

Центральноукраїнський національний технічний університет
Факультет будівництва, транспорту та енергетики
Кафедра “Електротехнічні системи та енергетичний менеджмент”

“Допущено до захисту ”

Зав. кафедрою ЕТС та ЕМ

к.т.н., професор

_____Петро ПЛЄШКОВ

“ ____ ” _____ 2023 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА **за другим (магістерським) рівнем вищої** **освіти**

на тему

**“ Модернізація системи енергозабезпечення станції водоочистки
шляхом застосування біогазової установки ”**

Виконав здобувачка вищої освіти
2 курсу магістратури, групи ЕНМ-22М
ОПП «Енергетичний менеджмент»
спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»

_____Богдан КОНЮХ
« ____ » _____ 2023 р.

Керівник роботи

д.т.н., професор

_____Василь КЛИМЕНКО
« ____ » _____ 2023 р.

Рецензент _____

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет будівництва, транспорту та енергетики

Кафедра електротехнічних систем та енергетичного менеджменту

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Галузь знань 14 Електрична інженерія

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Освітньо-професійна програма Енергетичний менеджмент

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри

Плєшков П.Г.

«_____» _____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗА ДРУГИМ (МАГІСТЕРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ

Конюх Богдан Олександрович

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи (проекту) Модернізація системи енергозабезпечення станції
водоочистки шляхом застосування біогазової установки

Modernisation of the energy supply system of a water treatment plant by using a
biogas plant

2. Керівник роботи (проекту) Клименко Василь Васильович, д.т.н., професор

(прізвище, ім'я, по-батькові, науковий ступінь, вчене звання)

3. Строк подання студентом роботи до захисту 30.12.2023 р.

4. Мета та завдання випускної кваліфікаційної роботи (проекту)

Розроблення біогазової станції, яка використовує осади стічних вод для
забезпечення енергією водоочисної станції. Виконати оцінку можливості
використання осадів стічних вод як вихідного матеріалу для виробництва
біогазу; Здійснити огляд технологічного процесу отримання біогазу;
Провести розрахунки ключових компонентів біогазової установки та
потенційний обсяг виробництва біогазу.

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
<i>Охорона праці</i>	<i>к.т.н, доц. Савеленко І.В.</i>		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Вступ.</i>	<i>10.10.23</i>	
2	<i>Огляд і аналіз науково-технічної літератури даних щодо існуючих рішень</i>	<i>17.10.23</i>	
3	<i>Аналіз можливостей використання осаду стічних вод як вихідного матеріалу для виробництва біогазу</i>	<i>30.10.23</i>	
4	<i>Докладний аналіз технологічного процесу отримання біогазу</i>	<i>18.11.23</i>	
5	<i>Розрахунок впливових параметрів біогазової станції та вибір необхідного обладнання</i>	<i>03.12.23</i>	
6	<i>Охорона праці</i>	<i>10.12.23</i>	
7	<i>Висновки</i>	<i>16.12.23</i>	
8	<i>Оформлення пояснювальної записки та презентації магістерської роботи</i>	<i>30.12.23</i>	

Дата видачі завдання

« ____ » _____ 2023 р.

Підпис керівника _____

Завдання прийнято до виконання

« ____ » _____ 2023 р.

Підпис здобувача _____

АНОТАЦІЯ

Конюх Б.О. Модернізація системи енергозабезпечення станції водоочистки шляхом застосування біогазової установки.

Modernisation of the energy supply system of a water treatment plant by using a biogas plant.

Спеціальність 141 - «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». - ОПП «Енергетичний менеджмент». - Центральноукраїнський національний технічний університет. - м. Кропивницький, 2023 р.

Кваліфікаційна робота складається з пояснювальної записки та графічної частини. Пояснювальна записка займає 77 сторінок і включає 10 рисунків, 15 таблиць та 1 презентацію.

У сучасний період, із зростанням населення та обсягів виробництва, набуває актуальності проблема очистки стічних вод. Станції аерації, що використовуються для цього, є вкрай енергозатратними та великими споживачами електроенергії. Також важливою є проблема утилізації осаду стічних вод, яка призводить до негативного екологічного впливу та додаткових фінансових витрат. Виробництво біогазу з осаду може стати ефективним рішенням цих проблем.

Мета магістерської дисертації полягає в розробці біогазової станції, що базується на осадах стічних вод, для забезпечення енергією водоочисної станції.

Завдання дослідження включають:

Аналіз осаду стічних вод як сировини для виробництва біогазу;

Вивчення процесу метанового бродіння;

Аналіз технологічного процесу виробництва біогазу;

Розрахунок технічних параметрів біогазової установки та потенційного обсягу генерації біогазу;

Об'єктом дослідження є забезпечення енергією водоочисної станції за допомогою біогазової установки. Предметом дослідження є виробництво біогазу з осаду стічних вод для енергозабезпечення водоочисної станції шляхом спалювання біогазу.

АЛЬТЕРНАТИВНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ, БІОГАЗОВА УСТАНОВКА, ,
СИСТЕМИ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ, ОЧИСНІ СПОРУДИ

ABSTRACT

KONIUKH B. Modernisation of the energy supply system of a water treatment plant by using a biogas plant.

Модернізація системи енергозабезпечення станції водоочистки шляхом застосування біогазової установки

Specialty 141 - "Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics".
- EPP "Energy management". - Central Ukrainian National Technical University. - Kropyvnytskyi, 2023

The thesis consists of an explanatory note and graphics. The explanatory note occupies 77 pages and includes 10 figures, 15 tables, and 1 presentation.

In the modern period, with the growth of population and production volumes, the problem of wastewater treatment is becoming more urgent. Aeration stations used for this purpose are extremely energy intensive and large consumers of electricity. Also important is the problem of sewage sludge disposal, which leads to negative environmental impacts and additional costs. Biogas production from sludge can be an effective solution to these problems.

The purpose of the master's thesis is to develop a biogas plant based on sewage sludge to provide energy for a wastewater treatment plant.

The research objectives include:

Analysis of sewage sludge as a raw material for biogas production;

Study of the methane fermentation process;

Analysis of the technological process of biogas production;

Calculation of the technical parameters of the biogas plant and the potential amount of biogas generation.

The object of research is providing energy to the wastewater treatment plant using a

biogas plant. The subject of the research is the production of biogas from sewage sludge for energy supply of the wastewater treatment plant by burning biogas.

KEYWORDS: RENEWABLE ENERGY SOURCES, BIOGAS PLANT, ENERGY SUPPLY SYSTEMS, WASTEWATER TREATMENT FACILITIES

ЗМІСТ

ВСТУП	14
2. БІОХІМІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА БІОГАЗУ	17
1.1 Вплив осадів стічних вод на виробництво біогазу	17
1.2. Аналіз процесу анаеробного бродіння.....	23
1.3 Аналіз ефективності проведення анаеробне бродіння.....	25
1.4 Загальні вимоги до обладнання біогазової установки	33
Висновки до розділу 1	41
3. АНАЛІЗ ВИКОРИСТАННЯ ОСАДУ СТІЧНИХ ВОД ЯК ВИХІДНОГО МАТЕРІАЛУ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА БІОГАЗУ	42
2.1 Розрахунок маси та об'єму осаду.....	43
2.2 Розрахунок розмірів метантенку	45
2.3 Розрахунок кількості отриманого біогазу	46
2.4 Визначення об'єму газгольдера.....	46
2.5 Визначення маси осаду в стічних водах	47
2.6 Загальні витрати біогазу в реакторі	48
2.7 Розрахунок рівня енергоспоживання на станції водоочистки	50
Висновки до розділу 2	52
4. РОЗРАХУНОК РОБОЧИХ ПАРАМЕТРІВ БІОГАЗОВОЇ СТАНЦІЇ ТА ВИБІР ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ	53
3.1 Вибір обладнання біогазової станції.....	53
3.2 Підбір та характеристики когенераційної установки.....	56
Висновки до розділу 3	59

4. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ БІОГАЗОВОЇ УСТАНОВКИ.....	60
Висновок до розділу 4	66
5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ НА ВИРОБНИЦТВІ З ГОРЮЧИМИ РЕЧОВИНАМИ	67
5.1 Безпека поводження з біогазом	67
5.2 Основні правила техніки безпеки на біогазових установках	70
Висновки до розділу 5	73
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	74
ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРИ	75

ВСТУП

У зв'язку зі зростанням цін на традиційні джерела енергії та необхідністю скорочення викидів парникових газів, актуальним завданням є модернізація систем енергозабезпечення з використанням відновлюваних джерел енергії. Одним з перспективних напрямів для станцій очищення стічних вод є застосування біогазових технологій.

На даний час існує кілька основних способів утилізації осадів стічних вод - поховання на полігонах, спалювання, компостування, використання в сільському господарстві. Всі вони мають свої недоліки: забруднення довкілля, великі витрати, утворення токсичних речовин.

Використання біогазових установок, що працюють на осадах стічних вод, дозволяє вирішити проблему утилізації осаду і водночас отримати цінне джерело енергії. Перевагами є екологічність, замкнутість циклу, зменшення витрат на утилізацію. Недоліком можна вважати високу вартість обладнання.

В Україні в 2020 до навколишнього середовища було викинуто близько 50 000 т. забруднюючих речовин. Загалом близько 20 % стічних вод не проходили очищення на водоочисних станціях або були очищені недостатньо.

Недостатня очистка води має негативний вплив на здоров'я населення і сприяє забрудненню поверхневих водойм, що веде до утворення мертвих зон із недостатньою кількістю кисню [4]. Таким чином, стає очевидним, що проблема управління стічними водами пов'язана з різноманіттям екологічних та соціальних аспектів, що стосуються води.

Отримання енергії зі стічних вод виявляється досить перспективною ініціативою і може сприяти зниженню забруднення водних джерел, зменшенню викидів парникових газів (ПГ), покращенню економічної ефективності і прибутковості очисних станцій.

Біогаз, який можна виробити зі стічних вод, представляє собою ефективний

енергетичний ресурс. Його використання на очисних станціях для виробництва теплової та електричної енергії.

Основні методи утилізації осадів очисних станцій це захоронення, використання в сільському господарстві та спалювання. Усі вони пов'язані із економічними до 100 євро за тону сировини.

Анаеробна утилізація стічних вод є однією з найбільш енергоефективних технологій очищення стічних вод. Завдяки мінімальним енерговитратам і перетворенню органічних забруднювачів на відновлювану енергію - біогаз, ми отримуємо подвійний енергетичний вииграш - серйозну вигоду як зараз, так і в майбутньому.

Анаеробна утилізація за рахунок зброджування перетворює органічні відходи на газоподібний енергоносіє без споживання природних енергоносіїв. Цей процес широко використовується в інженерних системах для очищення органічних (промислових) стоків водних, органічних твердих відходів і навіть забруднень каналізаційних стоків. Анаеробна утилізація відходів виробництва в біогазових установках. Проте для конкретних промислових стічних вод потрібне більш глибоке розуміння процесів анаеробного перетворення.

Таким чином, виробництво біогазу через анаеробне зброджування пропонує безліч переваг, включаючи ефективне управління осадами та мінімізацію забруднень, а також надає важливий альтернативний енергоносіє, зменшуючи викиди парникових газів.

Біогазові установки, які функціонують на даний момент, представляють собою автоматизовані комплекси, які можуть працювати в різних технологічних режимах. На практиці застосовуються психрофільні і мезофільні режими, однак при використанні термофільного режиму час окислення знижується до 5...7 діб, це відбувається до значного зниження обсягу споруд, і збільшується обсяг виходу біогазу за рахунок високої ефективності розпаду органічних речовин. Досвід успішної експлуатації біогазових установок, дозволяє створити високопродуктивні

реактори, що дозволяють об'ємне завантаження до 30-40 кг/м³ на добу, а вихід енергії до 400 МДж/м³ реактора на добу.

Насьогодні потенціал біогазових установок з використанням промислових вод все ще залишиться нереалізованим у багатьох галузях промисловості. Застосування біогазових установок з анаеробною утилізацією для підприємств є енергоефективним рішенням для підприємств, де треба реалізувати енергоємні процеси з використанням активного мулу.

Очисні підприємства можуть підвищити енергетичну ефективність біогазових установок на основі осадів стічних вод, тому що біогаз, отриманий з осадів, є цінним поновлюваним джерелом енергії. Він містить 50-75% метану, що має високу теплотворну здатність.

З 1 тони осаду можна отримати в середньому 15-20 м³ біогазу. Це еквівалентно 8-12 літрам бензину або 15-20 кВт-год електроенергії. Тобто з осадів станції продуктивністю 10 тис. м³ на добу можна отримувати 150-200 тис. м³ біогазу на рік.

Анаеробне зброджування зменшує об'єм і масу осадів приблизно на 40%, що полегшує подальшу утилізацію.

Біогаз може використовуватися для виробництва електроенергії та тепла в когенераційних установках, що забезпечує ККД до 90%.

За рахунок утилізації біогазу очисні споруди можуть покривати до 60-70% власних потреб в енергії. Це дає значну економію коштів.

Використання біогазу дозволяє скоротити викиди парникових газів, оскільки метан має потенціал глобального потепління в 21-25 разів вищий, ніж вуглекислий газ.

1. БІОХІМІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА БІОГАЗУ

1.1 Вплив осадів стічних вод на виробництво біогазу

Стічна вода, піддаючись процесам очистки на водоочисних станціях, проходить через кілька етапів, на кожному з яких формується осад. Цей осад, залежно від типу очистки, може відрізнятися хімічним складом та фізичними властивостями. Основними видами осаду є первинний та вторинний, які використовуються в процесі виробництва біогазу.

