

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

(підпис) Василь БУДЬКО

“ ____ ” _____ 2024 р.

Дипломний проєкт

на здобуття ступеня бакалавра

за освітньо-професійною програмою «Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії»
спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
(код і назва)

на тему: «Сонячно-біогазова система для енергозабезпечення приватного будинку»

Виконав: студент 4 курсу, групи ЕД - 01
(шифр групи)

Хомов Валентин Олегович
(прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Керівник: канд. техн. наук, доц. Будько М.О.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ім'я, по-батькові) (підпис)

Рецензент _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ім'я, по-батькові) (підпис)

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

Студент (-ка) _____
(підпис)

Київ – 2024 р.

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

Факультет електроенерготехніки та автоматики
(повна назва)

Кафедра відновлюваних джерел енергії
(повна назва)

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

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

Освітньо-професійна програма – Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
_____ Василь БУДЬКО
(підпис)
« ____ » _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ
на дипломний проєкт студенту
Хомов Валентин Олегович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту: «Сонячно-біогазова система для енергозабезпечення приватного будинку»,

керівник проєкту: канд. техн. наук, доц. Будько М.О.,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від 28 травня 2024 р. № 2127-с

2. Термін подання студентом проєкту 18 червня 2024 р.

3. Вихідні дані до проєкту: 1) Свині 25 голів; 2) Бурякове бадилля 12 т; 3) Добовий вихід екскрементів від свиней 15 кг; 4) Система гноєвидалення – самосплавна; 5) Кількість днів зброджування – 40; 6) Температура зброджування - 32°C; 7) Площа даху для встановлення фотомодулів – 56 м².

4. Зміст пояснювальної записки: 1) Розробити систему електроспоживання приватного будинку, використовуючи біогазову установку та фотоелектричні модулі; 2) Підібрати обладнання для біогазової установки та фотоелектростанції; 3)

Провести розрахунок щомісячної генерації електроенергії від фотоелектростанції та біогазової установки; 4) Створити схему підключення електрообладнання.

5. Дата видачі завдання 15 лютого 2024 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
1	Системи енергозабезпечення споживачів на основі різних видів відновлюваних джерел енергії	20.04.2024	
2	Розрахунок біогазової установки та фотоелектричної станції	17.05.2024	
3	Аналіз споживання та вибір обладнання для біогазової установки та фотоелектричної станції	31.05.2024	
4	Охорона праці	18.06.2024	

Студент

(підпис)

Валентин ХОМОВ

Керівник проєкту

(підпис)

Марина БУДЬКО

Пояснювальна записка до дипломного проєкту

на тему: «Сонячно-біогазова система для енергозабезпечення приватного будинку»

Київ – 2024 р.

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: с. 56, рис. 6, табл. 10, 18 посилань.

У цій роботі розроблено комплексну систему електроживлення фермерського господарства, що використовує відновлювані джерела енергії, зокрема біогазові та фотоелектричні установки. На основі наукових джерел та статей проаналізовано технологію виробництва біогазу. Також описано фактори, що впливають на процес отримання біогазу, та типові схеми біогазових установок. Також розглянуто методи конвертації енергії сонячного випромінювання та проаналізовано особливості використання комплексних систем електроживлення на базі відновлюваних джерел енергії.

Було обрано біогазову установку з урахуванням річного виходу біосировини, територіального розташування установки, та втрат біогазу на підтримку технологічних процесів. На основі розрахунків виходу біогазу було обрано газовий генератор для генерації електричної енергії. Також розраховано обсяги генерації фотоелектричної станції, з врахуванням надходження сонячного випромінювання на похилу поверхню.

Результати роботи показали, що приватний будинок може повністю забезпечувати свої потреби в електроенергії протягом року за допомогою запропонованої комплексної системи, яка включає фотоелектричну станцію та біогазову установку. Окрім покриття власних потреб в споживанні електроенергії, запропонована система може відпускати в мережу близько 8160 кВт·год на рік.

ABSTRACT

Explanatory Note: p. 56, Fig. 6, Table 10, 18 references.

This paper develops a comprehensive power supply system for a farm using renewable energy sources, particularly biogas and photovoltaic installations. Based on scientific sources and articles, the technology of biogas production is analyzed. Factors influencing the biogas production process and typical biogas plant schemes are also described. Additionally, methods for converting solar energy and the features of using integrated power supply systems based on renewable energy sources are analyzed.

A biogas plant was selected considering the annual output of biomass, the territorial location of the plant, and biogas losses to support technological processes. Based on the calculations of biogas yield, a gas generator for generating electrical energy was chosen. The generation volumes of the photovoltaic station were also calculated, taking into account the solar radiation received on an inclined surface.

The results of the work showed that a private house can fully meet its electricity needs throughout the year using the proposed comprehensive system, which includes a photovoltaic station and a biogas plant. In addition to covering its own electricity consumption needs, the proposed system can supply approximately 8160 kWh per year to the grid.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	10
РОЗДІЛ 1 СИСТЕМИ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СПОЖИВАЧІВ НА ОСНОВІ РІЗНИХ ВИДІВ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ.....	11
1.1 Аналіз методів конвертації енергії сонячного випромінювання.....	12
1.1.1 Аналіз видів кремнієвих сонячних елементів.....	12
1.1.2 Аналіз систем електропостачання на основі ФЕС	14
1.1.3 Аналіз теплових сонячних систем	14
1.2 Аналіз технологій перетворення біомаси	15
1.2.1 Огляд процесу виробництва біогазу з органічних матеріалів.....	15
1.2.2 Аналіз процесу анаеробного зброджування.	16
1.3 Ключові параметри процесу анаеробного зброджування.....	17
1.3.1 Температура.....	17
1.3.2 Рівень рН.....	18
1.3.3 Відношення C/N	19
1.3.4 Час гідравлічного утримання.....	19
1.3.6 Методи завантаження біомаси.....	20
1.4 Аналіз типів біогазових установок.....	21
1.5 Аналіз концепції комплексних систем на основі ВДЕ.....	22
1.6 Висновки до розділу.....	23
РОЗДІЛ 2 РЕАЛІЗАЦІЯ БІОГАЗОВОЇ УСТАНОВКИ ТА ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ СТАНЦІЇ.....	25
2.1 Опис об'єкта для встановлення біогазової установки та фотоелектричної станції.....	26
2.1.1 Добовий вихід біомаси	26
2.1.2 Річний вихід біомаси для подальшої ко-ферментації	27
2.1.3 Визначення вмісту азоту та вуглецю в біомасі.....	27
2.1.4 Визначення вологості вихідної біомаси.	28
2.1.5 Кількість сухої та органічної речовини в біомасі.....	28
2.1.6 Визначення основних параметрів процесу метанового бродіння.....	28

					<i>141.ЕД-0126.020.БР</i>		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат.			
Розроб.		Хомов В.О.			Сонячно-біогазова система для енергозабезпечення приватного будинку	Літ.	Арк.
Перевір.		Будько М.О.					7
						НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського», кафедра ВДЕ, ФЕА, гр. ЕД-01	
Н. Контр.		Головко В.М.					
Затверд.		Будько В.І.					

2.1.7 Розрахунок завантаження бродильної камери	29
2.1.8 Вихід біогазу	29
2.1.9 Розрахунки показників енергетичної ефективності біогазової установки	32
2.2 Розрахунок фотоелектричної станції	33
2.2.1 Вибір фотоелектричних модулів.....	33
2.2.2 Розрахунок параметрів фотоелектростанції	34
2.2.3 Розрахунки інсоляції на похилу поверхню	34
2.3 Аналіз споживання та генерації електроенергії.....	37
2.4 Висновки до розділу.....	38
РОЗДІЛ 3 ВИБІР ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ БІОГАЗОВОЇ УСТАНОВКИ ТА ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ СТАНЦІЇ.....	40
3.1 Вибір обладнання для біогазової установки	41
3.2 Вибір обладнання для фотоелектричної станції	42
3.3 Електрична схема під'єднання.....	43
3.4 Розрахунок терміну окупності	43
3.5 Висновки до розділу.....	45
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ	46
4.1 Нормативно-правова база.....	47
4.2 Електробезпека.....	47
4.2.1 Використання сертифікованого обладнання	47
4.2.2 Заземлення та заземлюючі пристрої	48
4.2.3 Ізоляція	48
4.2.4 Обслуговування та перевірка.....	48
4.2.5 Захист від перенапруг.....	48
4.3. Хімічна безпека	48
4.3.1 Ідентифікація небезпечних речовин	48
4.3.2 Зберігання хімічних речовин	48
4.3.3 Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ).....	49
4.3.4 Утилізація хімічних відходів	49

					141.ЕД-0126.020.БР			
Змн	Арк	№ докум	Підпис	Лат				
Розроб		Хомов В.О.			Сонячно-біогазова система для енергозабезпечення приватного будинку			
Перевір.		Будько М.О.						
Н. Контр.		Головко В.М.						
Затверд		Будько В.І.						
					Літ.	Арк.	Акційш	
							856	
					НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського», кафедра ВДЕ, ФЕА, гр. ЕД-01			

4.3.5 Системи вентиляції.....	49
4.4 Пожежна безпека.....	49
4.4.1 Протипожежні системи.....	49
4.4.2 Пожежна безпека обладнання	49
4.4.3 Організація безпечних маршрутів евакуації.....	50
4.4.4 Контроль небезпечних речовин.....	50
4.5 Висновки до розділу	50
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	51
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	52
ДОДАТОК А	54
ДОДАТОК Б.....	55
ДОДАТОК В	56

					141.ЕД-0126.020.БР				
Змн	Арк	№ докум	Підпис	Лист					
Розроб		Хомов В.О.			Сонячно-біогазова система для енергозабезпечення приватного будинку				
Перевір.		Будько М.О.							
Н. Контр.		Головко В.М.							
Затверд.		Будько В.І.							
					Літ.	Арк.	Активів		
						9	56		
					НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського», кафедра ВДЕ, ФЕА, гр. ЕД-01				

ВСТУП

В умовах сучасного світу забезпечення енергоефективності та зменшення впливу на довкілля стають все більш актуальними завданнями. Традиційні джерела енергії, такі як вугілля, нафта та природний газ, не тільки вичерпуються, але й спричиняють значні екологічні проблеми. У зв'язку з цим виникає потреба у впровадженні альтернативних джерел енергії, що мають менший вплив на навколишнє середовище і забезпечують сталий розвиток.

Одним з перспективних напрямів у цій галузі є використання гібридних енергосистем, що поєднують різні види відновлюваної енергії. В цьому контексті особливої уваги заслуговує сонячно-біогазова система, яка дозволяє оптимально використовувати енергію сонця та біомаси для енергозабезпечення приватних будинків. Така система здатна забезпечити безперервне постачання енергії, знижуючи залежність від зовнішніх джерел енергії та зменшуючи витрати на електроенергію.

					141.ЕД-0126.020.БР			
Змн	Арк	№ докум	Підпис	Дат				
Розроб		Хомов В.О.			Сонячно-біогазова система для енергозабезпечення приватного будинку	Літ.	Арк.	Акривіш
Перевір.		Будько М.О.					10	56
Н. Контр.		Головко В.М.				НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського», кафедра ВДЕ, ФЕА, гр. ЕД-01		
Затверд		Будько В.І.						

РОЗДІЛ 1 СИСТЕМИ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СПОЖИВАЧІВ НА ОСНОВІ
РІЗНИХ ВИДІВ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

					141.ЕД-0126.020.БР				
Змн	Арк	№ докум	Підпис	Дат					
Розроб		Хомов В.О.			Сонячно-біогазова система для енергозабезпечення приватного будинку		Літ.	Арк.	Акришів
Перевір.		Будько М.О.						11	56
Н. Контр.		Головко В.М.							
Затверд.		Будько В.І.							
					НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського», кафедра ВДЕ, ФЕА, гр. ЕД-01				

1.1 Аналіз методів конвертації енергії сонячного випромінювання

У галузі сонячної енергетики на практиці використовується дві основні стратегії перетворення сонячної радіації: конвертація сонячної енергії в електричну енергію та конвертація сонячної енергії в теплову форму.

