

Дніпровський державний аграрно-економічний університет
Факультет водогосподарської інженерії та екології
Кафедра цивільної інженерії, технологій будівництва і захисту довкілля

Освітньо-кваліфікаційний рівень «бакалавр»
Спеціальність – 183 Технології захисту навколишнього середовища
Освітньо-професійна програма «Технології захисту навколишнього середовища»

Затверджую:
Завідувач кафедри цивільної інженерії,
технологій будівництва і захисту довкілля
д.т.н., професор _____ В. Є. Волкова
«_____» _____ 2024 р.

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи на тему:
«ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ
РОБОТИ БІОГАЗОВОЇ УСТАНОВКИ НЕВЕЛИКОЇ
ТВАРИННИЦЬКОЇ ФЕРМИ»

Виконав здобувач вищої освіти
4 курсу, групи ТЗНС-1-20 _____ Максим МИРОШНИК
(підпис)

Керівник _____ Геннадій ГАПЧ
(підпис)

Рецензент _____
(підпис)

Дніпро 2024

Дніпровський державний аграрно-економічний університет
Факультет водогосподарської інженерії та екології
Кафедра цивільної інженерії, технологій будівництва і захисту довкілля

Освітньо-кваліфікаційний рівень «бакалавр»
Спеціальність – 183 Технології захисту навколишнього середовища
Освітньо-професійна програма «Технології захисту навколишнього середовища»

Затверджую:
Завідувач кафедри цивільної інженерії,
технологій будівництва і захисту довкілля
д.т.н., професор _____ В. Є. Волкова
«_____» _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу здобувачу вищої освіти
Мирошнику Максиму Євгеновичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: «Обґрунтування техніко-економічних параметрів роботи біогазової установки невеликої тваринницької ферми» затверджена наказом ректора від «05» квітня 2024 р. №723.
2. Термін здачі закінченої роботи: «14» червня 2024 р.
3. Вихідні дані до роботи: показники господарської діяльності невеликої тваринницької ферми.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки: 1. Сучасний розвиток біоенергетики та перспективи впровадження біогазових технологій в умовах України; 2. Загальні відомості про об'єкт досліджень та методика виконання розрахунків; 3. Розрахунок технологічних параметрів роботи біогазової установки; 4. Визначення показників економічної ефективності; 5. Охорона праці та техніка безпеки під час роботи біогазової установки; Вступ; Висновки; Список літератури.
5. Перелік графічного матеріалу: презентація кваліфікаційної роботи у програмному середовищі Microsoft PowerPoint.

Керівник роботи _____ (Геннадій ГАПЧ)

(підпис)

Завдання прийняв до виконання _____ (Максим МИРОШНИК)

(підпис)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з. п.	Назва етапів дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	1. Сучасний розвиток біоенергетики та перспективи впровадження біогазових технологій в умовах України	квітень 2024 р.	
2	2. Загальні відомості про об'єкт досліджень та методика виконання розрахунків	травень 2024 р.	
3	3. Розрахунок технологічних параметрів роботи біогазової установки	травень 2024 р.	
4	4. Визначення показників економічної ефективності	червень 2024 р.	
5	5. Охорона праці та техніка безпеки під час роботи біогазової установки	червень 2024 р.	
6	Вступ, Висновки, Список літератури	червень 2024 р.	
7	Підготовка презентації, попередній захист роботи на кафедрі	червень 2024 р.	

Здобувач вищої освіти _____ (Максим МИРОШНИК)
(підпис)

Керівник роботи _____ (Геннадій ГАПЧ)
(підпис)

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	59
------------------------	----

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка кваліфікаційної дипломної роботи містить 60 сторінок, 17 рисунків, 4 таблиці та 16 літературних джерела. Загальна структура роботи складається з 5 основних розділів.

Метою досліджень є Обґрунтування техніко-економічних параметрів роботи біогазової установки невеликої тваринницької ферми у Дослідному господарстві «Руно» Національної академії аграрних наук України у с. Затишне, Кам'янського району Дніпропетровської області в цілях забезпечення його енергетичної незалежності. Для досягнення мети було поставлено та вирішено наступні основні *завдання*:

- аналізу світового та вітчизняного досвіду розвитку біоенергетичного потенціалу, сучасних способів та технологічних рішень щодо утилізації органічних відходів тваринницьких ферм;
- дослідження кількісного та якісного складу відходів на тваринницькій фермі з оцінкою їх біоенергетичного потенціалу (утворення товарного біометану);
- обґрунтування технології зброджування, розрахунок кількісних показників та вибір робочої схеми основного обладнання біогазової установки для вироблення енергії;
- оцінка економічної ефективності улаштування біогазової установки на підприємстві;
- аналіз основних заходів з охорони праці та техніки безпеки під час експлуатації біоенергетичної установи.

Об'єктом дослідження виступає технологічний процес отримання біогазу (біометану) та техніко-економічні параметри роботи біогазової установки на невеликій тваринницькій фермі.

Предметом дослідження є обґрунтування технологічних параметрів та техніко-економічних показників роботи біогазової установки як альтернативного джерела отримання енергії.

Ключові слова: біогаз, біометан, органічні відходи, біогазова установка,

альтернативні джерела енергії, економічна ефективність.

ВСТУП

За прогнозом біоенергетичної асоціації України (UABIO, <https://uabio.org/>), загальний потенціал виробництва біометану в Україні у 2050 році, за умов підвищення урожайності сільськогосподарських культур, збільшення валового виробництва агропродукції, а також розширення використовуваних видів та обсягів вторинних сировинних ресурсів (ВСР) і відходів, може зрости принаймні в 1,5 рази у порівнянні з 2020 роком і досягти близько 15 млрд м³/рік.

Дорожня карта розвитку біоенергетики в Україні до 2050 року передбачає впровадження та зростання виробництва біогазу та біометану. За оцінками UABIO, фактичне виробництво біометану в Україні може досягти 1 млрд м³ у 2030 році та 4,5 млрд м³ у 2050 році [4].

Згідно даних [4, 12] основними ринковими передумовами розвитку біогазової енергетики в Україні обґрунтовуються наступними вимогами сьогодення:

- ✓ гостра необхідність диверсифікації джерел постачання енергоресурсів та зміцнення енергетичної незалежності і безпеки України в умовах війни;
- ✓ політична доцільність і необхідність поступового заміщення споживання природного газу з інших країн;
- ✓ необхідність підтримання функцій газотранспортної системи України із забезпечення населення та різних галузей промисловості достатніми обсягами газу в разі зменшення або повної зупинки його транзиту через територію України;
- ✓ зобов'язання України щодо скорочення викидів парникових газів (CO₂) згідно Паризької кліматичної угоди 2015 року;
- ✓ подальша інтеграція з енергоринком ЄС з розширенням частки енергії з відновлюваних джерел;
- ✓ економічна доцільність заміщення викопних енергетичних ресурсів біометаном при постійному підвищенні ціни на енергоносії.