Як було вказано раніше, під час проходження стічних вод через очисні споруди виникає осад. Зазвичай можна припустити, що на кожну особу, яка обслуговується водоочисною станцією, припадає приблизно 120 грамів забруднень. З цієї суми 40 грамів осідають у вигляді первинного осаду, а 35 грамів - на вторинному відстійнику (рис. 1.1). Це означає, що приблизно 65% маси забруднень, що потрапляють на станцію, утворюють осад.

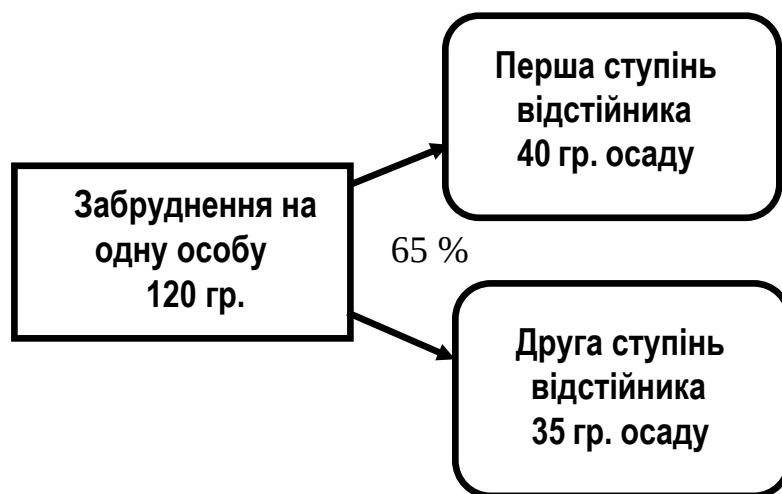


Рисунок 1.1: Розподіл забруднень у відстійниках

Елементарний склад сухої речовини осаду коливається в певних межах, і наведено таблиці 1.1.

Таблиця 1.1: Елементарний склад сухої речовини осаду

Складова	Вміст (%)
Органічні речовини	45-75
Мінеральні речовини	25-55
Вода	5-10

Ця таблиця вказує на те, що суха речовина мулу складається переважно з органічних і мінеральних компонентів, де вміст води становить невеликий відсоток. Представимо структуру органічних і мінеральних, як набір хімічних речовин, що утворюють осад.

Таблиця 1.2- Граничний вміст елементарних складових осаду

Хімічний елемент	Максимальний % маси сухої речовини в осаді	Максимальний % маси сухої речовини осаду
C	60	76
H	10	8,1
S	5	3,1
N	10	11,2
O	40	43,5
Кремній, Алюміній, Залізо, Натрій, Цинк Магній, Калій, Нікель та інші	>1..3	

Давайте розглянемо граничні вмісти деяких хімічних елементів у складі осаду

на різних етапах очищення стічних вод:

Вуглець (C): Граничний вміст вуглецю у складі осаду зазвичай може коливатися від 20% до 60% на різних етапах очищення.

Водень (H): Вміст водню в осаді також залежить від процесів очищення, але в середньому може бути приблизно 3–10%.

Сірка (S): Кількість сірки у відстійнику може бути обмеженою, і граничний вміст може становити приблизно 2–5%.

Азот (N): Граничні значення вмісту азоту у складі осаду можуть бути приблизно від 2% до 10%.

Кисень (O): Вміст кисню в осаді зазвичай високий, і граничний вміст не обмежений.

Елементи, які утворюють мінеральні домішки (Кремній, Алюміній, Залізо, Натрій, Цинк, Магній, Калій, Нікель тощо): Граничні значення цих елементів можуть бути регульовані залежно від стандартів і технологій очищення води. Їх вміст може коливатися залежно від умов.

Граничні вмісти можуть бути визначені стандартами для водних систем чи залежати від технологій конкретного очисного обладнання.

Максимальний вміст хімічних елементів у складі осаду може коливатися в залежності від конкретних умов, типу очисного обладнання та стандартів водного обладнання.

Загальна оцінка хімічного складу осадів залежить від конкретних умов та технологій очищення стічних вод. Для промислових викидів, важко дати точні значення без детального аналізу технології та безпосередньо стічних вод.

Більшість (до 75%) органічних речовин включає в себе жири, вуглеводи і білки. Загалом, у міських стічних водах практично весь об'єм складається з води, а саме 99,8%, тоді як інші 0,2 % становлять суспендовані та розчинені тверді частинки, які містять різноманітні мікроорганізми та поживні речовини. Специфічні концентрації цих з'єднань залежать від різних факторів, таких як об'єм води, рівень

населення, вміст дощової води, наявність промислових підприємств і інші [7]. Для ефективного виробництва біогазу, осади, які використовуються як субстрат, повинні вміщувати в собі значний вміст біологічно розкладаємої органічної речовини.

Проект біогазової станції, що базується на водоочисній станції, можна ілюструвати на прикладі об'єкта у м. Кропивницький, який має щоденну потужність у розмірі 104*103 м³ [8]. Склад стічних вод на даній станції подано в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 - Склад стоків водоочисної станції в м. Кропивницький

Склад стічних вод	Усереднене значення в осаді (мг/л)
Азот амонійний	22
Аніонні поверхнево активні речовини	0,6
Біохімічна потреба кисню (БПК)	246
Залізо	1,7
Зважені тверді речовини	228
Нафтопродукти	2,74
Нітрати	0,213
Нітрити	0,11
Сульфати	53,7
Сухий залишок	400
Фосфати	11,7
Хімічна потреба кисню (ХПК)	482
Хлориди	57,9
pH	7,9

Характеристика осаду отриманого на водоочисній станції в м.

Кропивницький наведено в табл. 1.4.

Таблиця 1.4 - Характеристика необробленого і зброженого осаду стічних вод

Вміст в % сухої речовини	Необроблений осад		Зброжений осад	
	Діапазон значень	Зразкове значення	Діапазон значень	Зразкове значення
Суша тверда речовина (СТР)	2-6	5	6-12	10

Продовження табл. 1.4

Вміст в % сухої речовини	Необроблений осад		Зброжений осад	
	Діапазон значень	Зразкове значення	Діапазон значень	Зразкове значення
Летка тверда речовина (ЛТР)	60-80	65	30-60	40
K ₂ O	0-1	0.4	0.3	7
N	1.5-4.0	2.5	1.6-6.0	3
P ₂ O ₅	0.8-28	1.6	1.5-4.0	2.5

Стічна вода та утворений осад містять цікаві з енергетичного зору ресурси (табл.1.5), основні з яких це фосфор, азот та вуглець. Наявність мінералів сприяє можливості використання мулу як сільсько господарського добрива та відновлювача ґрунту, що в свою чергу підвищує цінність відповідних ресурсів та підвищує економічну привабливість виробітку біогазу на водоочисній станції.

Таблиця 1.5 - Типовий склад неочищених міських стічних вод різної щільності [7]

Ресурси	Одиниці виміру	Концентрація в осаді		
		Низька	Помірна	Висока
Азот (N)	мг/л	21	42	86
Фосфор (P)		6	10	16
Органічний вуглець		67	145	280

1.2. Аналіз процесу анаеробного бродіння

Процес анаеробного бродіння — це біологічний метод розкладання органічних речовин в умовах відсутності кисню. Відбувається в анаеробних умовах, тобто без доступу кисню. Основною метою є перетворення органічних матеріалів, таких як мул, стічні води чи інші відходи, на біогаз та органічні добрива. Процес анаеробного бродіння може бути детально описаний за наступними стадіями:

Наповнення реактора:

Початковий етап полягає в наповненні реактора сировиною, такою як стічні води або мул.

Сировина вводиться в анаеробний реактор, де відсутність кисню створює умови для дії анаеробних мікроорганізмів.

Гідроліз:

Спершу відбувається гідроліз, де великі органічні сполуки розкладаються на менші за допомогою гідролітичних ферментів.

Внаслідок цього процесу утворюються спростані органічні молекули, такі як цукри і амінокислоти.

Ацетогенез:

На наступній стадії ацетогенезу гідролізовані продукти перетворюються ацетатами, воднем та вуглекислим газом.

Ацетогени відіграють ключову роль у конвертації проміжних продуктів в органічні кислоти та ацетати.

Метаногенез:

Завершальна стадія - метаногенез, де відбувається виробництво метану (CH_4).

Метаногени використовують ацетати, водень та CO_2 для виробництва метану.

Виділення біогазу:

Синтезований метан утворює біогаз, який може бути вилучений і використаний як джерело енергії.

Процес анаеробного бродіння дозволяє використовувати органічні відходи для виробництва біогазу та одночасно зменшує кількість твердих відходів. Цей ефективний метод має значний потенціал для вирішення проблем відходів та виробництва енергії в екологічно чистий спосіб.

Наведено структурну схему звичайного процесу анаеробного бродіння на рис. 1.2.

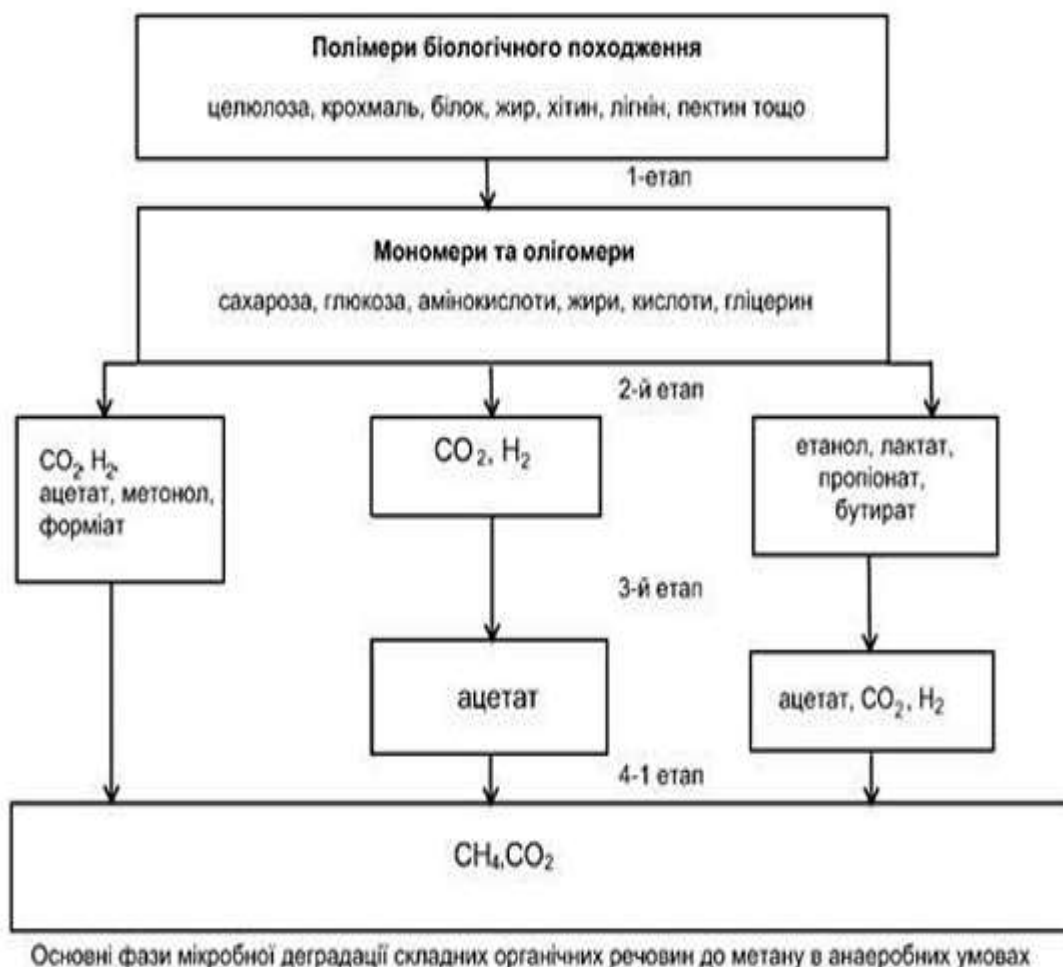


Рисунок. 1.2 - Структурна схема процесу анаеробного бродіння

Наведений на рис 1.2. процес анаеробного бродіння включає наступні етапи:

1. Гідроліз:

- На цьому етапі складні молекули, такі як білки, вуглеводи і ліпіди, піддаються розкладанню під впливом позаклітинних ферментів.

- У результаті гідролізу утворюються більш прості розчинні сполуки, такі як амінокислоти, цукри і довголанцюгові жирні кислоти.

2. Метаболізм ацидогенних бактерій:

- На цьому етапі ацидогенні мікроорганізми метаболізують утворені сполуки, перетворюючи їх в коротколанцюгові жирні кислоти, спирти, водень, вуглекислий газ і інші проміжні продукти.

3. Ацетогенез:

- Коротколанцюгові жирні кислоти під дією ацетогенних мікроорганізмів перетворюються на оцтову кислоту, водень і вуглекислий газ.

4. Метаногенез:

- На заключному етапі метаногенні мікроорганізми виробляють метан з оцтової кислоти, водню і CO_2 .

Цей анаеробний процес відбувається без доступу кисню, і в результаті утворюється метан, який може використовуватися як важливий енергетичний ресурс.

1.3 Аналіз ефективності проведення анаеробне бродіння

Анаеробне бродіння — це складний процес, і на нього впливає низка факторів.