Конвертація сонячної енергії в електричну енергію включає:

- фотоелектричний метод конвертації, де сонячне випромінювання перетворюється в постійний електричний струм;
- термодинамічний метод конвертації передбачає використання сконцентрованої сонячної енергії для генерації пари, яка використовується турбогенератором для вироблення електричної енергії.

Конвертація сонячної енергії в теплову форму, що включає:

- гаряче водопостачання;
- опалення;
- використання в технологічних процесах.

Найбільш поширеним методом отримання електричної енергії є використання фотоелектричного методу, де сонячна енергія прямо конвертується за допомогою фотоелектричних панелей[1].

На сьогоднішній день більшість виробників використовує кремній для виготовлення сонячних панелей для комерційного ринку. Це пов'язано з тим, що кремній є доволі поширеним елементом на Землі, тому він має низьку вартість порівняно з іншими матеріалами для виготовлення сонячних елементів.

1.1.1 Аналіз видів кремнієвих сонячних елементів

Існують чотири різновиди кремнієвих сонячних елементів: монокристалічні, полікристалічні, аморфні та гібридні[2].

Монокристалічні кремнієві сонячні елементи виготовлюються шляхом вирізання тонких пластинок з великих одиночних кристалів, які були штучно вирощені в контрольованих умовах. Тонкі кристали кремнію є найдавнішою технологією сонячних елементів та найпопулярнішою на ринку. Ефективність

					141.ЕД-0126.020.БР	Анк
Змн.	Анк.	№ док-м.	Підпис	Лат		12

монокристалічних кремнієвих сонячних панелей може досягати 24,2%, що корисно для встановлення на невеликих площах.

Полікристалічні сонячні елементи виготовляються зі злитків багатьох кристалів кремнію, що дає їм менш однорідну структуру порівняно з монокристалічними панелями. Це дозволяє економити на контролі процесу виготовлення, тому вони дешевші і менш ефективні (до 19,2%) порівняно з монокристалічними кремнієвими елементами.

Аморфні кремнієві сонячні елементи найчастіше використовуються для енергоживлення невеликих електронних пристроїв. У цьому типі кремнієвих сонячних елементів кремній відкладається в тонкому шарі на підкладку з металу, скла або пластику. Вони дуже маленькі, тому панелі можуть бути гнучкими, і їх продуктивність за низької сонячної активності краща, ніж у кристалічних панелей. Проте аморфні панелі менше ефективні у перетворенні сонячної енергії на електрику (10%).

У більшості пристроїв, особливо в малих електронних пристроях, таких як калькулятори, використовуються аморфні кремнієві сонячні батареї. У цьому типі кремнієвих сонячних елементів кремній відкладається в тонкому шарі на підкладку, таку як метал, скло або пластик. Вони дуже маленькі, тому панелі можуть бути гнучкими, і їх продуктивність за низької сонячної активності краща, ніж у кристалічних панелей. Проте аморфні панелі менше ефективні у перетворенні сонячної енергії на електрику (10%), тому вони не підходять для встановлення на даху.

Компанії прагнуть знайти спосіб покращити ефективність, тривалість служби та знизити вартість. Компанія Sanyo, одна з провідних у сфері виробництва сонячних панелей, випустила гібридну батарею, при якій шар аморфного кремнію відкладається поверх монокристалічних кристалів. Таким чином, підвищується ефективність, а продуктивність гібридних кремнієвих сонячних панелей не зменшується через затінення та високу температуру[2].

					141.ЕД-0126.020.БР	Анк
Змн.	Анк.	№ док-м.	Підпис	Лат		13

1.1.2 Аналіз систем електропостачання на основі ФЕС

Існує три типи ФЕС:

- автономна;
- резервна (гібридна);
- з'єднана з мережею.

Автономні ФЕС використовуються там, де ускладнений, або неможливий доступ до централізованого електропостачання. Для забезпечення електроенергією вночі чи в умовах повного затемнення сонячної батареї використовують додатковий генератор. З'єднані з мережею ФЕС, головним чином, використовуються для продажу надлишків електроенергії за «зеленим тарифом», однак, за потреби, можуть бути використані як додаткове джерело при збільшенні власного електроспоживання. Резервна (гібридна) ФЕС робить споживача незалежним через наявність певної автономії, тобто запасу енергії в акумуляторах; але при цьому споживач користується і мережею, беручи з неї енергію, що бракує і продаючи надлишкову. Як правило, акумулятори ставляться на гібридні об'єкти потужністю до 30 кВт. Може використовуватись у випадках, коли є ризик відключення централізованого електропостачання[4]. Так, до системи підключаються, перш за все, чергове освітлення, сервери, засоби зв'язку і передачі даних. Потужні системи можуть також забезпечувати енергією інших споживачів під час відключення від мережі.

1.1.3 Аналіз теплових сонячних систем

Сонячні колектори використовуються для збору теплової енергії з сонячного випромінювання. Існує два види сонячних колекторів: плоскі та концентруючі. Плоскі колектори використовуються для нагрівання води або повітря, тоді як концентруючих сонячних колекторах застосовуються різні системи дзеркал або лінз для збільшення щільності потоків сонячного випромінювання, що падають на поглинальну поверхню плоских або трубчастих поглиначів[3].

Плоскі сонячні колектори - це найбільш поширений тип теплових сонячних панелей. Вони складаються з чорного або іншого темного поглинаючого

					141.ЕД-0126.020.БР	Анк
Змн.	Анк.	№ док.им.	Підпис	Лат		14

матеріалу, який поглинає сонячне випромінювання і перетворює його на тепло. Поглинена енергія потім використовується для нагрівання рідини, яка циркулює через колектор. Плоскі колектори ефективні для нагрівання води для використання у домашньому опаленні та гарячому водопостачанні. Вони прості у встановленні та експлуатації, і можуть бути використані як в домашньому, так і в комерційному масштабі.

Концентруючі сонячні колектори фокусують сонячне випромінювання на одну або кілька точок за допомогою дзеркал або лінз. Це дозволяє досягти високої температури в фокусованій точці, яка може використовуватися для виробництва електричної енергії або нагрівання теплоносія. Концентруючі колектори можуть досягати дуже високих температур, що робить їх ефективними для виробництва пари для використання в промислових процесах або для генерації електричної енергії за допомогою парових турбін.

1.2 Аналіз технологій перетворення біомаси

1.2.1 Огляд процесу виробництва біогазу з органічних матеріалів

Біогаз - це суміш газів, яка утворюється внаслідок анаеробного розкладання органічних речовин бактеріями та археями. Цей газ містить різні кількості метану (CH_4), як правило, в діапазоні від 50% до 80%, разом із вуглекислим газом (CO_2), що складає від 20% до 40%, та іншими газами, такими як аміак (NH_3), азот (N_2), кисень (O_2), сульфід водню (H_2S), водень (H_2) та оксид вуглецю (CO). Однак точний склад біогазу може варіюватися залежно від походження органічних відходів та використаних методів виробництва.

Біогаз можна виробляти з різних джерел, включаючи тваринний послід, стічні води, промислові відходи, енергетичні культури та органічні відходи з полігонів для сміття. Щорічно у світі в атмосферу викидається значна кількість метану, від 590 до 880 мільйонів тонн, внаслідок мікробного розкладу[7]. Використання біогазу як джерела енергії дозволяє зменшити екологічний вплив викидів метану з біогенних джерел. Захоплюючи та використовуючи метан з

					141.ЕД-0126.020.БР	Анк.
Змн.	Анк.	№ док.им.	Підпис	Лист		15

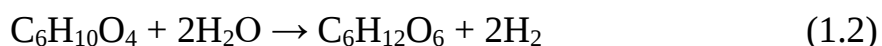
біогенних джерел для виробництва енергії, можна зменшити кількість метану, що потрапляє в атмосферу та забезпечити стале джерело енергії.

1.2.2 Аналіз процесу анаеробного зброджування.

Анаеробне зброджування – це процес розкладання органічних речовин в безкисневому середовищі за участю мікроорганізмів. Цей процес складається з чотирьох стадій:

- гідроліз;
- ацидогенез;
- ацетогенез;
- метаногенез.

Гідроліз – перший етап анаеробного зброджування. Ця фаза перетворює різні полімери, такі як вуглеводи, ліпіди, нуклеїнові кислоти та білки, у простіші розчинні мономері, такі як глюкоза, гліцерин, пурини та піридини, під дією позаклітинних ферментів, що виділяються гідролітичними бактеріями. Рівняння (1.2) показує реакцію гідролізу. Реакція полягає у перетворенні органічного матеріалу в глюкозу.



Наступною фазою є ацидогенез. Під час цього процесу ацидогенні бактерії розкладають продукти гідролізу на метаногенні субстрати, які називаються ацетогенезом. Прості цукри, амінокислоти та жирні кислоти розкладаються на ацетат, вуглекислий газ та водень (70%), а також на леткі жирні кислоти та спирти (30%).

Бактерії ацетогенезу у третій фазі перетравлення перетворюють ацидогенні сполуки на водень, вуглекислий газ та ацетат, що призводить до збільшення кількості водневих іонів, що знижують рН середовища. Оптимальний рН для ацетогенних мікроорганізмів становить приблизно 6, і вони повільно ростуть та вразливі до змін органічних навантажень та факторів середовища під час виробництва оцтової та пропіонової кислоти.

					141.ЕД-0126.020.БР	Анк
Змн.	Анк.	№ док-м.	Підпис	Лист		16

Метаногенез відіграє ключову роль у процесі анаеробного зброджування, оскільки він відповідає за утворення приблизно 70% метану, що утворюється під час зброджування. Цей процес включає перетворення водню та вуглекислого газу в метан за допомогою метаногенних бактерій, які зменшують кількість вуглекислого газу, і окиснюючих водень метаногенів, тоді як ацетолактатні метаногени використовують ацетат для виробництва метану.

На рис. 1.1 наведено схему протікання процесу анаеробного зброджування з продуктами реакцій, що утворюються на кожному етапі.

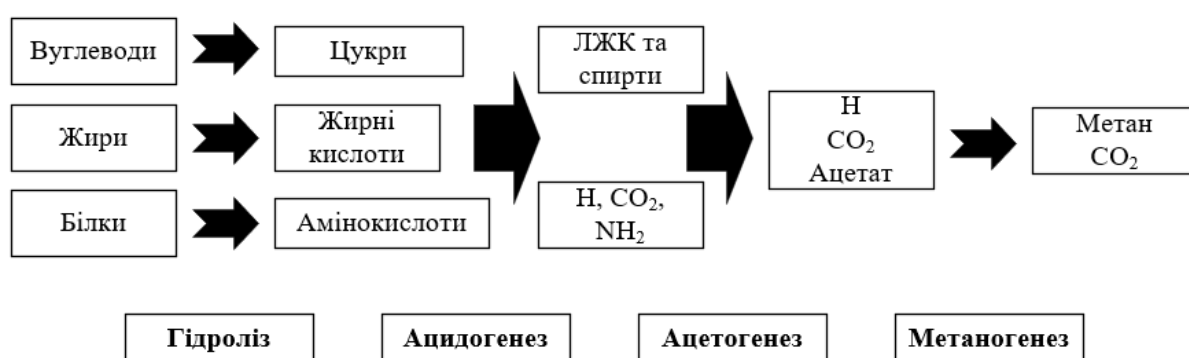


Рисунок 1.1 - Етапи анаеробного зброджування.

1.3 Ключові параметри процесу анаеробного зброджування

У процесі анаеробного перетворення необхідно враховувати і контролювати кілька критичних параметрів для забезпечення оптимального процесу ферментації. Основними факторами є температура, значення рН, відношення вуглецю до азоту (C/N), гідравлічний час утримання (HRT), розміри часток, органічне навантаження, інокуляцію, змішування, вміст аміаку та води[5]. Недотримання відповідних вимог щодо величини цих параметрів може затримати або припинити процес виробництва біогазу. Крім того, важливо забезпечити анаеробні умови, рівномірну температуру та постійне постачання поживних речовин для полегшення ефективного розкладання субстрату бактеріями [18].