Таким чином, актуальність обраної теми кваліфікаційної роботи повністю узгоджується з перспективним планом розвитку енергетичної безпеки України в умовах війни та необхідності забезпечення підприємств галузі сільського господарства власними ефективними джерелами енергії.

1. СУЧАСНИЙ РОЗВИТОК БІОЕНЕРГЕТИКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВПРОВАДЖЕННЯ БІОГАЗОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ В УМОВАХ УКРАЇНИ

Надійність і стабільність забезпечення енергією є основною сталою функціонування і розвитку сучасного технологічного устрою та життєзабезпечення населення. На сьогодні актуальним є питання енергетичної безпеки як на глобальному так і на регіональному рівнях забезпечення. Особливо гостро це відчувається в умовах тривалих військових дій внаслідок чого цілеспрямовано знищується енергетична інфраструктура України. Така ситуація потребує диверсифікації поставок енергії та пошуку до альтернативних шляхів її генерації.

Суттєву та дедалі постійно зростаючу роль у світовій практиці енерговиробництва відіграють поновлювані джерела енергії. Постійне збільшення цін на викопні енергоресурси та складність з логістикою їх постачання на світові ринки, ризики соціально-політичного, економічного або військового характерів обумовлюють підвищений попит і зацікавленість багатьох держав до отримання енергії при застосуванні технологій переробки органічних відходів [9, 12].

Одним з найбільш розповсюджених видів біоенергетичного палива є біогаз. Біогаз – горюча газова суміш, що отримується в результаті технологічного процесу анаеробного мікробіологічного зброджування при розкладанні органічних відходів. Основною сировиною для виробництва біогазу є наступні види відходів: рідкі й тверді відходи галузі сільського господарства (гній тваринницьких комплексів, рослинні рештки); тверді господарсько побутові відходи і стічні води, що містять значну кількість органічних речовин; відходи лісопромислового виробництва тощо [4, 7].

Розвиток біоенергетичних технологій дозволяє сьогодні впливати та контролювати на дві найважливіші проблем сучасності. По-перше – це вирішення проблеми збільшення валових обсягів та накопичення органічних

відходів. По-друге – це нагальна необхідність скорочення кількості глобальних викидів CO₂ (парникових газів). Обидві проблеми тісно пов'язані з розвитком технологій захисту навколишнього середовища, як складової екологічно безпечного виробництва і захисту довкілля. З процесом перетворення органічних відходів у поновлюваний енергетичний ресурс, виробництво біогазу надає можливість забезпечити безперервне використання ресурсів та задовольнити зростаючий попит на послуги генерацію та енергопостачання. Для багатьох країн світу, які стрімко розвиваються, біогаз стає цінним місцевим джерелом енергії і тепла. У більш розвинених країнах досягається, також, високий потенціал супутньої вигоди з точки зору підвищення продуктивності сільського господарства (отримання добрив).

За умови модернізації технологічного процесу виробництва, зберігання і транспортування біогаз не відрізняється від природного газу, тому може бути використаний аналогічним чином. Біогаз може забезпечити енергогенеруючим системам перевагу над природним газом шляхом суттєвого зменшення викидів вуглецю в атмосферу. Доцільність та перспективність біогазових технологій в повній мірі узгоджується зі світовими цілями по боротьбі зі зміною клімату (потепління, декарбонізація), поліпшення якості компонент навколишнього середовища (повітря, ґрунтовий покрив, водне середовище) і забезпечення доступу до енергії.

1.1. Масштаби та особливості виробництва біогазу у світі

У країнах, що розвиваються біогаз здебільшого виробляється в невеликих домогосподарствах з метою забезпечення паливом для приготування їжі або освітлення. У більш розвинених країнах виробництво біогазу переважно зосереджено на крупних фермерських (господарських) та комерційних електричних і теплових біогазових установках. Розвиток

сучасних технологій дозволяє активно впроваджувати різноманітні програми з підтримки біогазу. Реалізація сучасних розробки невеликих домашніх біогазових систем дозволяє скоротити споживання дров і уникнути масових рубок лісів, зменшити забруднення атмосферного повітря в господарсько-побутових приміщеннях і поліпшити показники родючості ґрунту. Не зважаючи на викладене вище, світове виробництво біогазу на 2022 р. у світі в цілому знаходиться на рівні всього 35 млн т н.е. (нафтового еквіваленту) при потенційній можливості виробництва на рівні 570 млн т н.е. (рис. 1.1), що підкреслює актуальність обраного дослідження та перспективність подальшого розвитку біоенергетичних технологій.

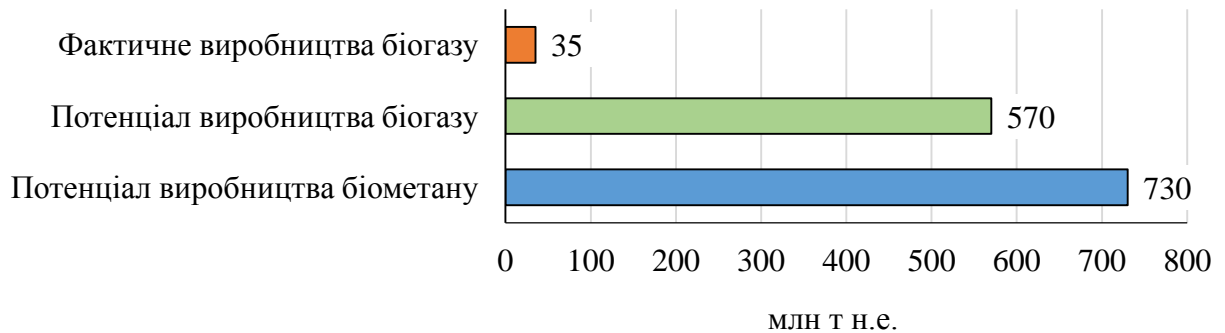


Рисунок 1.1. Світове виробництво біогазу [2-4]

Разом з тим, варто відзначити, що найбільш вживаною сировиною для країн ЄС є рослинні культури і тваринницькі відходи, а для Китаю і США – полігони ТПВ і тваринницькі відходи (рис. 1.2).