Основні фактори, які впливають на анаеробне бродіння:

- температуру,
- рН-середовище,
- концентрація і тип субстрату,

- наявність мікроелементів,
- тиск і витрати газів,
- склад мікроорганізмів.

Температура є ключовим фактором, оскільки вона впливає на активність мікроорганізмів, включених у бродіння. Різні організми можуть мати оптимальні температурні умови для своєї діяльності.

Кожен тип мікроорганізму має свій оптимальний рівень pH для ефективного ферментативного розкладання органічних речовин. Зміна рівня кислотності може впливати на ефективність бродіння.

Наявність і концентрація органічних речовин (субстратів), таких як білки, вуглеводи і жири, визначає, наскільки ефективно може пройти гідроліз і наступні етапи бродіння.

Деякі мікроорганізми потребують наявності певних мікроелементів, таких як залізо, нікель, кобальт і інші, як каталізаторів для своєї діяльності.

Тиск і витрати газів (зокрема, водню, вуглекислого газу, метану) також можуть впливати на хід реакцій, оскільки гази можуть бути кінцевими продуктами бродіння.

Різні мікроорганізми мають різні ферменти та можливості для обробки конкретних субстратів. Склад мікробіоти впливає на характер і продуктивність анаеробного бродіння.

Розуміння цих факторів допомагає оптимізувати умови для ефективного виробництва метану та інших корисних продуктів анаеробного бродіння.

Аналіз впливу основних факторів на анаеробне бродіння можна розглядати на прикладі чотирьох ключових етапів: гідроліз, ацетогенез, метаногенез і ферментативна активність (див. рис. 1.2). Кожен етап має свої власні особливості та вимоги до умов. В процесі гідролізу висока температура сприяє активності гідролітичних ферментів, що полегшує розкладання органічних речовин на прості сполуки. Зона нейтрального або слабко кислого pH забезпечує оптимальні умови для гідролізу. Наявність різних субстратів, таких як білки, вуглеводи і жири, визначає, які

речовини будуть гідролізовані.

В процесі ацетогенезу бактерії працюють при помірних температурах, оптимально близько 35-40°C. Легка кислотність (рН 6-7) підтримує роботу ацетогенних мікроорганізмів. Продукти гідролізу, такі як коротколанцюгові жирні кислоти, слугують субстратами для ацетогенезу.

В процесі метаногенезу бактерії ефективні при температурі 35-40°C для теплового анаеробного бродіння і близько 20-30°C для холодного. Легка кислотність (рН 6-7) є оптимальною для метаногенезу. Оцтова кислота, водень і діоксид вуглецю є основними субстратами для метаногенезу.

Під час ферментації в залежності від конкретних видів ферментативних мікроорганізмів, температурні умови можуть варіюватися, але загалом знаходяться в діапазоні 25-50°C. Ферментативна активність зазвичай відбувається в нейтральному або слабкокислотному середовищі. Різні ферментативні мікроорганізми використовують різні субстрати для виробництва коротколанцюгових жирних кислот і сприяння ацетогенезу та метаногенезу.

Узагальнюючи взаємодію цих факторів, визначають характер і продуктивність анаеробного бродіння.

1.3.1 Температурні режими анаеробного бродіння.

У межах процесу анаеробної обробки розрізняють три визначені температурні діапазони:

а) Психрофільний режим (температура менше 25 °C): Вироблення біогазу коливається від сезону до сезону, залежно від атмосферної температури. Цей режим відзначається простотою конструкції та економічністю в реалізації.

б) Мезофільний режим (температура 25-40 °C): Розкладання відбувається повільніше, ніж у термофільному режимі, але з меншим споживанням енергії.

в) Термофільний режим (температура більше 40 °C): Характеризується швидкістю деградації органічних сполук та високим виходом біогазу за короткий

час.

У психрофільному режимі продуктивність розкладу субстрату та вихід біогазу є незначними, а також існує проблема неоднорідної генерації біогазу, що робить його технічно та економічно необґрунтованим і, відповідно, практично невикористовується.

Мезофільний режим привабливий через більш швидкий розклад органічних речовин, навіть за більш високої витрати теплової енергії. Він не досягає такої швидкості, як термофільний, але має важливі переваги, такі як високий вихід біогазу та ефективне дезінфікування осаду від патогенних бактерій. Щодо термофільного режиму, його недоліками є велика потреба в тепловій енергії та чутливість до найменших коливань температури. Практично в світі найпоширеніші біогазові станції, що працюють в мезофільному режимі, і саме для України з її кліматичними умовами це є найбільш раціональним варіантом [13].

Відхилення рівнів рН на рівнях 0,2-0,4 від оптимального діапазону може негативно впливати на анаеробний процес. Зокрема, метаногенні мікроорганізми виявляють вищу чутливість до змін рН порівняно з іншими мікроорганізмами. Оптимальні рівні активності різних груп бактерій, присутніх у процесі анаеробного зброджування, спостерігаються при нейтральному рН, з оптимальним показником від 5,5 до 6,5 для кислотогенних та від 7,8 до 8,2 для метаногенних. Змішані культури найбільш продуктивно функціонують при рН від 6,8 до 7,4, вважаючи нейтральний рН ідеальним.

Для ефективного протікання процесу рівень рН повинен залишатися в межах від 6,0 до 8,0. Зниження рівня рН нижче 6,0 або його перевищення понад 8,0 може впливати на якість та склад виробленого біогазу. При рН менше 6 вироблений біогаз буде малометановим, що впливає на його енергетичні властивості. Оскільки метаногенез є лімітуючою стадією процесу, важливо забезпечити близький до нейтрального рівень рН. Низькі значення рН знижують активність метаногенних мікроорганізмів, спричиняючи накопичення оцтової кислоти та H_2 . Підвищення

парціального тиску H_2 пригнічує бактерії, які розкладають пропіонову кислоту, що призводить до надмірного утворення високомолекулярних летких жирних кислот, таких як пропіонова та масляна кислоти. Це може вплинути на виробництво оцтової кислоти та знизити рівень рН. Без виправлення цієї ситуації анаеробний процес може стати малопродуктивним[13].

З іншого боку, рівень рН впливає на різноманітні хімічні баланси у середовищі, які спроможні підвищувати можливість утворення конкретного компонента, який залежить від поточного процесу. Це особливо стосується кислотно-лужного балансу аміаку та оцтової кислоти: збільшення рівня рН сприяє утворенню аміаку, який у великих концентраціях виступає як інгібітор росту мікроорганізмів. Зниження рівня рН призводить до переважно неіонізованої форми оцтової кислоти, яка пригнічує механізм розпаду пропіонату.

У багатьох випадках для забезпечення оптимального рівня рН у реакторі потрібно додавання лужності за допомогою хімікатів, таких як бікарбонат натрію, карбонат натрію, гідроксид амонію, газоподібний аміак, вапно, гідроксид натрію та калію. Бікарбонат натрію визнається більш перевагою через високу розчинність і низьку токсичність. Важливо враховувати, що рівень рН часто використовується як параметр для оцінки ефективності системи. Проте при контакті стічних вод із зовнішнім середовищем зміни парціального тиску розчинених кислотних газів, зокрема діоксиду вуглецю, призводять до змін рівня рН.

Для досягнення бажаного рівня рН в метантенку можна регулювати рН вихідної сировини, що входить до реактора, або контролювати рівень рН безпосередньо в біореакторі. Для досягнення оптимального рівня рН необхідно знати кількість хімічних речовин, які додаються до вихідної сировини в метантенк. У разі використання реактора з онлайн рН-метром, підключеним до контролера, необхідний рівень рН програмується, і хімічне додавання (кислоти або основи) автоматизується. Незважаючи на високу ефективність такого автоматизованого контролю рівня рН, він є досить витратним [13].

1.3.2 Характеристика органічних речовин муніципальних стоків

Стічна вода з муніципальних відходів характеризується низьким вмістом твердих речовин і в основному оцінюється за ХПК (хімічна потреба в кисні), що вказує на присутність органічних компонентів. Моніторинг значень ХПК є обов'язковим для уникнення проблем з розділенням твердої та рідкої фаз, що можливо при низьких концентраціях ХПК, або ризику утворення кислих побічних продуктів при високих концентраціях, які, в свою чергу, можуть виступати як інгібітори [11].

Існують технології попередньої обробки осадів, такі як гідроліз та передбачена дезінтеграція осаду (процес руйнування біомаси) за допомогою механічних, термічних або хімічних методів. Це призводить до поліпшення характеристик осаду для анаеробного бродіння, що, в свою чергу, призводить до збільшення виходу біогазу на 30-40% та зменшення обсягу зброженого осаду [13].

1.3.3 Аналіз поживних речовин в субстратах муніципальних стоків

Характеристика міських стічних вод визначається оптимальним співвідношенням елементів, необхідних для забезпечення ефективного анаеробного бродіння, і їхньої невеликої потреби у мікро- та макроорганізмах під час росту.

Співвідношення K/N/P (хімічна потреба в кисні/азот/фосфор), яке визначає результативність проходження метанового бродіння, оптимально в діапазоні 400-900:5:1. Ці значення відповідають осаду стічних вод і можуть бути скориговані в залежності від конкретних потреб.

Азот виступає основним джерелом для росту біомаси, зокрема завдяки наявності іонів амонію. У припустимих концентраціях вони позитивно впливають на процес, регулюючи значення рН. Однак в надмірних концентраціях NH_4^+ і NH_3

можуть викликати інгібуючий ефект.

Фосфор є ще одним ключовим компонентом для стабільного процесу метаноутворення. Концентрація фосфору зазвичай висока в осадах, і при $\text{pH} > 8$ може призвести до утворення фосфатів амонію і магнію. Це, в свою чергу, може спричинити утворення нерозчинних солей, які зменшують робочий об'єм метантенку та перешкоджають нормальній роботі мішалок.

1.3.4. Аналіз впливу процесу інгібування на метанове бродіння

Оскільки етап метанового бродіння включає стадії, які забезпечуються виключно анаеробними мікроорганізмами, кисень стає додатковим токсичним фактором для цього процесу. Концентрації, що перевищують >0.1 мг/л, вважаються пригнічуючими. Іншими інгібіторами можуть бути рівень pH , деякі органічні речовини, зокрема довголанцюгові жирні кислоти та спирти, у високих концентраціях, а також присутність дезінфікуючих засобів та антибіотиків. В таблиці 1.5 представлені концентрації для деяких загальноновживаних інгібіторів. Ці дані слід розглядати як орієнтовні, оскільки анаеробні бактерії мають можливість адаптуватися до умов, які спочатку сильно впливають на них.

Таблиця 1.5 –Вплив інгібіторів на метанове бродіння

Інгібітор	Концентрація інгібітора	Ефект
Амоній (NH_4^+)	>35000 мг/л ($\text{pH}=7$)	Пригнічуючий ефект зі збільшенням значення pH
Амоній (NH_4^+)	>35000 мг/л ($\text{pH}=7$)	Пригнічуючий ефект зі збільшенням значення pH
Кисень (O_2)	>0.1 мг/л	Пригнічення метаногенних анаеробних бактерій
Леткі жирні кислоти (HAc)	>2000 мг/л ($\text{pH}=7$)	Пригнічуючий ефект зі зменшенням значення pH .

Кисень може негативно впливати на анаеробний процес, оскільки є токсичним для метаногенних архей, які можуть переносити лише обмежену концентрацію кисню (знаходячись у мікроаерофільному середовищі).

Високі концентрації сульфатів у субстраті можуть призводити до пригнічення анаеробного процесу, особливо метаногенезу. У наявності сульфатів метаногенні бактерії конкурують із сульфатовідновниками за ті самі субстрати (ацетат і водень), при цьому останні мають термодинамічні та кінетичні переваги. Ця конкуренція визначатиме вміст сірководню та метану в утвореному біогазі. Сірка також є інгібітором численних бактеріальних груп, утворюючись під час розкладання сірковмісних органічних речовин, таких як білки.

Загалом метаногени є більш чутливими до сульфатів, ніж ацидогени та ацетогени, проявляючи токсичний вплив вже при концентрації сірки 50 мг/л, якщо метаногенні мікроорганізми не пристосовані до сульфідів. Найтоксичнішою формою є неіонізована (H_2S), тому інгібування спостерігається при низькому рівні рН та низьких температурах. Іонізована форма (HS^-) менше токсична.

Таким чином, інгібування поділяється на два етапи: конкуренція за субстрат між метаногенними та сульфатовідновлюваними мікроорганізмами та пряме інгібування метаногенного росту за наявності розчинних сульфідів.

Аміак може виявлятися в сировині, яка потрапляє в метантенк, або утворюватися під час анаеробного розкладання азотистих органічних сполук, таких як білки чи амінокислоти. Білки, як правило, містять 16% азоту. Протягом анаеробного процесу органічний азот гідролізується з утворенням аміачних форм. Навіть якщо аміачний азот є важливим джерелом поживних речовин для росту бактерій, його надмірна концентрація може обмежити їх ріст.

1.4 Загальні вимоги до обладнання біогазової установки

Реактор є основним компонентом для формування біогазу, де протікають процеси розкладання біомаси, у цьому випадку - осаду стічних вод. Реактори можуть мати різні форми, системи передачі теплової енергії біомасі та методи перемішування. Типові форми включають циліндричні та яйцеподібні, іноді реактори розміщуються нижче рівня ґрунту для поліпшеної теплоізоляції [15].

