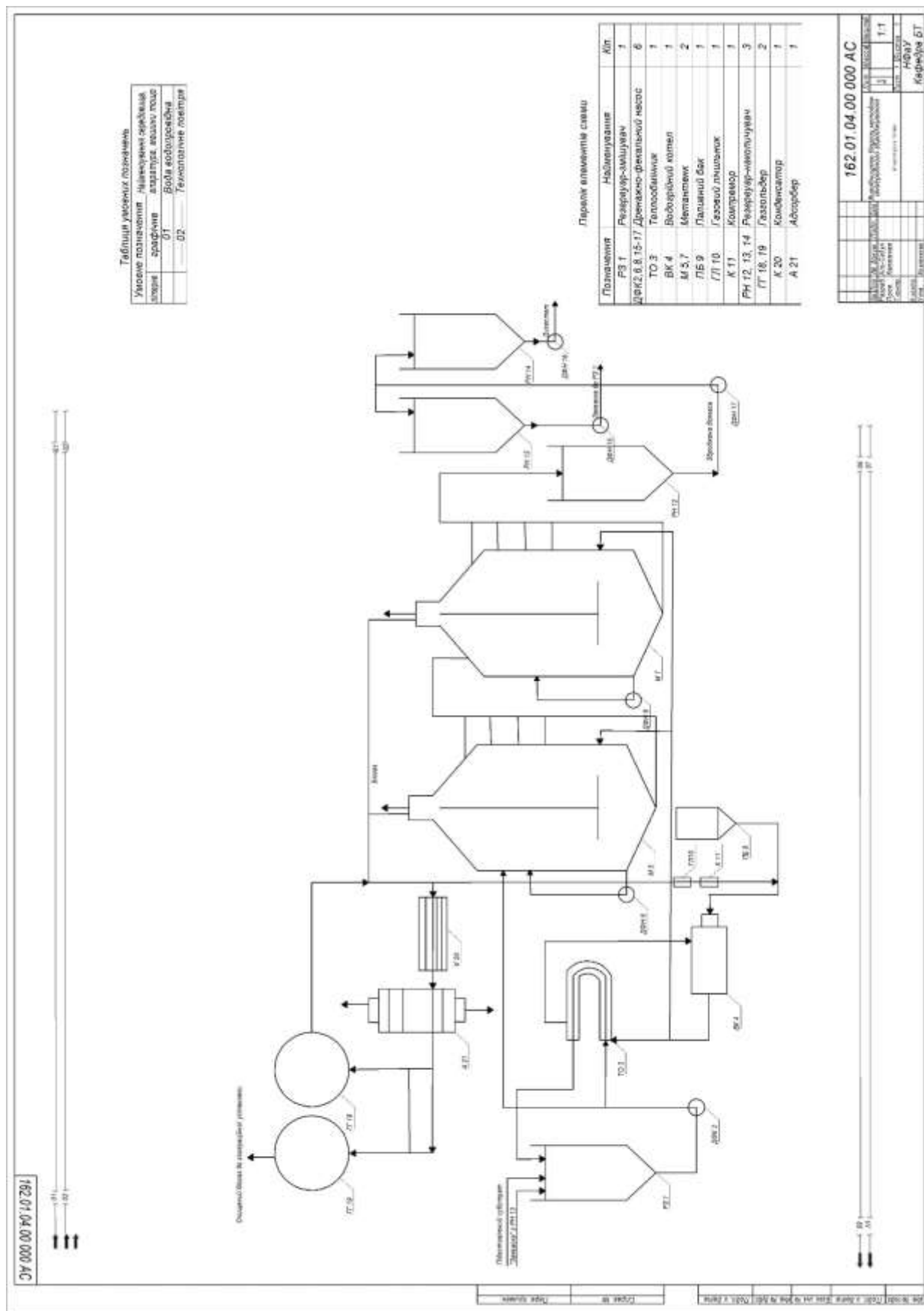


Рис. 3.5 – Апаратурна схема виробництва біогазу

3.5 Критичні параметри виробництва

У табл. 3.6 зведені контрольні точки на стадіях анаеробного зброджування.