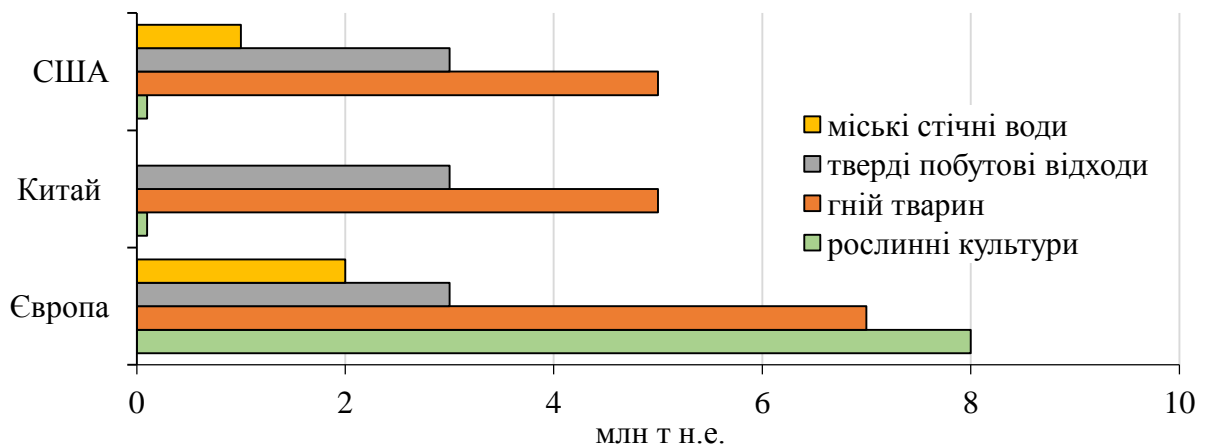


Рисунок 1.2. Обсяги виробництва біогазу у різних регіонах світу [2-4]

У дослідженні консорціуму *Gas for Climate* зазначається, що в країнах ЄС, а також у Великобританії, Норвегії та Швейцарії можливо виробляти до 41 млрд м³ біометану в 2030 р. і близько 151 млрд м³ у 2050 р.

Країни Європи. Сьогодні об'єднана Європа займає лідируючі позиції у розвитку біоенергетики. В останні роки і десятиліття виробництво біогазу в Європі значно зросло. В основному це пов'язано зі сприятливими законодавчими і технологічними елементами підтримки. У той час, як внесок утилізації метану зі звалищ (полігони ТПВ) у виробництві біогазу був майже незмінним протягом останнього десятиліття, основний внесок у зростання було зроблено за рахунок установок анаеробного зброджування і від очищення стічних вод (див. рис. 1.2).

Значна частина біогазу в ЄС використовується як паливо для виробництва електроенергії на тепла з метою збільшення доходу і поліпшення еколого-економічної ефективності роботи біогазових станцій (рис. 1.3). На сьогодні у ЄС налічується близько тисячі біометанових заводів. Найчастіше при цьому використовуються газові двигуни, електричний ККД яких може досягати 40%.

Ситуація з виробництвом біогазу суттєво відрізняється в різних країнах, як з точки зору виробництва біогазу, так і з точки зору джерела біогазу. Частка в споживанні біогазу у країнах, також, дуже різноманітна. В середньому вона становить близько 4%, але, наприклад, у Німеччині вона сягає 12%. Залежно від рівня технологічного укладу, економічних показників розвитку та можливості переоснащення енергогенеруючих потужностей, провідними країнами з виробництва біогазу в ЄС є наступні: Німеччина, Великобританія, Італія, Чехія та Франція.

Якщо проаналізувати джерела отримання біогазу (рис.1.4), то найбільша його кількість утворюється в результаті анаеробного зброджування в Німеччині, Італії, Чехії та Нідерландах. В результаті вилучення газу на

полігонах ТПВ найбільше біогазу генерують у Великобританії, Франції та Іспанії.

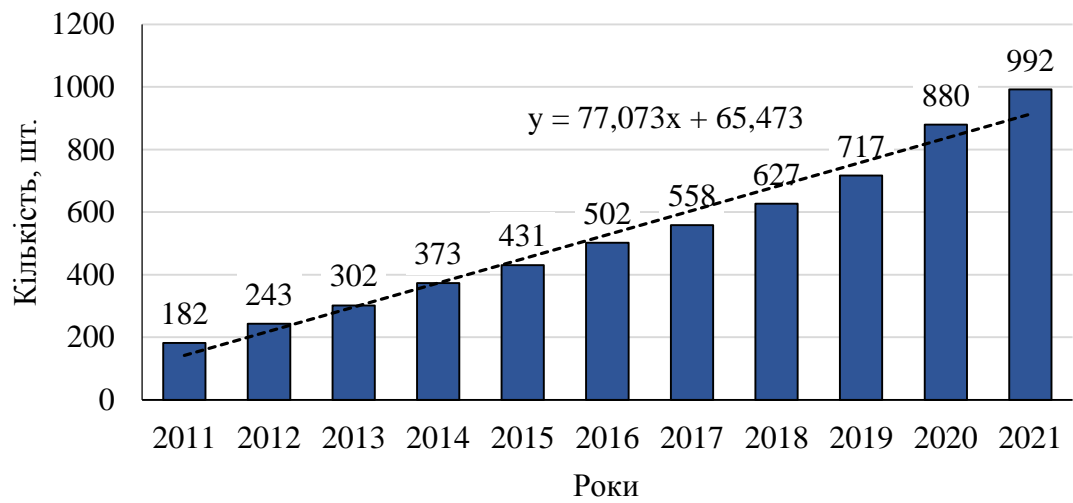


Рисунок 1.3. Кількість та тренд збільшення кількості біометанових заводів у країнах ЄС [2-4]

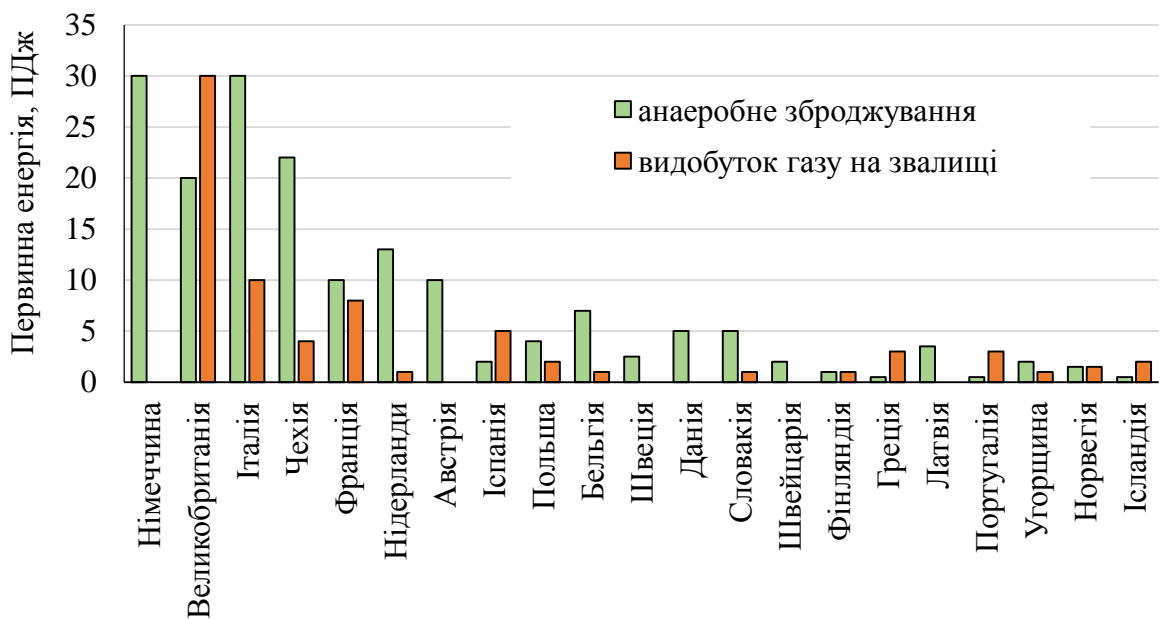


Рисунок 1.4. Виробництво первинної енергії з біогазу в країнах ЄС [2-4]

Варто відзначити, що за даними Європейської біогазової асоціації в число установок з подальшим виробленням теплової та електричної енергії досягло близько 20 тис. шт. (рис.1.5).