Матеріали реактора повинні володіти високою стійкістю до ерозії та механічною міцністю, і реактор сам по собі повинен бути абсолютно герметичним. Подача теплової енергії реалізується за допомогою теплообмінників, частіше за все через шланги або труби з теплоносієм у вигляді води, температура якої не повинна перевищувати 60°C для запобігання нагріванню субстрату на поверхні теплообмінника [15].

Мішалки служать для перемішування субстрату для вирівнювання концентрацій по всьому об'єму метантенку та уникнення утворення кірки на його поверхні. Використовуються механічні, гідравлічні та пневматичні мішалки. Також важливо забезпечити чистоту реактора перед його використанням, для цього використовується вода під тиском разом із миючими засобами [15]. Отриманий біогаз піддається кільком етапам очищення від сірки та води.

1.4.1 Склад біогазу

Склад біогазу, який виробляється, визначається різними чинниками, такими як тривалість бродіння, що залежить від температурного режиму. Однак точно передбачити склад біогазу є складним завданням через наявність значної кількості домішок, таких як CO_2 , H_2S , NH_3 , H_2 . Ці домішки піддаються очищенню на наступних етапах, і характерний склад біогазу представлено в [15].

Таблиця 1.6 Характерний склад біогазу

Назва елементу	Аміак	Водень	Вуглекислий газ	Метан	Сірководень
	NH_3	H_2	CO_2	CH_4	H_2S
Вміст %	<1	0,2-1,1	28-45	54-71	0,21-3,3

1.4.2 Загальний опис установки для виробництва біогазу

Біогазові станції різняться в залежності від використаних технологій, які передбачені на етапі проектування. Узагальнено, вони поділяються на одноступеневі та двоступеневі комплекси. Основна різниця полягає у використанні додаткового апарату для гідролізу, який додатково обробляє осад. Ця технологія виглядає привабливою через збільшення об'ємів виробництва біогазу та зменшення кількості утвореного осаду в кінцевому результаті. В сучасному світі, однак, більш поширеними залишаються одноступеневі комплекси.

Типова конфігурація біогазового комплексу наведена на рис. 1.3.

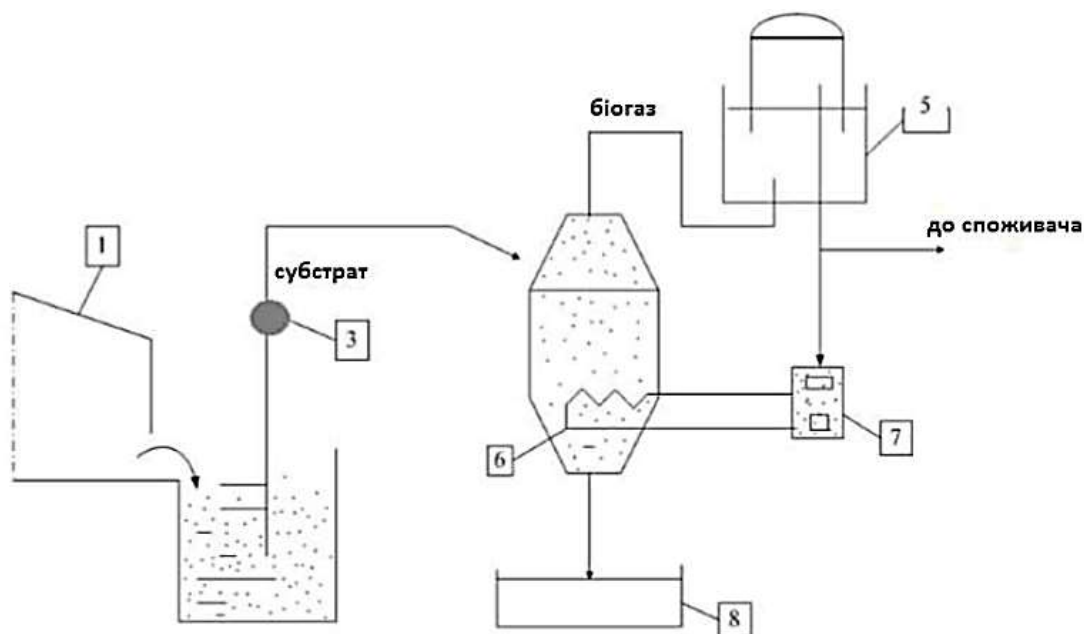


Рис.1.3 - Принципова схема біогазової установки:

1 - ферма, 2 - приймальний бункер, 3 - насос, 4 - метантенк, 5 - газгольдер, 6 -

теплообмінник, 7 - когенераційна установка, 8 – сховище добрив.

1.4.2 Первинна обробка осаду

У цьому дослідженні осад розглядається як потенційний джерело біогазу. Тому далі ми вкоротимо процеси водоочисної станції, розглянемо утворення осаду і його попередню підготовку перед введенням у процес метанового бродіння. Схема з основними етапами отримання біогазу наведена на рисунку 1.4 [16].

Осад, який виділяється під час очищення стічних вод у первинному відстійнику, характеризується значною кількістю органічних сполук та оптимальним складом для метаногенезу. Вміст сухих речовин становить приблизно 3...4%, а органічної складової - 68% [16].

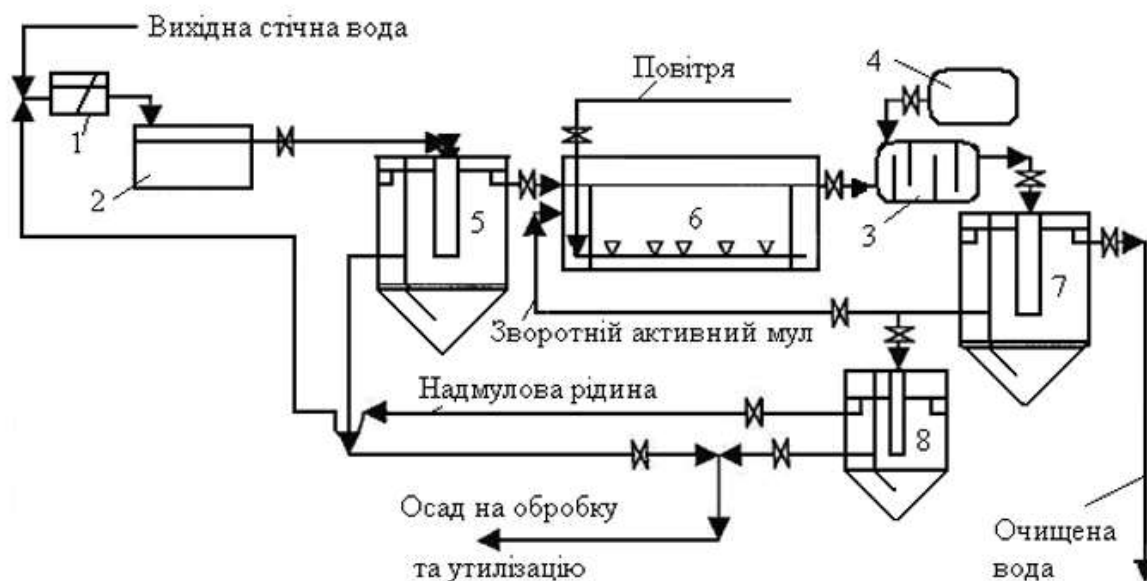


Рисунок 1.4 - Принципова схема отримання біогазу водоочисної станції

Осад, який видаляється з вторинного відстійника, має високий вміст мікроорганізмів. З метою видалення азоту використовується зворотно активний мул. Також на цьому етапі виникає надлишковий мул, який не використовується як субстрат для виробництва біогазу, і його кількість залежить від часу відстоювання,

кількості використаних субстратів та інших додаткових етапів очистки.

Через високу вологість осаду, що становить приблизно 95-99%, використовується технологія ущільнення як додатковий метод попередньої обробки осаду перед метаногенезом.

Згідно наведеної схеми можна висновувати, що осад формується на етапах очищення в первинному та вторинному відстійниках, відзначаючись фізичними та біологічними властивостями.

Технології ущільнення осаду перед метаногенезом є важливим етапом в обробці стічних вод і виробництві біогазу. Цей процес допомагає підготувати осад до ефективного використання в метаногенному бродінні. Нижче наведено деякі з технологій ущільнення осаду:

1)Механічне ущільнення:

1.1)Центрифугування: Використовує обертовий рух для відокремлення води від осаду. Це призводить до утворення більш концентрованого осаду, готового для метаногенезу.

1.2)Фільтрування: Використовуються спеціальні фільтри для видалення зайвої води, що збільшує концентрацію органічних речовин в осаді.

2)Термічне ущільнення:

Застосовує тепло для випаровування води з осаду, що призводить до утворення сухого осаду з високою концентрацією.

3)Хімічне ущільнення:

Застосування хімічних реагентів: Додавання хімічних реагентів, таких як полімери, що збільшують в'язкість, дозволяє видалити зайву воду та утворити густий осад.

4)Механо-біологічне ущільнення: Ущільнення за допомогою бактерій: Застосування мікроорганізмів для покращення консистенції осаду шляхом зниження водяного вмісту.

5)Ущільнення під впливом тиску:

б) Гідромеханічне ущільнення: Використовує тиск для видалення зайвої води та стискання осаду.

1.4.3 Опис процесу стабілізації осадів

Процес стабілізації осаду служить для розкладання органічних речовин на діоксид вуглецю, метан і воду.

Метантенк складається з реактора або ємності для сировини, газового контейнера для виведення біогазу, введення або завантаження осаду та виведення або вивантаження забродженого осаду. Реактор є основним апаратом, де відбувається метаногенез.

Реактори можуть мати циліндричну, кубічну, яйцевидну або прямокутну форму, хоча більшість сучасних резервуарів мають циліндричну форму. Дно нахилений для видалення неорганічних матеріалів, що осідають, а кришки утримують температуру, запобігають виходу запахів і забезпечують герметичність.

На рис. 1.5 подано приклади яйцевидної та циліндричної форми метантенку.



а)



б)

Рисунок 1.5 Зовнішній вигляд метантенку:

а- яйцеподібна; б- циліндрична

Під час стабілізації осаду в метантенку зазвичай використовується паралельний режим з 2-3 реакторами [15].

Процеси генерації біогазу залежать від численних факторів, включаючи склад осаду, процеси попередньої обробки, а також час перебування осаду в метантенку, що визначається температурним режимом.

1.4.4 Накопичення біогазу

Накопичення біогазу виконує кілька функцій, зокрема, забезпечує резерв енергії для станції у випадку аварійної ситуації та регулює тиск в газовій системі.

Газгольдини можуть бути встановлені послідовно чи паралельно, проте рекомендується розміщення їх після очищення біогазу для уникнення можливих неполадок в іншому обладнанні. Таким чином, оптимальним рішенням може бути розташування газгольдера між метантенком та когенераційною установкою для уникнення розшарування біогазу. Також важливо використовувати факельну лінію для спалювання надлишкового біогазу.

На рисунку 1.15 показано двохмембранний газгольдер.

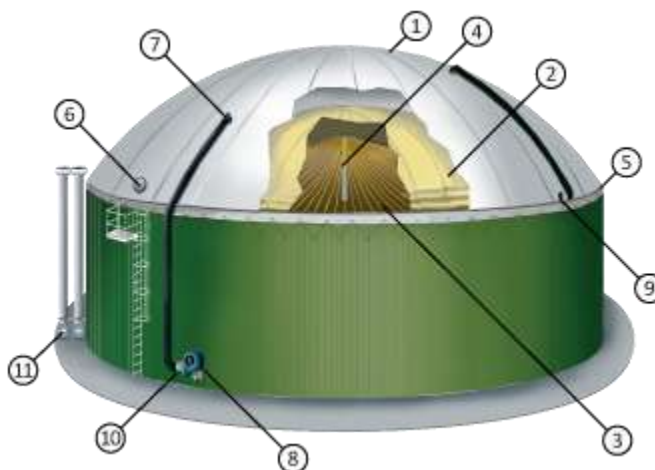


Рисунок 1.6 Зовнішній вигляд двохмембранного газгольдера.

- 1.Газгольдер; 2.Зовнішня мембрана; 3.Внутрішня мембрана; 4.Нижня мембрана;
- 5.Закріплення; 6. Повітряна підтримка повітродувки; 7.Оглядове вікно; 8.Запобіжний клапан;
- 9.Вимірювання рівня наповнення; 10.Клапан регулювання тиску; 11.Зворотний клапан

Зазвичай система двох мембранного зберігання біогазу призначена для

- 1)Етап механічної очистки; 2) Первинний відстійник; Вторинний відстійник; 4) Збірник осаду; 5) Метантенк; 6) Флокулятор; Десульфурізатор; 8) Сепаратор; 9) Газгольдер; 10)Когенераційна установка; 11) Сушильний апарат; 13) Мулоущільнювач; 13) Аеротенк;

Технологічний процес отримання біогазу з осаду стічних вод є складним і включає декілька ключових етапів, описаних нижче:

1. Попередня обробка осаду. Осад, який формується на етапах механічної та біологічної очистки стічних вод, піддається попередній обробці. Цей процес включає в себе ущільнення осаду для зменшення вологості та видалення непотрібних домішок.

2. Метантенк. Очищений осад подається до метантенка, що є ключовим елементом у виробництві біогазу. Метантенк може мати різні форми (циліндричну, яйцеподібну тощо) і використовується для стабілізації осаду та проведення анаеробного бродіння.

