

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Факультет електроенерготехніки та автоматики
(повне найменування інституту, факультету)

Кафедра відновлюваних джерел енергії
(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри
Д – р тех. наук Будько В.І.

(ініціали, прізвище)

“ ” 2021 p.

Дипломний проект

на здобуття освітнього ступеня бакалавра

за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» по спеціалізації «Відновлювальні джерела енергії»
(код і назва)

на тему: Система електроживлення фермерського господарства на
основі біоводню

Виконав: студент 4 курсу, групи ЕД-71
(шифр групи)

Степенко Василь Сергійович
(прізвище, ім'я, по батькові)

Керівник доц., кнд.тех.наук Будько М.О.
(посада, науковий ступінь ,прізвище та ініціали)

Рецензент _____
(посада, науковий ступінь ,прізвище та ініціали)

(підпис)

(підпис)

(підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному проекті немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ - 2021 р.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Факультет електроенерготехніки та автоматики
(повне найменування інституту, факультету)

Кафедра відновлюваних джерел енергії
(повна назва кафедри)

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
(код і назва)

Спеціалізація – «Відновлювальні джерела енергії»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

(підпис) _____
(ініціали, прізвище)
“ ” _____ 2021 р.

ЗАВДАННЯ
на дипломний проект студенту
Степенко Василь Сергійович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту: Система електроживлення фермерського господарства на основі біоводню,

Керівник проекту Будько Марина Олександрівна, доц., кнд.тех.наук,
(прізвище, ім'я, по батькові, посада, науковий ступінь)

затверджені наказом по університету від «__» _____ 2021 р.
№ _____

2. Термін подання студентом проекту 11 червня 2021 р.

3. Вихідні дані до проекту 1) Птахи качки 450 шт; 2) Солома зернових 200 т; 3) Добовий вихід екскрементів від качок 0,425 кг; 4) Система гноєвидалення – самосплав; 5) Кількість днів зброджування – 34; 6) Співвідношення h/d – 1,2; 7) Температура зброджування 32 °C 8) Матеріал корпусу метантенку – залізобетон 9) Товщина стінки метантенку – 27 см 10) матеріал ізоляції метантенку – мінеральна вата 11) Товщина ізоляції метантенку – 14 см;

4. Зміст пояснювальної записки 1). Розрахувати систему електроживлення фермерського господарства на основі біоводню; 2) Вибрати апаратурну схему виробництва та очистки біогазу; 3) Вибрати та розрахувати

схему парового риформінгу; 4) Вибрати та розрахувати паливний елемент;
5. Дата видачі завдання 10 лютого 2021 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1	Аналіз існуючих підходів виробництва біогазу та біоводню.	26.04.2021	
2	Розрахунок біогазової установки, установки парового риформінгу та паливного елементу.	17.05.2021	
3	Схемне рішення системи перетворення енергії біомаси в електричну енергію.	31.05.2021	
4	Охорона праці.	11.06.2021	

Студент

(підпис)

Степенко В.С.
(прізвище та ініціали)

Керівник проекту

(підпис)

Будько М.О.
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: с., рис. 14, табл. 8, посилання.

В даній роботі було розроблено системи електроживлення на основі біоводню, отриманого методом парового риформінгу біометану. За допомогою наукових джерел та статей було визначено потенціал виробництва біогазу та аналізовано технічно досяжний енергетичний потенціал біогазу для подальшого отримання біоводню. Було розглянуто різні сировинні бази та температурні режими для виробництва біогазу. Проаналізовано поетапну технологію виробництва біогазу та етапи його очищення, а саме схема та робота установки коротко циклової адсорбції (КЦА).

Запропонована апаратурна схема виробництва та очистки біогазу з приведенням елементів схеми та їх ролі в установці. Було зроблено вибір механічної мішалки для перемішування субстрату та на її основі запропонована принципова електрична схема. Представлено схему парового риформінгу для перетворення біометану в біоводень. Біоводень перетворюється в електричну енергію в обраному паливному елементі схема якого запропонована та вказано його параметри.

Було обрано біогазову установку для розрахованих параметрів з урахуванням вхідної кількості біомаси та трати газу на підігрівання субстрату, та газу для парового риформінгу. Приведені параметри біогазової установки. Була обрана мала установка для парового риформінгу та паливний елемент з урахуванням вхідної кількості біоводню.

На основі результатів роботи було сформовано висновки по кількості виробленого біоводню та проаналізовано споживання ферми. Визначено ефективність даного комплексу установок, а саме те, що генерація на 100% покриває споживання фермерського господарства протягом року.

ABSTRACT

Explanatory note: p., Fig. 14, table. 8, link.

In this work, power supply systems based on biohydrogen obtained by the method of steam reforming of biomethane were developed. With the help of scientific sources and articles, the potential of biogas production was determined and the technically achievable energy potential of biogas for further production of biohydrogen was analyzed. Different raw material bases and temperature regimes for biogas production were considered. The step-by-step technology of biogas production and stages of its purification are analyzed, namely the scheme and operation of the CCA plant.

The hardware scheme of production and purification of biogas with reduction of elements of the scheme and their role in installation is offered. The choice of a mechanical stirrer for mixing the substrate was made and, on its basis, a basic electrical circuit was proposed. The scheme of steam reforming for conversion of biomethane into biohydrogen is presented. Biohydrogen is converted into electrical energy in the selected fuel cell, the scheme of which is proposed and its parameters are indicated.

A biogas plant was selected for the calculated parameters taking into account the input amount of biomass and gas consumption for heating the substrate and gas for steam reforming. The parameters of the biogas plant are given. A small steam reforming unit and a fuel cell based on the input amount of biohydrogen were selected.

Based on the results of the work, conclusions were drawn on the amount of biohydrogen produced and the consumption of the farm was analyzed. The efficiency of this set of installations is determined, namely that the generation 100% covers the consumption of the farm during the year.

Пояснювальна записка
до дипломного проекту

на тему: Система електроживлення фермерського господарства на
основі біоводню

Київ - 2021 р.

Зміст

ВСТУП.....	9
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ІСНУЮЩИХ ПІДХОДІВ ВИРОБНИЦТВА БІОГАЗУ ТА БІОВОДНЮ	12
1.1 Види сировини для виробництва біогазу	13
1.2 Технологія виробництва	14
1.3 Визначення факторів метанового процесу (виробництва біогазу)15	
1.4 Основна поетапна технологія виробництва біогазу.....	19
1.5 Очищення біогазу від домішок	22
1.6 Конверсія біометану в синтез-газ [6].....	24
1.7 Перетворення водню в електричну енергію	28
1.8 Висновки до розділу	32
РОЗДІЛ 2 РОЗРАХУНОК БІОГАЗОВОЇ УСТАНОВКИ, УСТАНОВКИ ПАРОВОГО РИФОРМІНГУ ТА ПАЛИВНОГО ЕЛЕМЕНТУ.....	33
2.1 Вихідні данні	34
2.2 Розрахунок добового та річного виходу біомаси [4]	34
2.3 Об'єм бродильної камери	36
2.4 Висота та внутрішній діаметр метантенку.....	36
2.5 Вихід біогазу для обраної технології метанового бродіння:	37
2.6 Розрахунок тепло - та енерговтрат в процесі отриманням біогазу37	
2.7 Сумарні втрати енергії для реалізації процесу протягом місяця 39	
2.8 Товарна кількість біогазу	39
2.9 Розрахунок процесу парового риформінгу	40
2.10 Розрахунок паливного елемента	41
2.11 Висновки до розділу	44
РОЗДІЛ 3 СХЕМНЕ РІШЕННЯ СИСТЕМИ ПЕРЕТВОРЕННЯ ЕНЕРГІЇ БІОМАСИ В ЕЛЕКТРИЧНУ ЕНЕРГІЮ	45
3.1 Вибір БГУ та мішалки та їх параметри	46
3.2 Вибір установки парового риформінгу та її параметри	49
3.3 Вибір водневого паливного елемента та його параметри	51
3.4 Висновки до розділу	53

					141.ЕД-7117.015.БР.В			
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив	Степенко В.С.				Система електроживлення фермерського господарства на основі біоводню. Зміст	Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевірів	Будько М.О.						7	70
						НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського», кафедра ВДЕ, ФЕА, гр. ЕД-71		
Н. Контр.	Головко В.М.							
Затвердив	Будько В.І.							

РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ	54
4.1 Характеристика паливного елементу, який розробляється.....	55
4.2 Складові частини схеми	56
4.3 Небезпека пожежі	59
4.4 Безпека при роботі з біогазом.....	62
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	68
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	69

ВСТУП

Біомаса або біоматерія - сукупна маса рослинних і тваринних організмів, присутніх в біогеоценозах певного розміру або рівня. Біомаса Землі становить 2420 мільярдів тон. Люди дають близько 350 мільйонів тон біомаси в живій вазі або близько 100 мільйонів тон в перерахунку на суху біомасу - недбало мала кількість в порівнянні з усією біомасою Землі. Термін біомаса описує найширший спектр тваринних і рослинних відходів. Дослівно він означає «біологічний матеріал». Біомаса - найстаріше джерело енергії, що використовується людством. Його виникнення відносять до часу оволодіння людьми вогнем. Біомаса вважається відновлювальним джерелом енергії, тому що міститься в ній енергія виробляється в процесі фотосинтезу, коли рослини перетворюють променисту енергію сонця в вуглевод. Вирощування рослин спеціально для перетворення в біомасу, по суті, є форма збереження сонячної енергії.

При згорянні вуглевод виділяє тепло, двоокис вуглецю (CO_2 , так званий «парниковий» газ) і воду. Двоокис вуглецю повертається в навколишнє середовище і бере участь в біохімічному вуглецевому циклі (круговороті вуглецю), сприяючи зростанню інших рослин і заповненню спаленої біомаси. Таким чином, спалювання біомаси при правильній організації процесу не призводить до додаткового забруднення навколишнього середовища двоокисом вуглецю. Вода повертається в природний гідро цикл (круговорот води в природі). Тепло можна використовувати для вироблення електрики, а також для задоволення інших енергетичних потреб людства.

Деякі види біомаси - дерево, наприклад, - можна просто спалювати, щоб отримати енергію біомаси. Однак існують і технології, що дозволяють отримувати з дерева і інших біологічних матеріалів рідкі і газоподібні види палива. Їх можна використовувати разом (а можливо, в майбутньому і замість) з бензином, дизельним паливом, метаном та пропаном. Основні види сировини для отримання електроенергії з біомаси включають в себе наступне.

					141.ЕД-7117.015.БР.В			
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Система електроживлення фермерського господарства на основі біоводню. Вступ	Літ.	Аркуш	Аркушів
Розробив	Степенко В.С.						9	70
Перевірив	Будько М.О.							
Н. Контр.	Головко В.М.					НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського», кафедра ВДЕ, ФЕА, гр. ЕД-71		
Затвердив	Будько В.І.							

Дерева і трав'янисті рослини. Дерева і чагарники можна просто спалювати, отримуючи тепло для котлів парових турбін. Найбільш поширене джерело деревної біомаси - відходи деревообробки (лісопилок) і целюлозно-паперових комбінатів. Для виробництва енергії в основному використовуються спеціальним чином вирощені верби, прутovidне просо і трава.

Зернові культури та стерня зернових. Для вироблення етанолу застосовується кукурудза. З тією ж метою (але в менших масштабах) можна використовувати і інші злаки - пшеницю, жито і рис. У Бразилії етанол отримують з цукрової тростини. Соеві боби, арахіс і соняшник також застосовуються для отримання дизельного біопалива. І етанол, і біодизель можна використовувати як для виробництва електроенергії, так і в якості автомобільного пального.

Водні і морські рослини. Піддавши мікроскопічні водорості, які мешкають в деяких озерах, ферментації, можна отримати етанол. Їх же можна компостувати для отримання біогазу. Для цієї ж мети можна використовувати звичайні морські водорості.

Гній і стічні води. Побутові відходи тварин з ферм і ранчо, а також вміст каналізації населених пунктів, можна додавати в компостні купи для того, щоб прискорити виділення біогазу.

Звалища. Різні види сміття, зокрема папір, картон, залишки їжі, також можна переробляти на компост для отримання біогазу.

В результаті перегнивання (компостування) рослинних і тваринних відходів може утворитися горючий газ метан. Чи доводилося вам чути про так званому болотному газі, що накопичується в заболочених місцях і час від часу займається? Це і є природний біогаз. По суті, це той же самий біогаз, який виробляють в комерційних або приватних цілях для обігріву, електрифікації або для використання в якості палива.

Залежно від виду органічної сировини склад біогазу може змінюватись, але, в загальному випадку, до його складу входять метан (CH_4 , частка - 63%), вуглекислий газ (CO_2 , частка - 33%), невелика кількість сірководню (H_2S , частка - 2%), аміаку (NH_3 , частка - 1%) і водню (H_2 , частка - 1%).

Так як біогаз на 2/3 складається з метану - горючого газу, що становить основу природного газу, його енергетична цінність (питома теплота згорання) становить

					141.ЕД-7117.015.БР.ПЗ	10
Змін.	Лист	№ докум.				

60-70% енергетичної цінності природного газу, або близько 7000 ккал на м3. 1 м3 біогазу також еквівалентний 0,7 кг мазуту і 1,5 кг дров.

Біогаз широко застосовується як пальне паливо в Німеччині, Данії, Китаї, США та інших розвинених країнах. Він подається в газорозподільні мережі, використовується в побутових цілях і в громадському транспорті. Сьогодні починається широке впровадження біогазових технологій на ринках СНД і Прибалтики.

					141.ЕД-7117.015.БР.ПЗ	
Змін.	Лист	№ докум.				11

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ІСНУЮЩИХ ПІДХОДІВ ВИРОБНИЦТВА
БІОГАЗУ ТА БІОВОДНЮ

					141.ЕД-7117.015.БР.ПЗ			
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив		Степенко В.С.			Система електроживлення фермерського господарства на основі біоводню. Аналіз існуючих підходів виробництва біогазу та біоводню	Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевірів		Будько М.О.					12	70
						НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського», кафедра ВДЕ, ФЕА, гр. ЕД-71		
Н. Контр.		Головко В.М.						
Затвердив		Будько В.І.						