Таблиця 3.6 – Контроль параметрів

Назва стадії	Критичні точки	Періодичність контролю	Значення параметру	Метод контролю
1	2	3	4	5
ДР 2.1	Кількість гною	При кожному пуску установки	15,5 м ³	Автоматично
ДР 2.2	Механічні частки більше 30 мм Вологість гною	При кожному пуску установки	Відсутність 93 %	Автоматично
ДР 2.3	Кількість зеленої маси кукурудзи Розмір подрібнених часток	При кожному пуску установки	49200 кг Менше 30 мм	Автоматично
ДР 2.4	Кількість води Вологість суміші	При кожному пуску установки	165312 кг 90 %	Автоматично
ДР 2.5	Температура суміші	При кожному пуску установки	37 С	Автоматично
ДР 2.6	Швидкість перемішування	Протягом всього циклу	100 об/хв	Автоматично
ДР 3.1	Кількість осаду	При кожному пуску установки	1250 кг	Автоматично
ДР 3.2	Час витримки закваски	При кожному пуску установки	3 міс	Автоматично
ДР 4.1	Кількість субстрату	При кожному пуску установки	204 м ³ .	Автоматично
ДР 4.2	Кількість закваски	При кожному пуску	1 %	Автоматично

		установки		
ДР 4.3	Температура зброджування Швидкість перемішування Час зброджування рН	Протягом всього циклу	37 С 100 об/хв 12 діб 5,5-7,5	Автоматично
ТП 5.1	Кількість біогазу Тиск у газгольдері	При кожному пуску установки	10 кПа	Автоматично
ТП 5.2	Вміст вологи	При кожному пуску установки	4 %	Автоматично
ТП 5.3	Вміст газових домішок	При кожному пуску установки	2 %	Автоматично
ТП 6.1	Кількість збродженої маси	При кожному пуску установки	120 м³	Автоматично
ТП 6.2	Кількість рідкої фракції	При кожному пуску установки	87 м³	Автоматично
ТП 6.3	Кількість твердої фракції	При кожному пуску установки	550 кг	Автоматично
Готовий продукт	Вміст у біогазі метану Кількість ящиків і бочок з дигестатом	При кожному пуску установки	96 % 100, 500	Автоматично

3.6 Екологічні аспекти виробництва

Сучасне суспільство значною мірою залежить від енергії, 85–90% якої наразі постачаються за рахунок викопного палива. Однак використання викопного палива стає застарілим через обмежені ресурси та забруднення, спричинене його спалюванням. Джерела енергії людства мають змінитися на відновлювані, які відповідають потребам суспільства [8].

Постійне зростання населення спричиняє збільшення обсягу виробничих відходів і подальше виснаження ресурсів, що потребує належного управління, а цей процес, у свою чергу, потребує кваліфікованих працівників та великого бюджету, а неправильна утилізація створює екологічні проблеми для людей і тварин. У всьому світі прийнятим методом є захоронення відходів (окрім твердих побутових відходів). Але метан, що утворюється з органічних відходів, має у 21–23 рази більший потенціал впливу на глобальне потепління як парниковий газ, ніж вуглекислий газ. Про необхідність зниження зростання впливу парникових газів свідчить те, що глобальна температура за останні 100 років зросла на 0,3–0,6 С. Парникові гази утримують тепло в атмосфері Землі, створюючи так званий парниковий ефект. Цей ефект є природним явищем, яке підтримує температуру планети на рівні, придатному для життя. Однак надмірне накопичення парникових газів через людську діяльність спричиняє глобальне потепління і зміну клімату. Механізм парникового ефекту полягає в тому, що сонячна енергія у вигляді світла проникає через атмосферу Землі та нагріває поверхню планети, яка випромінює тепло у вигляді інфрачервоного випромінювання, а парникові гази поглинають частину цього випромінювання та повертають його назад до поверхні, утримуючи тепло. Одними з основних парникових газів є метан та вуглекислий газ [7].