1.3.1 Температура

Температура є вирішальним фактором, що впливає як на фізико-хімічні властивості анаеробних субстратів, так і на швидкість росту та метаболізм

мікроорганізмів. Температура істотно впливає на мікроорганізми, кінетику процесу, стабільність і вихід метану. Нижчі температури знижують ріст мікроорганізмів, швидкість використання субстрату та виробництво біогазу. Навпаки, високі температури зменшують виходи біогазу через летючі гази, зокрема аміак, які пригнічують метаногенну активність[8]. В залежності від мікроорганізмів, що беруть участь в анаеробному зброджуванні існує три види температурних режимів: психрофільний (10 – 20°C), мезофільний (20 – 35°C) та термофільний (45 – 60°C).

Для підтримання стійкої температури, необхідної для протікання процесу анаеробного розщеплення, біореактори покриваються шаром термоізоляції. Наприклад, у дослідженні проведеному Місрою та ін.[13]. використовувалося вугільне покриття, що збільшило виробництво біогазу на 3%. Інші приклади ізоляційних матеріалів, що підходять для біореакторів – це композити зі скловати, деревна стружка, глиняний бруд або чорна тканина, покрита дьогтем.

Регулярний моніторинг температури необхідний, і вибір між психрофільними, мезофільними та термофільними температурами залежить від бажаного результату та мікроорганізмів, які використовуються.

1.3.2 Рівень рН

Значення рН є ще одним важливим фактором, який відіграє вирішальну роль у процесі розкладання органічних речовин, оскільки воно впливає на хімічні реакції та активність бактеріальної флори. Оптимальні значення рН відрізняються на різних етапах анаеробного процесу через біологічні перетворення. Під час етапу ацетогенезу рівень рН може знижуватися до значень нижче 5 через вироблення органічних кислот. Ідеальний діапазон рН для отримання максимального виходу біогазу під час анаеробного зброджування відносно широкий, від 5.5 до 8,0[10]. Підтримання сталого рівня рН є критичним, і до системи необхідно додавати рівноважні буфери, такі як карбонат кальцію або вапно, щоб досягти цього.

					141.ЕД-0126.020.БР	Анк
Змн.	Анк.	№ док.им.	Підпис	Лат		18

У табл. 1.1 показано оптимальний рівень рН для 4 етапів анаеробного зброджування.

Таблиця 1.1 Діапазон рН[5]

Етап	Рівень рН
Гідроліз	5,5 – 6,5
Ацидогенез	5,5 – 6,5
Ацетогенез	6,6 – 8,0
Метаногенез	6,6 – 8,0

1.3.3 Відношення C/N

Співвідношення вуглецю та азоту впливає на активність мікроорганізмів у середині біореактора. Для ефективного виробництва біогазу, дане співвідношення повинно зберігатися у відповідних межах. Відношення C/N від 20 до 30, рекомендується як найкращий варіант для анаеробного зброджування з метою виробництва біогазу.

1.3.4 Час гідравлічного утримання

Час гідравлічного утримання (HRT) – це час, протягом якого субстрат знаходиться в середині біореактора. Довший час утримання надає більшу стабілізацію осаду, що призводить до більш стабільного процесу перетворення. Процес розкладання біомаси займає принаймні 10–30 днів у мезофільних умовах, тоді як у термофільних середовищах час утримання менше 10 днів[5]. При температурі близько 30°C, процес вимагає приблизно 20–30 днів. На HRT системи впливають такі фактори, як характер субстрату, умови середовища та призначення відпрацьованого субстрату [10].

Формула 1.3 використовується для розрахунку часу утримання, який є відношенням між об'ємом біореактора та швидкістю потоку живлення[7].

$$HRT = \frac{V}{Q} \quad (1.3)$$

де:

HRT – час гідравлічного утримання (дні);

V – об'єм біореактора (м³);

					141.ЕД-0126.020.БР	Анк.
						19
Змн.	Анк.	№ док-м.	Підпис	Дат		

Q – швидкість завантаження ($\text{м}^3 \cdot \text{день}^{-1}$).

1.3.5 Швидкість завантаження

Для визначення ефективності та стабільності процесів анаеробного перетворення значну роль відіграє швидкість завантаження (ШЗ), оскільки воно безпосередньо впливає на мікробну активність та швидкості протікання реакцій. У цьому контексті підтримання відповідного рівня ШЗ є важливим для уникнення перевантаження системи, інгібування зростання біомаси та запобігання накопиченню субстрату, що може негативно вплинути на продуктивність процесу. Тому моніторинг і контроль ШЗ є критичним для оптимізації виробництва біогазу та забезпечення стабільного процесу анаеробного зброджування [11].

У разі великих обсягів подачі в системи анаеробного перетворення бактерії, що відповідають за гідроліз та ацетогенез, виробляють значну кількість летючих жирних кислот (ЛЖК) протягом короткого періоду часу. Це високе рівняння виробництва ЛЖК призводить до зміни рівня рН середовища, що в свою чергу інгібує процес гідролізу. Крім того, висока концентрація ЛЖК також сповільнює роботу метаногенних бактерій, оскільки вони не можуть перетворити субстрати, що вироблені на попередніх етапах, в метан. Результатом цього є зниження загального виробництва біогазу [12].

1.3.6 Методи завантаження біомаси

Два основні методи завантаження, які використовуються в біогазових установках - це партійний та постійний метод потоку подачі.

У партійному методі потоку подачі шлам завантажується в біореактор одночасно та залишається закритим на певний час. Цей тип методу завантаження підходить для органічних матеріалів, таких як тверді рослинні відходи, і також має простий режим роботи. Виробництво біогазу починається дуже повільно і збільшується з часом, маючи HRT від 24 до 56 днів. Для партійного методу потоку подачі HRT залежить від температури та інших факторів.

Одним з основних недоліків цього типу методу живлення є те, що швидкості виробництва газу не є стійкими з часом і вимагають великого трудового внеску.

					141.ЕД-0126.020.БР	Анк.
Змн.	Анк.	№ док-м.	Підпис	Лат		20

Постійний потік завантаження потребує щоденного завантаження та управління залишками. У цьому процесі об'єм завантаження ферментованих матеріалів визначає щоденне навантаження. HRT становить приблизно 14-40 днів, що залежить від температури та перемішування. Недоліком цього типу живлення є те, що потрібно будувати великі біореактори, щоб вмістити потрібну кількість субстрату. Виробництво біогазу у постійному потоці є сталим і вищим, ніж у партійному методі потоку подачі.

1.4 Аналіз типів біогазових установок

Можна виділити три основних типи простих біогазових установок:

- фіксовані купольні біогазові установки,
- установки з плаваючим барабаном,
- установки у вигляді мішків або гумових куль.

Фіксовані купольні біогазові установки складаються з камери біореактора з фіксованим куполом, місця зберігання газу у верхній частині, вхідного і вихідного баків. Субстрат подається до реактора через вхідну трубу, а вироблений біогаз накопичується в місці зберігання газу. Цей тип біогазових установок має низьку вартість будівництва, також завдяки підземному будівництву посилюється термоізоляція та заощаджується простір.

Плаваючі барабанні біогазові установки широко використовуються для домашніх потреб. Вони складаються з вхідного бака, вихідного бака, газгольдера, біореактора та перегородки.

Принцип плаваючого барабана полягає в тому, що газгольдер рухається в розчиненому осаді або в окремій водяній оболонці. Одна з властивостей плаваючого барабана – це стабільність, яку він забезпечує, завдяки наявності внутрішніх або зовнішніх напрямних каркасів. Барабан піднімається в міру вироблення біогазу.

Біогазові установки у вигляді куль характеризуються тим, що вони складаються лише з газгольдера та біореактора. Конструкція кульового типу

					141.ЕД-0126.020.БР	Анк.
Змн.	Анк.	№ док.им.	Підпис	Лист		21

біогазових реакторів з'явилася у 1960-х роках у Тайвані. Біогаз збирається у верхній частині, а субстрат у нижній. Гумові біогазові реактори працюють при сталому об'ємі, але виробляють біогаз при змінному тиску. Звичайні розміри цих типів біогазових реакторів від 2,4 до 7,5 м³ і дуже дешеві у будівництві, з терміном служби приблизно 2-10 років.

Одна з основних проблем цього типу біогазових установок - нездатність витримувати високу температуру та тиск. Наприклад, високий тиск газу пошкоджує оболонку. Щоб уникнути цього, потрібен спускний клапан або газовий насос.

1.5 Аналіз концепції комплексних систем на основі ВДЕ

Використання відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) у сучасних енергетичних системах є важливою тенденцією як у світі, так і в Україні. ВДЕ можуть бути використані як самостійні електростанції або в поєднанні з традиційними джерелами енергії. Комплексне використання різних типів ВДЕ сприяє підвищенню надійності електропостачання, зниженню викидів парникових газів та економічній ефективності.[15]

Комплексні сонячно-біогазові системи енергозабезпечення відкривають широкі перспективи для сталого розвитку та забезпечення надійного енергетичного балансу. Однією з головних переваг цих систем є їх здатність поєднувати переваги сонячної та біогазової енергії, що дозволяє забезпечити стабільне та екологічно чисте виробництво електроенергії.

Поєднання сонячної та біогазової енергії дозволяє забезпечити постійне енергопостачання навіть у змінних погодних умовах. Сонячна енергія використовується вдень, коли найбільше сонця, а біогазові установки можуть працювати як удень, так і вночі, забезпечуючи стабільний потік енергії.

Використання сонячної та біогазової енергії дозволяє значно знизити викиди парникових газів та інший негативний вплив на довкілля порівняно з традиційними джерелами енергії, такими як вугілля чи нафта.

					141.ЕД-0126.020.БР	Анк
Змн.	Анк.	№ док.	Підпис	Лист		22

Завдяки розвитку технологій та підтримці держави, комплексні сонячно-біогазові системи стають все більш економічно вигідними порівняно з традиційними джерелами енергії. Це сприяє зниженню витрат на енергію для споживачів та підвищенню конкурентоспроможності на ринку енергетики.

Незважаючи на значні переваги, комплексні сонячно-біогазові системи також мають деякі недоліки. Розгортання та підтримка комплексних сонячно-біогазових систем може потребувати значних інвестицій у відповідну інфраструктуру та технічне обслуговування. Ефективне управління та планування роботи комплексних систем є ключовими викликами, оскільки потрібно забезпечити оптимальне використання ресурсів та підтримати стабільність енергопостачання.

1.6 Висновки до розділу

1. Для встановлення обрано монокристалічні фотомодулі. Вони забезпечують високий коефіцієнт корисної дії, довгий термін служби і гарну продуктивність при високих температурах та низькому освітленні, є доступними та мають меншу вартість порівняно з полікристалічними та тонкоплівковими модулями.

2. Обрано мережевий тип підключення, що дозволяє інтегрувати вироблену сонячну енергію з біогазовими генераторами та забезпечує стабільність подачі енергії.

3. Мезофільний процес, що здійснюється при температурі 30-40°C, є найбільш ефективним і стабільним для виробництва біогазу. Цей процес характеризується оптимальною продуктивністю і стійкістю до змін у складі сировини, що дозволяє забезпечити безперервне виробництво біогазу з органічних відходів. Використання мезофільного процесу забезпечує надійність та високу ефективність роботи біогазових установок.

4. Комплексні сонячно-біогазові системи мають вищу ефективність у порівнянні з використанням тільки однієї технології. Використання біогазу

					141.ЕД-0126.020.БР	Анк.
Змн.	Анк.	№ док-м.	Підпис	Лат		23

дозволяє забезпечити стабільну подачу енергії навіть за відсутності сонячного випромінювання, а фотомодулі допомагають зменшити залежність від біогазу в сонячні дні.

					141.ЕД-0126.020.БР	Анк
Змн.	Анк.	№ доким.	Підпис	Лат		24

РОЗДІЛ 2 РЕАЛІЗАЦІЯ БІОГАЗОВОЇ УСТАНОВКИ ТА ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ СТАНЦІЇ

					141.ЕД-0126.020.БР			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат				
Розроб		Хомов В.О.			Сонячно-біогазова система для енергозабезпечення приватного будинку			
Перевір.		Будько М.О.						
Н. Контр.		Головко В.М.						
Затверд.		Будько В.І.						
					Літ.	Арк.	Активний	
							25 56	
					НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського», кафедра ВДЕ, ФЕА, гр. ЕД-01			

2.1 Опис об'єкта для встановлення біогазової установки та фотоелектричної станції

Для розміщення біогазової установки обрано прибудинкову територію домогосподарства в Хмельницькій області. На території господарства є достатньо місця для розміщення біогазової установки. На утриманні в господарства налічується 25 голів свиней, для видалення гною обрано самосплавну систему. Також є земельна ділянка площею 1 га, що дозволяє вирощувати 40 т кормового буряка на рік. Маса вирощених коренеплодів буряка становить 27,5 т, що використовується як корм для свиней, а 12,5 т – бурякове бадилля, яке можна використати для коферментації гною свиней.