1.1 Види сировини для виробництва біогазу

Розкладання біомаси відбувається в результаті хіміко-фізичних процесів і симбіотичного життєдіяльності 3-х основних груп бактерій, при цьому продукти метаболізму одних груп бактерій є продуктами харчування інших груп, в певній послідовності. Перша група - гідролізні бактерії, друга – кислото утворюючі, третя - метан утворюючі. В якості сировини для виробництва біогазу можуть використовуватися як органічні агропромислові або побутові відходи, так і рослинну сировину. Найбільш поширеними видами відходів, використовуваними для виробництва біогазу, є:

- гній свиней і великої рогатої худоби, послід птиці;
- залишки з кормового столу комплексів ВРХ;
- бадилля овочевих культур;
- некондиційний урожай злакових і овочевих культур, цукрового буряка, кукурудзи;
- жом і меляса;
- дробина, дрібне зерно, зародки;
- дробина пивна, солодові паростки, білковий відстій;
- відходи крохмале-патокового виробництва;
- вичавки фруктові та овочеві;
- сироватка;

Кількість субстратів (видів відходів), які використовуються для виробництва біогазу в межах однієї біогазової установки (БГУ), може варіюватися від одного до десяти і більше. Біогазові проекти в агропромисловому секторі можуть бути створені по одному з наступних варіантів:

Виробництво біогазу з відходів окремого підприємства (наприклад, гною тваринницької ферми, жому цукрового заводу, барди спиртового заводу);

Виробництво біогазу на базі відходів різних підприємств, з прив'язкою проекту до окремого підприємству або окремо розташованої централізованої БГУ;

Виробництво біогазу з переважним використанням енергетичних рослин на окремо розташованих БГУ.

Найбільш поширеним способом енергетичного використання біогазу є спалювання в газо поршневих двигунах в складі міні-ТЕЦ, з виробництвом електроенергії та тепла.

1.2 Технологія виробництва

Принципова схема процесу утворення біогазу [1]	<u>Гідролізна фаза</u> Розклад складних субстанцій (протеїнів, жирів, вуглеводів) на прості складові (Амінокислоти та глюкозу)
	<u>Кислотоутворююча фаза</u> Розклад простих складових на органічні кислоти і аміак, сірководень, водень
	<u>Ацетогенна фаза</u> Органічні кислоти під дією ацетогенних бактерій перетворюються в уксусну кислоту
	<u>Метаногенез</u> Уксусна кислота розкладається на метан, вуглекислий газ та воду Водень і вуглекислий газ перетворюється в метан і воду

Будь-який субстрат складається з трьох основних типів макромолекул: вуглеводів, білків та ліпідів. Білки є дуже важливим субстратом в анаеробному процесі оскільки крім того, що вони є джерелом вуглецю та енергії, амінокислоти отримані з їх гідролізу мають високу харчову цінність. Білки гідролізуються в пептиди і амінокислоти під дією протеолітичних ферментів, званих протеазами. Частина цих амінокислоти використовуються безпосередньо для синтезу нового клітинного матеріалу, а решта - згодом розкладаються до летких кислот, діоксиду вуглецю, водню, амонію та сірки на пізніх стадіях процесу.

Розпад ліпідів в анаеробному середовищі починається з розщепленням жирів під дією ферменту гідролітичних ферментів, амінованих ліпаз, утворюючи довго ланцюгові жирні кислоти та гліцерин. Швидкість розпаду лігноцелюлозних матеріалів, що складаються переважно з лігніну, целюлози та геміцелюлози, яка настільки повільна, що зазвичай є граничною стадією процесу. гідроліз. Це пов'язано з тим, що лігнін дуже стійкий до руйнування анаеробними мікроорганізмами, що також впливає на біологічний розпад целюлози, геміцелюлози та інших вуглеводів. Основними продуктами гідролізу целюлози є целобіоза та глюкоза, тоді як геміцелюлоза виробляє пентози, гексози та кислоти.

Швидкість гідролізу, як правило, зростає із збільшенням температури. Швидкість гідролізу також залежить від розміру частинок, головним чином завдяки доступності поверхні для адсорбції гідролітичних ферментів. Фізико-хімічні попередні обробки, основним ефектом є зменшення розміру частинок, призводять до збільшення швидкості гідролізу, і якщо ця фаза є імітацією анаеробного процесу, це представляє користь для процесу загалом, забезпечуючи коротший час утримання та менші розміри реактора.

Хоча деякі продукти бродіння можуть безпосередньо металізуватися метаногенними організмами (H_2 та оцет), інші (етанол, леткі жирні кислоти та деякі ароматичні сполуки) повинні бути перетворені в більш прості продукти, такі як ацетат (CH_3COO^-) та водень (H_2), через ацетогенні бактерії. Представники ацетогенних мікроорганізмів є *Syntrophomonas wolfei* та *Syntrophobacter wolini*.

1.3 Визначення факторів метанового процесу (виробництва біогазу)

Мікроорганізми, особливо метаногенні, дуже сприйнятливі до змін умов навколишнього середовища. Багато дослідників оцінюють ефективність роботи анаеробної системи, виходячи зі швидкості вироблення метану, оскільки метаногенез вважається основним етапом у процесі. Через це анаеробна біотехнологія вимагає ретельного контролю стану навколишнього середовища. Деякі з цих умов середовища: температура (мезофільна або термофільна), тип сировини на рис. 1.1, поживні речовини та концентрація мікроелементів, рН (як правило, близький до нейтральності), токсичність та оптимальні окислювально-відновлювальні умови.

Таблиця 1.1– Теоретичний склад біогазу в різних органічних сполуках [2]

Органічна сполука	Хімічна формула	Біогаз м ³ /кг	CH ₄ м ³ /кг
Вуглеводи	C ₆ H ₁₀ O ₅	0,75	0,37
Ліпіди	C ₁₆ H ₃₂ O ₂	1,44	1,44
Білок	C ₁₆ H ₂₄ O ₅ N ₄	0,98	0,49

За допомогою наукових джерел та статей було визначено потенціал виробництва біогазу на рис. 1.1 та аналізовано технічно досяжний енергетичний потенціал біогазу для подальшого отримання біоводню на рис. 1.2.



Рисунок 1.1 – Потенціал виробництва біогазу в Україні, млрд. м³/рік

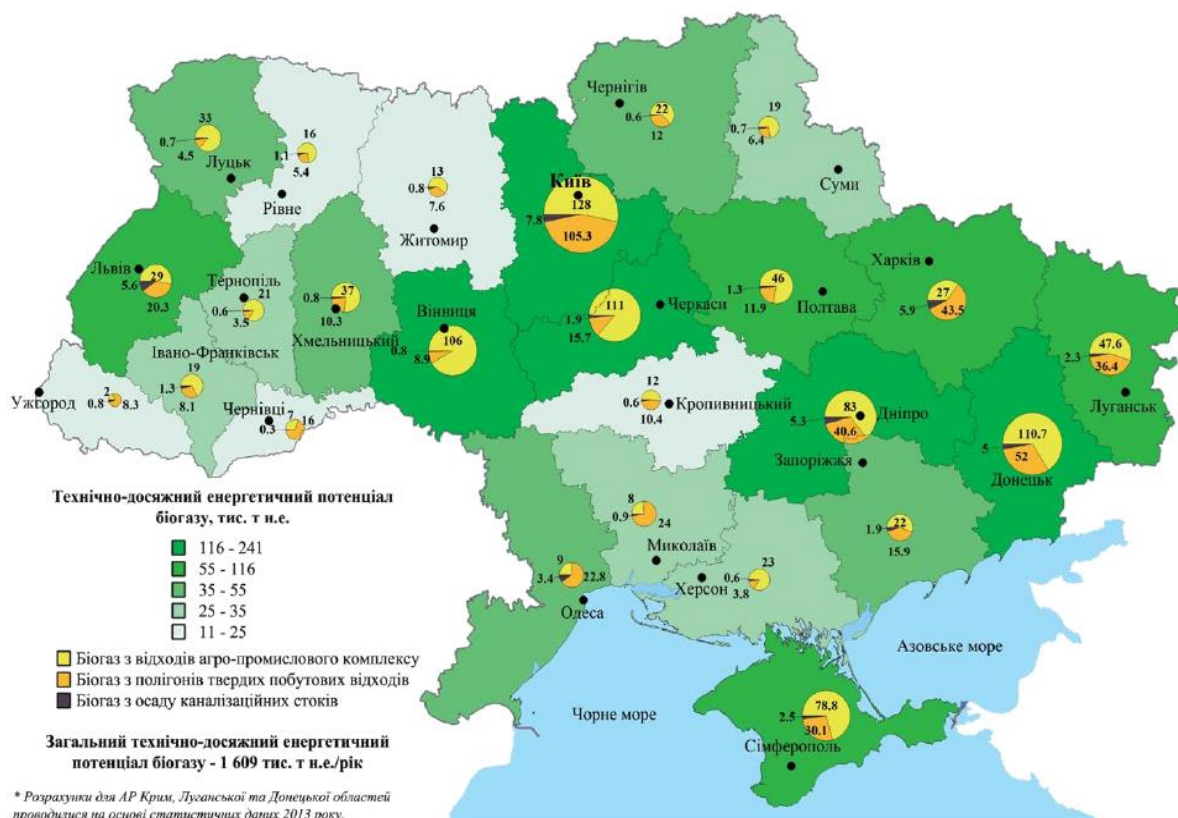


Рисунок 1.2 – Технічно досяжний енергетичний потенціал біогазу в Україні

Температура

Анаеробні процеси, як і багато інших біологічних систем, мають різний характер залежно від температури. Швидкість реакції біологічних процесів залежить від швидкості росту залучених мікроорганізмів, які в свою чергу залежать від температури. Зі збільшенням температури швидкість росту мікроорганізмів прискорює процес бродіння, що призводить до виробництва біогазу. Робоча температура котла вважається одним з основних параметрів конструкції, через великий вплив цього фактора на швидкість анаеробного бродіння. Раптові коливання температури у апараті можуть спричинити дестабілізацію процесу. Тому, щоб гарантувати однорідну температуру, дуже важливо відповідна система перемішування та регулятор температури. Існують три діапазони температур, в яких можуть працювати анаеробні мікроорганізми : психрофіли (нижче 25 ° C), мезофіли (від 25 до 45 ° C) та термофіли (від 45 до 65 ° C), максимальна питома швидкість росту (μ_{max}) буде вищою із збільшенням діапазону температур. У кожному діапазоні температур існує інтервал, протягом якого згаданий параметр

стає максимальним, таким чином визначається оптимальна робоча температуру в кожному з можливих робочих діапазонів.

pH та лужність

pH тобто показник водню має значний вплив на анаеробний процес, а саме негативно впливають незначні зміни рівня pH (які виходять за межі оптимального діапазону). Метаногенні мікроорганізми більш сприйнятливі до змін pH, ніж інші мікроорганізми в анаеробній мікробній спільноті. Різні бактеріальні групи, присутні в процесі анаеробного травлення, мають оптимальний рівень активності навколо нейтральності. Оптимальним є значення від 5,5 до 6,5 для ацетогенних та від 7,8 до 8,2 для метаногенних. Оптимальний pH для змішаних культур знаходиться в діапазоні від 6,8 до 7,4, при цьому нейтральний pH є ідеальним.

Щоб процес проходив задовільно, pH не повинен опускатися нижче 6,0 або підніматися вище 8,0. Значення pH у варочному котлі не тільки визначає виробництво біогазу, але й його склад. Один з наслідків зниження pH, при значеннях нижче 6 означає, що утворюваний біогаз дуже бідний метаном і, отже, має нижчі енергетичні якості. Оскільки метаногенез вважається граничною стадією процесу, необхідно підтримувати pH системи близько до нейтральності. Ацетогени значно менш чутливі до більш екстремальних значень pH.

Низькі значення pH знижують активність метаногенних мікроорганізмів, викликаючи накопичення оцтової кислоти та H_2 . Підвищуючи парціальний тиск H_2 , бактерії, які розкладають пропіонову кислоту, будуть сильно пригнічуватися, спричиняючи надмірне накопичення летких жирних кислот з високою молекулярною масою, особливо пропіонової та масляної кислот, що зменшить вироблення оцтової кислоти, спричиняючи зниження pH. Якщо ситуацію не виправити, процес врешті-решт не вдасться.

З іншого боку, pH впливає на різні хімічні баланси, що існують в навколишньому середовищі, будучи в змозі витіснити їх у напрямку утворення певного компонента, що впливає на процес. Це стосується кислотно-лужної рівноваги аміаку та оцтової кислоти: підвищення pH сприяє утворення аміаку, який у високих концентраціях є інгібітором росту мікробів, а при низьких значеннях pH у неіонізованій формі в основному утворюється оцтова кислота, яка пригнічує механізм деградації пропіонату.

					141.ЕД-7117.015.БР.ПЗ	18
Змін.	Лист	№ докум.				

1.4 Основна поетапна технологія виробництва біогазу

Першим етапом є апаратурна схема цієї установки, що проілюстрована на рис. 1.3.

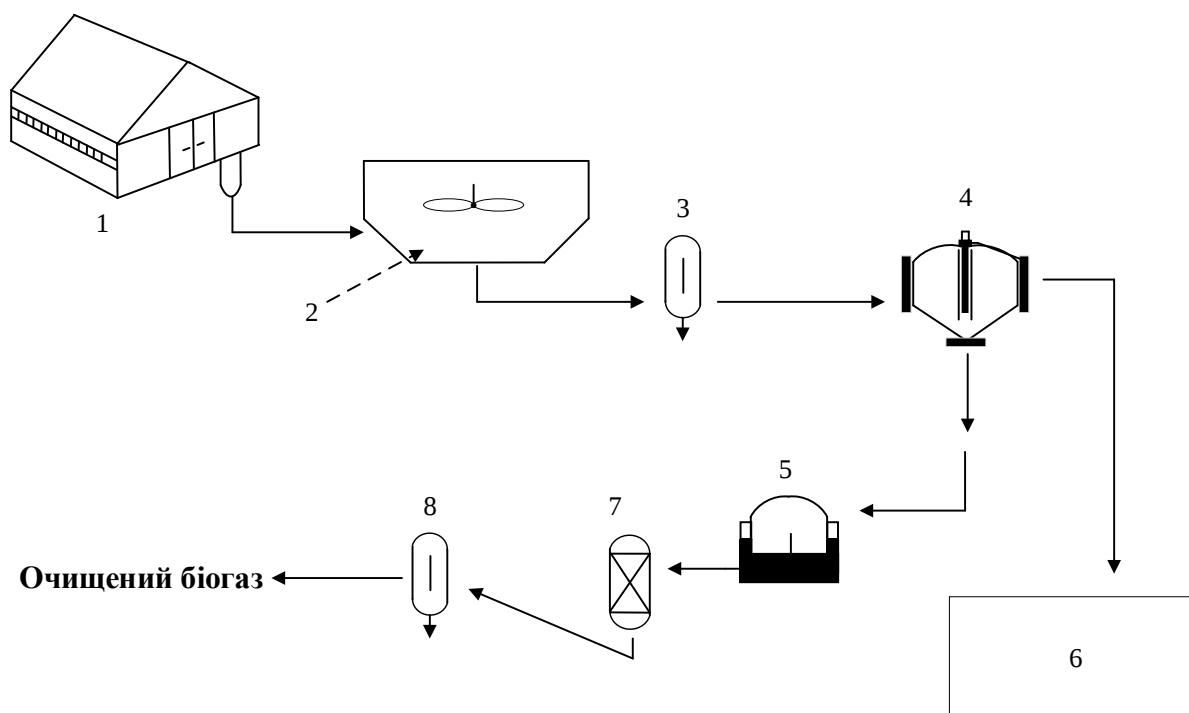


Рисунок 1.3 – Апаратурна схема виробництва та очистки біогазу [3]:

1. Фермерське господарство;
2. Приймальний резервуар (мішалка);
3. Сепаратор (конденсат);
4. Метантенк (стадія збродження);
5. Газгольдер;
6. Лагуна або резервуар для зберігання рідких добрив;
7. Десульфуризація (система газовідведення і газо подачі з системою відведення конденсату і сірко очистки);
8. Сепаратор (конденсат);

Відходи надходять в приймальний резервуар. У ньому відбувається їх попереднє накопичення, підігрів і ретельне перемішування. Подача сировини в ферментатор відбувається 4-6 разів на добу за допомогою спеціального насоса для рідких і в'язких субстратів. Метантенк є газонепроникним, герметичним резервуаром. Для підтримки стабільної температури, всередині ферментатор обладнується системою обігріву днища і стін. У холодних кліматі, щоб уникнути

втрата тепла, ферментатор теплоізолюється зовні. Субстрат постійно перемішується за допомогою низько швидкісних механічних мішалок, що гарантує повне і дбайливе перемішування. Залежно від фізико-механічних властивостей субстрату, використовують різні види систем перемішування: механічні, гідравлічні або пневматичні.