Також однією з екологічних проблем сучасного суспільства є забезпечення водою. Основна проблема звалищ - це фільтрат, який проникає в ґрунт і досягає підземних вод. Хоча ґрунт є важливим фізичним і хімічним

					162.01.04.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

фільтром води, його пропускна здатність обмежена. Вуглекислий газ, що потрапляє у воду, збільшує її жорсткість, знижує рН і підвищує корозійні властивості води [22].

Виробництво біогазу методом анаеробного зброджування на основі відходів тваринництва та рослинництва має значний позитивний вплив на екологію, адже дозволяє зменшити забруднення довкілля і сприяє сталому розвитку. Основні екологічні аспекти цього процесу можна охарактеризувати такими ключовими перевагами:

1. Скорочення залежності від викопного палива. Біогаз, отриманий із відходів, є відновлюваним джерелом енергії, яке може використовуватись для виробництва тепла, електроенергії або як паливо. Це знижує потребу в викопному паливі, зокрема природному газі, нафті та вугіллі, скорочуючи викиди, пов'язані з їхнім видобуванням, транспортуванням і використанням.

2. Зменшення викидів парникових газів. Анаеробне зброджування знижує викиди метану, що утворюється при природному розкладанні гною та рослинних залишків. Виробництво біогазу дозволяє утилізувати цей метан як джерело енергії, що сприяє скороченню парникового ефекту. Вуглекислий газ утворюється при спалюванні викопного палива (вугілля, нафти, газу), вирубці лісів, виробництві цементу тощо, та тривалий час зберігається в атмосфері. А завдяки заміщенню викопного палива біогазова енергетика сприяє зменшенню викидів CO₂.

3. Зменшення кількості відходів. Біогазові установки забезпечують ефективну утилізацію відходів тваринництва (гній, рідкі відходи) та рослинництва (солома, залишки врожаю), що допомагає уникнути накопичення органічних відходів, які можуть спричинити забруднення повітря, води й ґрунту.

4 Зниження забруднення ґрунтів і вод. Переробка гною та рослинних залишків знижує ризики забруднення ґрунту, підземних і поверхневих вод нітратами, аміаком та іншими токсичними речовинами. Замість того, щоб гній

					162.01.04.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

накопичувався на відкритих полях або зберігався в умовах, що сприяють утворенню шкідливих витоків, він використовується як сировина для виробництва біогазу. Таким чином, утилізація органічних відходів у біогазових установках зменшує ризик забруднення ґрунтів та води органічними речовинами, нітратами та фосфатами. Слід відмітити, що контрольований процес зброджування мінімізує викиди токсичних речовин і знижує рівень запахів, що властивий процесам розкладання органічних відходів рослинництва та тваринництва.

5. Виробництво екологічних добрив. Після завершення процесу анаеробного зброджування утворюється дигестат, який використовується як високоякісне біологічне добриво завдяки збалансованому складу макро- і мікроелементів, який покращує родючість ґрунтів. Його використання зменшує потребу в хімічних добривах, у свою чергу сприяючи зниженню негативного впливу сільського господарства на природу.

6. Забезпечення повного циклу використання ресурсів. Виробництво біогазу є прикладом замкненого циклу, коли відходи сільського господарства перетворюються на енергію та добрива, що знову використовуються в аграрній діяльності. Це сприяє раціональному використанню ресурсів і підтримці екологічного балансу.

Але в той же час потрібно свідомо та обґрунтовано підходити до будівництва біогазових установок, так як неякісно спроектовані чи побудовані установки можуть мати витіки метану, що знижує екологічний ефект. Неконтрольований витік газів під час виробництва чи зберігання біогазу може негативно вплинути на довкілля, тому необхідно забезпечувати правильне проектування й обслуговування біогазових установок для мінімізації цих ризиків.

Крім цього, потрібно правильно поводитись із дигестатом, так як його неналежне використання може призвести до забруднення водойм або надмірного накопичення нітратів у ґрунтах.