Для встановлення фотоелектричної станції обрано дах приватного будинку. Площа даху становить 56 м², тип даху – односкатний, орієнтований на південь, кут нахилу становить 30°.

2.1.1 Добовий вихід біомаси

Добовий вихід безпідстилкового гною визначається за формулою 2.1:

$$m_{\text{гною}} = \frac{N_i \cdot (m_{\text{екс}} + m_{\text{H}_2\text{O}})}{1000} \quad (2.1)$$

де $m_{\text{гною}}$ – добовий вихід гною, т; N_i – кількість тварин i -го виду, голів; $m_{\text{H}_2\text{O}}$ – добова кількість води, яка потрапляє в систему гноєвидалення, кг; $m_{\text{екс}}$ – добовий вихід екскрементів від i -го виду тварин, $m_{\text{екс}} = 15$ кг/добу.

Добова кількість води $m_{\text{H}_2\text{O}}$, яка потрапляє в систему гноєвидалення, розраховується за формулою 2.2:

$$m_{\text{H}_2\text{O}} = K \cdot m_{\text{екс}} = 0,5 \cdot 15 = 7,5 \frac{\text{кг}}{\text{добу}}, \quad (2.2)$$

де K – коефіцієнт (приймають згідно табл. 2.1).

					141.ЕД-0126.020.БР	Анк
		№ до	Підпис	Лам		26

Таблиця 2.1 – Коефіцієнти для різних систем гноєвидалення

Система видалення гною з тваринницьких приміщень	Коефіцієнт К на одну тварину
• Транспортна (конвеєрна)	0,1 – 0,2
• Самосплавна	0,3 – 0,5
• Лотково-змивна з сухою чисткою підлоги	2,0 – 2,5
• Лотково-змивна з вологою чисткою підлоги	5,0 – 6,0
• Гідрозмив	7,0 – 8,0

Отже, добовий вихід гною:

$$m_{\text{гною}} = \frac{25 \cdot (15 + 7,5)}{1000} = 0,5625 \frac{\text{т}}{\text{добу}}$$

2.1.2 Річний вихід біомаси для подальшої ко-ферментації

Річний вихід біомаси визначається за формулою 2.3:

$$m_{\text{Б}} = (m_{\text{гною}} \cdot \tau) + m_{\text{коф}} = (0,5625 \cdot 365) + 12,5 = 218 \frac{\text{т}}{\text{рік}} \quad (2.3)$$

де τ – кількість діб році; $m_{\text{коф}}$ – кількість коферменту, $m_{\text{коф}} = 12,5$ т/рік;

2.1.3 Визначення вмісту азоту та вуглецю в біомасі.

Вміст азоту в трав'яному силосі розраховується за формулою 2.4:

$$N_1 = \frac{m_{\text{коф}} \cdot N_{\text{с}}}{100} = \frac{12,5 \cdot 0,4}{100} = 0,05 \text{ т} \quad (2.4)$$

де: $N_{\text{с}}$ – вміст азоту (Додаток Г).

Вміст вуглецю в трав'яному силосі розраховується за формулою 2.5:

$$C_1 = N_1 \cdot 12 = 0,05 \cdot 16 = 0,8 \text{ т} \quad (2.4)$$

Аналогічні розрахунки проведено для гною свиней, результати занесено до табл. 2.2

Таблиця 2.2 – Вміст азоту та вуглецю в субстраті

	Бурякове бадилля	Гній свиней	Разом
Азот	0,05	5,20	5,25
Вуглець	0,8	62,4	63,2

Співвідношення C/N розраховується за формулою 2.6:

$$\frac{C}{N} = \frac{63,2}{5,25} \approx 12 \quad (2.6)$$

2.1.4 Визначення вологості вихідної біомаси.

Вологість гною розраховується за формулою 2.7:

$$W_{\text{гною}} = \frac{W_{\text{екс.}} + 100 \cdot K}{1 + K} = \frac{88 + 100 \cdot 0,5}{1 + 0,5} = 92 \% \quad (2.7)$$

де $W_{\text{гною}}$ – відносна вологість, %; $W_{\text{екс.}}$ – відносна вологість екскрементів тварин, $W_{\text{екс.}} = 88 \%$;

Вологість біомаси, що потрапляє в метантенк розраховується за формулою 2.8:

$$W_B = \frac{m_{\text{гною}} \cdot r \cdot W_{\text{гною}} + m_{\text{коф}} \cdot W_{\text{коф}}}{m_B} = \frac{0,5625 \cdot 365 \cdot 92 + 12,5 \cdot 84}{218} = 91,5\% \quad (2.8)$$

де W_B – вологість біомаси, яка поступає в метантенк, %; $W_{\text{коф}}$ – відносна вологість коферменту, $W_{\text{коф}} = 84 \%$.

Вологість біомаси є оптимальною, потреба у розбавленні водою – відсутня.

2.1.5 Кількість сухої та органічної речовини в біомасі

Частка сухої речовини в біомасі розраховується за формулою 2.9:

$$m_{\text{СР_гною}} = \frac{m_{\text{гною}} \cdot r \cdot (100 - W_{\text{гною}})}{100} = \frac{0,5625 \cdot 365 \cdot (100 - 92)}{100} = 16,4 \text{ т} \quad (2.9)$$

$$m_{\text{СР_коф}} = \frac{m_{\text{коф}} \cdot (100 - W_{\text{коф}})}{100} = \frac{12,5 \cdot (100 - 84)}{100} = 2 \text{ т} \quad (2.9)$$

Кількість органічної речовини розраховується за формулою 2.10:

$$m_{\text{СОР_гною}} = \frac{m_{\text{СР_гною}} \cdot v_{\text{гною}}}{100} = \frac{16,4 \cdot 80}{100} = 13,1 \text{ т} \quad (2.10)$$

$$m_{\text{СОР_коф}} = \frac{m_{\text{СР_коф}} \cdot v_{\text{коф}}}{100} = \frac{2 \cdot 80}{100} = 1,60 \text{ т} \quad (2.10)$$

де $m_{\text{СОР}}$ – маса органічної речовини в біомасі, т; $v_{\text{СОР}}$ – частка органічної речовини в сухій біомасі, %.

2.1.6 Визначення основних параметрів процесу метанового бродіння

Густина гнойової біомаси розраховується за формулою 2.11:

$$\rho_{\text{гною}} = \frac{1000 + 2,4 \cdot (100 - W_{\text{гною}})}{1000} = \frac{1000 + 2,4 \cdot (100 - 91,5)}{1000} = 1,02 \frac{\text{т}}{\text{м}^3} \quad (2.11)$$

Добовий обсяг завантаження метантенка розраховується за формулою 2.12:

					141.ЕД-0126.020.БР	Анк
						28
		№ до	Підпис	Лам		

$$G_{\text{доб}} = \frac{\frac{m_{\text{гною}} \cdot \tau}{\rho_{\text{гною}}} + \frac{m_{\text{коф}}}{\rho_{\text{коф}}}}{365} = \frac{\frac{0,5625 \cdot 365}{1,02} + \frac{12,5}{0,65}}{365} = 0,605 \text{ м}^3 \quad (2.12)$$

де $G_{\text{доб}}$ – добовий обсяг завантаження метантенку, м^3 ; $\rho_{\text{коф}}$ – густина коферменту (приймаємо $0,65 \text{ т/м}^3$); $\rho_{\text{гною}}$ – густина гною т/м^3 .

Об'єм бродильної камери визначається за формулою 2.13:

$$V_{\text{Б.К.}} = G_{\text{доб}} \cdot \tau_{\text{зб}} = 0,605 \cdot 40 = 24,2 \text{ м}^3 \quad (2.13)$$

де $V_{\text{Б.К.}}$ – об'єм бродильної камери м^3 ; $\tau_{\text{зб}}$ – час зброджування, діб.

Загальний об'єм метантенка визначається за формулою 2.14:

$$V_{\text{мет}} = \frac{V_{\text{Б.К.}}}{\varphi} = \frac{24,2}{0,8} = 30,23 \text{ м}^3 \quad (2.14)$$

де $V_{\text{мет}}$ – об'єм метантенку; φ – коефіцієнт заповнення.

Внутрішній діаметр метантенка визначається за формулою 2.15:

$$d_{\text{в}} = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot V_{\text{мет}}}{\pi \cdot k_v}} = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 30,2}{\pi \cdot 1}} = 3,38 \text{ м} \quad (2.15)$$

де: k_v – відношення висоти до внутрішнього діаметру.

Висота метантенка визначається за формулою 2.16:

$$h = d_{\text{в}} \cdot k_v = 3,38 \cdot 1 = 3,38 \text{ м} \quad (2.16)$$

2.1.7 Розрахунок завантаження бродильної камери

Добова маса органічної речовини в біомасі визначається за формулою 2.17:

$$m_{\text{СОР}} = \frac{m_{\text{СОР_гною}} + m_{\text{СОР_коф}}}{365} = \frac{13,1 + 1,60}{365} = 0,0404 \text{ т} \quad (2.17)$$

Завантаження бродильної камери визначається за формулою 2.18:

$$OLR = \frac{m_{\text{СОР}}}{V_{\text{Б.К.}}} \cdot 1000 = \frac{0,0404}{30,2} \cdot 1000 = 1,67 \frac{\text{кг}}{\text{добу}} \quad (2.18)$$

2.1.8 Вихід біогазу

Вихід біогазу для вибраної технології метанового бродиння розраховується за формулою 2.19:

$$\begin{aligned} V_{\text{біогаз}} &= (m_{\text{СОР_гною}} \cdot \eta_{\text{гною}} + m_{\text{СОР_коф}} \cdot \eta_{\text{коф}}) \cdot \frac{65}{100} = \\ &= (13,1 \cdot 500 + 1,60 \cdot 600) \cdot \frac{65}{100} = 4894,5 \text{ м}^3 \end{aligned} \quad (2.19)$$

де η - вихід біогазу з 1 т органічної речовини згідно Додатку Д.

					141.ЕД-0126.020.БР	Анк
						29
		№ до	Підпис	Лам		

Добовий вихід біогазу розраховується за формулою 2.20:

$$V_{\text{Біогаз}}^{\text{доб}} = \frac{V_{\text{Біогаз}}}{365} = \frac{4894,5}{365} = 13,41 \text{ м}^3 \quad (2.20)$$

Вихід біогазу протягом місяця (розрахунки для січня) розраховується за формулою 2.21:

$$V_{\text{Біогаз}}^{\text{М}} = V_{\text{Біогаз}}^{\text{доб}} \cdot 31 = 13,41 \cdot 31 = 415,7 \text{ м}^3 \quad (2.21)$$

Кількість теплоти, яку можна отримати при використанні біогазу протягом місяця розраховується за формулою 2.22:

$$Q_{\text{Біогаз}}^{\text{М}} = V_{\text{Біогаз}}^{\text{М}} \cdot Q_{\text{н}} = 415,7 \cdot 25 = 10,4 \cdot 10^3 \text{ МДж} \quad (2.22)$$

де $Q_{\text{н}}$ - нижча теплота згорання біогазу (25 МДж/м^3).

Кількість теплоти для підігрівання завантаженої протягом доби біомаси розраховується за формулою 2.23:

$$\begin{aligned} Q_{\text{ПД}} &= m_{\text{б_доб}} \cdot C_{\text{б}} \cdot (t_{\text{бр}} - t_{\text{з}}) = 596,7 \cdot 4,18 \cdot 10^{-3} \cdot (32 - (-1,90)) = \\ &= 84,56 \frac{\text{МДж}}{\text{добу}} \end{aligned} \quad (2.23)$$

де: $m_{\text{б_доб}}$ - маса субстрату, що завантажується в метантенк за добу; $C_{\text{б}}$ - теплоємність субстрату; $t_{\text{зб}}$ - температура зброджування; $t_{\text{з}}$ - температура навколишнього середовища.