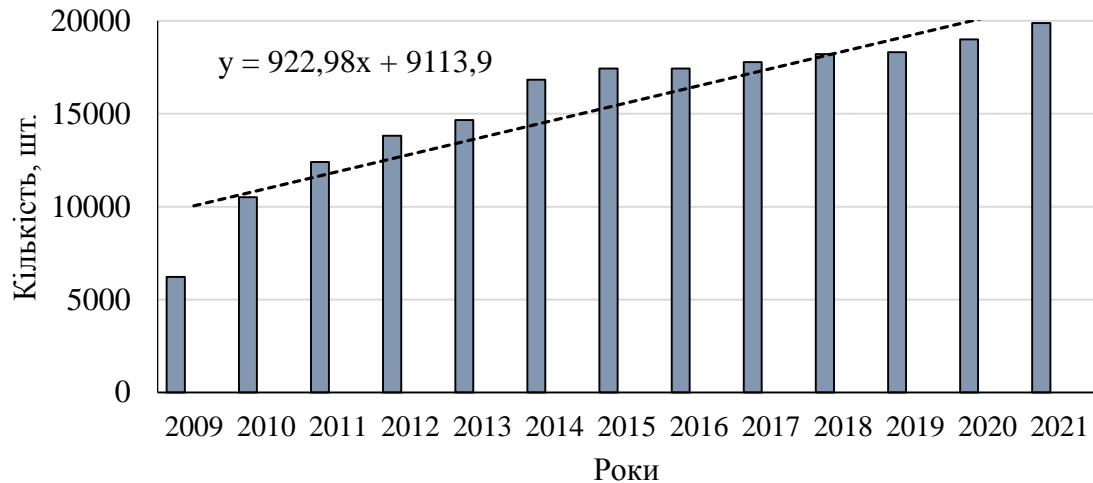


Рисунок 1.5. Динаміка зростання числа біогазових установок в Європі [2-4]

Традиційно лідерами за кількістю установок є: Німеччина, Італія, Франція, Великобританія та Швейцарія. Сумарна встановлена потужність міні-ТЕЦ на біогазові перевищила 11 ГВт, при виробітку 63,5 тис. ГВт/год на рік, а річна продуктивність біометанових установок досягла понад 2,5 млрд. м³. Варто відмітити суттєві переваги ЄС щодо законодавчих та економічних ініціатив з підтримки і розвитку біоенергетики (табл. 1.1).

Таблиця 1.1. Основні напрями підтримки розвитку біоенергетики в ЄС [4]

Виробництво	Споживання
Пряма фінансова підтримка <ul style="list-style-type: none"> • Гранти на будівництво станцій • Знижені ставки кредитування 	«Зелені» тарифи, наприклад, для: <ul style="list-style-type: none"> • Відновлюваної електроенергії від ТЕЦ • Відновлюваного газу
Покриття затрат на приєднання до мережі	Обов'язкові квоти, напр., на споживання: <ul style="list-style-type: none"> • Відновлюваного палива • Відновлюваного тепла • Відновлюваної електроенергії
Пріоритетність (принаймні недискримінаційний підхід) доступу до мережі	Фінансова підтримка, напр., для <ul style="list-style-type: none"> • Когенераційних установок • Автомобілів на СПГ • Автобусів та вантажівок на СПГ
Прозорість процедури приєднання до мережі з точки зору технічних вимог	Стимулююча податкова політика, звільнення або відшкодування, напр., в частині: <ul style="list-style-type: none"> • Податку на енергію • Податку на пальне • Податку на електричну енергію • Податку на прибуток
Стандартизація процедур отримання ліцензії на будівництво станції	Дохід від продажі одиниць скорочення викидів парникових газів

Країни Азії. Вже у 2014 році в Китаї було побудовано близько 100 тисяч сучасних біогазових установок і 43 млн. метантенків, які сукупно виробляють ~15 млрд. м³ біогазу. Середньо- і довгострокові плани розвитку відновлюваних джерел енергії вимагає досягнення до кінця 2020 року ~80 мільйонів домашніх біогазових установок та близько 8000 великомасштабних біогазових проектів з встановленою потужністю у 3000 МВт з річним виробництвом біогазу обсягом 50 млрд. м³. Разом з тим, загальний потенціал біогазу оцінювався майже у 200-250 млрд. м³/рік [2-6].

Наприклад, Національна програма управління біогазом і гноєм в Індії сприяє будівництву невеликих сімейних біогазових установок, щоб виробляти паливо для приготування їжі та органічні добрива. У 2015 році налічувалося вже близько 4,8 мільйона біогазових установок для роботи на невеликих фермах. Зокрема, загальний потенціал будівництва оцінюється у близько 12 мільйонів біогазових установок, які могли б виробляти більше 10 млрд. м³ біогазу на рік (близько 30 мільйонів м³ в день), а встановлена електрична потужність понад 200 МВт.

Одна з найуспішніших біогазових програм в світі реалізована в Непалі. В рамках Програми підтримки біогазу встановлено більш 330 000 побутових біогазових установок, які забезпечують паливо для приготування їжі [2-6].

У В'єтнамі програма по розвитку біоенергетики з відходів тваринництва була започаткована ще у 2003 році. З метою улаштування комерційних біогазових установок було побудовано ~190 тис. шт. [2-6]. У 2006 році була відкрита Національна програма з виробництва біогазу з гною для сільських і автономних районів Бангладеш. В результаті її успішної реалізації було побудовано близько 100 тисяч побутових біогазових установок. Близько 600 комерційних біогазових установок в даний час працюють в країні на середніх і великих тваринницьких фермах і виробляють електроенергію. Також, близько 6 тис. побутових біогазових установок встановлено в Шрі-Ланці і 4 тис. шт. у Пакистані [2-6].