					162.01.04.00 000 ПЗ	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Також потрібно враховувати, що для виробництва біогазу часто потрібна значна кількість води, особливо якщо використовується рідка фракція гною при використанні методу мокрого зброджування.

Таким чином, виробництво біогазу методом анаеробного зброджування відходів тваринництва та рослинництва є екологічно сталим рішенням, що сприяє зменшенню негативного впливу на довкілля. Однак важливо враховувати правильне проєктування установок і контроль за їх експлуатацією для мінімізації потенційних ризиків.

					162.01.04.00 000 ПЗ	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВОК

Організація виробництва біогазу шляхом анаеробного зброджування забезпечує ефективну переробку органічних відходів і отримання відновлюваної енергії. Це сприяє зменшенню залежності від викопного палива та допомагає досягти енергетичної незалежності.

Використання біогазових установок мінімізує викиди парникових газів, особливо метану, який має значний вплив на глобальне потепління. Це також дозволяє зменшити кількість відходів, які потрапляють на звалища, і запобігти забрудненню ґрунту та підземних вод.

Виробництво біогазу створює можливості для додаткових джерел доходу через реалізацію енергії та органічних добрив. Установки сприяють економії на енергетичних витратах у фермерських господарствах і стимулюють розвиток місцевої економіки.

Впровадження біогазових технологій створює нові робочі місця в сільській місцевості, залучаючи як кваліфікованих спеціалістів, так і місцеве населення. Це також підвищує рівень екологічної свідомості населення.

Застосування відходів тваринництва і рослинництва як сировини для біогазових установок сприяє зменшенню втрат цінних ресурсів та замкненню циклу поживних речовин, що є важливим для підтримання родючості ґрунтів.

У роботі показано, що біогазові технології мають значний потенціал для розвитку в Україні, особливо в контексті аграрних підприємств, які генерують великі обсяги органічних відходів. Використання мезофільного режиму зброджування забезпечує оптимальне співвідношення між ефективністю та економічністю процесу.

Виробництво біогазу є важливим кроком до сталого розвитку, адже сприяє вирішенню проблем утилізації органічних відходів, запобігає вирубці лісів і сприяє захисту природних екосистем.

					162.01.04.00 000 ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У роботі запропоновані такі технологічні пропозиції для організації виробництва біогазу на основі методу анаеробного зброджування на вітчизняному сільськогосподарському підприємстві:

1. Використання гною свиней у поєднанні з рослинними залишками кукурудзи. Оптимальне співвідношення сировини: 75% рослинних відходів і 25% тваринних відходів, як система підготовки сировини пропонується подрібнення рослинної біомаси на дробарці, змішування гною та подрібнених залишків у резервуарі-змішувачі із додаванням води для досягнення вологості 90%.

2. Як режим зброджування запропоновано мокрий метод анаеробного зброджування у мезофільному температурному режимі (35 °C).

3. Обране обладнання - використання циліндричного метантенка з перемішуючим пристроєм для забезпечення однорідності субстрату та газгольдер для збору біогазу та його подальшого використання.

Впровадження цієї установки забезпечить:

1. Енергетичну автономність сільськогосподарського підприємства - частина отриманого біогазу використовується для обігріву біогазової установки, що зменшує витрати енергії з інших джерел.

2. Утилізацію збродженої маси у вигляді дигестату, який пропонується використовувати як органічне добриво для підвищення родючості ґрунтів або реалізовувати іншим господарствам.

3. Зниження обсягів органічних відходів, які потрапляють на звалища, зменшення викидів метану в атмосферу через ефективний збір і використання газу.

Ці пропозиції спрямовані на забезпечення ефективності виробництва, екологічної безпеки та економічної доцільності роботи біогазової установки.