Кількість теплоти для підігрівання протягом місяця розраховується за формулою 2.24:

$$Q_{\text{ПД}}^{\text{М}} = Q_{\text{ПД}} \cdot 31 = 84,56 \cdot 31 = 2621 \frac{\text{МДж}}{\text{місяць}} \quad (2.24)$$

Термічний опір теплопровідності теплоізоляційного шару метантенка розраховується за формулою 2.25:

$$R_{\text{із}} = \frac{\delta_{\text{см}}}{\lambda_{\text{см}}} + \frac{\delta_{\text{ім}}}{\lambda_{\text{ім}}} = \frac{0,1}{1,69} + \frac{0,15}{0,04} = 3,81 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}} \quad (2.25)$$

де: $\delta_{\text{см}}$ - товщина стінки метантенка; $\lambda_{\text{см}}$ - коефіцієнт теплопровідності стінки метантенка; $\delta_{\text{ім}}$ - товщина теплоізоляції метантенка; $\lambda_{\text{ім}}$ - коефіцієнт теплопровідності теплоізоляції метантенка.

Коефіцієнт теплообміну на зовнішній поверхні метантенка розраховується за формулою 2.26:

					141.ЕД-0126.020.БР	Анк
		№ до	Підпис	Лам		30

$$\alpha_3 = 11,6 + 7 \cdot \sqrt[2]{v^B} = 11,6 + 7 \cdot \sqrt[2]{2,60} = 22,8 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \quad (2.26)$$

де: v^B – швидкість вітру.

Термічний опір теплопередачі на зовнішній поверхні розраховується за формулою 2.27:

$$R_3 = \frac{1}{\alpha_3} = \frac{1}{22,8} = 43,6 \cdot 10^{-3} \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}} \quad (2.27)$$

Коефіцієнт теплопередачі розраховується за формулою 2.28:

$$k_T = \frac{1}{R_{i3} + R_3} = \frac{1}{3,81 + 43,6 \cdot 10^{-3}} = 0,260 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \quad (2.28)$$

Тепловтрати із внутрішнього середовища метантенку розраховується за формулою 2.29:

$$Q_{BT} = k_T \cdot S_{\text{мет}} \cdot (t_{\text{бр}} - t_3) = 0,260 \cdot 53,7 \cdot (32 - 5) = 376,58 \text{ Вт} \quad (2.29)$$

де: $S_{\text{мет}}$ - площа зовнішньої поверхні метантенка.

Тепловтрати від метантенка в довкілля розраховується за формулою 2.30:

$$\begin{aligned} Q_{BT}^M &= 3,6 \cdot 10^{-3} \cdot Q_{BT} \cdot 24 \cdot 31 = 3,6 \cdot 10^{-3} \cdot 376,58 \cdot 24 \cdot 31 = \\ &= 1008,6 \frac{\text{МДж}}{\text{міс}} \end{aligned} \quad (2.30)$$

Загальна витрата енергії на механічне перемішування біомаси в метантенку розраховується за формулою 2.31:

$$Q_{\text{мех}} = q_{\text{норм}} \cdot V_{\text{мет}} \cdot z = 50 \cdot 30,23 \cdot 4 = 6045 \frac{\text{Вт}}{\text{добу}} \quad (2.31)$$

де: $q_{\text{норм}}$ - питома навантаження на перемішуваний апарат;
z - тривалість роботи мішалки.

Витрати енергії на перемішування розраховується за формулою 2.32:

$$Q_{\text{Мех}}^M = 3,6 \cdot 10^{-3} \cdot Q_{\text{мех}} \cdot 31 = 3,6 \cdot 10^{-3} \cdot 6045 \cdot 31 = 674,7 \frac{\text{МДж}}{\text{міс}} \quad (2.32)$$

Сумарні витрати енергії для реалізації технологічних процесів протягом місяця розраховуються за формулою 2.33:

$$Q_{\text{ЗАГ}} = Q_{\text{ПІД}}^M + Q_{BT}^M + Q_{\text{Мех}}^M = 2621 + 1008,6 + 674,7 = 4304 \frac{\text{МДж}}{\text{міс}} \quad (2.33)$$

Кількість біогазу для реалізації технологічних процесів протягом місяця розраховується за формулою 2.34:

					141.ЕД-0126.020.БР	Анк
		№ до	Підпис	Лам		31

$$V_{\text{БГ}}^{\text{М}} = \frac{Q_{\text{ЗАГ}}}{Q_{\text{Н}}} = \frac{4304}{25} = 172 \text{ м}^3 \quad (2.34)$$

Вихід товарного біогазу протягом місяця розраховується за формулою 2.35:

$$V_{\text{ТОВ}}^{\text{М}} = V_{\text{Біогаз}}^{\text{М}} - V_{\text{БГ}}^{\text{М}} = 415,7 - 172 = 243,7 \text{ м}^3 \quad (2.35)$$

Вихід товарного біогазу протягом року розраховується за формулою 2.36:

$$V_{\text{ТОВ}}^{\text{рік}} = \sum V_{\text{ТОВ}}^{\text{М}} = 3435 \text{ м}^3 \quad (2.36)$$

2.1.9 Розрахунки показників енергетичної ефективності біогазової установки

Кількість теплоти, яку можна отримати при використанні товарного біогазу протягом року розраховується за формулою 2.37:

$$Q_{\text{ТОВ}}^{\text{рік}} = V_{\text{ТОВ}}^{\text{рік}} \cdot Q_{\text{Н}} = 3435 \cdot 25 = 85,8 \cdot 10^3 \text{ МДж} \quad (2.37)$$

Коефіцієнт товарності розраховується за формулою 2.38:

$$K_{\text{ТОВ}} = \frac{Q_{\text{ТОВ}}^{\text{рік}}}{Q_{\text{Біогаз}}^{\text{рік}}} = \frac{85,8 \cdot 10^3}{122,3 \cdot 10^3} \cdot 100 = 70,2 \% \quad (2.38)$$

Річне заміщення умовного палива розраховується за формулою 2.39:

$$B_{\text{у.п.}} = \frac{Q_{\text{ТОВ}}^{\text{рік}}}{29300} = \frac{85,8 \cdot 10^3}{29300} = 2,93 \text{ т у. п.} \quad (2.39)$$

Результати розрахунків для кожного місяця наведено в табл. 2.3

Таблиця 2.3 – Щомісячний вихід товарного біогазу

Місяць	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Температура, °С	-1,90	-0,60	5,20	8,00	15,20	18,80	21,20	22,90	18,90	11,70	4,70	-1,30
Швидкість вітру, м/с	2,60	2,90	2,80	2,80	2,50	2,10	1,90	1,60	1,80	2,00	2,80	2,40
$Q_{\text{Біогаз}}^{\text{М}}$, МДж	10392,43	9386,71	10392,43	10057,19	10392,43	10057,19	10392,43	10392,43	10057,19	10392,43	10057,19	10392,43
$Q_{\text{ПД}}^{\text{М}}$, МДж	2621,37	2276,89	2072,35	1795,97	1299,08	987,78	835,13	703,67	980,30	1569,73	2042,91	2574,97
$Q_{\text{ВТ}}^{\text{М}}$, МДж	1008,64	911,31	1001,38	867,83	627,53	476,92	403,10	339,49	473,11	757,80	976,31	1008,42
$Q_{\text{МЕХ}}^{\text{М}}$, МДж	674,72	609,43	674,72	652,96	674,72	652,96	674,72	674,72	652,96	674,72	652,96	674,72
$Q_{\text{БГ ТОВ}}^{\text{М}}$, МДж	6092,43	5611,71	6667,43	6757,19	7792,43	7940,19	8480,43	8675,43	7951,19	7390,43	6385,19	6134,43
$V_{\text{БГ}}^{\text{М}}$, м ³	415,70	375,47	415,70	402,29	415,70	402,29	415,70	415,70	402,29	415,70	402,29	415,70
$V_{\text{БГ ТОВ}}^{\text{М}}$, м ³	243,70	224,47	266,70	270,29	311,70	317,61	339,22	347,02	318,05	295,62	255,41	245,38

2.2 Розрахунок фотоелектричної станції

2.2.1 Вибір фотоелектричних модулів

Для будівництва фотоелектричної станції обрано монокристалічні фотомодулі JA Solar JAM72S30-540/MR компанії JA Solar, яка на сьогоднішній день є одним із лідерів галузі. Характеристики фотомодуля наведені в табл. 2.4.

Таблиця 2.4 – Характеристики фотомодуля JA Solar JAM72S30-540/MR

Технічні характеристики:	
Максимальна потужність, Вт	540
Тип панелі	Монокристал
Клас фотомодуля	Клас А
Технологія комірок	11BB
Напруга при максимальній потужності, В	45
Струм при максимальній потужності, А	12
Напруга холостого ходу,	49.6
Струм короткого замикання, А	13,86
Максимальна напруга системи,	1500
Максимальний струм, А	20
Кількість комірок, шт	144 [24 X 6]
Кількість монтажних отворів, шт	8
Розмір комірок, мм	166x166
Допустима похибка потужності, %	±5%
Ступінь захисту	IP68
Рамка: матеріал / колір	Анодований алюміній/срібний
Скло: матеріал/товщина, мм	Загартоване / 3.2
З'єднувачі	MC4 - сумісні
Розподільна коробка	IP68
Кабелі підключення TUV, мм	4.0
Робоча температура, °C	-40 < t < +85
ККД. не менше, %	20,9
Габаритні розміри, мм	2279x1134x35
Вага, кг	28,6

Особливостями та перевагами даного типу фотомодулів є висока поглинаюча здатність, високий показник потужності, стійкість до механічних пошкоджень та виконання за технологіями Half-Cell та PERC [18].

Монокристалічний фотомодуль виготовлений з високоякісних матеріалів, включаючи анодований алюмінієвий каркас та загартоване скло з низьким вмістом заліза[18]. Конструкція забезпечує стійкість до вітру, снігу, вологи, пилу та граду, що гарантує довгий термін служби і надійність в різних умовах експлуатації.

Цей модуль є ідеальним рішенням для створення ефективних та довговічних фотоелектричних станцій, забезпечуючи оптимальну продуктивність та економічну вигоду.

2.2.2 Розрахунок параметрів фотоелектростанції

Місцем для встановлення фотоелектричної станції вибрано дах приватного будинку, з шириною – 8 м, вистою – 7 м, та кутом нахилу 30°. Враховуючи розміри даху та фотоелектричних модулів, можна встановити 5 рядів по 3 фотомодулі. Схематичне розташування фотомодулів на даху наведено на рис. 2.1.

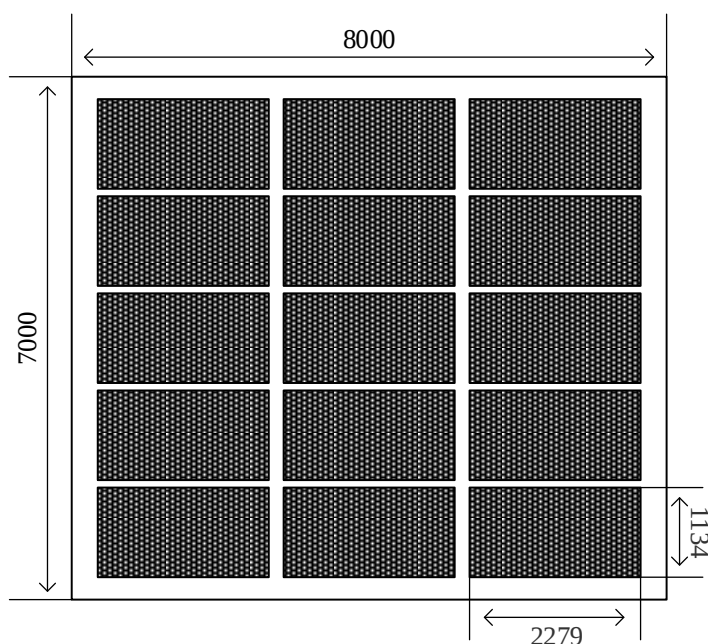


Рисунок 2.1 – Конфігурація фотоелектростанції

2.2.3 Розрахунки інсоляції на похилу поверхню

Кут схилення розраховується за формулою 2.40:

$$\delta = \delta_0 \cdot \sin \left[\frac{360}{365} \cdot (284 + n) \right] \quad (2.40)$$

де: n – номер дня у році.