Вивантаження перебродженого субстрату відбувається автоматично з такою ж періодичністю, як і завантаження. Управління роботою всієї біогазової станції проводиться за командами автоматичної системою. Біогаз збирається в газгольдері. Газгольдер використовується в якості газонепроникного покриття ферментатора і виконує функцію акумулювання газу. Зовнішній купол має високу стійкість до ультрафіолету, стійкий до підпалу і є надзвичайно розтяжним. Схема біогазової установки передбачає високу еластичність цього елемента і надійну фіксацію конструкції. Відведення біогазу відбувається по трубопроводу, який оснащений пристроями автоматичного відведення конденсату і запобіжними пристроями, які захищають газгольдер від перевищення допустимого тиску. З газгольдера йде безперервна подача біогазу на когенераційну установку або систему очищення біогазу. Перероблений субстрат після установки подається на сепаратор. Система механічного поділу працює від 4-6 разів на добу і розділяє залишки бродіння після ферментатора на тверді і рідкі біодобрива.

Процесу фактичного виробництва біогазу передують блок управління субстратами для ферментації. Управління сировинною базою, зокрема, передбачає доставку, зберігання, обробку, транспортування і подачу субстрату в резервуар зброджування. Резервуари для зберігання рідких і твердих типів субстратів для зброджування покликані забезпечувати необхідні обсяги сировини для своєчасної подачі в метантенк.

Попередня підготовка субстрату перед зброджуванням, в першу чергу залежить від типу сировини і застосовуваної технології біогазового виробництва з метою забезпечення оптимального використання енергетичного потенціалу сировини і, відповідно, загальної ефективності біогазової станції. Підготовка сировинної бази може включати сортування і відділення сторонніх включень, подрібнення, перетирання і гомогенізацію (створення однорідної консистенції маси), гідроліз або дезінтеграцію. У разі застосування технології твердого зброджування

доцільним може виявитися попереднє аеробне (з доступом кисню) гноїння. Гігієнічно небезпечні субстрати, як відходи бійні і харчові відходи, що вимагають проведення санітарної обробки, передбачають нагрів субстрату до температури вище 70 ° С протягом не менше години, з метою знищення хвороботворних бактерій, які можуть міститися в сировині.

Подача субстрату в метантенк відбувається шляхом його перекачування з приймальної ємності, де суміш субстратів, при необхідності, перемішується, подрібнюється або перетирається, гомогенізується. Тверді штабельований субстрат може подаватися безпосередньо в метантенк.

Метантенк - серце біогазової установки. Він повинен бути не тільки газо- і водонепроникним, але і непрозорим для ефективного протікання процесів зброджування. Існують різні типи ферментаторів, і їх, як правило, адаптують відповідно до обраної технологією і ферментаційними процесами. Метантенки можуть виконуватися вертикальними і горизонтальними, циліндричної або прямокутної форми, із залізобетону або сталі.

Відповідно для більш якісного протікання процесу бродіння, субстрат перемішують до стану однорідності, що забезпечується перемішувачами пристроями.

Кількість основних метантенків та, якщо вони є вторинних метантенків залежить від обсягів зброджування органічних відходів і від загальної концепції проекту біогазової станції.

Перед подачею біогазу в когенераційний модуль відбувається видалення побічних домішок газів і конденсату. Важливим заходом захисту двигуна і компонентів установки, яка в подальшому буде використовувати цей біогаз для виробництва електроенергії, від корозії є процес так званого знесірчення або десульфурації - видалення сполук сірки з біогазу. Первинне видалення сірки відбувається безпосередньо в метантенку шляхом продуву повітря в під купольний простір ємності зброджування.

На додаток до знесірчення обов'язковим етапом є підсушування неочищеного біогазу, протягом якого відводяться солі і мінерали, що містяться у вологому біогазі, і можуть негативним чином вплинути на експлуатацію когенераційного модуля.

Зброджений субстрат подається в резервуар-сховище або криту лагуну, він є високоякісним збалансованим добривом і може застосовуватися для удобрення сільськогосподарських угідь. Більш рекомендованим є використання резервуарів-сховищ закритого типу, з метою використання залишкового енергетичного потенціалу субстрату, а також з метою попередження розведення добрив опадами і часткової втрати обсягів під дією сонячних променів і температур.

1.5 Очищення біогазу від домішок

Повна схема очищення біогазу [4], які розписані нижче, представлена на рис. 1.4.

Очищення біогазу від сірководню. У випадку коли треба отримати максимально велику кількість чистого метану з біогазу використовують різні види та стадії очистки. Для зменшення кількості сірководню в біогазі можна використовувати спосіб осадження безпосередньо в реакторі шляхом додавання реагентів і осадження нерозчинних сполук сірки безпосередньо в рідкій фазі субстрату. Також є альтернативний спосіб очищення самої газової суміші від сірководню.

Для осадження осаду додають іони заліза в формі хлориду або сульфату заліза. Отриманий в результаті реакції сульфід заліза випадає в осад і видаляється разом з твердими залишками. Ще застосовують метод адсорбції на активованому вугіллі. При цьому додають кисень, який окисляє сірководень до сірки, а вона, в свою чергу, адсорбується поверхнею активованого вугілля. Для видалення сірководню використовують також хімічне поглинання шляхом пропускання газової суміші через пористий матеріал, просочений реагентом або промивання розчином гідроксиду натрію або за допомогою промислових каталізаторів.

Очищення від кисню та азоту [5]

Кисень та азот присутні не в кожному субстраті, а залежно від технології переробки відходів, але якщо в бродильній камері є повітря, то азот буде присутній в біогазі. Для видалення цих елементів, у випадку якщо біогаз буде використовуватись для паливних систем або для переробки в синтез газ, треба застосовувати молекулярні сита, мембрани та адсорбцію активованим вугіллям.

Очистка від аміаку та твердих частинок

Найчастіше ця стадія очистки біогазу не є потрібною, оскільки аміак у силу своєї високої летючості та нестійкості зазвичай видаляється на попередніх

					141.ЕД-7117.015.БР.ПЗ	22
Змін.	Лист	№ докум.				

ступенях очищення. Тверді частинки відокремлюють за допомогою механічних фільтрів.

Спосіб і система для виділення та очищення метану з біогазу. Потік сирого біогазу включає метан, діоксид вуглецю, воду, сірководень і неметанові органічні сполуки (NМOC). Спосіб включає збір потоку сирого біогазу, поділ потоку сирого біогазу, при якому потік біогазу поділяють на потік сірковмісних сполук і основний газовий потік. Потік сірковмісних сполук виводять з подальшої обробки, а основний газовий потік очищають від сірководню способом вказаним вище. Далі проводять абсорбування рідкого потоку NМOC з основного газового потоку.

Абсорбція це вибіркове поглинання речовини з газового чи рідкого середовища усім об'ємом твердого тіла чи рідини. Наприклад, рідини газу — рідиною (аміаку — водою).

Рідкий потік NМOC видаляють з подальшої обробки, а основний газовий потік практично очищають від NМOC. Потім розділяють основний газовий потік на потік відпрацьованих газів, що складається з діоксиду вуглецю, азоту і газоподібного кисню, і на потік продукту, що складається з очищеного метанового газу. Проводять адсорбцію потоку продуктів згоряння з видаленням газового потоку і потоку рециркуляції. Потік рециркуляції змішують з основним газовим потоком, після етапу поділу потоку сирого біогазу і до етапу абсорбування рідкого потоку NМOC. Технічним результатом є підвищення ступеня поділу газів для отримання практично очищеного метану з біогазу.

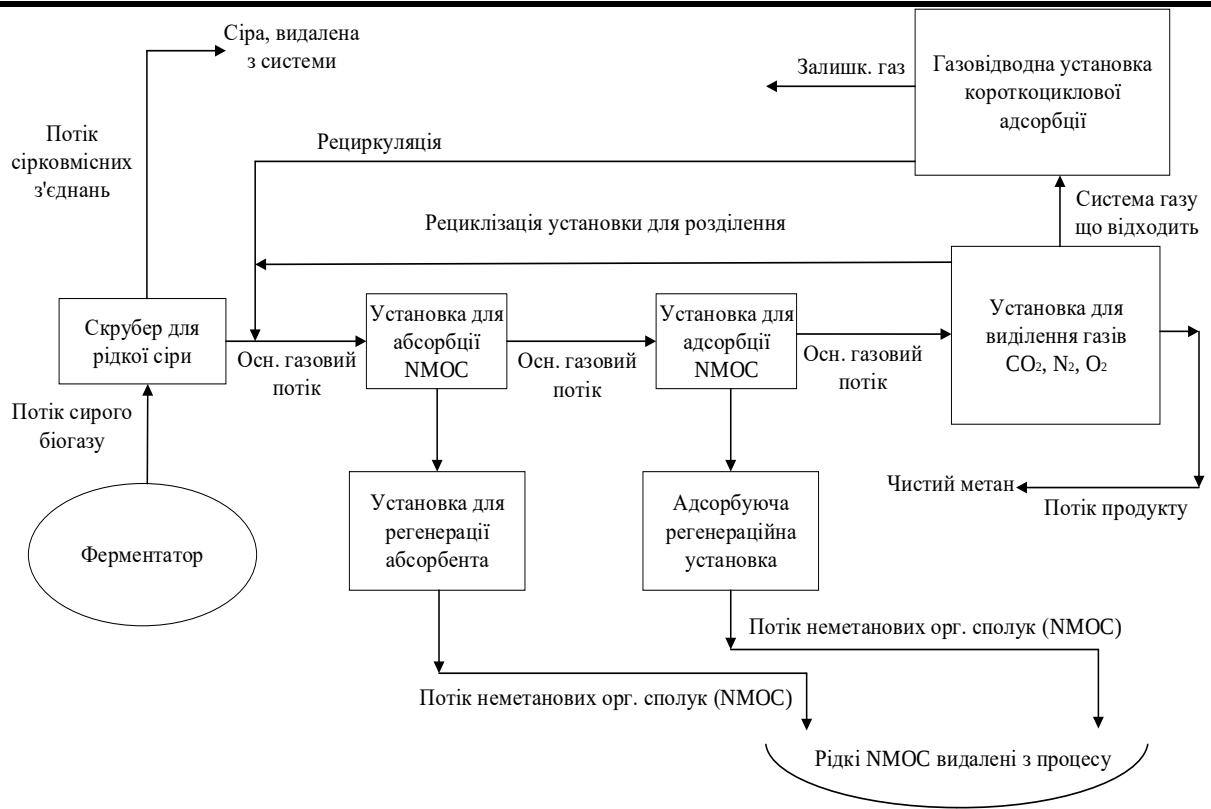


Рисунок 1.4 – Схема очищення біогазу

1.6 Конверсія біометану в синтез-газ [6]

Поняття «синтез-газ» застосовують до різних сумішей монооксиду вуглецю (CO) і водню (H₂), які використовуються для одержання деяких нафтохімічних продуктів. Його в основному отримують з природного газу (метану). Дійсно, найважливіші речовини - аміак, метанол і парафінові вуглеводні - отримують саме з синтез-газу.

Існують два основні методи отримання синтез-газу - конверсія метану з водяною парою і парціальний (часткове) окислення. Обидва методи досить прості.

1. Конверсія метану водяним паром:



2. Парціальне окиснення важкого мазуту:



Конверсія метану з парою

Конверсія з парою складається в пропущенні метану або нафти і водяної пари над нікелевим каталізатором. Реакція протікає за рахунок руйнівної сили високих температур і тисків, і її слід проводити в реакторах, аналогічних печей крекінгу.

При цьому відбуваються побічні процеси, що приводять до утворення CO_2 і вуглецю. Вуглець відкладається на каталізаторі і дезактивує його.

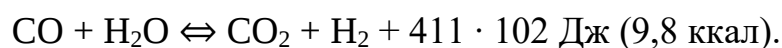
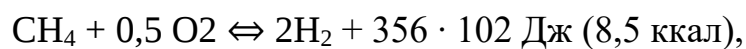
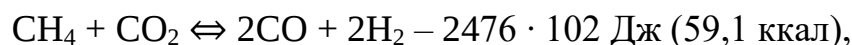
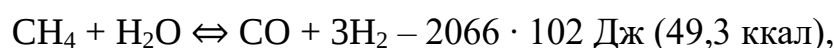
Парціальне окислення метану

Інший метод - це парціальне (часткове) окислення метану. Процес проводять при високих температурах без каталізатора. Метод парціального окислення зазвичай використовують для перетворення більш важких видів сировини - від нафти до залишкового палива - в тих випадках, коли в розпорядженні немає природного газу і легких вуглеводнів (етану, пропану і бутану). В обох процесах вихід суми CO і H_2 становить 90 - 95%.

Конверсія метану [6]

Парова конверсія - отримання чистого водню з легких вуглеводнів (наприклад метану, пропан-бутанові фракції) шляхом каталітичної конверсії вуглеводнів в присутності водяної пари. Конвертують зазвичай газоподібні вуглеводні (метан і його гомологи) і окис вуглецю з метою отримання водню або його сумішей з окисом вуглецю. Такі суміші використовуються для синтезу органічних продуктів і як газ-відновники в металургії або піддають подальшій переробці для отримання водню.

Конверсію проводять із застосуванням в якості окислювачів різних реагентів (кисню, водяної пари, двоокису вуглецю і їх сумішей). Можливо також використання для цієї мети оксидів металів. Найбільш економічним сировиною для конверсії є метан (природний газ). Конверсія метану різними окислювачами може бути описана рівняннями:



Розрізняють конверсію каталітичну і високотемпературну.