Країни Африки та Латинської Америки. Країни Африканського континенту мають велику кількість різних відходів, але виробництво біогазу все ще залишається на низькому рівні розвитку у порівнянні з іншими регіонами світу. Деякі початкові кроки та Національні програми в даний час реалізуються в Руанді, Танзанії, Кенії, Уганді, Ефіопії, Камеруні, Беніні і Буркіна-Фасо [2-6]. Здебільшого такі програми в Африці функціонують на умовах партнерства по біогазу за підтримки європейських держав, які надають технології та елементи конструкцій для біоенергетичного сектору. За рахунок цього встановлено понад 20 тис. біогазових установок (Кенія, Ефіопія, Танзанія, Уганда, Буркіна-Фасо). Африканська ініціатива «Біогаз для кращого життя» спрямована на забезпечення до кінця 2020 року 2 мільйонів побутових біогазових установок для заміни традиційних видів палива (деревина, вугілля) для приготування їжі і забезпечення чистою енергією понад 10 мільйонів африканців. За оцінками потенціал технічного біогазу в Африці дозволить побудувати близько 20 млн. біогазових установок в умовах домогосподарств.

У Латинській Америці також побудовано кілька біогазових установок для сільських домогосподарств. В тому числі біогаз генерується з деяких полігонів ТПВ (звалищ) [2-6]. Одним з країн-лідерів за кількістю встановлених біогазових установок є Болівія. В Колумбії, Гондурасі та Аргентині були побудовані великомасштабні біогазові установки для використання стічних вод заводів з виробництва пальмового масла і великих тваринницьких ферм. У Бразилії функціонує близько 150 біогазових установок, що використовують відходи сільського господарства і промисловості, осад стічних вод і газ полігонів ТПВ, які мають встановлену потужність понад 500 МВт.

Сполучені Штати Америки. У США в 2017 році налічувалося понад 2100 біогазових установок, з яких ~250 використовували гній худоби [2-6], ~700 установки по утилізації біогазу зі звалищ. З 15 000 каналізаційних очисних споруд стічних вод налічувалося ~1300, що працюють з анаеробними метантенками для виробництва біогазу. Майже всі біогазові установки для стічних вод встановлені на великих підприємствах. Встановлена електрична потужність біогазових установок становить понад 3000 МВт, а вироблення електроенергії складає близько 1500 ГВт/год. при цьому енергетичний потенціал біогазу в США оцінюється в 18,5 млрд м³ біогазу на рік, з яких 7,3 млрд м³ гній тваринницьких комплексів; 8,0 млрд м³ – зі звалищ ТПВ; 3,2 млрд м³ – осад стічних вод.

Отже, аналіз статистичних даних та досліджень з розвитку біоенергетики засвідчує про значний технологічний прогрес вирішення цього актуального питання у багатьох країнах світу. Зведені результати світового масштабу представлені на рис. 1.6.

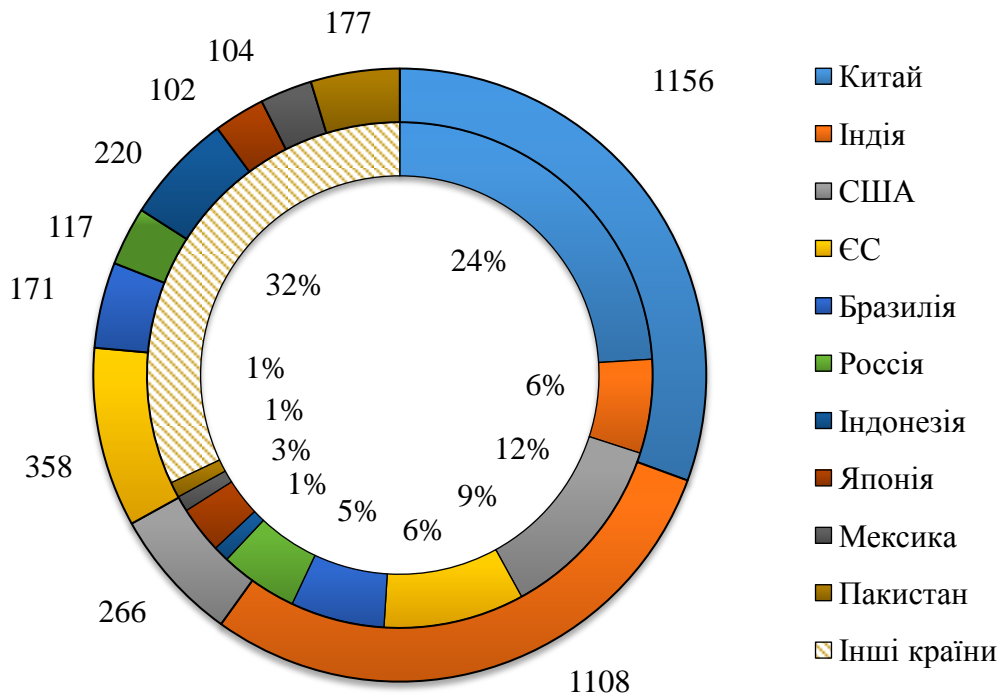


Рисунок 1.6. Світова структура біоенергетичного потенціалу [5]:
у відсотках – частка глобальних викидів парникових газів; числові значення –
приблизний потенціал виробництва біогазу (ТВт·год.)

1.2. Стан на перспективи розвитку біоенергетики в Україні

Енергетичний сектор України займає одну з провідних ролей в економіці країни. Енергетика забезпечує близько 8% ВВП та 25% сплачених податків у державний бюджет. В умовах економічного спаду та виконання Україною Паризької кліматичної угоди (план дій з утримання зростання температури поверхні Землі на $1,5^{\circ}\text{C}$) дозволило за останні 30 років (1990-2020 рр.) вдвічі скоротити виробництво електричної енергії з 298 ТВт/рік до 154 ТВт/рік. За рахунок цього кількість викидів парникових газів від енергетичного сектору і спалювання викопних видів палива скоротилась на 67%. Не зважаючи на тенденцію до скорочення, у період до 2030 р. цей

показник необхідно зменшити ще на 34% у порівнянні з існуючими викидами CO₂ [1].

Наприклад, орієнтовне скорочення обсягів споживання та видобутку викопних енергоресурсів у порівнянні 1990 р. до 2020 р. наступне (було → стало): вугілля 35→8 тис. тон (↓4,4 рази); природній газ 1546000→625000 ТДж (↓2,5 рази); нафтопродукти 42→10 тис. тон (↓4,2 рази). Через значний рівень енергоємності виробництва у різних галузях економіки, енергетичний сектор країни займає лівову частку (60%) у структурі викидів парникових газів. Переважно викиди CO₂ формуються внаслідок енергогенерації (теплоелектростанції) та транспорт (рис. 1.7).



Рисунок 1.7. Схема формування викидів CO₂ в енергетичному секторі України [5]

Сьогодні в умовах військових дій у східних регіонах країни унеможлиблюється видобуток корисних копалин енергетичного спрямування. Внаслідок цього Україна закуповує мінеральну сировину в країнах ЄС, що значно здорожує вартість кінцевого продукту (енергопостачання і теплопостачання) та має складні логістичні шляхи доставки (рис. 1.8).

Значно покращити ситуацію дозволяє розвиток біоенергетики. Так, споживання біопалива в Україні у період з 1990 по 2005 р. становило на рівні 12 000 ТДж. Починаючи з 2006 р., відмічається тенденція стрімкого росту до майже 84 000 ТДж [1, 5].