3. Біохімічний процес метаногенезу. У метантенку відбувається біохімічний процес метаногенезу, під час якого мікроорганізми перетворюють органічні речовини в метан та діоксид вуглецю в анаеробних умовах.

4. Збір біогазу. Вивід біогазу, який утворюється під час метаногенезу, здійснюється із метантенка. Збираючи біогаз, система гарантує герметичність та ефективність процесу.

5. Акумуляція біогазу. Для забезпечення станції в разі аварії та регулювання тиску в газовій системі, біогаз акумулюється у газгольдерах.

6. Використання біогазу. Зібраний біогаз використовується для енергопостачання когенераційних установок, що генерують тепло та електроенергію для водоочисної станції та інших потреб.

Висновки до розділу 1

У цьому розділі вивчено потенціал осаду стічних вод як відновлювального енергетичного ресурсу для генерації біогазу. Проаналізовані етапи очищення води, механізм утворення осаду та його характеристики. Детально розглянуті методи попередньої обробки осаду.

Вивчено технологію виробництва біогазу, зосередившись на стадіях анаеробного бродіння та факторах, які впливають на цей процес. Детальний аналіз впливу температурного режиму та значень рН на процес метаноутворення дозволив вибрати оптимальні параметри.

Розглянуто схему біогазової станції, зокрема метантенків, проведено аналіз їхньої форми, використаних матеріалів та систем підігріву з перемішуванням.

Розроблено апаратно-структурну схему з докладним етапним описом технологічного процесу обробки стічних вод, утворення та попереднього оброблення осаду, процесів утворення біогазу, його очистки та спалювання.

2. АНАЛІЗ ВИКОРИСТАННЯ ОСАДУ СТІЧНИХ ВОД ЯК ВИХІДНОГО МАТЕРІАЛУ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА БІОГАЗУ

Для проведення розрахунків розмірів метантенку та кількості отриманого біогазу, спочатку необхідно виконати попередні розрахунки маси та об'єму осаду, який утворюється на водоочисній станції. Далі використаємо ці дані для визначення параметрів метантенку та обсягу виробленого біогазу.

Крок 1: Розрахунок маси та об'єму осаду

Збір даних: Склад стічних вод (вміст органічних та неорганічних речовин). Розрахунок об'єму стічних вод, що подаються на водоочисну станцію.

Визначення маси осаду: Використовуючи вміст органічних речовин, розрахувати масу осаду, який утворюється під час очистки.

Визначення об'єму осаду: Розрахунок об'єму осаду, враховуючи його густина та консистенцію.

Крок 2: Розрахунок розмірів метантенку

Вибір параметрів метантенку: Форма метантенку (циліндрична, яйцеподібна і т.д.). Матеріал конструкції (бетон, нержавіюча сталь і т.д.). Параметри теплоізоляції та стійкості до ерозії.

Розрахунок об'єму метантенку: Визначення об'єму, необхідного для зберігання утвореного біогазу.

Розрахунок розмірів метантенку: Детальний розрахунок діаметра та висоти метантенку відповідно до вибраних параметрів.

Крок 3: Розрахунок кількості отриманого біогазу

Визначення вмісту метану в біогазі: Врахування концентрації метану в згенерованому біогазі.

Розрахунок кількості біогазу: Визначення кількості метану, що може бути вироблено відповідно до об'єму осаду та його характеристик.

Врахування ефективності процесу: Залучення факторів, які можуть впливати на ефективність генерації біогазу (температурний режим, ступінь очистки та ін.).

2.1 Розрахунок маси та об'єму осаду

Кількість сухої речовини (СРС) осаду $O_{\text{сух}}$ і активного мулу (АМС) $N_{\text{сух}}$, що утворюються на водоочисній станції м Кропивницький. Вихідні дані по якій наведені в таблиці 1.2:

$$O_{\text{сух}} = \frac{C * E * k}{10^6} * Q = \frac{220 * 0,5 * 1,1}{10^6} * 104000 = 12,58 \text{ (т)} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} N_{\text{сух}} &= \frac{0,8 * C * (1 - E) + \alpha * L_a - b}{10^6} * Q = \\ &= \frac{0,8 * 220 * (1 - 0,5) * 0,4 * 240 - 15}{10^6} * 104000 \\ &= 17,576 \text{ (т)} \end{aligned} \quad (2)$$

де C – концентрація речовин у стічних водах на вході первинного відстійника, мг/л; L_a – біохімічна киснева потреба, мг/л; E – ефективність затримання решток на первинних відстійниках; Q – усереднена витрата стоків, м³ / добу; k – коефіцієнт, що зважає на збільшення обсягу осаду (1,1-1,2); T – виніс АМ з вторинного відстійнику, мг/л; $a = 0,3-0,5$ – коефіцієнт наростання активного мулу.

Розрахунок кількості беззольної речовини в осаді $O_{\text{без}}$ і в АМ $N_{\text{без}}$

$$\begin{aligned} O_{\text{БЕЗ}} &= \frac{O_{\text{сух}} * (100 - B_r) * (100 - 3_{\text{ос}})}{10^4} = \\ &= \frac{12,58 * (100 - 5) * (100 - 27)}{10^4} = 8,727 \text{ (т)} \end{aligned} \quad (3)$$

$$N_{\text{БЕЗ}} = \frac{N_{\text{сух}} * (100 - B'_{\Gamma}) * (100 - Z_{\text{ос}})}{10^4} =$$

$$= \frac{17,576 * (100 - 5) * (100 - 25)}{10^4} = 12,523 \text{ (т)} \quad (4)$$

де B_{Γ} , B'_{Γ} - гігроскопічна вологість сирого осаду у стічних водах і АМ,%; $Z_{\text{ос}}$ - зольність осаду в стоці і мулу, %.

Розрахунок обсягів витрати сирого осаду і надлишкового АМ після гравітаційного ущільнення:

$$V_{\text{ос}} = \frac{100 * O_{\text{сух}}}{(100 - W_{\text{ос}}) * \rho_{\text{ос}}} = \frac{100 * 12,584}{(100 - 95) * 1} = 251,68 \text{ (м}^3\text{/добу)} \quad (5)$$

$$V_{\text{мул}} = \frac{100 * N_{\text{сух}}}{(100 - W_{\text{мул}}) * \rho_{\text{мул}}} = \frac{100 * 17,576}{(100 - 97) * 1}$$

$$= 585,867 \text{ (м}^3\text{/добу)} \quad (6)$$

де $W_{\text{ос}}$ - вологість сирого осаду (СО) в стічних водах, %; $W_{\text{мул}}$ - вологість надлишкового АМ, %; $\rho_{\text{ос}}$, $\rho_{\text{ил}}$ - щільності СО і АМ.

Розрахунок загальної витрати осадів стічних водах на станції:

В масі СРС:

$$M_{\text{сух}} = O_{\text{сух}} + N_{\text{сух}} = 12,584 + 17,576 = 30,16 \text{ (т)} \quad (7)$$

В масі беззольної речовини:

$$M_{\text{БЕЗ}} = O_{\text{без}} + N_{\text{без}} = 8,727 + 12,523 = 21,25 \text{ (т)} \quad (8)$$

За об'ємом суміші осадів з фактичною вологістю:

$$M_{\text{заг}} = V_{\text{ос}} + V_{\text{мул}} = 251,68 + 585,867 = 837,547 \text{ (М}^3\text{)} \quad (9)$$

Відносне значення вологості/зольності у суміші осадів:

$$B_{\text{см}} = 100 * \left(1 - \frac{M_{\text{сух}}}{M_{\text{заг}}}\right) = 100 * \left(1 - \frac{30,16}{837,547}\right) = 96,399 \text{ (\%)} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} Z_{\text{см}} &= 100 * \left(1 - \frac{M_{\text{без}}}{O_{\text{сух}} * \frac{100 - B_{\Gamma}}{100} + N_{\text{сух}} * \frac{100 - B'_{\Gamma}}{100}}\right) = \\ &= 100 * \left(1 - \frac{21,25}{12,584 * \frac{100 - 5}{100} + 17,576 * \frac{100 - 5}{100}}\right) \\ &= 25,834 \text{ (\%)} \end{aligned} \quad (11)$$

2.2 Розрахунок розмірів метантенку

Розрахунок необхідного об'єму метантенку:

$$V = M_{\text{заг}} * \frac{100}{D} = 837,547 * \frac{100}{9} = 9300 \text{ (М}^3\text{)} \quad (12)$$

Враховуючи отримані дані, з точки зору конструкційних властивостей визначається використання трьох метантенків із наступними характеристиками:

- Об'єм одного метантенку – 3200 м³;
- Діаметр метантенку – 18 м;
- Висота метантенку – 12,5 м;

2.3 Розрахунок кількості отриманого біогазу

Розрахунок значення для визначення межі розпаду суміші осадів.

Межа розпаду для СО і АМ:

$$\alpha = \frac{(\alpha_o * O_{\text{без}} + \alpha_{\text{ил}} * N_{\text{без}})}{M_{\text{БЕЗ}}} = \frac{(53 * 8,727 + 44 * 12,537)}{21,25} = 47,7 (\%) \quad (13)$$

де α_o , $\alpha_{\text{мул}}$ – межі розпаду відповідно СО і АМ прийняті згідно [2].

Визначимо об'єм отриманого газу, м³ з 1 кг беззольної речовини:

$$\Gamma' = \frac{(\alpha - n * Д)}{100} = \frac{(47,7 + 0,53 * 9)}{100} = 0,429 \left(\frac{\text{М}^3}{\text{КГ}} \right) \quad (14)$$

Звідки загальний вихід газу:

$$\Gamma = \Gamma' * M_{\text{БЕЗ}} = 0,429 * 21,25 * 1000 = 9138 \left(\frac{\text{М}^3}{\text{ДОБ}} \right) \quad (15)$$

2.4 Визначення об'єму газгольдера

На випадок аварійної ситуації на станції та з метою регулювання тиску в газовій системі та на випадок аварійної ситуації, повинен буди передбачений газгольдер.

Розрахунок об'єму газгольдера виконується за допомогою наступної формули:

$$V = \frac{P_{\text{атм}} \cdot T_{\text{атм}} \cdot Z_{\text{атм}}}{Q \cdot P \cdot Z \cdot T} \quad (16)$$

де V - об'єм газгольдера, Q - об'єм (метану) біогазу, що виробляється ($\text{м}^3/\text{год}$), P - тиск біогазу на виході з установки (Па), Z - коефіцієнт стиснення біогазу, T - температура біогазу (К), $P_{\text{атм}}$ - атмосферний тиск (Па), $T_{\text{атм}}$ - атмосферна температура (К), $Z_{\text{атм}}$ - коефіцієнт стиснення.

Для технічних розрахунків дозволяється використовувати спрощену формулу розрахунку об'єму газгольдера:

$$V_{\Gamma} = \frac{h * \Gamma}{24} = \frac{5 * 9138}{24} = 1800 (\text{М}^3) \quad (17)$$

де h - час зберігання метану (біогазу) (для даного розрахунку прийнято рівним 5 год).

Встановлюємо 2 газгольдери одиничним об'ємом 1000 м^3 .

2.5 Визначення маси осаду в стічних водах

Визначимо масу виходу осаду після процесу анаеробного зброджування. Маса субстрату (беззольного) в отриманій суміші зброджування:

$$M'_{\text{БЕЗ}} = \frac{M_{\text{БЕЗ}} * (100 - 100 * \Gamma')}{100} = \frac{21,25 * (100 - 100 * 0,29)}{100} = 12,134(\text{T}) \quad (18)$$

Маса сухої речовини в отриманій суміші зброджування:

$$M'_{\text{сух}} = (M_{\text{сух}} - M_{\text{БЕЗ}}) + M'_{\text{БЕЗ}} = (30,16 - 21,25) + 12,134 = 21,044(\text{T}) \quad (19)$$

де $(M_{\text{сух}} - M_{\text{БЕЗ}})$ - частина зольного осаду, яка не приймає участі в процесі зброджування.

Зольність отриманої суміші зброджування визначається за формулою, %:

$$3'_{\text{см}} = 100 - \frac{M'_{\text{БЕЗ}} * 10^4}{M'_{\text{сух}} * (100 - B''_{\text{Г}})} = 100 - \frac{12,134 * 10^4}{21,044 * (100 - 6)} = 38,66 (\%) \quad (20)$$

де $B''_{\text{Г}}$ – відносна кількість води, поглиненої сумішшю зброджування.

Вологість отриманої суміші зброджування:

$$B'_{\text{см}} = 100 - \frac{M'_{\text{сух}}}{M_{\text{общ}}} * 100 = 100 - \frac{21,044}{837,547} * 100 = 97,5 (\%) \quad (21)$$

Збір та аналіз водних зразків допомагає визначити концентрацію осаду. Після вимірювань ви можете використовувати цю формулу для розрахунку маси осаду в стічних водах.