Розглянемо каталітичну конверсію метану яка представлена на рис. 1.5, яку проводять з водяною парою в трубчастих печах із зовнішнім обігрівом (парова конверсія), а також з парокислородною сумішшю в апаратах шахтного типу при невеликому ($1,5\text{-}2 \text{ кгс / см}^2$, або $0,15\text{-}0,2 \text{ Мн / м}^2$) і підвищеному ($20\text{-}30 \text{ кгс / см}^2$ або $2\text{-}3 \text{ Мн / м}^2$) тиску.

					141.ЕД-7117.015.БР.ПЗ	25
Змін.	Лист	№ докум.				

Найкращий каталізатор - нікелевий з різними добавками.

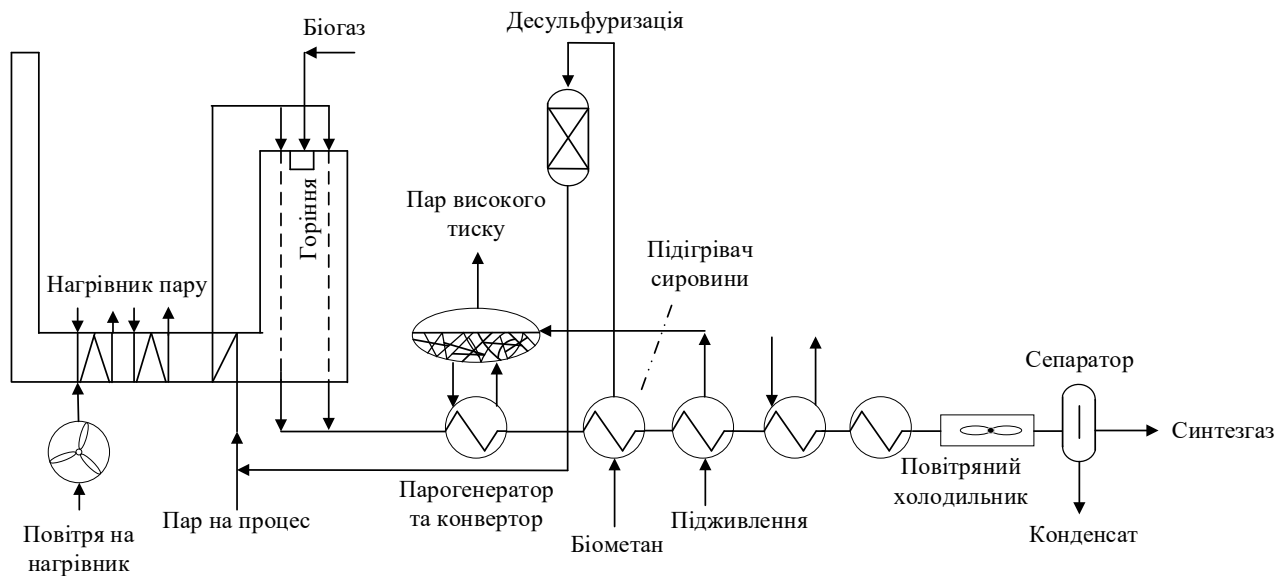


Рисунок 1.5 – Схема парового риформінгу [6]

На рис. 1.5 показана стандартна технологічна схема для високопродуктивної водневої установки.

Основні етапи процесу:

1. Десульфуризація вихідної сировини
2. Паровий риформінг
3. Утилізація тепла для генерації пари
4. Охолодження газу
5. Розділення газу

Очищення сировини

Очищений природний газ подається на установку, розділяючись на два потоки: один служить паливом до пальників печі риформінгу, а другий служить сировинним газом для технологічного процесу.

Після цього суміш сировинного газу і водню проходить через секцію десульфуризації. В блоці десульфуризації відбувається вилучення атома S з газового потоку, шляхом заміни його на H за допомогою реакцій відновлення. Відбувається процес збагачення біогазу під час здійснення якого відбувається видалення сірки зі складу біогазу.

Риформінг

Десульфурований сировинний газ змішується з перегрітою парою. Далі, ця суміш проходить по каталізаторних трубах в печі риформінгу з пальниками.

У трубах печі риформінгу вуглеводи і пар додатково нагріваються в присутності каталізатора, з отриманням водню, вуглекислого газу, чадного газу. Гарячий технологічний газ виходить з трубок з каталізатором установки риформінгу при температурі близько 390 ° С і надходить в парогенератор в якому відходять продукти установки риформінгу при температурі близько 820 ° С, де виробляється пар для процесу, а температура на виході регулюється згідно заданої температури на вході в блок конверсії CO.

Конверсія CO [6]

З парогенератора продукти установки риформінгу а саме технологічний газ виходить з температурою близько 343 ° С і надходить в ємність перетворюючого конвектора. У конвертері відбувається реакція пара і чадного газу в присутності каталізатора з утворенням водню і вуглекислого газу. До моменту виходу з конвертера температура газу зменшується до 35 ° С це збільшення температури варіюється в залежності від продуктивності установки.

З конвертера виходить технологічний газ та надходить в технологічну частину підігрівача сировини, де технологічний газ охолоджується, одночасно підігрівачи сировинної газ. Частина синтез-газу може направлятися в обхід нагрівача сировини з метою підтримки заданої температури сировини для установки гідроочищення. Технологічний газ при виході з підігрівача сировини може використовуватися для випаровування нафти, якщо така подається в якості сировини в установку. Потім технологічний газ пропускається через парогенератор тепла продуктів конвертера і теплообмінник котельної води для рекуперації тепла. Далі технологічний газ охолоджується, що міститься в потоці волога конденсується перед подачею в сепаратор холодного конденсату, де конденсат відділяється від потоку технологічного газу перед введенням технологічного газу в систему КЦА.

Схема КЦА водню [7]

КЦА - система очищення коротко циклової адсорбції. В ній застосовується процес адсорбції для отримання водню високої чистоти. У кожному адсорбері знаходиться шар оксиду алюмінію, вуглець і молекулярне сито. Система працює по повторюваному циклу з двох етапів: адсорбція і регенерація.

Під час адсорбції схема якої представлена на рис. 1.6, технологічний газ проходить через ємність адсорбера, де адсорбенти видаляють з нього домішки. В кінці етапу адсорбції адсорбент насичується домішками, після чого починається етап регенерації (зниження тиску, продування і відновлення тиску). Отриманий залишковий газ збирається в ємності залишкового газу і використовуються в якості первинного палива в установці риформінгу.

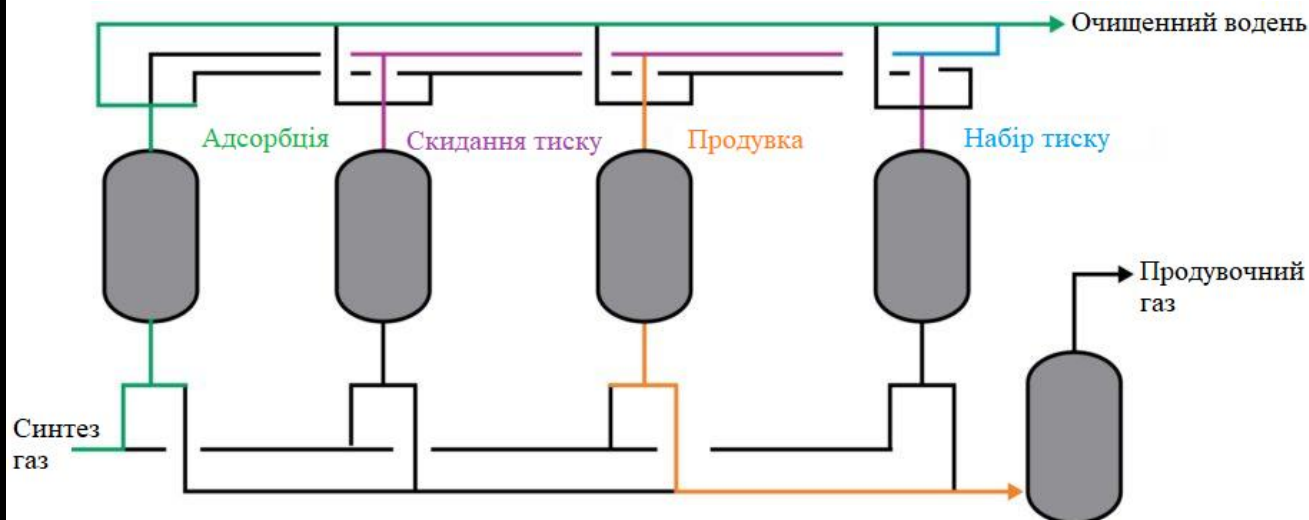


Рисунок 1.6 – Схема коротко-циклової адсорбції

1.7 Перетворення водню в електричну енергію

Паливні елементи [8]

Паливний елемент - це електрохімічна система перетворення енергії. Він виробляє електричну енергію з палива та окислювача. Режим роботи може бути постійним або періодичним. Паливні елементи характеризуються великою кількістю комбінацій палива та окислювачів. Водневі паливні елементи використовують водень як паливо, а кисень - як окислювач.

Їх можливо використовувати в якості стаціонарних генераторів електроенергії, особливістю яких є високий коефіцієнт корисної дії який досягає 60-70%. Вже є приклади впровадження паливних елементів потужністю 2МВт. На рис. 1.7 наведено схематично принцип роботи паливного елемента.

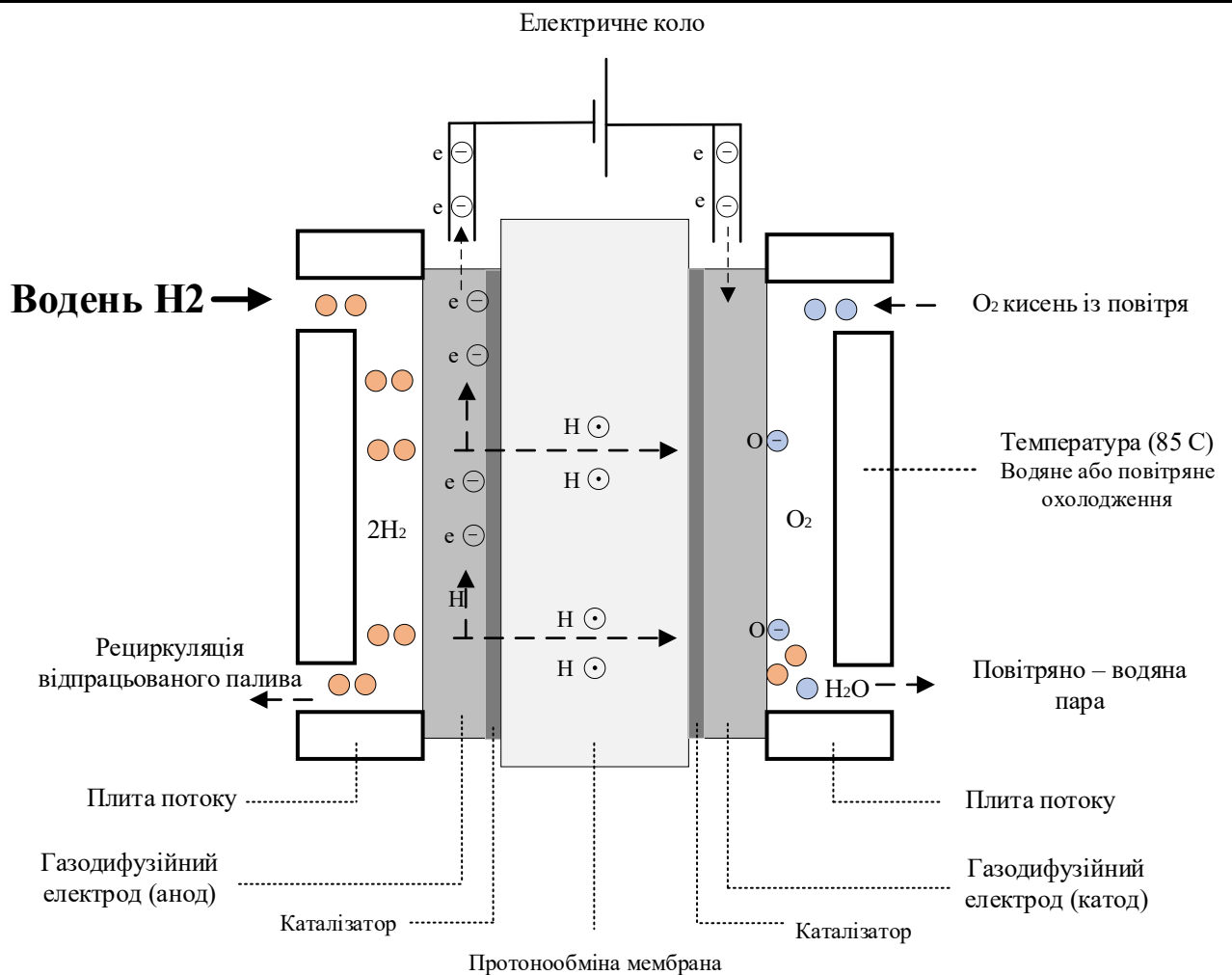
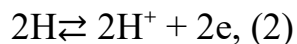
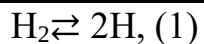


Рисунок 1.7 – Схема паливного елементу

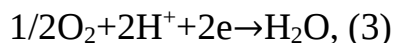
Паливний елемент складається з електродної сполучної мембрани (Мембранний електродний вузол), яка розташована між двома пластинами потоку. Електродна сполучна мембрана складається з двох електродів, анода та катода, які з внутрішньої сторони покриті тонким шаром каталізатора і розділені протоно обмінною мембраною.

У паливному елементі з кислим електролітом пластини потоку несуть водень до анода і кисень до катода. Водень подається високо пористим анодом і надходить в електроліт через мікропори у матеріалі електрода.

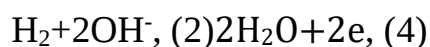
При цьому відбувається розкладання молекул водню на атоми, які в результаті хемосорбції - хімічного процесу, а саме частинного випадку адсорбції не зберігають індивідуальність адсорбтива і адсорбента. При наближенні молекул адсорбтива з поверхнею адсорбента відбувається перерозподіл їхніх електронів з утворенням хімічного зв'язку, віддаючи кожен по одному електрону, перетворюються на позитивно заряджені іони. Цей процес спрощено можна описати такими рівняннями



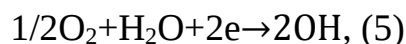
Іони водню H^+ дифундують через електроліт до позитивного боку елемента. Кисень, що надходить на катод, переходить в електроліт і також реагує на поверхні електрода за участю каталізатора. При взаємодії його з іонами водню та електронами, які надходять із зовнішнього ланцюга, утворюється вода:



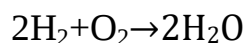
Подібні хімічні реакції відбуваються у паливних елементах із лужним електролітом (як правило, це концентровані гідроксиди натрію або калію). Водень проходить через пористий анод і реагує за наявності каталізатора з існуючими в електроліті іонами гідроксиду з утворенням води та електрона:



На катоді кисень вступає в реакцію з водою, що містить електроліт, й електронами із зовнішнього ланцюга. У послідовних стадіях реакцій утворюються іони гідроксиду. Результуючу реакцію на катоді можна записати у вигляді:



Підсумовуючи рівняння (1)—(3) та (4)—(5), одержимо давно відоме рівняння реакції окиснення водню:



У паливних елементах хімічна енергія палива й окиснювача безпосередньо перетворюється на електричну, що наведено на рис. 1.8, тоді як у теплових машинах процес перетворення хімічної енергії охоплює кілька проміжних стадій, зокрема стадію утворення теплоти.