Посилення ролі біоенергетики важливе, також, у контексті того, що одним з ключових елементів повоєнного відновлення та розвитку економіки України буде енергозабезпечення. Через постійні обстріли та руйнування

енергетичної інфраструктури внаслідок військових дій, наряду з продовольчою та водною безпекою України [5], сьогодні актуальним є вирішення питання енергетичної безпеки [8]. Особливо гостро дана проблема постала перед Україною і Європейськими державами внаслідок енергетичної залежності від російського природного газу та іншої мінеральної сировини.

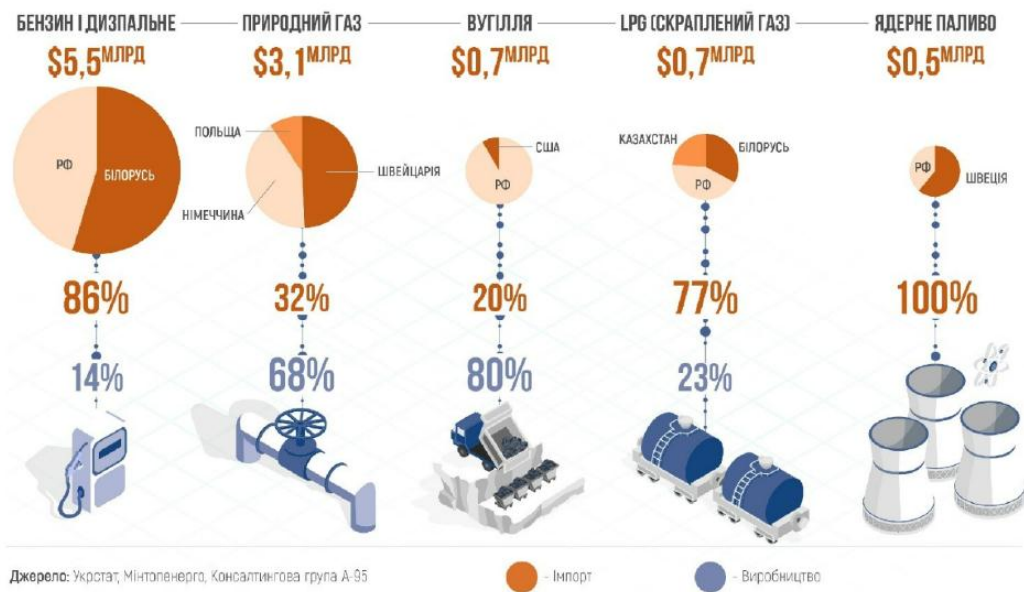


Рисунок 1.8. Залежність України від імпорту енергоносіїв у довоєнний період [4]

Агропромисловий сектор України, виробляючи значні обсяги органічних відходів, потенційно володіє ресурсами для виробництва біогазу, здатними замінити 2-3 млрд. м³ природного газу на рік (теоретичний потенціал). При подальшому розвитку сільського господарства і широкому використанні рослинної сировини цей потенціал може бути доведений за різними оцінками від 8 до 11 млрд. м³ на рік (рис. 1.9) в перерахунку на природний газ [4].

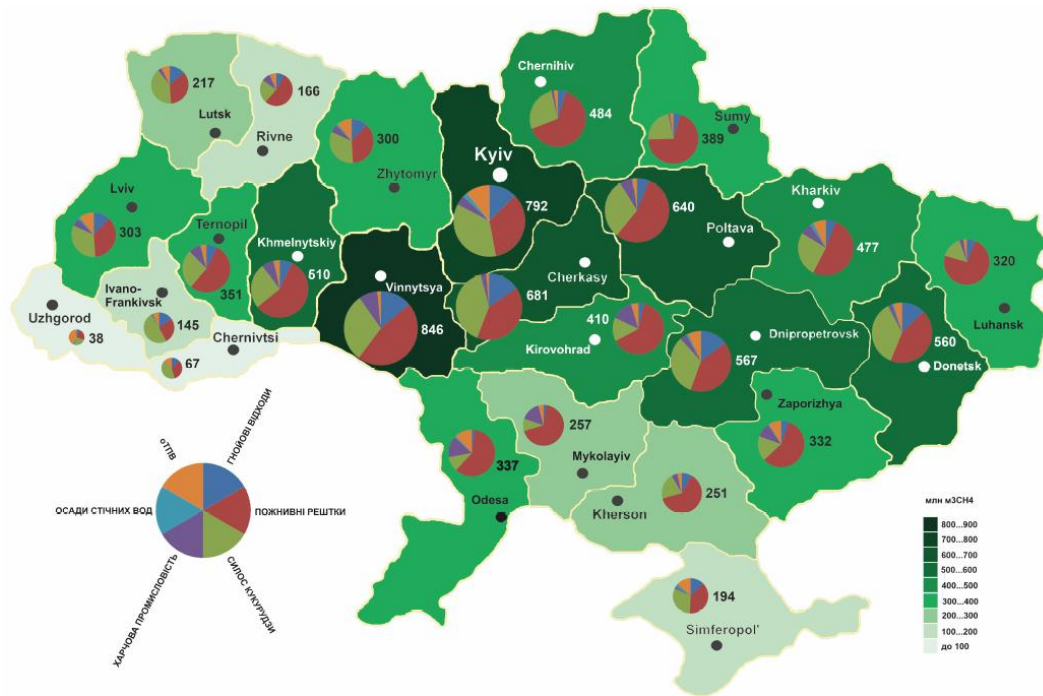


Рисунок 1.9. Регіональний розподіл потенціалу виробництва біогазу [4]

Станом на 2022 р. в Україні працюють близько 70 біогазових установок загальною потужністю понад 135 МВт. При цьому виробництво біогазу обмежується лише п'ятьма основними видами сировини (рис. 1.10).

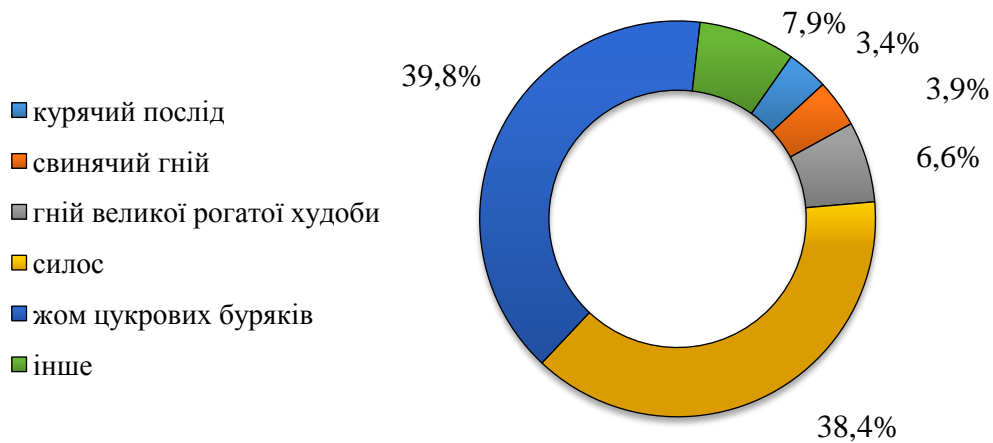


Рисунок 1.10. Структура основних видів сировини, що використовується для виробництва біогазу в Україні [5]

З огляду на структуру функціонування більше половини біометану може бути вироблено у птахівництві та майже третина за рахунок свинарства. Інші види (скотарство, козівництво, вівчарство) складають близько 20% у загальній структурі. Зазначимо, що особливістю галузі

тваринництва в Україні є те, що біля 75% поголів'я ВРХ та 52% поголів'я свиней зосереджено у приватному секторі, де середній розмір мікроферм становить до 20 корів та до 200 свиней. Це підкреслює перспективи та актуальність розвитку невеликих біогазових установок для забезпечення власних потреб домогосподарств або невеликих громад (населених пунктів).