2.6 Загальні витрати біогазу в реакторі

Врахування всіх складових втрати тепла впливає на ефективність системи підігріву при розрахунках. Тому слід враховувати температурні вимоги для оптимального метаногенезу та ефективності біогазового процесу. Розрахунок енергії витраченої для нагріву і контролю температури субстрату за добу визначається:

$$Q_{\text{під}} = M_{\text{сух}} * C_{\text{РБ}} * (T_{36} - T_3) = 30,17 * 4,18 * 10^{-3} * (36 - (0,5)) = 3,9 \left(\frac{\text{МДж}}{\text{доб}} \right) \quad (22)$$

Середньомісячна кількість теплоти необхідної для нагріву біологічного субстрату:

$$QM_{\text{під}} = Q_{\text{під}} * 31 = 3,9 * 31 = 121,1 (\text{МДж})$$

(23)

Визначимо значення тепловтрат через стінки реактору:

$$\begin{aligned} Q_{ВТ} &= k_T * S_{мет} * (T_{36} - T_{31}) = 0.5 * 1600 * (36 - 5) \\ &= 2,48 * 10^4 (\text{МДж}) \end{aligned} \quad (24)$$

де: T_{31} – нормативне значення температури для розрахунку тепловтрат

Визначимо тепловтрати в метантенку до навколишнього середовища:

$$\begin{aligned} Q_{МВТ} &= 3.6 * 10^{-3} * Q_{ВТ} * T_{міс} = 3,6 * 10^{-3} * 2,48 * 10^4 * 672 \\ &= 6 * 10^4 (\text{МДж}) \end{aligned} \quad (24)$$

Розрахунок енергії, необхідної для забезпечення процесу генерації біогазу протягом місяця в трьох метантенках.

$$\begin{aligned} Q_{Мзаг} &= Q_{Мпід} + 3 * Q_{МВТ} = 121,1 + 3 * 6 * 10^4 \\ &= 3,6 * 10^5 (\text{МДж}) \end{aligned} \quad (25)$$

Обсяг біогазу, необхідний для збереження оптимальної температури всередині метантенку протягом одного дня.

$$V(M_{бг}) = \frac{Q(M_{заг})}{Q_H} = \frac{3,6 * 10^5}{23 * 30} = 455 (\text{М}^3) \quad (26)$$

Загальний об'єм отриманого біогазу визначається:

$$V(M_{бг_ТОВ}) = V_{М_біогаз} - V(M_{бг}) = 9138 - 455 = 8683 (\text{М}^3) \quad (27)$$

Внаслідок виконаних розрахунків отримуємо обсяг біогазу на рівні 9138 м³ щоденно, з яких близько 455 м³ використовується для підтримки процесу бродіння та

покриття можливих втрат. З урахуванням цього, загальний об'єм отриманого біогазу складає 8683 м^3 на добу, що розподіляється як 362 м^3 на годину або $6,07 \text{ м}^3$ на хвилину.

2.7 Розрахунок рівня енергоспоживання на станції водоочистки

Для проведення аналізу енергозабезпечення станції, необхідно також оцінити її енергоспоживання. У нашому випадку, станція, розташована у центрі міста Кропивницький, в зоні приватного сектору, споживає приблизно 36440 кВт*год за день або 13300 кВт*год за робочий період.

Крім того, було проведено дослідження розподілу енергозатрат для аераційної станції, що представлено на рис. 2.1, та наведено значення основних електричних споживачів у табл. 2.1.

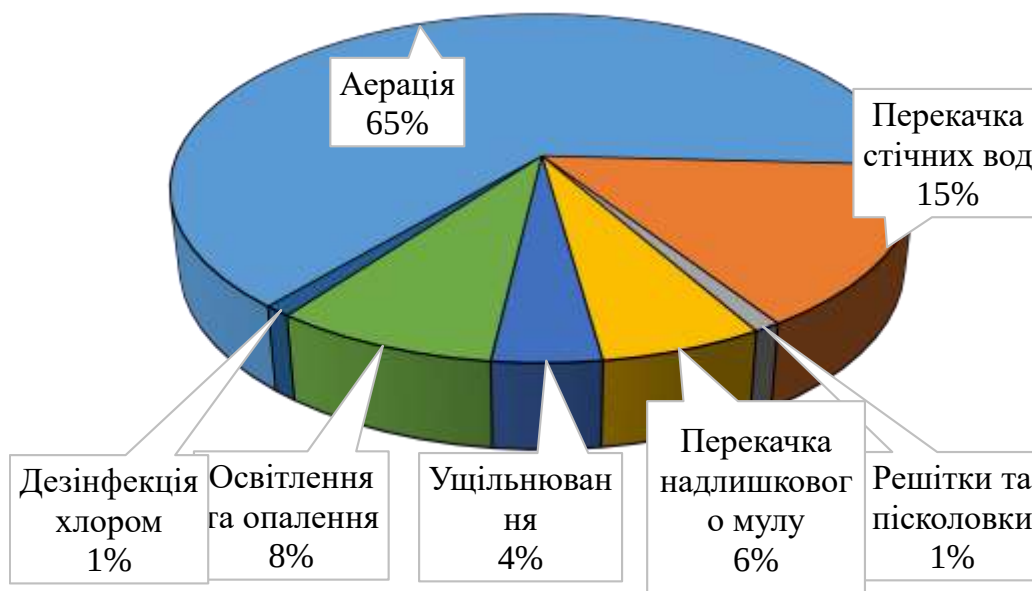


Рисунок 2.1 - Розподілу енергозатрат для аераційної станції

Таблиця 2.1 – Споживання електроенергії в технологічних процесах на станції
водоочистки

Назва технологічного процесу	Споживання ел. ен., кВт*год
Аерація	23590
Перекачка стічних вод	5466
Решітки та пісколовки	364
Перекачка надлишкового мулу	2186
Ущільнювання	1458
Освітлення та опалення	3015
Дезінфекція хлором	370
Разом	36449

Висновки до розділу 2

Згідно розрахунків загальний об'єм метантенка складає 9300 м^3 , для зменшення розмірів метантенку, для зберігання біогазу використовується три метантенки об'ємом 3200 м^3 .

Загальний вихід біогазу становить 9138 м^3 на добу, що свідчить про ефективність генерації біогазу на даній водоочисній станції. Незважаючи, що витрати біогазу на різноманітні потреби, зокрема на підігрів субстрату, утримання температурного режиму та покриття втрат через стінки метантенку, вони становлять 455 м^3 на добу.

Вихід біогазу складає 8683 м^3 на добу, який може бути використаний для виробництва енергії, що становить близько 20000 кВт*год . Так як, енергоспоживання станції аерації складає 36440 кВт*год на день, це вказує на неможливість повного забезпечення потреби водоочисної станції електричною енергією.

3. РОЗРАХУНОК РОБОЧИХ ПАРАМЕТРІВ БІОГАЗОВОЇ СТАНЦІЇ ТА ВИБІР ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ

3.1 Вибір обладнання біогазової станції

На підставі проведених розрахунків та отриманих основних даних, зокрема об'єму осаду, що буде завантажуватися в метантенк (837 м³/добу) при урахуванні мезофільного режиму, було обрано 3 метантенки обсягом 3200 м³ кожен. Вигляд цих реакторів представлено на рис. 3.1, а їх технічні характеристики узагальнено в табл. 3.1.

Підбір обладнання був здійснений з урахуванням вхідних параметрів, зокрема 837 м³/добу осаду на добу при мезофільному температурному режимі. Зазначено фактично необхідний об'єм метантенку, який становить 9300 м³. На основі цього вибрано трійку метантенків обсягом 3200 м³ кожен. Загальний вигляд обраного обладнання представлено на рис. 3.1, а його технічні параметри узагальнено в табл. 3.1.

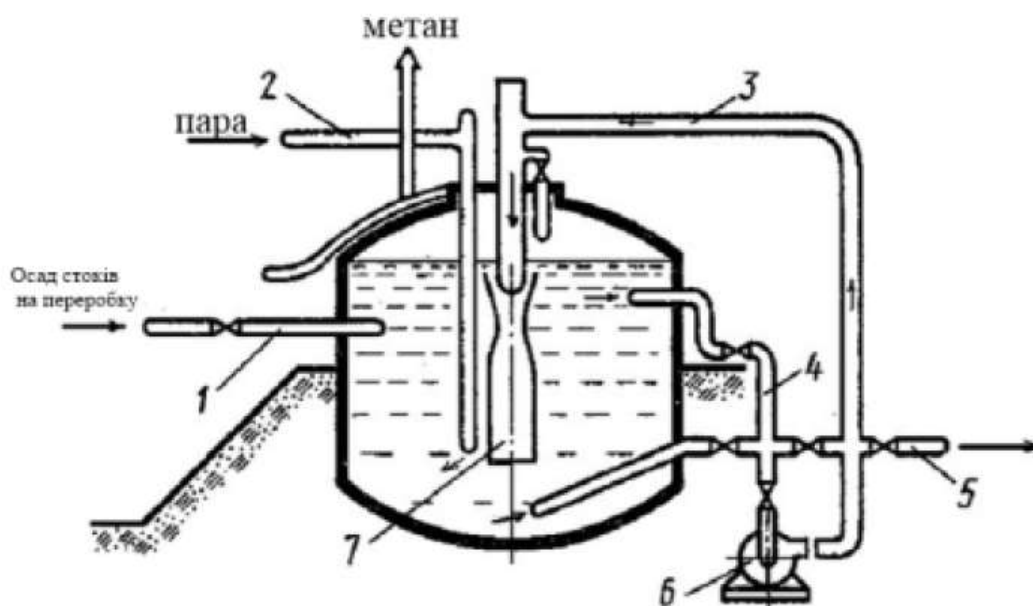


Рисунок 3.1 Схема будови реактора (метантенку)

1. Приймальна труба; 2. Подача пари; 3. Трубопровід циркуляції осаду; 4. Випуск мулу; 5. Випуск осаду бродіння; 6. Насос перемішування осаду; 7. Гідроелеватор

Таблиця 3.1 – Вихідні дані та розрахункові параметри метантенка

Робочі параметри	Розрахункові значення
Кислотність (pH)	6,8-7,5
Висота	12,5
Витрати біогазу на підігрів та контроль тех. процесу	455 м ³ /добу
Продуктивність біогазу	9138 м ³ /добу
Діаметр	18 м
Витрата води	104000 м ³ /добу
Витрата осаду	837 м ³ /добу
Кількість та об'єм метантеків	3х3200 м ³
Генерація біогазу	8683 м ³ /добу
Об'єм біогазу в рік	3,169*10 ⁶ м ³
Витрата біогазу на хвилину	6,07 м ³ /хв
Температурний режим реактора	Мезофільний(36±1°C)

Один із ключових компонентів метантенку - мішалка, яка гарантує однорідність субстрату і запобігає утворенню кірки на поверхні. Відповідно до параметрів реактора, зокрема його робочого об'єму, була обрана відповідна мішалка.

Основні характеристики цього пристрою представлено в табл. 3.2, а його зовнішній вигляд показано на рис. 3.2. Також для обраного засобу перемішування була електрична схема з підключенням, яка розглядається на рис. 3.3.

Таблиця 3.2 Параметри мішалки реактора

Параметр	Позначення
Марка мішалки	Ebara EBAMIX XM60
Параметр	Позначення
Номінальна потужність	12 кВт
Номінальний струм	21,5 А
Циркуляційна потужність	27600 м ³ /год
Швидкість пропелера	340 об/хв
Діаметр	1,75 м
Кількість в метантеку	1 шт.
Тривалість роботи	5 год/добу
Осьове зусилля	2270 Н



Рис. 3.2. Зовнішній вигляд мішалки

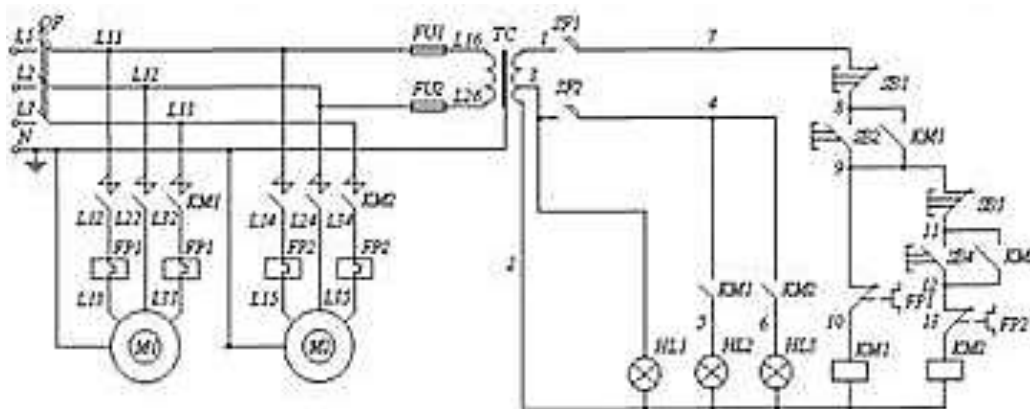


Рис. 3.3 – Типова принципова електрична схема керування роботою мішалки

QF - Автоматичний вимикач ВА47-29 1Р; SB 1,2 - Стоп-пуск кнопка ПМК 32 (LE1-D32); KM - Контактор, магнітний пускач ПМ-2-29-01; КК - Електротеплове реле РТІ-2355; КТ - Реле часу ІЕК ОРТ 400 В; SA - Вимикач ЕСО FB/63

На Рисунку 3.3 зображено принципову електричну схему для підключення мішалки, де пуск та стоп виконується за положеннями кнопок запуску та зупинки схеми керування (відповідно SB2 та SB1).

3.2 Підбір та характеристики когенераційної установки

Додатково, виконано відбір когенераційної установки, враховуючи вихід товарного біогазу на рівні $6,07 \text{ м}^3/\text{хв}$. Обрана когенераційна установка TCG3016V16S, оснащена форсованим 16-циліндровим газовим двигуном типу MWM, загальний ККД на рівні 41,5%. Під час експлуатації дана установка виробляє електроенергію та постачає теплову енергію для місцевого використання. Зовнішній вигляд пристрою представлено на рис. 3.4. Також виконано розрахунки з генерації електричної та теплової енергії цією установкою, а їх результати викладено в табл. 3.3.