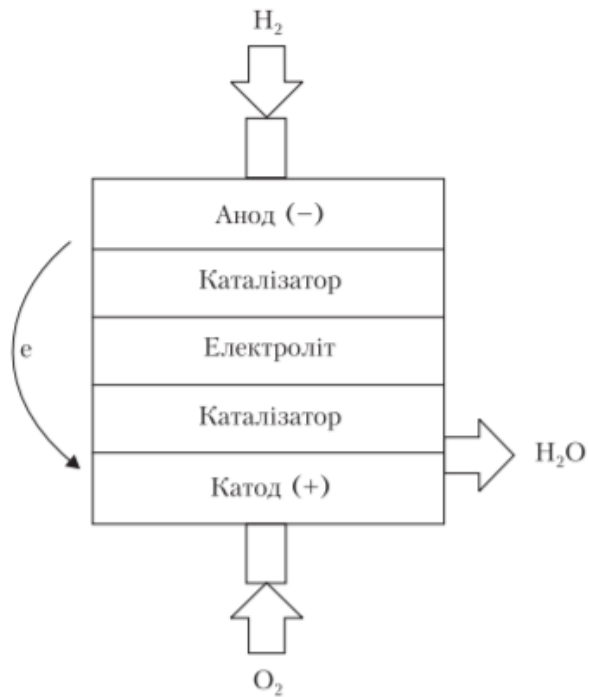


Рисунок 1.8 – Етапна схема роботи паливного елемента [8]

1.8 Висновки до розділу

В даному розділі було розглянуто різні види сировини для виробництва біогазу та різні способи реалізації біогазу. Було детально розібрано технологію виробництва біогазу та визначені фактори метанового процесу, вибрано найкращу рН та лужність і підібраний температурний режим.

Крім того, за допомогою наукових джерел та статей було визначено потенціал виробництва біогазу, а саме подано діаграму з різними видами сировинної бази для виробництва біогазу в Україні. Україна, як аграрна країна має великий потенціал на приклад фермерські господарства для отримання сировини з якої виробляти біогаз. Було проаналізовано технічно досяжний енергетичний потенціал біогазу для кожної області України для подальшого отримання біоводню та сировинна база для отримання біогазу, а саме аграрно-промисловий комплекс.

Було проілюстровано апаратурну схему виробництва та очистки біогазу та детально розглянуто значення кожного елементу на схемі з поясненням його роботи. Перечисленні шляхи покращення якості біогазу та кількості його виробітку. Проаналізовано очищення біогазу від домішок, а саме повна очистка та спеціальна очистка від деяких елементів наприклад кисню та азоту наявність яких залежить від технології переробки відходів або обробки субстрату.

Розглянуто поняття синтез-газ та, що таке конверсія метану, два її види а саме конверсія водяним паром та парціальне окиснення важкого мазуту. Крім того розглянуто способи конверсії метану з чотирма різними окислювачами хімічні рівняння яких приведено. Проаналізовано схему парового риформінгу для перетворення біометану в біоводень з основними етапами процесу, зокрема очисткою біометану від сірки, та розглянуто детально процес КЦА з поданою схемою.

Кінцевою стадією є паливний елемент, який слугує для отримання електричної енергії з біоводню, схему якого подано в даному розділі з повним відображенням його елементів. Представлено стадії перетворення біоводню в електричну енергію, з відповідними хімічними рівняннями. Та проаналізовано етапну схему роботи паливного елементу.

**РОЗДІЛ 2 РОЗРАХУНОК БІОГАЗОВОЇ УСТАНОВКИ, УСТАНОВКИ
ПАРОВОГО РИФОРМІНГУ ТА ПАЛИВНОГО ЕЛЕМЕНТУ**

					141.ЕД-7117.015.БР.ПЗ			
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Система електроживлення фермерського господарства на основі біоводню. Розрахунок біогазової установки, установки парового риформінгу та паливного елементу	Літ.	Аркуш	Аркушів
Розробив		Степенко В.С.						
Перевірів		Будько М.О.					33	70
						НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського», кафедра ВДЕ, ФЕА, гр. ЕД-71		
Н. Контр.		Головко В.М.						
Затвердив		Будько В.І.						

2.1 Вихідні данні

- Птахи качки: 450 шт.;
- Солома зернових: 200 т;
- Добовий вихід екскрементів від качок : 0.425 кг;

Подальші розрахунки зроблені для січня місяця.

2.2 Розрахунок добового та річного виходу біомаси [4]

Добова кількість води, яка потрапляє в систему гноєвидалення :

$$M_{H_2O} = M_{EKC} * K = 0.425 * 0.4 = 0.17 \text{ (кг)} \quad (2.1)$$

Добовий вихід безпідстилкового гною:

$$M_{ГНОЮ} = N_T * \frac{M_{EKC} + M_{H_2O}}{1000} = 450 * \frac{0.425 + 0.17}{1000} = 0.268 \text{ (т)} \quad (2.2)$$

Де: N_T - кількість качок; $m_{екс}$ - добовий вихід екскрементів від качок;

Річна кількість виходу біомаси:

$$M_B = (M_{ГНОЮ} * 365) + M_{КОФ} = (0.268 * 365) + 200 = 297.82 \text{ (т)} \quad (2.3)$$

Де: $m_{коф}$ - кількість коферменту

Визначення співвідношення C/N

Вміст азоту у соломі зернових :

У соломі зернових співвідношення $\frac{C}{N}=49,9$ та вміст азоту $N_K=1\%$

$$N_1 = \frac{m_{коф} * N_K}{100} = \frac{200 * 1}{100} = 2 \quad (2.4)$$

$$C_1 = N_1 * \frac{C}{N} = 2 * 49.9 = 99.8 \quad (2.5)$$

Вміст азоту у пташиному посліді:

У соломі зернових співвідношення $\frac{C}{N}=8.45$ та вміст азоту $N_K=4.8\%$

$$N_2 = \frac{m_{ГНОЮ} * 365 * N_K}{100} = \frac{0.268 * 365 * 4.8}{100} = 4.691 \quad (2.6)$$

$$C_2 = N_2 * \frac{C}{N} = 4.691 * 8.45 = 39.639 \quad (2.7)$$

Отже співвідношення C/N для обраного субстрату дорівнює :

$$N_{12} = N_1 + N_2 = 2 + 4.691 = 6.691 \quad (2.8)$$

$$C_{12} = C_1 + C_2 = 99.8 + 39.693 = 139.439 \quad (2.9)$$

$\frac{C_{12}}{N_{12}}=20.84$, таке співвідношення C/N є оптимального і вихід біогазу найбільший

Вологість безпідстилкового гною визначається за формулою :

$$W_{\text{гною}} = \frac{W_{\text{ЕКС}} + 100 * K}{1 + K} = \frac{84 + 100 * 0.4}{1 + 0.4} = 88.571 (\%) \quad (2.10)$$

Де: $W_{\text{екс}}$ - Відносна вологість екскрементів качок:

Вологість біомаси, яка поступає в метантенк:

$$W_B = \frac{M_{\text{гною}} * W_{\text{гною}} * 365 + M_{\text{коф}} * W_{\text{коф}}}{M_{\text{гною}} * 365 + M_{\text{коф}}} =$$

$$= \frac{0.267 * 88.57 * 365 + 200 * 62.5}{0.267 * 365 + 200} = 71.06 (\%) \quad (2.11)$$

Так як вологість біомаси, яка поступає в метантенк менша оптимальних значень 85-92%, то необхідно її розвести водою:

Маса води, яку необхідно додати до метантенку:

$$M_{\text{H}_2\text{O}_\text{дод}} = \frac{M_B * (W_{B_\text{опт}} - W_B)}{100 - W_{B_\text{опт}}} = \frac{297.72 * (90 - 71.06)}{100 - 90} = 563.9 (\text{т}) \quad (2.12)$$

Де: $W_{B_\text{опт}}$ - оптимальне значення вологості для вихідної біомаси.

Визначення кількості сухої та органічної речовини гною та коферменту:

$$M_{\text{ср}_\text{гною}} = \frac{m_{\text{гною}} * 365 * (100 - W_{\text{гною}})}{100}$$

$$= \frac{0.267 * 365 * (100 - 88.57)}{100} = 11.139 (\text{Т}) \quad (2.13)$$

$$M_{\text{ср}_\text{коф}} = \frac{m_{\text{коф}} * (100 - W_{\text{коф}})}{100} = \frac{200 * (100 - 62.5)}{100} = 75 (\text{Т}) \quad (2.14)$$

Кількість органічної речовини:

$$M_{\text{ср}_\text{гною}} = \frac{M_{\text{гною}} * \vartheta_{\text{ср}_\text{гною}}}{100} = \frac{11.139 * 80}{100} = 8.911 (\text{Т}) \quad (2.15)$$

$$M_{\text{ср}_\text{коф}} = \frac{M_{\text{коф}} * \vartheta_{\text{ср}_\text{коф}}}{100} = \frac{75 * 95}{100} = 71.25 (\text{Т}) \quad (2.16)$$

$$M_{\text{COP}} = \frac{M_{\text{ГНОЮ}} * \vartheta_{\text{COP_ГНОЮ}} + m_{\text{КОФ}} * \vartheta_{\text{COP_КОФ}}}{100} = \frac{11.139 * 80 + 75 * 95}{100} \quad (2.17)$$

$$== 80.161 \text{ (T)}$$

Де: $\vartheta_{\text{COP_ГНОЮ}}$, $\vartheta_{\text{COP_КОФ}}$ – константи кількості органічної речовини для гною і коферментів відповідно.

Добовий обсяг завантаження та об'єм бродильної камери та метантенка [4]:

$$G_{\text{ДОБ}} = \frac{\frac{m_{\text{ГНОЮ}}}{\rho_{\text{ГНОЮ}}} + \frac{m_{\text{КОФ}}}{\rho_{\text{КОФ}}} + \frac{M_{\text{H}_2\text{O_ДОД}}}{\rho_{\text{H}_2\text{O}}}}{365} = \frac{\frac{11.139}{1.06} + \frac{75}{0.65} + \frac{563.9}{1}}{365} = \quad (2.18)$$

$$= 2.389 \text{ (м}^3\text{)}$$

Де: $\rho_{\text{ГНОЮ}}$, $\rho_{\text{КОФ}}$, $\rho_{\text{H}_2\text{O}}$ – густина гнойової біомаси, коферменту, води.

2.3 Об'єм бродильної камери

$$V_{\text{БК}} = G_{\text{ДОБ}} * T_{\text{ЗБ}} = 2.389 * 34 = 76.436 \text{ (м}^3\text{)} \quad (2.19)$$

Де: $T_{\text{ЗБ}}$ – днів зброджування.

Об'єм метантенка

$$V_{\text{МЕТ}} = \frac{V_{\text{БК}}}{\Phi} = \frac{76.436}{0.8} = 95.544 \text{ (м}^3\text{)} \quad (2.20)$$

Де: Φ – коефіцієнт заповнення.

2.4 Висота та внутрішній діаметр метантенку

$$d_{\text{В}} = \sqrt[3]{\frac{4 * V_{\text{МЕТ}}}{\pi * K_{\text{V}}}} = \sqrt[3]{\frac{4 * 95.544}{3.14 * 1.2}} = 4.663 \text{ (М)} \quad (2.21)$$

$$h_{\text{М}} = d_{\text{В}} * K_{\text{V}} = 4.663 * 1.2 = 5.595 \text{ (М)} \quad (2.22)$$

Де: K_{V} – співвідношення $\frac{h}{d}$.

Завантаження бродильної камери OLR (organic loading rate) :

$$\text{OLR} = \frac{m_{\text{COP}}}{V_{\text{БК}}} * 1000 = \frac{80.161}{76.436} * 1000 = 2.873 \left(\frac{\text{кг} * \text{COP}}{\text{м}^3 * \text{доб}} \right) \quad (2.23)$$

Добовий або річний вихід біогазу при повному розкладанні органічної речовини розраховується:

$$\begin{aligned} V_{\text{ПОВ_БІОГ}} &= m_{\text{СОР_ГНОЮ}} * A_{\text{ГНОЮ}} + m_{\text{СОР_КОФ}} * A_{\text{КОФ}} = \\ &= 8.911 * 465 + 71.25 * 615 = 47962.46(\text{м}^3) \end{aligned} \quad (2.24)$$

Де: $\alpha_{\text{ГНОЮ}}$, $\alpha_{\text{КОФ}}$ – вихід біогазу з однієї тони гною та коферменту відповідно.