					162.01.04.00 000 ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Біоенергетика у 2024 році: глобальний статистичний звіт Всесвітньої біоенергетичної асоціації (WBA) : SAF. URL: <https://saf.org.ua/news/2095/> (дата звернення: 26.11.2024).
2. Веремчук Т. В. Технологія виробництва біогазу з відходів тваринництва та рослинництва : дипломний проєкт на здобуття ступ. бакалавра. Київ, 2020. 58 с.
3. Виробництво біогазу : навч. посіб. / А. М. Тимошик та ін. Львів : В-во ЛНУВМ та БТ ім. С.З. Гжицького, 2019. 52 с.
4. Глибін В. І. Процеси і апарати біотехнологічних виробництв. Курсове проектування : посібник. Київ : НАУ, 2018. 84 с.
5. Горупа В. В. Конструкція обладнання біотехнологічних виробництв : практ. для студентів. Київ : НАУ, 2017. 64 с.
6. ДСТУ ГОСТ 2.612:2014. Єдина система конструкторської документації. Електронний формуляр. Загальні вимоги. (ГОСТ 2.612–2011, IDT). Офіц. вид. Вперше ; чинний від 2014–11–01. Київ : Мінекономрозвитку України, 2014. 47 с.
7. Екологічна біотехнологія : навч. посіб. : у 2 кн. / О. В. Швед та ін. Львів : Вид-во Львів. політехніка, 2018. Т. 1. 424 с.
8. Желих В. М., Возняк О. Т., Юркевич Ю. С. Нетрадиційні джерела енергії. Львів : В-во НУ «Львівська політехніка», 2009. 83 с.
9. Літвінець Н. С. Отримання біогазу з відходів тваринництва : магістерська дис. на здобуття освітнього ступеня магістр. Київ, 2021. 73 с.
10. Методичні рекомендації до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра для здобувачів вищої освіти спеціальності 162 «Біотехнології та біоінженерія» ОП «Біотехнологія» / О. С. Калюжная та ін. Харків : НФаУ, 2024. 131 с.

					162.01.04.00 000 ПЗ	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

11. Названо ТОП-6 виробників біогазу в Україні : Agravery, аграрне інформаційне агентство. URL: <https://agravery.com/uk/posts/show/nazvano-top-6-virobnikiv-biogazu-v-ukraini> (дата звернення: 26.11.2024).

12. Особливості використання різної сировини при виробництві біогазу / В. С. Козир та ін. Бюлетень Інституту сільського господарства степової зони НААН України. 2013. № 4. С. 143–146. URL: http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?I21DBN=LINK&P21DBN=UJRN&Z21ID=&S21REF=10&S21CNR=20&S21STN=1&S21FMT=ASP_meta&C21COM=S&2_S21P03=FILA=&2_S21STR=bisg_2013_4_38 (дата звернення: 26.11.2024).

13. Потенціал виробництва біогазу в Україні становить 21,8 мільярда кубометрів на рік - DiXi Group. URL: <https://www.ukrinform.ua/rubric-economy/3835014-potencial-virobnictva-biogazu-v-ukraini-stanovit-218-milarda-kubometriv-na-rik-dixi-group.html> (дата звернення: 26.11.2024).

14. Про охорону навколишнього природного середовища : Закон України від 25 черв.1991 р. № 1264–XII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1264-12> (дата звернення: 30.04.2024).

15. Риндюк Д. В., Шелешей Т. В., Беднарська І. С. Нетрадиційні джерела енергії практичні заняття : навч. посіб. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 81 с.

16. Сидоров Ю. І., Влязло Р. Й., Новіков В. П. Процеси і апарати мікробіологічної промисловості. Технологічні розрахунки. Приклади і задачі. Ч. III. Основи проектування мікробіологічних виробництв. Львів : Вид–во Львів. політехніка, 2004. 252 с.

17. Скляр О. Г., Скляр Р. В. Аспекти удосконалення конструкцій біогазових установок. Молодь і технічний прогрес в АПВ : матеріали Міжнар. наук.–практ. конф., м. Харків, 23-24 лист. 2023 р. Харків : ДБУ, 2023. С. 81–84.

					162.01.04.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

18. Технологічне обладнання біотехнологічної і фармацевтичної промисловості : підруч. для вищ. навч. закл. / М. В. Стасевич та ін. Львів : Новий Світ–2000, 2018. 410 с.