Справжній сонячний час розраховується за формулою 2.41:

$$TST = LST + \frac{LL - SL}{15} - DS \quad (2.41)$$

де: LST – місцевий стандартний час; LL – локальний меридіан; SL – час, що відраховується від стандартного меридіана; DS – поправка на літній час.

Для знаходження інтенсивності сонячної радіації на похилу поверхню необхідно розрахувати коефіцієнти транспозиції за формулою:

$$R_B = \frac{\cos \theta}{\cos \Phi}, \quad R_D = \frac{1 + \cos \beta}{2} \quad (2.42)$$

де θ – кут між напрямком сонячного випромінювання та нормаллю до похилої поверхні; Φ – кут між напрямком сонячного випромінювання та нормаллю до горизонтальної поверхні; β – кут встановлення фотоелектричних модулів.

Кут θ розраховується за формулою (2.43):

$$\cos \theta = \cos \beta \cdot \cos \alpha + \sin \beta \cdot \cos \alpha \cdot \cos(z - z_s) \quad (2.43)$$

Надходження на похилу поверхню відбитого випромінювання розраховується за формулою (2.44):

$$I_{Rt} = \frac{(1 - \cos \beta) \cdot \rho \cdot (I_B + I_D)}{2} \quad (2.44)$$

де: ρ - альбедо, коефіцієнт відбиття.

Середньо місячна добова інсоляція розраховується за формулою (2.45):

$$W_t = \Delta h \cdot \sum I_{(n,i)} \quad (2.45)$$

де Δh – інтервал між сусідніми вимірюваннями, $I_{(n,i)}$ - середнє значення радіації в n -ий день для i -го відліку.

На рис. 2.2 наведено графік надходження сонячної радіації протягом року

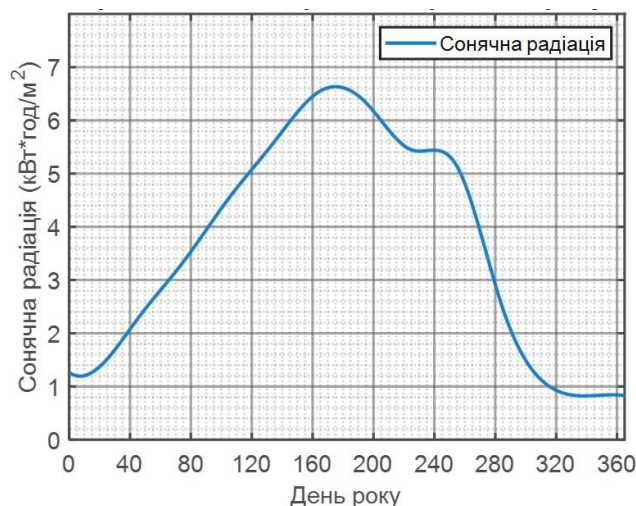


Рисунок 2.2 – Надходження сонячної радіації на похилу поверхню протягом року

Генерація електричної енергії розраховується за формулою (2.46):

$$E_{pv} = n_{pv} \cdot P_{pv} \cdot W_t \quad (2.46)$$

де: n_{pv} – кількість фотоелектричних панелей; P_{pv} – потужність фотомодуля;
 W_t – середньо місячна добова інсоляція.

Результати розрахунків виробітку електроенергії наведені в табл. 2.5

Таблиця 2.5 – Місячний та річний обсяг генерації енергії фотоелектричною станцією

Місяць	К-ть днів	Рівень інсоляції, кВт·год/м2	Виробіток, кВт·год	
			Місяць	Рік
Січень	31	1,26	317,62	11053,95
Лютий	28	2,27	515,41	
Березень	31	3,34	839,36	
Квітень	30	4,54	1103,72	
Травень	31	5,61	1407,85	
Червень	30	6,55	1592,82	
Липень	31	6,33	1590,95	
Серпень	31	5,45	1367,80	
Вересень	30	5,13	1246,71	
Жовтень	31	2,46	617,43	
Листопад	30	1,01	246,13	
Грудень	31	0,83	208,13	

2.3 Аналіз споживання та генерації електроенергії

Електроспоживання приватного будинку площею 56 м² варіюється протягом року, досягаючи піку в зимові місяці через активне використання електродіодів для опалення. Найбільше енергії споживають електродіоди, електрична плита та холодильник. Загальне споживання в січні та грудні складає понад 1000 кВт·год, тоді як влітку воно знижується до приблизно 377-440 кВт·год. В табл. 2.3.1 наведено список споживачів та деталізовані обсяги споживання електроенергії протягом року.

Таблиця 2.6 – Обсяги споживання електроенергії протягом року

Місяць	Потужність, кВт	Січень	Лютий	Березень	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень
Споживач	Потужність, кВт	Споживання, кВт·год											
Освітлення	0,5	18	15	12	10	10	7	7	7	9	12	15	18
Зовнішнє освітлення	1	124	112	93	90	77,5	60	62	62	75	77,5	90	124
Холодильник	0,05	37,2	33,6	37,2	36	37,2	36	37,2	37,2	36	37,2	36	37,2
Пральна машина	0,5	23,25	21	23,25	22,5	23,25	22,5	23,25	23,25	22,5	23,25	22,5	23,25
Телевізор	0,1	4,65	4,2	4,65	4,5	4,65	4,5	4,65	4,65	4,5	4,65	4,5	4,65
Комп'ютер	0,6	55,8	50,4	55,8	54	55,8	54	55,8	55,8	54	55,8	54	55,8
Мікрохвильова піч	0,8	7,44	6,72	7,44	7,2	7,44	7,2	7,44	7,44	7,2	7,44	7,2	7,44
Електрична плита	2	80,6	72,8	80,6	78	80,6	78	80,6	80,6	78	80,6	78	80,6
Електродіод	5	775	700	620	450	201,5	150	155	155	195	341	600	775
Компресор	0,8	124	112	124	120	124	120	124	124	120	124	120	124
Електронасос	0,4	6,2	5,6	6,2	6	6,2	6	6,2	6,2	6	6,2	6	6,2
Електрочайник	2	12,4	11,2	12,4	12	12,4	12	12,4	12,4	12	12,4	12	12,4
Всього:		1268,54	1144,52	1076,54	890,2	640,54	557,2	575,54	575,54	619,2	782,04	1045,2	1268,54
Всього за рік:		10443,6											

На рис. 2.3 представлено графік споживання електроенергії приватним будинком протягом року.

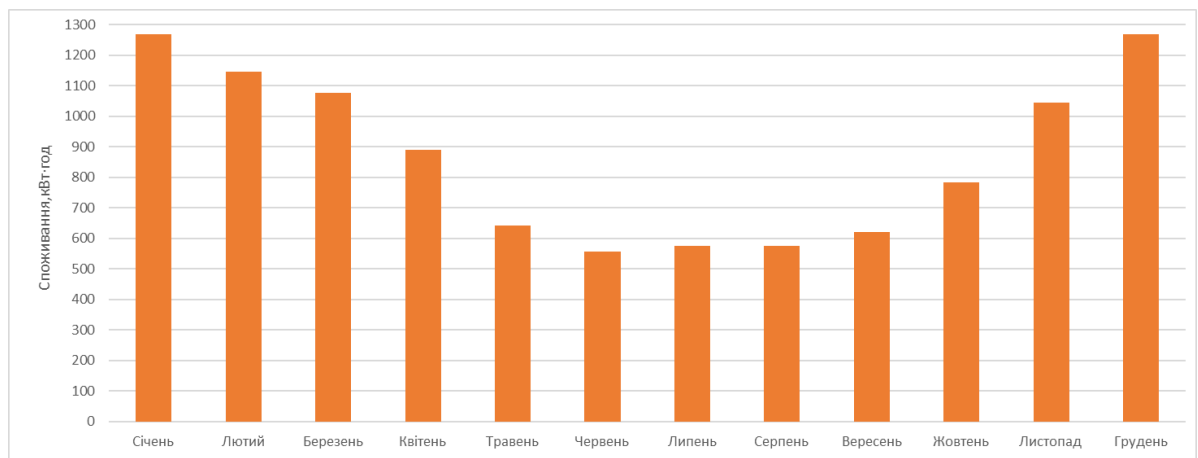


Рисунок 2.3 – Обсяги споживання електроенергії протягом року

Враховуючи, що з 1 м³ біогазу можна згенерувати 2,2 кВт·год електричної енергії, з отриманого в п. 2.1.8 об'єму товарного біогазу можливо виробити 7557 кВт·год на рік, детальний графік генерації електроенергії протягом року наведений на рис. 2.4.

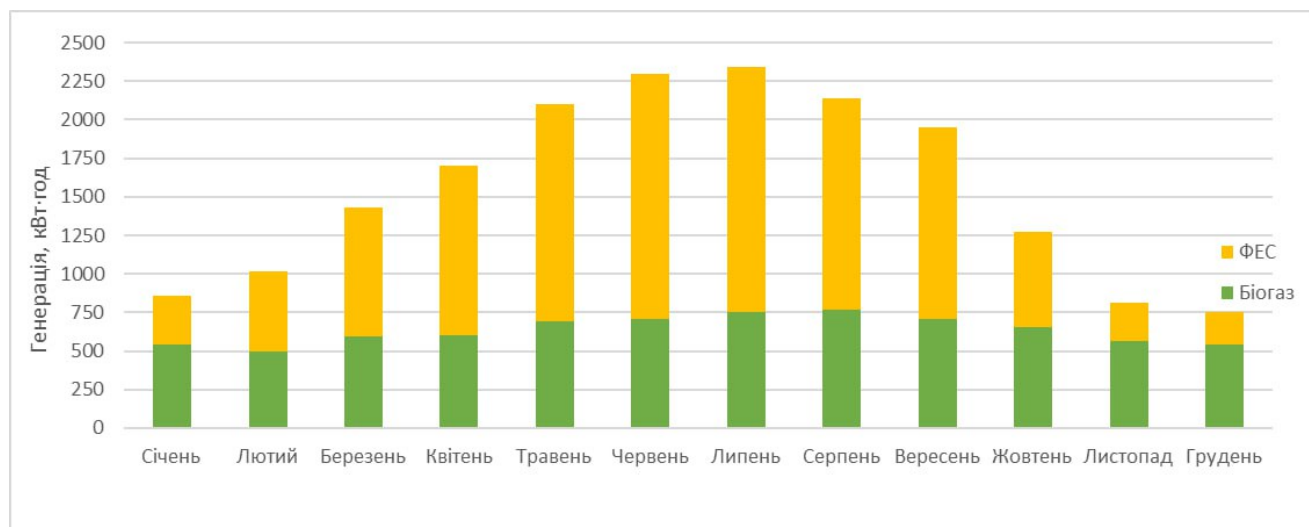


Рисунок 2.4 – Обсяги генерації електроенергії протягом року

З розрахунків обсягів генерації та споживання видно, що загальні обсяги генерація фотоелектростанції та біогазової установки – 18610 кВт·год на рік, а споживання – 10444 кВт·год на рік, тобто обсягів генерації достатньо для покриття потреб в енергоспоживанні електроенергії протягом року. Однак в літні місяці є великий профіцит електроенергії, а в зимовий період навпаки – дефіцит. Для перекриття дефіциту в зимові місяці, біогаз, вироблений в місяці з профіцитом, не буде витрачатися на генерацію електроенергії, а буде зберігатися в метантенку. Надлишок електроенергії, що становить близько 8160 кВт·год на рік можна продавати в мережу.

2.4 Висновки до розділу

У другому розділі проведено розрахунки для визначення основних параметрів біогазової установки, необхідних для вибору обладнання, також розраховано помісячний та річний вихід товарного біогазу при анаеробному зброджуванні гною свиней та бурякового бадилля. В результаті розрахунків отримано, що при заданих вхідних параметрах вихід товарного біогазу на рік становить 3435 м³, з якого можна згенерувати електроенергії 7557 кВт·год на рік.