2.5 Вихід біогазу для обраної технології метанового бродіння:

$$V_{\text{БІОГАЗ}} = V_{\text{ПОВ_БІОГ}} * A = 47962.46 * 0.65 = 31175(\text{м}^3) \quad (2.25)$$

Розрахунок енергетичного балансу процесу анаеробного бродіння

$$V_{\text{М_БІОГАЗ}} = \frac{V_{\text{БІОГАЗ}}}{365} * 31 = \frac{31175}{365} * 31 = 2562(\text{м}^3) \quad (2.26)$$

Кількість теплоти яку можна отримати при використанні біогазу протягом місяця

$$Q_{\text{М_БГ}} = V_{\text{М_БІОГАЗ}} * Q_{\text{Н}} = 2562 * 23 = 58930(\text{МДж}) \quad (2.27)$$

Де $Q_{\text{Н}}$ - нижча теплота згоряння біогазу

В рік отримаємо $\sum Q_{\text{М_БГ}} = 7.111 * 10^5 \text{ МДж}$

2.6 Розрахунок тепло - та енерговтрат в процесі отриманням біогазу

Кількість теплоти для підігрівання завантаженої протягом доби біомаси до температури процесу бродіння

$$\begin{aligned} Q_{\text{ПД}} &= \frac{M_{\text{Б}}}{365} * C_{\text{РБ}} * (T_{\text{ЗБ}} - T_{\text{З}}) = \\ &= \frac{297.73}{365} * 4.18 * 10^{-3} * (32 - (-0.5)) = 0.111 \left(\frac{\text{МДж}}{\text{доб}} \right) \end{aligned} \quad (2.28)$$

Середньомісячна кількість теплоти для підігріву біомаси:

$$Q_{\text{М_ПД}} = Q_{\text{ПД}} * 31 = 0.111 * 31 = 3.324(\text{МДж}) \quad (2.29)$$

Сумарно протягом року $\sum Q_{\text{М_ПД}} = 26.016 \text{ МДж}$

Величина тепловтрат із внутрішнього середовища :

$$\alpha_3 = 11.6 + 7 * \sqrt{v_{\text{ВІТ}}} = 11.6 + 7 * \sqrt{4.6} = 26.613 \quad (2.30)$$

$$R_3 = \frac{1}{\alpha_3} = \frac{1}{26.613} = 0.038 \quad (2.31)$$

$$R_{i3} = \frac{\delta_{cm}}{\gamma_{cm}} + \frac{\delta_{i3}}{\gamma_{i3}} = \frac{0.14}{1.69} + \frac{0.2}{0.06} = 3.416 \quad (2.32)$$

$$k_T = \frac{1}{R_3 + R_{i3}} = \frac{1}{0.038 + 3.416} = 0.29 \quad (2.33)$$

Де: γ_{cm} - коефіцієнт теплопровідності стінки метантенка (залізобетон), Вт/(м*к); γ_{i3} - коефіцієнт теплопровідності теплоізоляції, Вт/(м*к); δ_{cm} - товщина стінки; δ_{i3} - товщина теплоізоляції метантенка;

Площа зовнішньої поверхні метантенка

Площа бічної поверхні метантенка:

$$S_{бок} = \pi * d_B * h_M = 3.14 * 4.663 * 5.595 = 81.963(m^2) \quad (2.34)$$

Площа основи метантенка:

$$S_{осн} = \frac{\pi * d_B^2}{4} = \frac{3.14 * 4.663^2}{4} = 17.076(m^2) \quad (2.35)$$

Повна площа:

$$S_{мет} = S_{бок} + 2 * S_{осн} = 81.963 + 2 * 17.076 = 116.115(m^2) \quad (2.36)$$

$$Q_{ВТ} = k_T * S_{мет} * (T_{36} - T_{31}) = 0.29 * 116.115 * (32 - 5) = 907.74(МДж) \quad (2.37)$$

Де: T_{31} - спеціальна температура для величини тепловтрат

Тепловтрати від метантенка в довкілля:

$$Q_{МВТ} = 3.6 * 10^{-3} * Q_{ВТ} * \tau_{міс} = 3.6 * 10^{-3} * 907.74 * 672 = 2196(МДж) \quad (2.38)$$

Де: $\tau_{міс}$ - кількість годин в місяці

Сумарно протягом року $\sum Q_{МВТ} = 2.098 * 10^4$ МДж

Загальна витрата енергії на механічне переміщення біомаси в метантенку :

$$Q_{мех} = q_{норм} * V_{мет} * z = 50 * 95.544 * 5 = 2.387 * 10^4(Вт * год) \quad (2.39)$$

$$Q_{Ммех} = 3.6 * Q_{мех} * n = 3.6 * 2.387 * 10^4 * 31 = 2.58 * 10^6(Вт * год) \quad (2.40)$$

2.9 Розрахунок процесу парового риформінгу

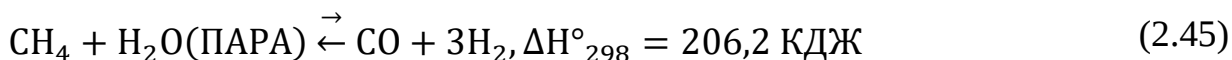
Під час процесу парового риформінгу для перетворення біогазу в синтез-газ та подальшої його очистки для отримання біоводню, а саме для нагрівання пару буде використовуватись частина біогазу.

В середньому в місяць ми отримуємо 2500 м³ біогазу, для нагрівання пару при процесі перетворення біогазу в синтез газ і подальшій його очистці буде використовуватись 25% а саме $\frac{1}{4}$ біогазу, який ще не був очищений, як в стандартних існуючих схемах парового риформінгу. [6], [11] В такому випадку 625 м³ біогазу буде йти для нагрівання водяної пари для парового риформінгу.

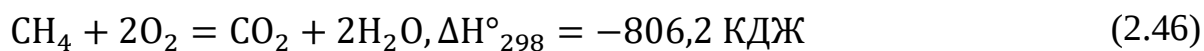
Враховуючи вміст метану в вхідній сировині а саме качиному посліді він складає 60% та соломі зернових 55%, кінцевий вміст метану буде складати 57,5% від вихідної кількості біогазу. Тобто після очистки біогазу та отримання чистого біометану його кількість буде 57,5% від 1875 м³ біогазу з урахування втрати на риформінг, тобто 1078 м³ чистого біометану [12].

При отриманні синтез-газу використовуються слідуєчі хімічні реакції:
Водень який отримують паровою конверсією біогазу, що містить біометан, з водяною парою [13].

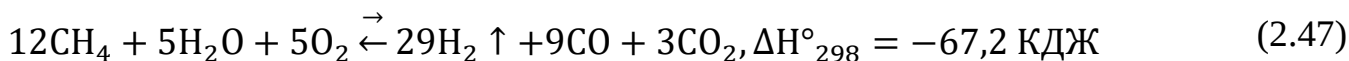
На першій стадії отримують синтез-газ :



Ця реакцію ендотермічна і потребує затрат теплоти, саме для цього до суміші газів додають кисень, щоб частина метану згоріла до CO₂:



Врешті-решт співвідношення між компонентами реакційної суміші добирають таким, щоб процес був слабо екзотермічним:



Тобто виходячи с останньої формули ми отримуємо таке співвідношення:

12 моль = 1078 м³ 29 моль = x м³, з цього співвідношення отримуємо, що в результаті риформінгу та очистки синтез газу вихід водню буде дорівнювати

$$X = \frac{29 \cdot 1078}{12} = 2605,16 \text{ м}^3 \quad (2.48)$$

2.10 Розрахунок паливного елементу

Виходячи з табличних значень теплотворна здатність 1 кг водню складає 33 кВт*год, таким чином ККД вибраної установки для перетворення водню в електроенергію складає 55%, тобто кінцева формула для розрахунку кількості електроенергії в місяць:

Маса 1 м³ водню = 0,0899 кг, тобто 2605 м³ будуть важити 234 кг тоді, [14],[15]

$$234 * 33 * 0,55 = 4\ 250 \quad (2.49)$$

Кінцевим результатом буде отримання з 234 кг водню 4250 кВт*год електроенергії на місяць. Таким чином середній виробіток електроенергії на день складає 141,57 кВт*год. На табл. 2.2 наведено споживання ферми кожного місяця.

					141.ЕД-7117.015.БР.ПЗ	
Змін.	Лист	№ докум.				41

Таблиця 2.2 – споживання ферми кожного місяця, згідно обладнання, яке використовується

Електрооблад-нання	Кількість п, шт	Р, Вт	Січень		Лютий		Березень		Квітень		Травень		Червень	
			т, год	Wсп, кВт год	т, год	Wсп, кВт год	т, год	Wсп, кВт год	т, год	Wсп, кВт год	т, год	Wсп, кВт год	т, год	Wсп, кВт год
Освітлення	20	65	6	7,8	6	7,8	5	6,5	4	5,2	4	5,2	4	5,2
Електрообігрівачі	15	30	12	5,4	12	5,4	10	4,5	8	3,6	6	2,7	6	2,7
Електротехніка	1	5500	4	22	4	22	4	22	4	22	4	22	4	22
Вентиляція	20	100	6	12	6	12	5	10	10	20	9	18	11	22
Холодильник	10	30	4	1,2	4	1,2	4	1,2	6	1,8	6	1,8	6	1,8
Морозильна камера	1	300	4	1,2	4	1,2	4	1,2	4	1,2	4	1,2	4	1,2
Бойлер	1	2000	2	4	2	4	1	2	2	4	2	4	1	2
Елетркообладнання	5	1500	7	52,5	7	52,5	7	52,5	7	52,5	7	52,5	7	52,5
Побутові прилади	2	150	4	1,2	4	1,2	4	1,2	4	1,2	4	1,2	4	1,2
Компресори	6	1000	4	24	4	24	4	24	4	24	4	24	4	24
Конвеєр	3	200	2	1,2	2	1,2	2	1,2	2	1,2	2	1,2	2	1,2
Інш. Елект. Обл	1	300	6	1,8	6	1,8	6	1,8	6	1,8	6	1,8	6	1,8
Споживання в день, кВт год			134,3		134,3		128,1		138,5		135,6		137,6	
Споживання в місяць, кВт год			4163,3		3760,4		3971,1		4155		4203,6		4128	
Електрооблад-нання	Кількість п, шт	Р, Вт	Липень		Серпень		Вересень		Жовтень		Листопад		Грудень	
			т, год	Wсп, кВт год	т, год	Wсп, кВт год	т, год	Wсп, кВт год	т, год	Wсп, кВт год	т, год	Wсп, кВт год	т, год	Wсп, кВт год
Освітлення	20	65	4	5,2	5	6,5	4	5,2	4	5,2	4	5,2	6	7,8
Електрообігрівачі	15	30	4	1,8	4	1,8	7	3,15	8	3,6	9	4,05	12	5,4
Електротехніка	1	5500	4	22	4	22	4	22	4	22	4	22	3	16,5
Вентиляція	20	100	10	20	9	18	9	18	7	14	6	12	6	12
Холодильник	10	30	6	1,8	6	1,8	6	1,8	6	1,8	6	1,8	4	1,2
Морозильна камера	1	300	4	1,2	4	1,2	4	1,2	4	1,2	4	1,2	4	1,2
Бойлер	1	2000	1	2	1,5	3	2	4	2	4	2	4	2	4
Елетркообладнання	5	1500	7	52,5	7	52,5	7	52,5	7	52,5	7	52,5	7	52,5
Побутові прилади	2	150	4	1,2	4	1,2	4	1,2	4	1,2	4	1,2	4	1,2
Компресори	6	1000	4	24	4	24	4	24	4	24	4	24	4	24
Конвеєр	3	200	2	0,12	2	1,2	2	1,2	2	1,2	2	1,2	2	1,2
Інш. Елект. Обл	1	300	6	1,8	6	1,8	6	1,8	6	1,8	6	1,8	6	1,8
Споживання в день, кВт год			133,62		135		136,05		132,5		130,95		128,8	
Споживання в місяць, кВт год			4142,22		4185		4081,5		4107,5		3928,5		3992,8	

На табл. 2.3 відображено кількості електроенергії, яка виходить з паливного елемента кожного місяці на основі розрахунку водню та щомісячної кількості біогазу.

Таблиця 2.3 – генерація паливного елемента, вихід БГУ та установки для парового риформінгу

Місяць	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Біогазу в місяць, м ³	2467	2293	2371	2559	2500	2601	2527	2610	2506	2568	2463	2542
Водню в місяць м ³	2571,08	2368,96	2449,54	2643,77	2605,47	2687,16	2610,71	2696,46	2589,01	2653,07	2544,59	2626,2
Генерація в місяць, кВт год	4195,19	3865,39	3996,88	4313,79	4251,3	4384,6	4259,85	4399,77	4224,45	4328,97	4151,96	4285,14

З отриманого графіку на рис 2.1 видно що генерація електроенергії кожного місяця покриває на 100% щомісячне споживання електричної енергії фермою.

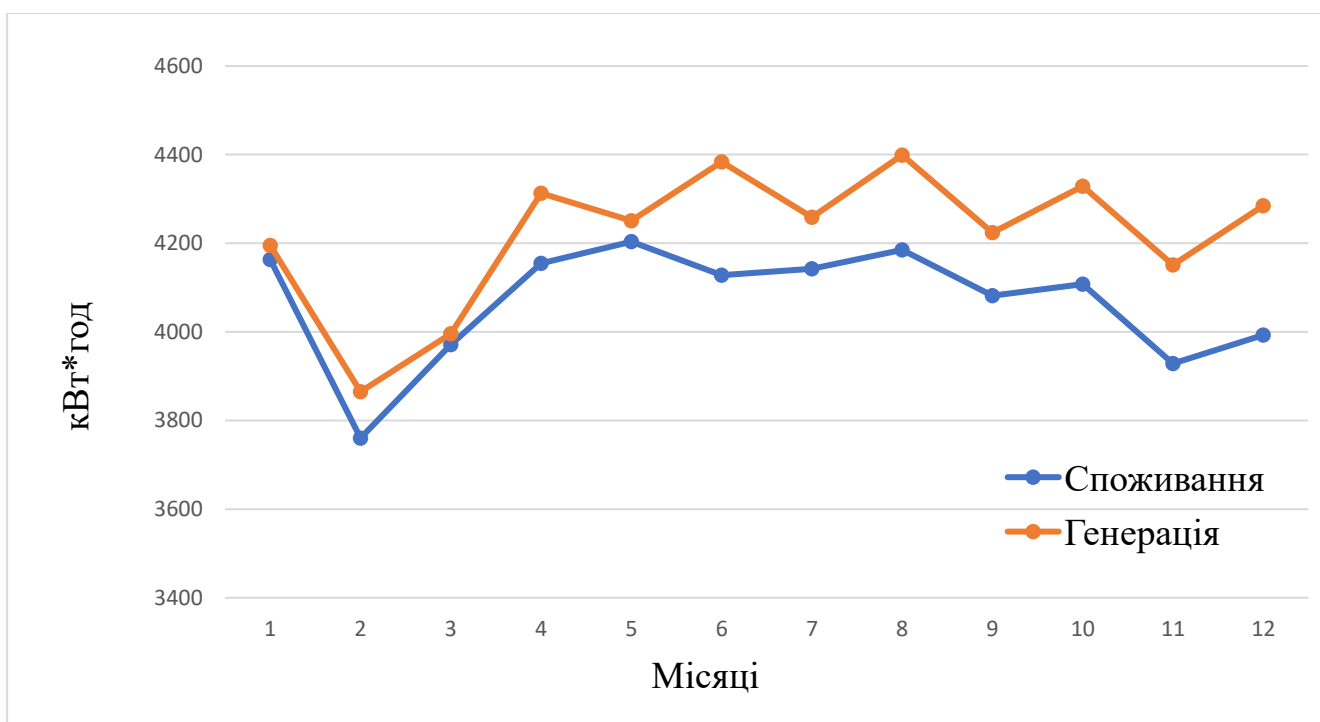


Рисунок 2.1 – Графік генерації та споживання електроенергії кожного місяця

2.11 Висновки до розділу

Першим етапом в даному розділі було розраховано біогазову установку. Розрахунок почався з вхідних параметрів а саме екскрементів качок та перегною соломи зернових, загальна кількість виходу біомаси в рік – 297,82 тон. Далі було розраховано об'єм бродильної камери метантенка 76,436 м³ та об'єм метантенка 95,544 м³. Було розраховано річний вихід біогазу для обраної технології, а саме 31175 м³. Товарна кількість біогазу становить 2467 м³.