Рис. 3.4 – Зовнішній вигляд когенераційної установки TCG3016V16S

Технічні характеристики когенераційної установки TCG3016V16S:

- Електрична потужність 1000 кВт
- Частота обертання двигуна 1500 об/хв
- Напруга генератора 0,4 кВ
- Необхідний тиск газу на вході 20...200 мбар
- Витрата масла на чад 0,1 г/кВт·год ел.
- Паливо: природний газ, метанове число – MN 80, $\text{NO}_x \leq 500 \text{ мг/нм}^3$
- Теплова потужність 1139 кВт
- Електричний ККД 41%
- Тепловий ККД 47%
- Споживання палива* 2430 кВт

Таблиця 3.3 – Результати розрахунку роботи біогазової установки

Розрахункове значення	Енергія за розрахунковий період, тис. кВт * год		
	За добу	За місяць	За рік
Генерація біогазу	8683 м ³	260500 м ³	3,169*10 ⁶ м ³
Генерація електричної енергії	20,71	621	756
Генерація теплової енергії	24,480	734	8930
Енергоспоживання станції водоочищення	36,44	109,3	13,

В результаті проведених розрахунків було встановлено, що біогазова установка забезпечить часткове, але значуще енергозабезпечення водоочисної станції.

Отримана електроенергія дозволяє покрити 55% внутрішніх потреб станції, тоді як теплова енергія перевищує 100% необхідної кількості для опалення, надлишки якої можуть бути направлені на задоволення потреб лікарень або шкіл у місцевості. Такий підхід відкриває можливості для ефективного використання отриманої енергії та підвищення енергетичної самодостатності водоочисної станції.

Висновки до розділу 3

У даному розділі було виконано підбір обладнання біогазової установки, на основі проведених розрахунків. В результаті було прийнято рішення використати 3 метантенки об'ємом 3200 м³ кожен. Встановити мішалку Ebara EBAMIX XM60 із потужністю 2750 м³/год.

Підібрати когенераційну установку TCG3016V16S з 1000 кВт електричної та 1139 кВт теплової потужності.

Результатом підбору обладнання стали розрахунки кількості потенційно згенерованої енергії за рік - 756 тис. кВт*год електричної та 893 тис. кВт*год теплової.

Аналіз споживання водоочисної станції показав, біогазова установка, за умови розрахункового виходу метану, забезпечить 55% потреби в електроенергії та понад 100% в тепловій енергії. Використання біогазової установки дозволить підвищити енергетичну безпеку та ефективність водоочисної станції.

4. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ БІОГАЗОВОЇ УСТАНОВКИ

Технологія очищення на муніципальній станції водоочищення спрямована на повну біологічну обробку стічних вод та усунення забруднень. Процес поділяється на дві основні стадії: механічне очищення та біологічне очищення.

Для детального вивчення можливостей використання активного мулу як субстрату для виробництва біогазу потрібно отримати точні обсяги. Одним з ключових аспектів цього дослідження є створення анаеробної моделі реактора для моделювання процесів анаеробного розщеплення зваженої біомаси. Ця модель використовується для аналізу газовидобутку у повністю змішаному анаеробному вакуумному середовищі за різних експлуатаційних умов.

Склад стічних вод та концентрація елементів у них можуть змінюватися в залежності від типу місцевості, різних екологічних факторів, кількості населення та способів транспортування та зберігання стічних вод.

Особливість розрахунків полягає в тому, що вони виконані для стічних вод, які не містять допоміжні речовини, такі як коагулянти та флокулянти, які призначені для оптимізації процесу очистки.

Надто, на процеси очищення значно впливають загальний об'єм стічних вод, які утворюються протягом доби, та частота їх надходження, що залежить від характеристик існуючих систем транспортування стічних вод.

Сукупний об'єм активного мулу, який проходить через вторинні відстійники, становить $837,55 \text{ м}^3$ на добу.

Об'єм та кількість метантенків визначають відповідно до встановлених будівельних стандартів ДБН.2.04.03-85. Кількість метантенків повинна становити не менше двох, кожен з яких призначений для активного використання.

Місткість ферментатора розраховується відповідно до формули:

де M – загальна $V = M_{\text{заг}} \cdot \frac{100}{D} = 837,547 \cdot \frac{100}{9} = 9300 \text{ (м}^3\text{) м}^3\text{/добу}$; $D = 9 \%$ – добова норма завантаження АМ в метантенк згідно ДБН.2.04.03-85), %

Враховуючи потребу в рідині на добу, було вирішено встановити три реактори, кожен об'ємом 3200 кубічних метрів.

Аналізуючи тенденції зростання цін на енергоресурси в Україні, виокремлюється перспективність розвитку виробництва біогазу з біомаси. Для оцінки економічної ефективності біогазових установок була розроблена спеціальна методика, що базується на порівнянні альтернатив обробки гною з використанням традиційної або запропонованої системи подачі тепла для обігріву біогазових установок.

Критерієм для оцінки продуктивності експлуатації біогазових установок є річний економічний ефект.

При поточних світових цінах, капітальні витрати на спорудження біогазової установки, що включає метантенки, резервуари для зберігання газу та обладнання для утилізації біогазу, коливаються від 500 до 1000 доларів за 1 кубічний метр метантенку. Розподіл загальних капітальних витрат виглядає наступним чином:

- будівельні та монтажні роботи - 27%;
- обладнання - 60%;
- проектна і технічна документація - 13%.

Загальна вартість встановлення одного кубометра ферментера становить 620 доларів.

Загальна вартість установки :

$$C = V_{\text{мет}} \cdot P = 3200 \cdot 620 \approx 2000 \text{ (тис. дол),}$$

де $V_{\text{мет}}$ – об'єм ферментатора біогазової установки, м^3 ; P – вартість монтажних робіт,

тис. дол./м³. Експлуатаційні витрати, Амортизаційні відрахування і поточний ремонт приймаємо 5% від вартості установки.

Виходячи із значення тривалості періоду метанового бродіння в реакторі виділенням біогазу триває 15 діб. Таким чином, впродовж року метантенк перезавантажується 24 рази.

Загальна маса біогазової суміші, що переробляється, становить:

$$M = V_{\text{мет}} \cdot \rho_{\text{ст}} = 3200 \cdot 1,02 = 3264 \text{ (т)},$$

де $\rho_{\text{ст}}$ – густина отриманого субстрату, т/м³;

Сума прибутку від реалізації теплової та електричної енергії від біогазової установки, грн:

$$C = Z \cdot V_{\Gamma} \cdot Q_{\text{б}} \cdot C_{\Gamma} \cdot j = 24 \cdot 69196,8 \cdot 24703,4 \cdot 7,95 \cdot 0,4 = 5281038,72$$

$$V_{\Gamma} = M \cdot V_{\text{газ}} = 3264 \cdot 21,2 = 69\,196,8 \text{ м}^3,$$

де V_{Γ} - загальний вихід товарного біогазу, м³ згідно формул (3,4); $V_{\text{газ}}$ - вихід газу, м³ / т; j - величина розкладання органічної речовини, %.

Z – кількість разів перезавантаження метантенку за рік;

$Q_{\text{б}}$ - теплотворна здатність біогазу, 24703,4 кДж / м³;

C_{Γ} - вартість 1 м³ природного газу, грн. / м³.

Проведемо аналіз обсягів прогнозованого виробництва біогазу, теплової та електричної енергії в таблиці 4.1, а також кошторис обладнання, встановленого на біогазовій станції, наведений в таблиці 4.2.

Згідно з розрахунками, біогазова установка зможе щоденно виробляти близько

8300 м³ біогазу. Це дозволить отримувати до 848 кВт електроенергії на добу та до 988 кВт теплової енергії. Такий обсяг виробництва енергії з відновлюваних джерел дасть змогу частково забезпечувати енергопотреби станції.

Таблиця 4.1 – Результати розрахунку енергетичних показників

Місяць	Біогаз, м ³	Електрична енергія, кВт * год	Теплова енергія, кВт * год
Січень	508000	602000	711000
Лютий	512400	611000	715000
Березень	514000	613000	716000
Квітень	515000	615000	720000
Травень	516100	620000	723000
Липень	518600	630000	726000
Червень	520400	631000	734000
Серпень	521120	633000	735000
Вересень	520800	625000	728000
Жовтень	520200	621000	722000
Листопад	501800	618000	718000
Грудень	501600	615000	715000
Рік	6170020	7434000	8663000

Таблиця 4.2 – Зведений кошторис технологічного обладнання

Назва технологічного обладнання	Вартість, тис. грн
Газгольдер (2х1000 м ²)	5475
Метантенки (3х3200 м ²)	33320
Мішалки (3 мішалки)	1265

Продовження таблиці 4.2

Назва технологічного обладнання	Вартість, тис. грн
Система очищення	845
Когенераційна установка	14450
Насоси	1860
Трубопровід	346
Інше необхідне тех. обладнання	8500
Разом	66060

Таблиця 4.3 - Забезпеченість проекту працівниками

Призначення	Посада	Кількість	Заробітна плата, грн.
Основі	Технік-програміст	3	15000
Допоміжні	Технік-слюсар	2	11000
	Електромеханік	1	11000
Спеціалісти	Інженер-технолог	1	16000
	Технік-технолог	1	16000
Керівництво	Мастер	2	18000
	Директор станції	1	20000
			107000

Було проведено аналіз обсягу капітальних вкладень та витрат на заробітну плату персоналу для підтримки роботи станції. Крім того, досліджено прибуток станції, який формується за рахунок економії на вартості енергоресурсів, зокрема електроенергії та опалення. За поточними тарифами вартість 1 кВт*год електроенергії становить 5,56 грн, а 1 кВтгод теплової енергії - 3,42 грн. На основі цих даних було розраховано термін окупності капітальних витрат на реалізацію проекту.

Таблиця 4.4- Визначення ефективності стартап проекту

Показники	Одиниця виміру	Значення
Річний обсяг	кВт*год	Електричної- 7434000 Теплової-8663000
Кількість персоналу	Осіб	11
Капіталовкладення	грн	66060000
Витрати на ТО та амортизацію	грн/рік	500000
Капіталовкладення	грн	66060000
Витрати на ТО та амортизацію	грн/рік	500000
Загальні витрати на утримання станції	грн/рік	2492000
Прогнозований прибуток	грн/рік	19870000
Термін окупності	років	3,3

Згідно з проведеними розрахунками, загальна вартість обладнання та будівельних робіт для запуску біогазової станції становитиме приблизно 66 млн грн. Щорічні витрати на утримання персоналу оцінюються в сумі близько 1284 тис. грн.

Висновок до розділу 4

У цьому розділі було розглянуто проект впровадження біогазової установки для енергозабезпечення очисних споруд шляхом виробництва та використання біогазу. Зокрема, описано перспективність та мету проекту, можливі ризики та способи їх подолання, а також оцінено впровадження цієї технології в сучасних умовах.

Оцінкою доцільності проекту стали розрахунки обсягів виробництва електричної та теплової енергії для потреб очисних споруд.

Отже, можна зробити висновок, що даний проект є перспективним і дозволить вирішити низку проблем - від зниження екологічного впливу очисних споруд до підвищення їх фінансової ефективності. Крім того, реалізація проекту сприятиме скороченню викидів парникових газів та розвитку "зеленої" енергетики в регіоні. Враховуючи прогнозований обсяг виробництва електро- та теплоенергії, а також поточні тарифи на енергоресурси, річна економія витрат на енергію може сягати 1,987 млн грн. Таким чином, термін окупності проекту складе близько 3,3 років.

5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ НА ВИРОБНИЦТВІ З ГОРЮЧИМИ РЕЧОВИНАМИ

5.1 Безпека поводження з біогазом

Питання безпеки є надзвичайно важливим при використанні біогазу на очисних спорудах. Йдеться про безпеку як персоналу, який обслуговує біогазову установку, так і людей, що мешкають поруч. У цьому розділі розглянуто ризики, пов'язані з експлуатацією таких систем, а також заходи для їх мінімізації.

Передусім варто звернути увагу на склад біогазу. Адже при витоку газу велика його концентрація може спричинити вибух, отруєння чи задуху через витіснення кисню.

Враховуючи властивості біогазу, можна виділити три основні групи ризиків на біогазових установках:

Задуха внаслідок витіснення повітря в замкнутому просторі чи наявності задушливих газів

Загрози для здоров'я через токсичні компоненти, наприклад, отруєння H_2S

Вибух через утворення вибухонебезпечних газових сумішей

Обладнання і процеси мають відповідати технічним вимогам безпеки з огляду на ці ризики.

Одним зі сценаріїв аварії є вибух. Для нього потрібні: наявність вибухонебезпечної газоповітряної суміші та джерела запалення.

Небезпека вибуху виникає, якщо значна кількість біогазу з систем під тиском потрапляє в обмежений простір за наявності джерела займання.

Значна кількість повітря потрапляє в герметично закриті агрегати під вакуумом, утворюючи вибухонебезпечну суміш

Всмоктуються вибухонебезпечні газові суміші (наприклад, надмірним всмоктуванням мулу на звалищах)

Незважаючи на вміст метану, біогаз сам по собі не має вибухових властивостей. Для утворення вибухонебезпечної суміші метан і повітря повинні змішуватися у певних концентраціях між нижньою та верхньою межами вибуховості.