Також вибрано фотомодулі для встановлення на даху приватного будинку. Розраховано прихід сонячної радіації на похилу поверхню, та побудовано профіль інсоляції. На основі цих даних розраховано генерацію ФЕС, що становить 11053 кВт·год на рік.

Річних обсягів генерації електроенергії достатньо для покриття споживання, надлишки електроенергії будуть постачатися в мережу.

					141.ЕД-0126.020.БР	Анк
		№ до	Підпис	Лат		39

РОЗДІЛ 3 ВИБІР ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ БІОГАЗОВОЇ УСТАНОВКИ ТА ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ СТАНЦІЇ

					141.ЕД-0126.020.БР			
Змн	Арк	№ док-м	Підпис	Дат				
Розроб		Хомов В.О.			Сонячно-біогазова система для енергозабезпечення приватного будинку			
Перевір		Будько М.О.						
Н. Конст.		Головко В.М.						
Затверд		Будько В.І.						
					Ліст	Арк	Активний	
						40	56	
					НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського», кафедра ВДЕ, ФЕА, гр. ЕД-01			

3.1 Вибір обладнання для біогазової установки

Вибір обладнання для біогазової установки є критично важливим етапом. Від правильно підбраного обладнання залежить не лише продуктивність та надійність установки, а й економічна доцільність проєкту. Основне обладнання для біогазової установки включає: біореактор, мішалку, газгольдер, систему генерації електроенергії, контрольну систему та автоматику.

Виходячи з результатів розрахунків наведених у розділі 2 обрано біореактор компанії «AgroBiogas» об'ємом 30 м³, висотою 3,15 м та діаметром 3,5 м. Біореактор обладнаний системами контролю тиску, температури та автоматикою. Підігрів субстрату відбувається завдяки трубкам, що кріпляться до стінок біореактора.

Також обрано двомембранний газгольдер об'ємом 300 м³ компанії «ZORG». Внутрішня мембрана для зберігання біогазу є гнучкою і переміщується в залежності від кількості газу. Зовнішня мембрана захищає внутрішню від впливу атмосферних явищ.

Для подачі біогазу в систему зберігання та генерації електричної енергії обрано безмасляний компресор з осушувачем компанії «Granum».

Для перетворення біогазу в електричну енергію обрано газовий генератор Generac, його характеристики наведено в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Характеристики генератора Generac 7232

Діапазон потужності, кВт	5-10
Вид палива	Газ
Номінальна потужність, кВт	8
Напруга, В	380
Частота, Гц	50
Витрата палива, м ³ /год	3,62
Кількість фаз	Трифазний
Система охолодження	Повітряна

3.2 Вибір обладнання для фотоелектричної станції

Основне обладнання для фотоелектростанції включає: сонячні панелі, інвертор, монтажні конструкції та захисне обладнання.

Для реалізації фотоелектростанції обрано трифазний мережевий інвертор компанії Huawei, характеристики якого наведені в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Характеристики інвертора Huawei SUN2000-12KTL-M0

Максимальна ефективність	98,5%
Номінальна потужність АС	12 000 Вт
Максимальна повна потужність АС	13 200 ВА
Вихідна напруга АС (номінальне)	220 Vac / 380 Vac, 230 Vac / 400 Vac,
Номінальна частота	50 Hz / 60 Hz
Максимальна сила струму АС	20 А
Максимально напруга DC	1080 В
Максимально сила струму на кожен MPPT	22 А
Максимальний струм короткого замикання	30 А
Робочий діапазон MPPT	160 В - 950 В
Діапазон MPPT на 100% потужності	380 В - 850 В
Розмір (Д × В × Ш)	525 x 470 x 262 мм
Маса	25 кг
Температура експлуатації	-25 ° C to +60 ° C
Країна виробник	Китай

Для здійснення монтажних робіт обрано напрямний профіль компанії «С Solar». Даний профіль виготовлений із холоднокатаної оцинкованої сталі, виробник надає гарантію на корозійну стійкість до 50 років. Для встановлення 5 рядів фотоелектричних панелей знадобиться 80 м даного профілю.

Виходячи з параметрів фотоелектричних модулів, потрібно обрати запобіжники. Струм при роботі на максимальній потужності становить 12 А, тому

обрано запобіжники компанії «ETI СН», які розраховані на струм спрацювання 13 А. Необхідна кількість – 3 шт.

3.3 Електрична схема під'єднання

Виходячи з параметрів фотоелектричних панелей та інвертора, панелі потрібно об'єднати в 3 паралельних ланцюги по 5 панелей, підключених послідовно.

Електричну схему під'єднання фотоелектричних панелей та газового генератора до системи енергоживлення будинку представлено на рис. 3.1.

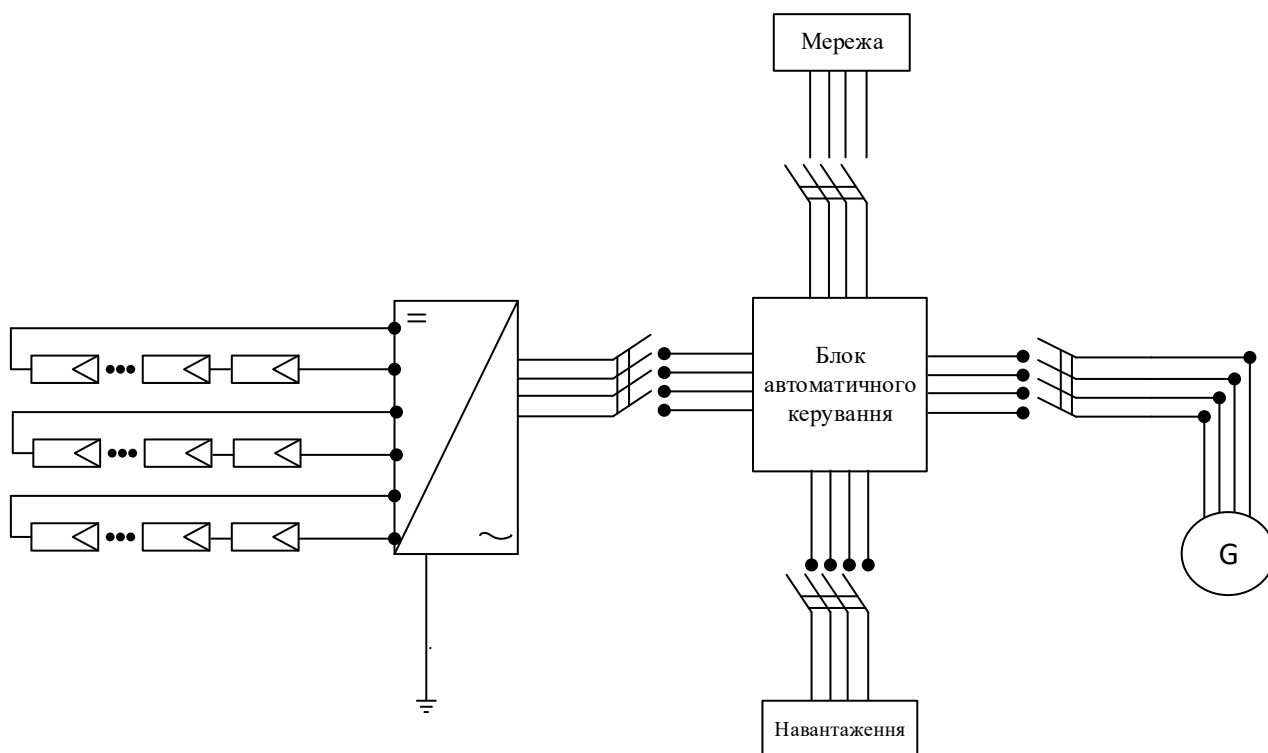


Рисунок 3.1 – Електрична схема під'єднання.

3.4 Розрахунок терміну окупності

Із розрахованих в п 2.3 обсягів генерації та споживання електроенергії, видно що в зимові місяці існує дефіцит електроенергії, а в літні місяці – великий профіцит. Для перекриття дефіциту в зимовий період, біогаз вироблений в періоди профіциту буде накопичуватися та зберігатися в газгольдері.

Враховуючи обсяги генерації та споживання електроенергії, можна відпускати в мережу 8160 кВт·год. Оскільки «Зелений» тариф діє лише до кінця 2029 року, прийнято рішення продавати електроенергію на РДН та ВДР. За даними АТ «Оператор ринку» середньомісячна ціна 1 кВт·год на РДН за травень становить 3,971 грн., отже за рік потенційний прибуток становить 31,8 тис. грн. Також потрібно врахувати вартість спожитої електроенергії, тариф на електроенергію для населення становить 4,32 грн/кВт·год, річне споживання будинку становить близько 10444 кВт·год на рік, отже завдяки біогазовій установці та фотоелектричній станції потенційно можна заощадити близько 45 тис. грн на рік.

Розрахунки вартості обладнання та встановлення біогазової установки та фотоелектростанції наведено в табл. 3.3.

Таблиця 3.3 – Вартість обладнання.

Назва	Вартість, тис. грн
Біореактор «AgroBiogas» 30 м ³	150
Газгольдер «ZORG» 300 м ³	200
Компресор «Granum-100»	30
Генератор «Generac 7232»	120
Фотомодулі JA Solar JAM72S30-540	63
Інвертор Huawei SUN2000-12KTL-M0	60
Запобіжники «ETI CH 13 A»	1
Напрямний профіль C Solar	20
Інші монтажні елементи	10
Вартість встановлення	50
Всього	704

Враховуючи що загальна вартість біогазової установки та фотоелектростанції становить близько 704 тис. грн, можна розрахувати орієнтовний термін окупності проєкту: $704 / (45 + 31,8) \approx 9$ років.

3.5 Висновки до розділу

В даному розділі підібрано обладнання для біогазової установки та фотоелектростанції. Обрано біореактор компанії «AgroBiogas» об'ємом 30 м³, газгольдер компанії «ZORG» об'ємом 300 м³, мережевий інвертор «Huawei SUN2000» та інше обладнання. Загальна вартість проєкту становить близько 704 тис. грн, а термін окупності становить близько 9 років.

					141.ЕД-0126.020.БР	Анк
Змн.	Анк.	№ доким.	Підпис	Лат		45

РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ

					141.ЕД-0126.020.БР				
Змн	Анк	№ док-м	Підпис	Лист	Сонячно-біогазова система для енергозабезпечення приватного будинку	Літ	Анк	Активний	
Розроб		Хомов В.О.							
Перевір		Будько М.О.					46	56	
						НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського», кафедра ВДЕ, ФЕА, гр. ЕД-01			
Н. Конст.		Головко В.М.							
Затверд		Будько В.І.							

4.1 Нормативно-правова база

Охорона праці в Україні регулюється рядом нормативних актів та документів, серед яких основними є:

1) Закон України "Про охорону праці" від 14.10.1992 № 2694-XII (з останніми змінами) .

2) Кодекс законів про працю України (КЗпП) від 10.12.1971 № 322-VIII (з останніми змінами) .

3) ДСТУ EN ISO 45001:2019 "Системи менеджменту охорони здоров'я та безпеки праці. Вимоги та настанови щодо застосування" .

4) Наказ Міністерства охорони здоров'я України від 25.12.2017 № 1937 "Про затвердження Переліку медичних протипоказань до виконання окремих видів робіт" .

Для забезпечення безпечної роботи сонячно-біогазової системи необхідно провести ідентифікацію можливих небезпек та оцінку ризиків. Основними небезпеками можуть бути:

1) електричні небезпеки (установка, обслуговування сонячних панелей та електрообладнання).

2) механічні небезпеки (робота з обладнанням для виробництва біогазу).

3) хімічні небезпеки (робота з біогазом та відходами).

4) небезпеки, пов'язані з високими температурами (сонячні панелі, біореактори).

4.2 Електробезпека

4.2.1 Використання сертифікованого обладнання

Усі електричні компоненти та установки повинні відповідати вимогам ДСТУ EN 61439-1:2014 "Розподільчі електричні установки низької напруги. Частина 1. Загальні правила".