На відміну від інших країн світу, вітчизняні біогазові об'єкти на полігонах ТПВ мають досить високий зелений тариф щодо вартості на вироблену електроенергію. З одного боку це дозволяє окупити капіталовкладення на такі проекти за досить незначний термін (до 2-3 років). Не зважаючи на це, не всі наявні в Україні полігони ТПВ залучають інвесторів, а лише ті, де обсяги наявного біогазу достатні для довгострокового стабільного вироблення електроенергії. Оскільки вирішення цієї ситуації потребує зміни конструктивних параметрів полігонів і технологій захоронення відходів, в Україні особливої перспективи для розвитку нових проектів з видобутку біогазу в цій сфері незначні [4, 11].

Отже, основним доступним ресурсом в Україні для вироблення біогазу залишаються відходи та побічні продукти галузі сільського господарства і підприємств харчової промисловості. В певній мірі сюди можна віднести також використання енергетичних культур (с.-г. культури, які на відміну від рослин для виробництва продуктів харчування, кормових і технічних культур вирощені з метою виробництва енергії). За даними Державної служби статистики України, потенціал малопродуктивних земель в Україні, які можуть бути застосовані для вирощування енергетичних культур становить майже 4 млн. га (у довоєнний період часу), що в свою чергу рівноцінне 20 млрд.м³ потенціалу заміщення газу.

За повідомленням Державного агентства енергоефективності та енергозбереження [4, 12] в Україні працюють понад 50 електрогенеруючих біогазових комплексів, із загальною встановленою потужністю ~100 МВт. Потенційний обсяг біогазового ринку в Україні може бути освоєний протягом 10 років (до 2030-35 рр.). Необхідною передумовою реалізації

даних проектів на першому етапі є запровадження економічно обґрунтованої законодавчої бази для електричної і теплової енергії вироблених з біогазу. Окупність більшості таких проектів в Україні, у кращому випадку, оцінюється на рівні 8-10 і більше років. При цьому основними складовими інвестиційних вкладень у біогазові проекти є витрати на блок генерації енергії (30–40%), будівництво реакторів та інших технологічних споруд (35–45%), а також технологічне обладнання (15–25%). Тобто такі технології можуть собі дозволити лише потужні підприємства. Окрім цього, стримуючим фактором для розвитку біогазових технологій є те, що в Україні донині немає законодавчо прийнятих нормативів щодо будівництва та експлуатації індивідуальних біогазових установок. Окрім досягнення домогосподарствами очевидного еколого-економічного ефекту, при використанні індивідуальних біогазових установок необхідно в майбутньому враховувати соціальний ефект, який полягає у поліпшенні здоров'я та добробуту населення.

Не дивлячись на складну ситуацію, подальший розвиток вітчизняного аграрного сектору потрібно розглядати у контексті світової стратегії ефективного та стійкого агропромислового виробництва, де на першому місці знаходяться не прибутки власників, а гарантування світової продовольчої й екологічної безпеки, захищеність населення, безпечність продуктів харчування, ресурсозберігаюча модель підприємств з виробництва і переробки аграрної продукції, збереження та поліпшення існуючої екосистеми, в тому числі за рахунок раціональної утилізації органічних відходів. Загальні переваги та недоліки сектору біоенергетики України наведені в табл. 1.2.

Таблиця 1.2. Проблеми та переваги запровадження біогазових технологій* в умовах України [4, 8, 12]

Проблеми	Переваги
1) існуючий тариф на електроенергію з	1) заміщення природного газу

біогазу є недостатнім для інвестиційної привабливості біогазових проектів в межах переважної більшості сільськогосподарських підприємств;

- 2) відсутнє державне стимулювання ефективного використання виробленої теплової енергії;
- 3) відсутнє стимулювання переробки дигестату на органічні добрива;
- 4) відсутнє стимулювання виробництва пального з біометану;
- 5) відсутнє екологічне законодавство у сфері утилізації органічних відходів і побічних продуктів сільського господарства та підприємств харчової промисловості.

та викопних енергоресурсів;

- 2) поширення та стимулювання практики вирощування енергетичних культур;
- 3) зменшення викидів CO₂ у атмосферу – декарбонізація;
- 4) зменшення вартості тарифів на теплову енергію;
- 5) відновлення родючості ґрунтового покриву;
- 6) залучення інвестицій, створення нових робочих місць, економічне зростання.



**Схематичне представлення розвитку біоенергетичних технологій (рисунок з мережі Internet)*

1.3. Загальні відомості про технології утворення біогазу

Біогаз – це суміш газів, основними складовими компонентами якої є метан (CH_4) 55-70% і вуглекислий газ (CO_2) – 28-43%, а також інші газові складові у незначних кількостях (наприклад, сірководень (H_2S)).

Біометан – близький аналог природного газу, що може використовуватися для виробництва теплової та електричної енергії, у якості транспортного моторного палива, а також у побуті та як сировина для хімічної промисловості (табл. 1.3).

Таблиця 1.3. Нормативні вимоги до вмісту газу за Кодексом газотранспортної та газорозподільної систем [4, 11]

Параметр	Значення
Вміст метану (C_1), мол. %	≥ 90
Вміст етану (C_2), мол. %	≤ 7
Вміст пропану (C_3), мол. %	≤ 3
Вміст бутану (C_4), мол. %	≤ 2
Вміст пентану та більш важких вуглеводнів ($\text{C}_5 +$), мол. %	≤ 1
Вміст азоту (N_2), мол. %	≤ 5
Вміст вуглецю (CO_2), мол. %	≤ 2
Вміст кисню (O_2) [48], мол. %	$\leq 0,2$ [49] (1,0) [50]
Вища теплота згоряння (25 °C/20 °C)	$\geq 36,20$ МДж/м ³ (10,06 кВт·год/м ³)
	$\leq 38,30$ МДж/м ³ (10,64 кВт·год/м ³)
Вища теплота згоряння (25 °C/0 °C)	$\geq 38,85$ МДж/м ³ (10,80 кВт·год/м ³)
	$\leq 41,10$ МДж/м ³ (11,42 кВт·год/м ³)
Нижча теплота згоряння (25 °C/20 °C)	$\geq 32,66$ МДж/м ³ (9,07 кВт·год/м ³)
	$\leq 34,54$ МДж/м ³ (9,59 кВт·год/м ³)
Температура точки роси за вологою °C при абсолютному тиску газу 3,92 МПа	\leq мінус 8 (-8)
Температура точки роси за вуглеводнями при температурі газу не нижче 0 °C	$\leq 0^\circ\text{C}$
Вміст механічних домішок:	Відсутні
Вміст сірководню, г/м ³	$\leq 0,006$
Вміст меркаптанової сірки, г/м ³	$\leq 0,02$