19. Фесюк О. І. Біотехнологія отримання біогазу з відходів сільського господарства : магістерська дис. на здобуття освітнього ступ. магістр. 162 Біотехнології та біоінженерія. Київ, 2022. 76 с.

20. Anaerobic digestion of agricultural waste for biogas production and sustainable bioenergy recovery: a review / A. Alengebawy et al. Environmental Chemistry Letters. 2024. Vol. 22. P. 2641–2668. DOI: 10.1007/s10311-024-01789-1.

21. Anaerobic Digestion of Dye Wastewater and Agricultural Waste with Bio-Energy and Biochar Recovery: A Techno-Economic and Sustainable Approach / A. Tumanyisibwe et al. Water. 2024. Vol. 16. DOI: 10.3390/w16142025.

22. Anaerobic Digestion of Biowaste in Developing Countries : Practical Information and Case Studies / Y. Vögeli et al. Dübendorf : Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (Eawag), 2014. 135 p. URL: https://www.eawag.ch/fileadmin/Domain1/Abteilungen/sandec/publikationen/SWM/Anaerobic_Digestion/biowaste.pdf (Date of access: 26.11.2024).

23. An Overview of Biogas Production from Anaerobic Digestion and the Possibility of Using Sugarcane Wastewater and Municipal Solid Waste in a South African Context / Z. Tshemese et al. 2023. Vol. 6(1) P. 13. DOI: 10.3390/asi6010013.

24. How Does Anaerobic Digestion Work? : EPA. URL: <https://www.epa.gov/agstar/how-does-anaerobic-digestion-work> (Date of access: 26.11.2024).

25. Співпраця України та ЄС в біометановому секторі: перспективи та перешкоди / ГО “ДІКСІ ГРУП”, 2024 р. 22 с. URL: https://dixigroup.org/wp-content/uploads/2024/03/policy-brief_spivpraczya-ukrayiny-ta-yes-v-biometanovomu-sektori.pdf (дата звернення: 26.11.2024).

					162.01.04.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

26. SAF Україна. Що таке SAF Україна? URL: <https://saf.org.ua/about/> (дата звернення: 01.02.2024).

27. Sebola R., Tesfagiorgis H., Muzenda E. Production of Biogas through Anaerobic Digestion of various Wastes: Review. Chemical, Integrated Waste Management & Environmental Engineering : Int. Conf., Johannesburg, April 15-16, 2014. С. 196–201. URL: https://www.researchgate.net/publication/281836889_Production_of_Biogas_through_Anaerobic_Digestion_of_various_Wastes_Review/citations#fullTextFileContent (Date of access: 15.03.2024).

28. The role of Anaerobic Digestion and Biogas in the Circular Economy: Task 37: 2018:8 / IEA Bioenergy. 2018. 24 p. URL: https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2018/08/anaerobic-digestion_web_END.pdf (Date of access: 15.03.2024).