Використання тільки сертифікованого обладнання, яке має відповідні маркування та пройшло перевірку якості.

					141.ЕД-0126.020.БР	Анк
Змн.	Анк.	№ док.им.	Підпис	Дат		47

4.2.2 Заземлення та заземлюючі пристрої

Усі електричні установки повинні бути правильно заземлені відповідно до ДСТУ EN 50522:2011 "Заземлення устаткування електричних мереж".

Регулярна перевірка та тестування заземлюючих пристроїв.

4.2.3 Ізоляція

Застосування відповідних ізоляційних матеріалів для кабелів та електричних компонентів, що відповідають ДСТУ ІЕС 60228:2011 "Провідники кабелів ізолюваних".

4.2.4 Обслуговування та перевірка

Регулярне технічне обслуговування та перевірка електричних установок та обладнання.

Запровадження графіку планових перевірок та технічного обслуговування.

4.2.5 Захист від перенапруг

Використання пристроїв захисту від перенапруги (ПЗП) для захисту електричних установок.

Регулярна перевірка та тестування ПЗП.

4.3. Хімічна безпека

4.3.1 Ідентифікація небезпечних речовин

Проведення аналізу та ідентифікації усіх хімічних речовин, що використовуються у виробництві біогазу.

Складання списку небезпечних речовин та матеріалів із зазначенням їхніх властивостей та потенційних ризиків.

4.3.2 Зберігання хімічних речовин

Використання спеціальних сховищ та контейнерів для зберігання хімічних речовин.

Забезпечення належної вентиляції у приміщеннях для зберігання хімічних речовин.

					141.ЕД-0126.020.БР	Анк
Змн.	Анк.	№ док.им.	Підпис	Лат		48

4.3.3 Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ)

Забезпечення працівників необхідними засобами індивідуального захисту (рукавички, маски, окуляри) відповідно до ДСТУ EN 166:2017 "Засоби індивідуального захисту очей. Технічні вимоги".

Регулярна перевірка стану та придатності ЗІЗ.

4.3.4 Утилізація хімічних відходів

Використання спеціальних методів та засобів для утилізації хімічних відходів.

Дотримання вимог щодо утилізації хімічних відходів згідно з Наказом Міністерства охорони здоров'я України від 08.06.2015 № 325 "Про затвердження Порядку поводження з відходами" .

4.3.5 Системи вентиляції

Встановлення та підтримка систем вентиляції для видалення небезпечних парів та газів.

Регулярна перевірка та обслуговування вентиляційних систем.

4.4 Пожежна безпека

4.4.1 Протипожежні системи

Встановлення систем автоматичного пожежогасіння та сигналізації відповідно до ДСТУ EN 54-1:2016 "Системи пожежної сигналізації та оповіщення".

Регулярна перевірка та обслуговування протипожежних систем.

4.4.2 Пожежна безпека обладнання

Використання негорючих та важкозаймистих матеріалів для будівництва та облаштування приміщень.

Забезпечення доступу до первинних засобів пожежогасіння (вогнегасників) відповідно до ДСТУ EN 3-7:2004 "Переносні вогнегасники".

					141.ЕД-0126.020.БР	Анк
Змн.	Анк.	№ док.им.	Підпис	Лат		49

4.4.3 Організація безпечних маршрутів евакуації

Розробка та маркування маршрутів евакуації згідно з ДСТУ ISO 23601:2019 "Безпека на робочому місці. Схеми евакуації".

Проведення навчань та тренувальних евакуацій для персоналу.

4.4.4 Контроль небезпечних речовин

Забезпечення належного зберігання та поводження з легкозаймистими та вибухонебезпечними речовинами.

Використання спеціальних контейнерів для зберігання та утилізації небезпечних речовин.

4.5 Висновки до розділу

Забезпечення електробезпеки, пожежної безпеки та хімічної безпеки є ключовими аспектами охорони праці у сонячно-біогазовій системі. Впровадження та дотримання цих заходів дозволяє мінімізувати ризики виникнення нещасних випадків та забезпечити безпечні умови праці для персоналу.

Вимоги електробезпеки акцентують увагу на використанні сертифікованого обладнання, правильному заземленні, ізоляції та регулярному технічному обслуговуванні.

Пожежна безпека забезпечується встановленням систем автоматичного пожежогасіння та сигналізації, правильним зберіганням легкозаймистих речовин та організацією безпечних маршрутів евакуації.

Захист від хімічних небезпек включає ідентифікацію небезпечних речовин, їх належне зберігання та використання засобів індивідуального захисту.

					141.ЕД-0126.020.БР	Анк.
						50
Змн.	Анк.	№ док-м.	Підпис	Дат		

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Розглянуто процеси виробництва біогазу з біомаси, проаналізовано типові схеми біогазових установок та фактори, що впливають на ефективність виробництва біогазу. Також розглянуто методи конвертації сонячної енергії, типи фотоелектричних модулів та особливості експлуатації фотоелектричних станцій.

2. Проведено детальні розрахунки для біогазової установки з виходом товарного біогазу обсягом 3435 м³ на рік, використовуючи гній свиней та бурякове бадилля як кофермент. Розраховано, що загальний вихід біомаси становить 218 тонн на рік. Також здійснено розрахунок дахової фотоелектричної станції площею 56 м², обсяг генерації фотомодулями електроенергії становить 11050 кВт·год на рік.

3. Розраховано та проаналізовано обсяги споживання та генерації електроенергії. З розрахунків видно, що приватний будинок може повністю забезпечувати свої потреби в електроенергії протягом року за допомогою запропонованої комплексної системи, яка включає фотоелектричну станцію та біогазову установку. Окрім покриття власних потреб в споживанні електроенергії, запропонована система може відпускати в мережу близько 8160 кВт·год на рік. Також розроблено схему підключення електричного обладнання фотоелектричної станції та генератора.

4. Складено заходи з охорони праці при роботі з фотоелектричними та біогазовими установками, пожежну безпеку, електробезпеку та хімічну безпеку.

					141.ЕД-0126.020.БР	Анк
Змн.	Анк.	№ доким.	Підпис	Дат		51

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Відновлювані джерела енергії / За заг. ред. С.О. Кудрі. – Київ: Інститут відновлюваної енергетики НАНУ, 2020. – 392 с.
2. Aghaei, Mohammadreza, et al. "An overview of solar cells materials classification." Nat Grad 2013. Proceedings of the II National Graduate Conference. 2014.
3. Лантух Н. М., Агєєва Г. М., Щербатий В. П. Позитивний досвід використання геліосистем в житловому фонді України. Реконструкція житла. 2005. Вип.6. С.304-311.
4. Коровушкін, В. О. ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКИ ДЛЯ СТАЛОГО БУДІВНИЦТВА. ЕНЕРГЕТИКА. ЕКОЛОГІЯ. ЛЮДИНА, 130.(Енергетика. Екологія. Людина. Зб. наукових праць НН ІЕЕ, КІП імені Ігоря Сікорського – Київ: ІЕЕ, 2022. – 209 с.)
5. OBILEKE, KeChrist, et al. Anaerobic digestion: Technology for biogas production as a source of renewable energy—A review. *Energy & Environment*, 2021, 32.2: 191-225.
6. Xue, S.; Wang, Y.; Lyu, X.; Zhao, N.; Song, J.; Wang, X.; Yang, G. Interactive effects of carbohydrate, lipid, protein composition and carbon/nitrogen ratio on biogas production of different food wastes. *Bioresour. Technol.* 2020, 312, 123566.
7. Gadirli, G., Pilarska, A. A., Dach, J., Pilarski, K., Kolasa-Więcek, A., & Borowiak, K. (2023). Biogas Plants: Fundamentals, Operation and Prospects.
8. Khalid, A.; Arshad, M.; Anjum, M.; Mahmood, T.; Dawson, L. The anaerobic digestion of solid organic waste. *Waste Manage.* 2011, 31, 1737–1744.
9. Pilarska, A.A.; Pilarski, K.; Waliszewska, B.; Zborowska, M.; Witaszek, K.; Waliszewska, H.; Kolasiński, M.; Szwarc-Rzepka, K. Evaluation of bio-methane yields for high-energy organic waste and sewage sludge: A pilot-scale study for a wastewater treatment plant. *Environ. Eng. Manag. J.* 2019, 18, 2023–2034.
10. Kothari, R.; Pandey, A.K.; Kumar, S.; Tyagi, V.V.; Tyagi, S.K. Different aspects of dry anaerobic digestion for bio-energy: An overview. *Renew. Sustain. Energy*

					<i>141.ЕД-0126.020.БР</i>	Анк
Змн.	Анк.	№ док.им.	Підпис	Лат		52

Rev. 2014, 39, 174–195.

11. Amani, T.; Nosrati, M.; Sreekrishnan, T.R. Anaerobic digestion from the viewpoint of microbiological, chemical, and operational aspects – A review. *Environ. Rev.* 2010, 18, 255–278.

12. Nsair, A.; Onen Cinar, S.; Alassali, A.; Abu Qdais, H.; Kuchta, K. Operational parameters of biogas plants: A review and evaluation study. *Energies*, 2020, 13, 3761.

13. Misra U, Singh S, Singh A, et al. A new temperature controlled digester for anaerobic digestion for biogas production. *Energy Convers Manage* 1992; 33: 983–986.

14. Salave, H. S., & Desai, A. D. (2020). The study and analysis of different biogas enrichment technologies. *Int. J. Adv. Sci. Technol.*, 29, 8709-8719.

15. Kuznietsov, M., Lysenko, O., & Melnyk, O. (2018). Особливості стохастичної оптимізації гібридних енергосистем на базі ВДЕ. *Vidnovluvana energetika*, (2 (53)), 6-15.

16. Біоенергетика: Курсова робота [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студентів денної форми навчання за освітньою програмою підготовки «Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії» спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». Укладач: Будько М.О. – Електронні текстові дані (1 файл: 3,153 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 40с.

17. Затула В.І. Практикум з кліматології: методичні рекомендації до виконання практичних робіт з курсу кліматології. – Київ, 2022. – 69 с.

18. Фотомодуль JA Solar JAM72S30-540/MR Mono [ЕЛЕКТРОННИЙ РЕСУРС]. – РЕЖИМ ДОСТУПУ: <https://watt.net.ua/solnechnie-paneli/solnechnaja-panel-ja-solar-jam72s30-540-mr-mono.html>

					141.ЕД-0126.020.БР	Анк.
Змн.	Анк.	№ док-м.	Підпис	Дат		53

ДОДАТОК А

Кількість екскрементів від однієї тварини на добу

Тварини	Вихід екскрементів, кг/добу		
	Всього	кал	сеча
Би́ки	40	30	10
Корови	55	35	20
Молодняк на відгодівлі віком: до 4 міс.	7,5	5	2,5
4 – 6 міс.	14,0	10	4
6 – 12 міс.	26,0	14	12
старші 12 міс.	35,0	23	12
Свині	15,0	11	4
Кури	0,2 – 0,3	–	–
Качки	0,4 – 0,45	–	–
Гуси	0,6 – 0,7	–	–

ДОДАТОК Б

Вміст азоту, співвідношення C/N для органічних речовин та
частка органічної речовини в сухій біомасі

Біомаса	Азот N, %	Співвідношення C/N	Частка органічної речовини U_{COP} , %
Гній ВРХ	1,7–1,8	16,6–25	68–76
Гній свиней	3,8	6,2–12,5	75–80
Пташиний послід	3,7–6,3	7,3–9,65	63–80
Кукурудзяний силос	1,1–2	50	85–95
Трав'яний силос	3,5–6,9	12	70–95
Силос зернових	1,0	49,9	92–98
Бурак кормовий	1,9	35	75–85
Буракове бадилля	0,2–0,4	16	75–80

ДОДАТОК В

Вихід біогазу та вміст в ньому метану при використанні різних
типів сировини

Тип сировини	Вихід біогазу м ³ /т СОР	Вміст метану
Гній ВРХ	250-340	65
Гній свиней	340-580	65-70
Пташиний послід	310-620	60
Кукурудзяний силос	450-700	50-55
Трав'яний силос	550-620	54
Силос зернових	550-680	55
Буряк кормовий	620-850	53
Бурякове бадилля	550-600	54