Наявність H_2S та CO може розширити межі вибухонебезпеки. Натомість CO_2 , N_2 та водяна пара діють як інертні гази, звужуючи вибухонебезпечний діапазон.

Наслідки вибуху можуть бути руйнівними, тому ці аспекти необхідно враховувати на етапі проектування. Доцільно залучити кваліфікованих фахівців для розробки заходів протипожежного та вибухового захисту.

Перед запуском системи мають бути передбачені відповідні заходи безпеки у зонах із ризиком утворення вибухонебезпечного середовища. Очисні споруди з установками для переробки біогазу вимагають ретельного аналізу ризиків та відповідних процедур безпеки.

Перед запуском системи мають бути розроблені належні заходи безпеки у зонах з ризиком утворення вибухонебезпечного середовища. Ці заходи мають визначатися кваліфікованими експертами.

Зазвичай необхідно максимально уникати виникнення такого середовища шляхом вентиляції та герметизації обладнання. Якщо повністю уникнути цього неможливо, середовище повинно контролюватися та обмежуватися (наприклад, випуск газу через запобіжні пристрої). У таких зонах мають бути вжиті заходи щодо усунення джерел займання, включно з встановленням блискавкозахисту.

Під час ремонтних робіт необхідно вживати додаткові запобіжні заходи згідно з дозволами для роботи у небезпечних зонах.

Результати оцінки ризиків мають відображатися на плані потенційно

вибухонебезпечних зон. Ці документи повинні бути доступні до введення обладнання в експлуатацію.

Зони ризику поділяються на вибухонебезпечні зони згідно з ймовірністю присутності вибухонебезпечного середовища: зона 0 - постійно присутнє середовище, зона 1 - ймовірна поява, зона 2 - малоймовірна поява середовища. Зони 0 слід повністю уникати, зони 1 і 2 зазначаються на плані вибухонебезпечних зон.

Заходи проти вибуху мають застосовуватися відповідно до аналізу ризиків, наприклад H A Z O P. Згідно з ним, заходи поділяються на:

Первинні - спрямовані на запобігання утворенню небезпечного середовища. Мають найвищий пріоритет.

Вторинні - спрямовані на уникнення займання потенційно вибухонебезпечного середовища. Застосовуються після визначення зон ризику.

Конструктивні - обмежують наслідки вибуху до безпечного рівня. Досягається стійкістю елементів установки до вибухів та вогнегасниками.

Первинні заходи противибухового захисту спрямовані на запобігання утворенню небезпечного вибухонебезпечного середовища. Ці заходи мають найвищий пріоритет з точки зору безпеки.

Вторинні заходи покликані унеможливити займання потенційно вибухонебезпечної атмосфери. Їх застосовують після визначення зон ризику вибуху. Залежно від призначення, такі заходи можуть використовуватися для захисту як внутрішніх, так і зовнішніх елементів установок, що містять газ.

Конструктивний захист від вибуху включає рішення, які обмежують наслідки вибуху до безпечного рівня. Це досягається стійкістю окремих елементів установки до вибухів та вогнегасниками для захисту вразливих ділянок. Рекомендується підготувати план безпеки з урахуванням усіх заходів захисту. Вибух відбувається при подачі достатньої енергії

займання, що залежить від складу газової суміші. Мінімальна температура самозаймання метано-повітряної суміші становить близько 595°C.

Для запобігання вибухам важливо усунути ці джерела займання у зонах ризику. Рекомендується розробити план безпеки з урахуванням усіх заходів захисту.

5.2 Основні правила техніки безпеки на біогазових установках

Поряд з вимогами охорони праці, на біогазових установках діють спеціальні правила безпеки через ризик утворення вибухонебезпечного середовища.

Роботодавець зобов'язаний надати план з вибухонебезпечними зонами для визначення рівня небезпеки утворення вибухонебезпечних сумішей та місць їх потенційного виникнення, а також заходів мінімізації цих ризиків.

Основні правила для працівників:

- 1) Кожен працює на закріпленому робочому місці, виконуючи індивідуальні завдання.
- 2) На робочому місці не повинно бути сторонніх предметів.
- 3) Робота лише в чистому спецодязі, волосся має бути зібраним.
- 4) Дотримання правил мікробіологічної безпеки при роботі з мікроорганізмами.
- 5) Дезінфекція усього використаного при роботі з мікроорганізмами.
- 6) Засіяні пробірки і посуд зберігаються в термостаті.
- 7) Заборонено куріння, прийом їжі та зайвий рух по лабораторії.
- 8) Дотримання цих правил дозволить знизити ризик аварій та підвищити безпеку роботи персоналу на біогазовій установці.

Арматура та газопроводи мають проходити перевірку на герметичність. Вони повинні бути стійкими до корозії від робочого середовища, тому зазвичай виготовляються з нержавіючої, оцинкованої сталі, полівінілхлориду чи поліетилену. Кольорові метали не застосовують через їх нестійкість до біогазу.

Пластикові труби можна використовувати як сполучні лінії ферментатора та газгольдера. Трубопроводи та арматура мають бути розраховані на тиск PN 6 і розміщуватися в тепловій зоні.

Доступ до арматури повинен бути безпечним. Вентилі для відбору газу мають бути захищені від несанкціонованого відкриття.

Шибери в насосних камерах повинні обслуговуватися без заходження всередину.

Конденсатовідвідники та запобіжні пристрої мають бути в доступному місці. Доступ до елементів під тиском повинен бути зручним для обслуговування та з захистом від промерзання і витоків.

Газгольдери та резервуари забезпечуються обмежувачами тиску газу. Гідрозатвори захищають від промерзання та витікань. Зливні трубопроводи виводяться назовні.

Встановлення газових котлів має відповідати технічним нормам. Приміщення генераторів повинні мати вільний доступ з 3 сторін. Двері відкриваються назовні. Донні зливи оснащуються відстійниками. Приміщення з обладнанням мають перехресну вентиляцію. Вимикачі та газові вентилі розміщуються зовні для аварійного відключення.

У приміщенні біля генератора має бути розміщений вогнегасник на 12 кг порошку з захисним ковпаком для пожеж класів А, В і С відповідно до DIN EN 319.

Перед запуском біогазова установка проходить експертний висновок. Орган, що видає дозвіл на запуск, повинен отримати сертифікат випробувань газгольдера на герметичність з даними міцності на розрив

щодо метану та стійкості матеріалу плівки до температури. Також подається зразок матеріалу плівки.

Крім того, обов'язковий протокол приймання газового обладнання та трубопроводів від експерта газової галузі на відповідність нормам безпеки. Потрібне також підтвердження фахівця-електрика про відповідність електрообладнання вимогам безпечної експлуатації.

Висновки до розділу 5

У цьому розділі виявлено та оцінено потенційно небезпечні та шкідливі фактори, пов'язані із виробництвом, акумулюванням та спалюванням біогазу.

В процесі аналізу виявлено, що основними ризиками є витік газу або можливість вибуху.

Після аналізу та оцінки потенційних небезпек була розроблена інструкція з техніки безпеки для операцій з паливним елементом. Таким чином, дотримання всіх правил експлуатації мінімізує ризик аварійних ситуацій.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Аналіз потенціалу біогазу в Україні показав, що осад стічних вод є перспективною сировиною для отримання біогазу. Це допоможе вирішити проблеми утилізації осаду та енергозабезпечення очисних споруд. Також було проаналізовано процес метаногенезу та фактори впливу на нього.

Розглянуто існуючі технології отримання біогазу з осаду. За результатами обрано мезофільний режим зброджування з безперервним завантаженням субстрату.

Розроблено технологічну схему системи біологічної очистки для подальшого отримання біогазу. Осад та активний мул ущільнюються, потім завантажуються в метантенк. Біогаз очищається, зневоднюється та надходить в газгольдер, звідки спалюється в когенераційній установці.

За результатами розрахунків обрано 3 метантенки об'ємом 3200 м^3 з добовим виходом біогазу 8683 м^3 . Для перемішування вибрано мішалку Ebara EBAMIX XM60 та розроблено електричну схему. Для утилізації біогазу обрано когенераційну установку TCG3016V16S.

Розраховано обсяги генерації електроенергії та тепла. Запропонована схема біогазової установки покриває потреби в електроенергії на 55%, а в тепловій енергії повністю.

Визначено перспективність, фактори ризику, вартість обладнання та термін окупності, який складає 3,3 року.

Розглянуто основні заходи з охорони праці та довкілля при роботі з біогазовими установками.

ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРИ

1. Біогазові технології в Україні [Електроний ресурс]. – Режим доступу:
http://cba.org.ua/one/images/stories/CBA_news/Innovations_in_CBA/Budivnyctvo_i_ekspl_Biogas_2011.pdf. – Назва з екрана.
2. Wang, Q., Wei, W., Gong, Y., Yu, Q., Li, Q., Sun, J., Yuan, Z., 2017. Technologies for reducing sludge production in wastewater treatment plants: State of the art. *Sci. Total Environ.* pp. 510–521, 587–588.
3. Біогазові технології в Україні [Електроний ресурс]. – Режим доступу:
http://cba.org.ua/one/images/stories/CBA_news/Innovations_in_CBA/Budivnyctvo_i_ekspl_Biogas_2011.pdf. – Назва з екрана.
4. Javier Mateo-Sagasta, Liqa Raschid-Sally, Anne Thebo. *Global Wastewater and Sludge Production, Treatment and Use*, 2015, pp. 20.
5. «Впровадження більш чистих методів виробництва в Україні» Технологія використання біомаси в біогазових установках // Т. Амон, Б. Амон, В. Дубровін та ін. // *Зб. наук. праць НАУ*. - 2003. - №60. - С.18.
6. Shamanskyi, S. Construction Arrangement for Cultivating Microalgae for Motor Fuel Production [Text] / S. Shamanskyi, S. Boichenko // *Systemy i Srodki Transportu Samochodnego*. – Rzeszow: Politechnika Rzeszowska., 2016. – P. 181–188.
7. Шаманський, С. Й. Енергоефективна та екологічно безпечна технологія стабілізації осадів стічних вод авіапідприємств [Текст] / С. Й. Шаманський, С. В. Бойченко // *Східно-Європейський журнал передових технологій*. – 2015. – Т. 5, № 8 (77). – С. 39–45. doi: 10.15587/1729-4061.2015.52264.
8. Daniela Cailean, Carmen Teodosiu, Florina Ungureanu. Engineering challenges in advanced wastewater treatment. *Environmental Engineering and*

Management Journal.013, Vol.12, No. 8, 1541-1551

9. SEMARNAT y CONAGUA, 2015c. Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento (MAPAS). En: Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente (Libro 28). México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Comisión Nacional del Agua. p. 5.

10. Anna Karlsson, Annika Björn, Sepehr Shakeri Yekta, Bo H. Svensson IMPROVEMENT OF THE BIOGAS PRODUCTION PROCESS Explorative project (EP1), 2014. p.54.

11. Increase of Biogas Production at Wastewater Treatment Plants: Addition of Urban Organic Waste and Pre-treatment of Sludge. Department of Chemical Engineering1, Lund Institute of Technology, Lund, Sweden 2017

12. BISCHOFBERGER, W., DICHTL, N., ROSENWINKEL, K.H., SEYFRIED, C.F., BOHNKE, B., 2005. Anaerobtechnik. Heidelberg, Berlin: Springer-Verlag.p.50.

13. APPELS, L., BAEYENS, J., DEGREVE, J., DEWIL, R., 2008. Principles and potential of the anaerobic digestion of waste-activated sludge. Progress in Energy and Combustion Science. 34, pp. 254-260.

14. Едер Б. Біогазові установки. Практичний посібник [Текст]/Б. Едер, Х. Шульц// Пер. з нем. з вид. 1996, виконаний компанією Zorg Biogas у 2008 р. – 268 с.

15. SEWAGE SLUDGE TREATMENT: GOOD EXPERIENCE AND PRACTICAL ADVICE 2012 / Ян-Эрик Люфт, Entsorgungsbetriebe C. 30-38.

16. ANDREOLI, C.V., VON SPERLING, M., FERNANDES, F., 2010. Lodos de esgoto: tratamento e disposição final. 4th ed. Bello Horizonte: Universidad Federal de Minas Gerais.

17. METCALF & EDDY, 2003. Wastewater Engineering - Treatment and Reuse. 4th Ed. New York: McGraw-Hill Companies. pp.72-77.

18. D. Kerroum, 2012, Production of Biogas from Sludge Waste and Organic Fraction of Municipal Solid Waste
19. PFEIFER, B., 2015. International Biogas Operating and Engineering Course. Troubleshooting. pp. 81-82.
20. Horikaw M. S. Chemical absorption of H₂S for biogas purification / Horikawa, F. Rossi, M. L. Gimenes, C. M. M. Costa, M. G. C. da Silva // Brazilian Journal of Chemical Engineering. – 2004. – V. 21. – № 3. – P. 415–422.
21. Семененко І. В., Зінченко М. Г. Обладнання та процеси метанового зброджування органічних відходів: монографія. Харків: НТУ "ХПІ", 2012. 272 с.
22. Біоенергетичні проекти: від ідеї до втілення. Практичний посібник/ Під загальною редакцією Тормосова Р.Ю. – К.: ТОВ «Поліграф плюс», 2015. 208 с.: іл.
23. Rongwong, W., Lee, J., Goh, K. et al. Membrane-based technologies for post-treatment of anaerobic effluents. npj Clean Water 1, 21 (2018). <https://doi.org/10.1038/s41545-018-0021-y>.
24. Закон України Про охорону праці. Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12#Text>.