29. UABIO : Біогаз та біометан в Україні. URL: <https://uabio.org/biogas-and-biomethane/> (дата звернення: 01.02.2024).

30. World Bioenergy Association. URL: <https://www.worldbioenergy.org/> (Date of access: 01.02.2024).

					162.01.04.00 000 ПЗ	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТКИ

162.01.04.00.000 AC



Основной Водопроводный установкой

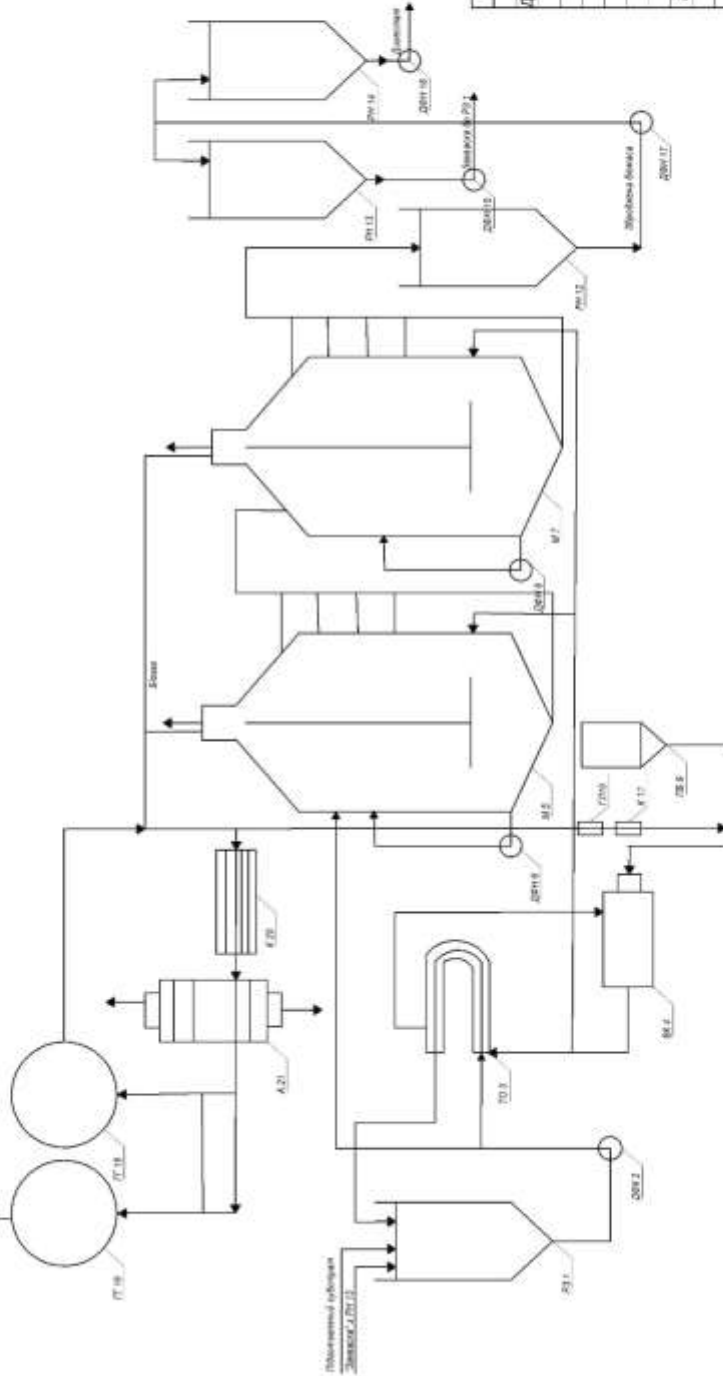


Таблица условных обозначений

Условное обозначение	Наименование
Водопоступ	Водопоступ
Водосбор	Водосбор
Водосборная установка	Водосборная установка
Водосборная установка	Водосборная установка

Перечень элементов схемы

Позиция	Наименование	Кол.
РЗ 1	Резервуар-эмульсан	1
ДРК2, 6, 8, 15-17	Дренажно-факельный насос	6
ТО 3	Теплообменник	1
ВК 4	Водосборный канал	1
М 5, 7	Металлический бак	2
ПБ 9	Плоский бак	1
ГЛ 10	Газовый люк	1
К 11	Компрессор	1
РН 12, 13, 14	Резервуар-накопитель	3
ГТ 18, 19	Газотурбинный	2
К 20	Конденсатор	1
А 21	Агрегат	1

162.01.04.00.000 AC

Позиция	Наименование	Кол.
РЗ 1	Резервуар-эмульсан	1
ДРК2, 6, 8, 15-17	Дренажно-факельный насос	6
ТО 3	Теплообменник	1
ВК 4	Водосборный канал	1
М 5, 7	Металлический бак	2
ПБ 9	Плоский бак	1
ГЛ 10	Газовый люк	1
К 11	Компрессор	1
РН 12, 13, 14	Резервуар-накопитель	3
ГТ 18, 19	Газотурбинный	2
К 20	Конденсатор	1
А 21	Агрегат	1

162.01.04.00.000 AC