Другим етапом було розраховано установку парового риформінгу. На нагрівання біогазу витрачається 25% біогазу, а саме 625 м³ біогазу буде йти для нагрівання водяної пари для парового риформінгу. Було проаналізовано вміст метану в качиному посліді він складає 60% та соломі зернових 55% , кінцевий вміст метану буде складати 57,5% від 1875 м³, тобто 1078 м³ чистого біометану. В результаті розрахунку парового риформінгу та очистки було отримано 2605 м³ водню.

Третім етапом розрахунку був розрахунок паливного елементу для отримання електричної енергії з біоводню. ККД паливного елементу 55%. Результатом проведеного розрахунку для 234 кг водню є 4250 кВт*год електроенергії на місяць. Таким чином середній виробіток електроенергії на день складає 141,57 кВт*год.

Було проаналізовано споживання фермерського господарства кожного місяця та побудовано графік, з якого видно що генерація кожного місяця на 100% покриваю споживання ферми.

**РОЗДІЛ 3 СХЕМНЕ РІШЕННЯ СИСТЕМИ ПЕРЕТВОРЕННЯ
ЕНЕРГІЇ БІОМАСИ В ЕЛЕКТРИЧНУ ЕНЕРГІЮ**

					141.ЕД-7117.015.БР.ПЗ			
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Система електроживлення фермерського господарства на основі біоводню. Схемне рішення системи перетворення енергії біомаси в електричну енергію	Літ.	Аркуш	Аркушів
Розробив		Степенко В.С.						
Перевірів		Будько М.О.					45	70
						НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського», кафедра ВДЕ, ФЕА, гр. ЕД-71		
Н. Контр.		Головко В.М.						
Затвердив		Будько В.І.						

3.1 Вибір БГУ та мішалки та їх параметри

Вибір установки для виробництва та очистки біогазу робиться з урахування вхідних параметрів – річної кількості виходу біомаси 297,82 т/рік , розрахункових параметрів, а саме об'єму метантенку – 95,5 м³, добовий обсяг завантаження – 2,4 м³ та об'єм бродильної камери – 78 м³ і температурного режиму – мезофільного (32°C) та інших. Біогазова установка, яка буде спроектована та реалізована компанією «Ecodevelop» проілюстрована на рис. 3.1.



Рисунок 3.1 – Установка для виробництва біогазу

На табл. 3.1 зображено основні параметри вибраної біогазової установки. Деякі з даних параметрів, компанія, яка є виробником даних установок, дозволяє розробити максимально близьким до розрахункових та підігнати до існуючих стандартних елементів, наприклад таких, як мішалки.

Таблиця 3.1 – Параметри біогазової установки

Параметр	Значення
Кількість сировини	300 т/рік
Об'єм метантенку	96 м ³
Температурний режим	Мезофільний (32°C)
pH	6,5-7,2
Вихід біогазу	30744 м ³ /рік
Витрати біогазу на підтримання процесу	913 м ³ /рік
Кількість товарного біогазу	29831 м ³ /рік
Країна виробник	Україна
Компанія виробник	Ecodevelop

Однією з частин біогазової установки, а саме в приймальному резервуарі є розмішуючи механізм. Було вибрано лопатеву мішалку RZP 50-3.25-4/8 S25, вибір було здійснено за формулою для лопатевих видів мішалок $D \text{ мішалки} = 0,1 \times d \text{ метантенку}$, тобто $0,1 * 4,6 = 0,46 \text{ м}$. Вибрана мішалка, яка зображена на рис. 3.2 має діаметр 0,48 м.



Рисунок 3.2 – Лопатева мішалка RZP 50-3.25-4/8 S25

Для даної лопатевої мішалки зображена принципова електрична схема на рис.

3.3

Позначення	Тип	Примітка
QF	Автоматичний вимикач ВА47-29	Номинальний струм 10 А
SB1,2	Стоп кнопка BCS12-025-3	Номинальний струм 25 А
КМ	Контактор, магнітний пускач ПМЛ-1100	Номинальний струм 10 А Номинальна напруга по ізол. 660 В
КК	Електротеплові реле РТЛ-1010 О*4 ЭТАЛ	Номинальний струм 10 А Діапазон спрацювання 3.8-6
КТ	Реле часу РВМ РВЦ -10/D	Макс. струм 10 А
SA	Вимикач або перемикач КУ 701 А У2	Номинальний струм 10 А Напруга 380 В
М	Двигун Т 17-4/8R (Ex) потужність	Потужність 3,5 кВт

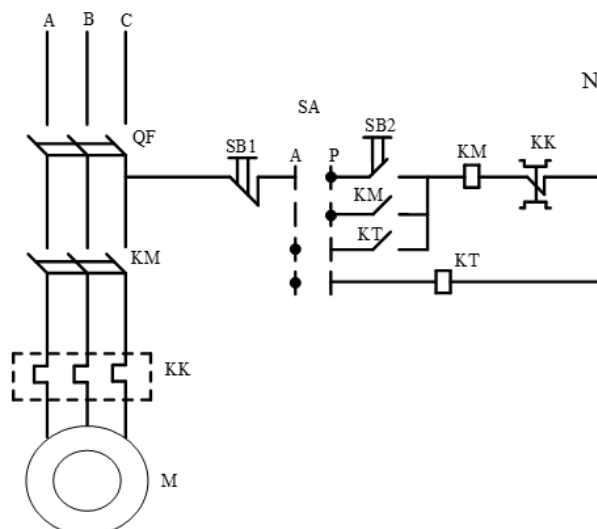


Рисунок 3.3 – Принципова електрична схема підключення мішалки

Параметри механічної лопатевої мішалки RZP 50-3.25-4/8 S25 подано в табл. 3.2

Таблиця 3.2 – Параметри лопатевої мішалки RZP 50-3.25-4/8 S25

Параметр	Значення
Найменування	RZP 50-3.25-4/8 S25
Тип	Лопатева
Номинальний діаметр гвинта	480 мм
Температура перекачуваної рідини	3-40°C
Номинальна потужність мотору	3,5 кВт
Номинальний струм	7,9 А
Швидкість обертання	1410 об/хв
Кількість в метантенку	1 шт.
Кількість годин роботи	4-5 год
ККД установки	78%

3.2 Вибір установки парового риформінгу та її параметри

Вибір установки для парового риформінгу робиться з урахування вхідних параметрів – об'єму біогазу 2500 м³/місяць, розрахункових параметрів, а саме 1078 м³ чистого біометану та витрат біогазу на підтримання процесу – 625 м³. Установка парового риформінгу, яка буде реалізована компанією «Caloric Anlagenbau GmbH» проілюстрована на рис. 3.4.



Рисунок 3.4 – Установка парового риформінгу

На табл. 3.3 зображено основні параметри вибраної установка парового риформінгу. Дана установка є установкою малого типу тому має 1 риформер та 4 колони КЦА, задані стандартні параметри температуру першого та другого теплообмінників та споживання електричної енергії на 1 м³.

Таблиця 3.3 – Параметри установка парового риформінгу

Параметр	Значення
Тип установки	малий
Склад обладнання	1 риформер + 4 колони КЦА
Вхідний об'єм біометану	1078 м ³ /міс
Витрати біогазу на підтримання процесу	625 м ³
Температура першого теплообмінника	390°C
Температура другого теплообмінника	210°C
Температура газу на виході	35°C
Споживання електричної енергії	0,033 кВт*год на 1 м ³
Продуктивність (Н)	2605,16 м ³ /міс
Країна виробник	Німеччина
Компанія виробник	Caloric Anlagenbau GmbH

Вибір водневого паливного елементу робиться з урахування вхідних параметрів – об'єму водню 2606 м³/місяць. Водневий паливний елемент, іспанської компанії «ReliOn» проілюстрована на рис. 3.5.

3.3 Вибір водневого паливного елемента та його параметри



Рисунок 3.5 – Водневий паливний елемент

На табл. 3.4 зображено основні параметри вибраного водневого паливного елемента. Тип елемента малий, тривалість безперервної роботи 2 години. Коефіцієнт корисної дії даного елемента 55%.

Таблиця 3.4 – Параметри водневого паливного елемента

Параметр	Значення
1	2
Тип установки	малий
Вхідний об'єм водню	2605,16 м ³ /міс
ККД установки	55%
Напруга	24 / 48 В
Тривалість безперервної роботи	2 год
Споживання водню	0,75 м ³ /хв

1	2
Вироблення води	32мл/кВт*год
Продуктивність	4250 кВт*год
Країна виробник	Іспанія
Компанія виробник	ReliOn

3.4 Висновки до розділу

В даному розділі було вибрано біогазову установку компанії «Ecodevelop» для розрахованих параметрів а саме кількості вхідної біомаси, об'єму метантенку, об'єму бродильної камери та добовому обсягу завантаження. Було приведено таблицю з основними параметрами БГУ. Наступним з обладнання було обрано лопатеву мішалку RZP 50-3.25-4/8 S25, вибір було здійснено по формулі з діаметром метантенка, приведено параметри мішалки та принципова електрична схема.

Наступним етапом вибору обладнання було вибрано установку для парового риформінгу, яка дозволяє отримати біоводень з біогазу, з урахуванням вхідних параметрів біогазу та кількості біометану. Було обрано установку компанії «Caloric Anlagenbau GmbH», продуктивність якої 2605 м³ водню на місяць. Приведено параметри установки.

Останнім етапом був вибір паливного елемента з допомогою якого біоводень перетворюється в електричну енергію. Було обрано паливний елемент іспанської компанії «ReliOn» з корисною дією 55%. Та наведено параметри водневого елемента, тип установки – малий, продуктивність, тривалість роботи та інші.

РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ

					141.ЕД-7117.015.БР.ПЗ			
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Система електроживлення фермерського господарства на основі біоводню. Охорона праці	Літ.	Аркуш	Аркушів
Розробив		Степенко В.С.						
Перевірів		Будько М.О.					54	70
						НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського», кафедра ВДЕ, ФЕА, гр. ЕД-71		
Н. Контр.		Головко В.М.						
Затвердив		Будько В.І.						

4.1 Характеристика паливного елемента, який розробляється

Основні технічні характеристики паливного елемента наведені в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Характеристики паливного елемента і його функціональних блоків

1	2	3	4	5
№	Найменування приладу та функціональних блоків	Основні характеристики	Кількість	Позиція на рисунку
1	Паливний елемент	Напруга: 0,4 В Сила струму: 10 мкА Клас електрозахисту: 0 [38]	1	—
2	Резервуар з водою	Пластмасова трубка Об'єм: 2 0мл Довжина: 70 мм Зовнішній діаметр: 6 мм Товщина: 0,5 мм	1	4
3	Активний шар	Вуглецева тканина, з осадженою на платинову черню	2	3

1	2	3	4	5
4	Мембрана	Силіконова трубка. Довжина: 60 мм Зовнішній діаметр: 8 мм Внутрішній діаметр: 6 мм	1	5
5	Електроди	Платиновий дріт. Діаметр: 0,5 мм	2	2
6	Мультиметр	Цифровий мультиметр	1	6
7	Корпус	Пластмасова трубка Довжина: 60 мм Зовнішній діаметр: 10 мм Внутрішній діаметр: 9 мм	1	7

4.2 Складові частини схеми

За допомогою каталізатора з води виділяється водень, який потім іонізується. Електрони йдуть у зовнішнє електричне коло, тобто на електроди, а протони через протон провідну мембрану, де вони відновлюються до води.

Функціональна схема паливного елементу наведена на рис. 4.1.



Рисунок 4.1 — Функціональна схема паливного елемента на воді.

4.1.3 Характер взаємодії паливного елемента в системі «людина – об’єкт»

Засоби отримання інформації про роботу паливного елемента представлені в табл. 4.2.

Таблиця 4.2 – Взаємодія паливного елемента в системі «людина – об’єкт»

№	Найменування функціонального блока	Вид відображення інформації	Кількість
1	Мультиметр	Сила струму, напруга на електродах.	1

Для контролю функціонування паливного елемента до нього підключається цифровий мультиметр, який відображає інформацію про напругу та струм. Взаємодія між паливним елементом і людиною мінімальне, оскільки його використання не передбачає втручання.

Основною небезпекою є контакт людини зі струмопровідними елементами або елементами, що знаходяться під напругою.

Таблиця 4.3 – Основні небезпеки електричного характеру

№	Найменування функціонального блоку	Джерело небезпеки	Причини небезпеки
1	Електроди	Постійний струм	Контакт з оголеним електродом

Таблиця 4.4 Реальні та нормативні фактори небезпеки

№	Фактор небезпеки	Реальне значення	Нормативні значення
1.	Напруга	0,2 В	15 В

Таблиця 4.5 – Заходи з забезпечення безпеки роботи паливного елемента

№	Група номенклатурн их заходів з ОП	Вид заходу	Критерій вибору
1.	Технічні засоби	Технічні заходи для забезпечення захисту від електричних небезпек не передбачаються	—
2.	Організаційні заходи	Інструкція з експлуатації, навчання персоналу;	Доступність знань щодо безпеки експлуатації приладу;
3.	Режимні заходи	Перевірка несправностей тільки у відключеному стані;	уникнення контакту з елементами під напругою;
4.	Експлуатаційн і заходи	Перевірка на цілісність ізоляції;	забезпечення безпечної роботи з об'єктом;
.	ЗІЗ	не передбачені;	—

При роботі з паливним обладнанням достатньо дотримуватися стандартних норм роботи з електричним обладнанням.

4.3 Небезпека пожежі

Таблиця 4.6 – Основні небезпеки пожежі

№	Найменування функціонального блоку	Джерело небезпеки	Причини небезпеки	Наслідки небезпеки
1.	Електроди	Електроди	Коротке замикання	Підвищення температури електродів, оплавлення ізоляції
2.	Корпус	Корпус	Зовнішнє джерело займання	Займання корпусу паливного елементу
3.	Мембрана	Силіконова трубка	Зовнішнє джерело займання	Займання мембрани паливного елементу

Таблиця 4.7 Реальні та нормативні фактори небезпеки

№	Фактор небезпеки	Клас пожежі
1.	Коротке замикання	Клас В, С
2.	Зовнішнє джерело займання	Клас В, С

Таблиця 4.8 – Заходи з забезпечення охорони праці

№	Група номенклату рних заходів з ОП	Вид заходу	Критерій вибору
1.	Технічні заходи	Використання важко горючих матеріалів. Гарно провітрюване приміщення або вентиляційна система	Запобігання розповсюдження пожежі Запобігання займанню водню або воднево- кисневої суміші
2.	Організаційні заходи	Інструкція з експлуатації; навчання персоналу;	Доступність знань щодо безпеки експлуатації приладу
3.	Режимні заходи	Від'єднання джерела живлення від навантаження у випадку виникнення несправностей	Захист від електричного ушкодження
4.	ЗІЗ	Не передбачені;	—

Так як ризик виникнення пожежі пов'язаний з плавленням і горінням пластмаси та полімеру, а також займанням водню або воднево-кисневої суміші паливний елемент відноситься до класів В і С пожежонебезпечної техніки.

Варто зазначити, що горіння водню або воднево-кисневої суміші вкрай малоімовірне, оскільки виділення H_2 та його іонізація відбувається у дуже малих кількостях за рахунок каталізатору (платинової черні), тобто не є інтенсивним, а переважна кількість іонів проходить через мембрану і відновлює іони кисню.

Водень, що не проходить через мембрану поступово покидає паливний елемент, оскільки конструкція не є повністю герметичною і така летка речовина як водень може з легкістю перейти у зовнішню атмосферу.

Для виключення небезпеки займання водню варто встановлювати паливний елемент в гарно провітрюваному місці або забезпечити обдування повітрям.

4.3 Розробка «Інструкції з техніки безпеки при експлуатації паливного елемента»

Загальні положення, що стосуються прав і обов'язків обслуговуючого персоналу щодо дотримання вимог техніки безпеки:

- паливний елемент може експлуатувати тільки кваліфікований персонал;
- обслуговування паливного елемента може здійснювати тільки кваліфікований фахівець (сервісний інженер);

Технологічні вимоги щодо дотримання заходів безпеки перед початком роботи, під час роботи і після закінчення роботи та в умовах надзвичайних ситуацій:

- перед під'єднанням до приладів варто оглянути паливний елемент на предмет наявності пошкоджень ізоляції та корпусу;
- перед початком роботи необхідно перевірити сполучні кабелі та електроди і замінити елементи, якщо наявні очевидні ознаки псування і дефекти, що можуть бути ризиком для безпеки або правильної роботи приладу;
- не допускається контакт з електродами інших приладів;
- заборонено використовувати у безпосередній близькості легко горючими речовинами;
- в умовах аварійної ситуації рекомендується відключити живлення та/або уникати з ним контакту без засобів індивідуального захисту;

Особливості обслуговування паливного елемента на воді, безпечні прийоми роботи:

- під час транспортування слід злити воду і зафіксувати електроди;

- паливний елемент повинен проходити огляд і огляд на регулярній основі (раз на 1 рік). Сервісне обслуговування проводиться за необхідності. Результати тестів повинні документуватися і порівнюватися зі значеннями в супровідних документах.

4.4 Безпека при роботі з біогазом

На виробництвах з використанням обладнання для анаеробного зброджування можуть працювати особи не молодше 18 років, що пройшли медичний огляд, спеціальну підготовку та інструктаж з техніки безпеки. Не допускаються також вагітні жінки та годуючі матері.

Обов'язковими є регулярні інструктажі з безпеки та пожежної охорони, перевірка знань будови і принципів експлуатації установок для всього персоналу. Допущений до роботи персонал повинен знати також схеми трубопроводів, принцип роботи вимірювальних приладів, методи безпечного підключення приладів, шляхи запобігання аварій та ряд інших неполадок.

Весь персонал зобов'язаний знати техніку безпеки і внутрішні правила роботи та безумовно дотримуватися їх. Територія виробництва повинно мати робочий паркан. Не допускається пропуск на виробничу територію сторонніх осіб без спеціально призначеної для супроводу людини. Використання відкритого полум'я всередині на території та в приміщеннях заборонено. Палити та їсти дозволено лише у спеціально виділених місцях.

Робочі місця персоналу повинні знаходитися у належному стані. Забороняється ускладнення доступу до вогнегасників та електрообладнання розподільним шафам тощо.

Всі вимірювальні прилади повинні регулярно перевірятися та мати відповідну печатку чи пломбу. У разі виникнення відкритого полум'я для гасіння пожежі використовують сухий пісок та вогнегасники з вуглекислим газом. В надзвичайних ситуаціях необхідно використовувати індивідуальні засоби захисту.

При роботі із гноєсховищами, необхідно проводити роботу в респіраторях. Здійснення безпечної роботи насосів, обладнання під тиском та клапанів повинні виконуватися належним чином згідно інструкцій та внутрішніх правил виробництва.

У деяких випадках біогазові установки є джерелом підвищеної небезпеки:

					141.ЕД-7117.015.БР.ПЗ	62
Змін.	Лист	№ докум.				

Концентрований біогаз, при вдиханні його протягом тривалого періоду часу, може спричинити отруєння чи навіть смерть. Сірка у складі неочищеного біогазу має сильну токсичну дію.

Очищений від сірки біогаз також може бути смертельним, так як може стати причиною смерті через брак кисню.

Біогаз у суміші з повітрям, та за концентрації 6-12% та присутності джерела тепла з температурою понад 70 ° С стає вибухонебезпечним, а також виникає небезпека вибуху без джерела нагрівання коли концентрація біогазу перевищує 12%.

Є ризик виникнення небезпеки від електроприладів, обертових елементів, труб та обладнання що працює під тиском.

Метан – безбарвний газ, що не розчиняється у воді, здійснює негативний пригнічуючи вплив на ЦНС та координацію рухів, небезпечний при концентрації понад 5%.

Вуглекислий газ – безбарвний газ, важчий за повітря, негорючий та не має вираженого запаху.

Наявність вогнегасників, пожежної сигналізації, клапанів спуску надлишку газу із метантенку є обов’язковими при роботі на виробництвах з отримання біогазу, так як таким способом може бути знижено ступінь небезпеки, що виникає при роботі з обладнанням. Починаючи зі стадії проектування виробництва, необхідно дотримуватися набору правил техніки безпеки, задля уникнення небезпеки в подальшій роботі із обладнанням.

Вимоги до необхідної техніки безпеки представлені у таблиці 5.1. Правила та техніка безпеки при роботі з біогазовими установками для застосування як сільськогосподарського, промислового та індивідуального обладнання надають детальні інструкції щодо безпечного використання окремих складових блоків, повний опис технічних приміщень для розміщення обладнання, отримання та доставки виконаних робіт, належної організації роботи у зонах підвищеної небезпеки, попередження аварій та травм, а також супроводжуються вимогами охорони праці.

Таблиця 4.9 Перелік нормативно-правових документів по роботі із біогазовими установками

Регульовані питання	Закони, розпорядження
Безпека під час будівництва і експлуатації	Закон про безпеку при роботі з електрообладнанням і на виробництві; Норми з безпеки при роботі з вибуховими речовинами BGR 104, BGR 132; Безпека експлуатації підприємства; Європейські нормативи 94/9 / ЄС; Норми щодо запобігання нещасних випадків і профспілкові вимоги.
Безпека при роботі з технікою на виробництві.	Закон про безпеку при роботі з технікою і на виробництві, Європейські норми. Норми для роботи з технікою і на виробництві: мінімальні вимоги GPSGV 1 норми при роботі з низькою напругою GPSGV 9; Норми щодо поводження з технікою. GPSGV 11 і 14.
Техніка безпеки працівників на робочому місці.	Закон про захист праці. Норми про безпеку роботи підприємства.

Правила і норми техніки безпеки, при роботі з біогазовим обладнанням, сільськогосподарського, промислового і індивідуального призначення, дають деталізовані вказівки щодо безпечної експлуатації окремих вузлів біогазових установок, комплектації технічних приміщень по розміщенню біогазових установок, прийому і здачі виконаних робіт, правильної організації зон підвищеної небезпеки (вибухонебезпечних ділянок), запобігання нещасним випадкам та травматизму.

До цих правил додаються вимоги з охорони праці, оскільки на біогазових установках працює окремий персонал.

Роботодавець зобов'язаний надати документ з вибухонебезпечними зонами, по якому можна було б визначити:

1. наскільки велика небезпека освіти вибухонебезпечних сумішей на виробництві і місце їх можливого виникнення;
2. заходи вживаються для мінімізації цієї небезпеки.

Робота з біогазовою установкою вимагає суворого дотримання спеціальних правил, що визначається двома основними положеннями.

Працівники повинні дотримуватися таких правил.

1. Кожен робітник працює на постійному місці, виконуючи завдання індивідуально.
2. На робочому місці не повинно бути сторонніх предметів.
3. Робітник повинен працювати тільки в чистих халатах, волосся повинне бути підібрані, не падати на плечі.
4. При роботі з культурами мікроорганізмів необхідно дотримуватися всіх правил мікробіологічної техніки.
5. Всі предмети, використані при роботі з живими культурами, повинні бути знезаражені або обпаленням в полум'я пальника (петлі, голки), або занурені в дезінфікуючий розчин (предметні і покривні скла, піпетки, шпателі).
6. Всі засіяні пробірки, чашки збожеволіють в термостат.

Відпрацьований матеріал (пробірки, чашки Петрі) також міститься в певні ємності для їх подальшого знезараження.

Вся територія біогазової установки повинна бути загороджена та мати пропускну систему, для запобігання потрапляння по сторонніх лиць на території без супроводжуючого.

Куріння та вживання їжі та напоїв повинні здійснюватися тільки у відведених для цього місцях.

Всі робочі місця повинні бути у належному робочому стані. Не допускається захаращення проходів, повинні бути відкриті доступи до засобів пожежогасіння, електричних приладів та ін.

В залежності від ймовірності вибуху різні частини установки розділені на так звані «вибухонебезпечні зони», в яких варто впровадити відповідні міри по маркуванню, профілактиці та забезпеченні безпеки. На ділянках зони 0 вибухонебезпечна атмосфера утворюється постійно, особливо при порушенні робочих режимів [10]. Зона 1 описує ділянки, на яких при нормальній експлуатації іноді може утворитись вибухонебезпечна атмосфера. Це ділянки поблизу газгольдерів, повітродувок, приладів для захисту від надлишкового тиску або газових факелів. В цій зоні може використовуватись обладнання і вибухозахищені прилади з відповідною сертифікацією для зони 0 та 1. В закритих приміщеннях варто уникати обумовлених технологій викидів біогазу. В зоні 2 в звичайному режимі неможливе вибухонебезпечне середовище газів. Вибухонебезпечні зони (1 і 2) обов'язково документуються на плані вибухонебезпечних зон. План подається разом з документами з планування будівництва в належні контрольні органи, для видачі дозволу на будівництво. Запірна арматура і газопроводи повинні проходити перевірку на непроникність. Вони повинні бути корозійностійкими до робочого середовища, на практиці зазвичай виготовляються з нержавіючої або оцинкованої сталі, полівінілхлориду та поліетилену (витримує високий тиск).

Крім того, на біогазових установках, вчасності в закритих або заземлених приміщеннях може наставати задуха внаслідок витіснення кисню біогазом. По цій причині в закритих приміщеннях завжди повинна бути достатня вентиляція, а також, при роботах в потенційно небезпечних зонах працівники повинні користуватися особистими засобами захисту, наприклад газовими детекторами, засобами захисту дихальних шляхів.

Також при роботах по техобслуговуванню на трубопроводах, насосах і обладнанні продувки потрібно пам'ятати, що вони повинні проводитися на рівні підлоги. Якщо це неможливо потрібна бути передбачена стаціонарна примусова вентиляція, щоб передбачити небезпеку задухи отруєння при можливому витоку газу.

					141.ЕД-7117.015.БР.ПЗ	
Змін.	Лист	№ докум.				67

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. В результаті аналізу сировинної бази встановлено, що Україна має значний ресурсний потенціал для виробництва біогазу, а саме 38,42 млрд. м³/рік. Було проаналізовано технічно досяжний енергетичний потенціал біогазу для кожної області України для подальшого отримання біоводню.

2. Обґрунтовано доцільність застосування технології парового риформінгу біометану для отримання біоводню. Розглянуто поняття синтез-газ та, що таке конверсія метану. Проаналізовано схему парового риформінгу для перетворення біометану в біоводень з основними етапами процесу.

3. Приведено розрахунок системи виробництва біогазу кількість якого 31175 м³ на рік при використанні екскрементів качок та перегною соломи зернових, загальна кількість виходу біомаси в рік – 297,82 тон.

4. Запропоновано електричну схему перемішуючого пристрою біогазової установки для інтенсифікації процесу.

5. Проведено розрахунок виробництва електричної енергії паливним елементом на біоводню, та встановлено, що запропонована система повністю покриває споживання електричної енергії фермерського господарства протягом року.

6. Було записано охорону праці при роботі з біогазовими установка, ризики при роботі з установкою парового риформінгу, через наявність високих температур та ризики при роботі з паливним елементом, а саме небезпеки пожежі, основні небезпеки електричного характеру.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Уминський С. М. Продукування біогазу та органічних добрив з відходів агропромисловості / С. М. Уминський, С. М. Інютин // Техніка і технології АПК. – 2013. – № 11. – С. 19-24
3. Томас А. Руководство по биогазу: от получения до использования / А. Томас, Ф. Хартвиг, Д. Гельмут. // Специальное агентство возобновляемых ресурсов (FNR). – 2012. – С. 213
4. Таргоня В. С. Визначення обсягів вторинної сировини та розрахунок можливого виходу біогазу на тваринницьких фермах та комплексах / В. С. Таргоня, В. В. Оверченко, Б. В. Щербак. – 2012. – С. 26
5. Naciones Unidas, "Convenio de Basilea sobre el control de los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación". Adoptado por la Conferencia de Plenipotenciarios. 22 de marzo de 1989. – P. 126
6. Арутюнов В. С. Окислительная конверсия природного газа/ Арутюнов В. С. – 2016. – № 11. – С. 45-78
7. PNUMA, "Protocolo de Montreal relativo a las sustancias que agotan la capa de ozono". 2002. ISBN 92-807-1888-6. – P. 44
8. IEA, "CO2 emisiones from fuel combustion- Highlights". 2010. Agencia Internacional de la Energía – IEA. – P. 89
9. Classen, P. A. M., Van Lier, J. B., Contreras, A. M. L., van Niel E. W. J., Sijtsma, L., Stams, A. J.M., de Vries, S. S., Weusthuis, R. A. 1999. Utilisation of biomass for the supply of energy. Appl. Microbiol. Biotechnol. 52: – P.741–745
10. PNUD, "Informe sobre desarrollo humano 2007-2008. La lucha contra el cambio – P. 142-167
climático." 2008: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo - PNUD.
11. R. G. Bergman, Nature, 2007, 446, P. 131-149.
12. J. A. Labinger, J. E. Bercaw, Nature, 2002, 417, P. 507-513
13. Final report. CACHET project (FP VI-019972). P. 15-28
14. Viktor Hacker, Shigenori Mitsushima Fuel Cells and Hydrogen/ С. М. Viktor Hacker, Shigenori Mitsushima // 2018. – № 11. – P. 121-144

15. Ishida, M., Zheng, D., Akehata, T., "Evaluation of a chemical-looping-combustion power-generation system by graphic exergy analysis". Energy 1987; 12: P. 147-154.

					141.ЕД-7117.015.БР.ПЗ	
Змін.	Лист	№ докум.				70