В цілому вироблення біогазу є доступною технологічною операцією для будь-якого сільськогосподарського підприємства. Основою технології отримання біогазу є анаеробний процес ферментації (зброджування)

анаеробних бактерій. Анаеробне зброджування – це технологія, яка широко використовується для стабілізації промислових стічних вод, твердих побутових відходів, гноївки тварин і осаду стічних вод [4, 6]. Перевагами технології анаеробного зброджування є зменшення маси, видалення запаху, зниження кількості патогенних мікроорганізмів, менше споживання зовнішньої енергії з виділенням метану [11].

Анаеробне зброджування включає бактеріальну ферментацію органічних відходів за відсутності вільного кисню. Ферментація метану – складний процес, який призводить до розпаду складних органічних речовин в чотиристадійному процесі (рис. 1.11) [4, 6-9, 11].

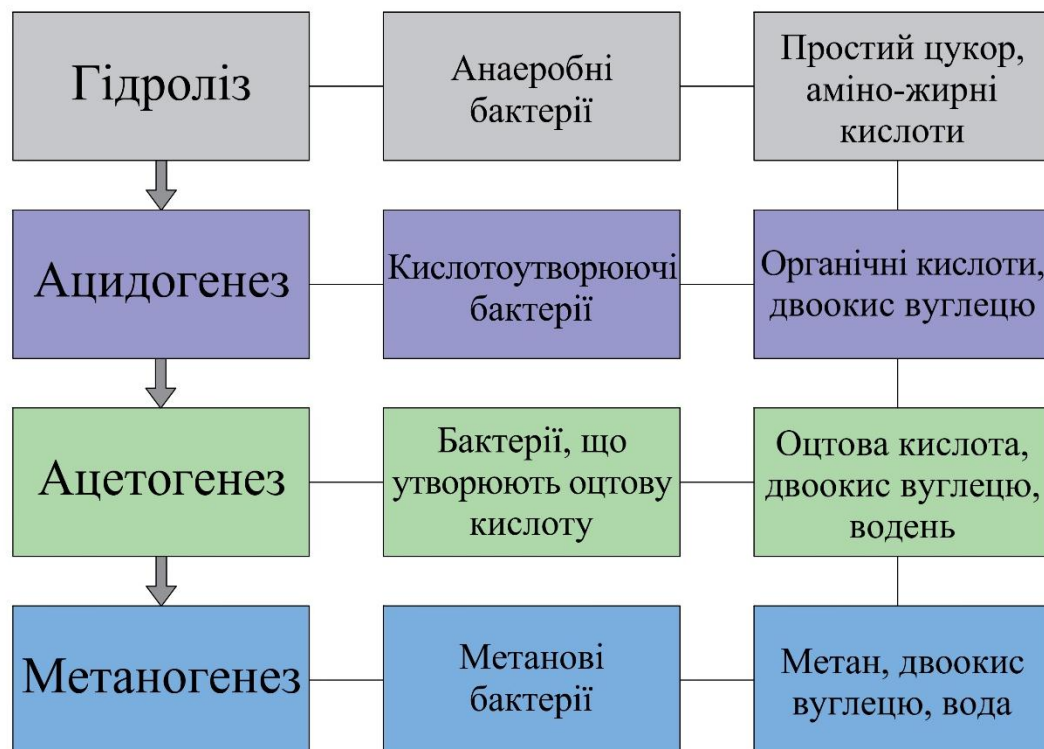


Рисунок 1.11. Стадії процесу зброджування

На виробництво біогазу при анаеробному зброджуванні впливають різні чинники. До таких можна віднести наступні [4-9, 11]:

1. *Концентрація водневих іонів (pH).* Концентрація рН в перетравлюваному середовищі безпосередньо впливає на зростання мікроорганізмів, яким може перешкоджати надлишкова кислотність. Метаногени краще ростуть в нейтральному або трохи лужному середовищі, а у кислому вони гинуть. Після стабілізації процесу аеробного зброджування оптимальні значення рН в системі повинні бути в діапазоні 7-8,5 зі значеннями, близькими до 7 для оптимальної активності.
2. *Температура.* Суттєво впливає на процес зброджування через різну активність анаеробів. Оптимальна продуктивність системи аеробного зброджування в значній мірі залежить від робочих температур реактора. Існує три основних діапазони температур, кожен з яких сприяє певному типу мікроорганізмів: психрофільні (10-20 °С), мезофільні (30-40 °С), термофільні (50-60 °С). Існуючі дослідження показують, що анаеробні бактерії найкраще працюють в мезофільному і термофільному діапазонах. В умовах роботи при дуже високих або дуже низьких температурах анаероби гинуть, що тим самим пригнічує весь процес зброджування. Оптимальною для роботи установки є температура 35 °С.
3. *Співвідношення вуглецю та азоту (C/N).* Концентрації вуглецю та азоту визначають ефективність анаеробного зброджування. Для оптимальної роботи біогазової установки співвідношення вуглецю до азоту в сировині повинно становити близько 30:1. Метаноутворюючі бактерії використовують азот для задоволення своїх потреб у білку, тобто для посилення росту. У той час як вуглець є джерелом енергії для мікроорганізмів. За умови перевищення оптимального діапазону (у випадку високого рівня співвідношення C/N) азот буде швидко споживатися бактеріями і, таким чином, не буде реагувати на надлишок вуглецю в сировині, що призведе до зниження виходу біогазу. У випадках низьких співвідношень надлишок азоту призведе

до утворення аміаку, тим самим підвищуючи рівень рН до 8,5. Це призведе до процесу пригнічення мікробів (мікроорганізмів) і знизить швидкість утворення газу.

4. *Розмір частинок субстрату.* Субстрат повинен складатися з дрібних легкозасвоюваних частинок оскільки це збільшує площу поверхні для дії метан-утворюючих бактерій і підвищує швидкість утворення біогазу. Таким чином, біомаса повинна бути попередньо підготовлена шляхом зменшення розміру часток, щоб під час зброджування забезпечити високу ефективність виробництва біогазу.

Виходячи з аналізу літературних джерел, лімітуючими факторами, що впливають на біоенергетичну переробку відходів є температура, рівень рН та концентрація кисню у середовищі (рис. 1.12).

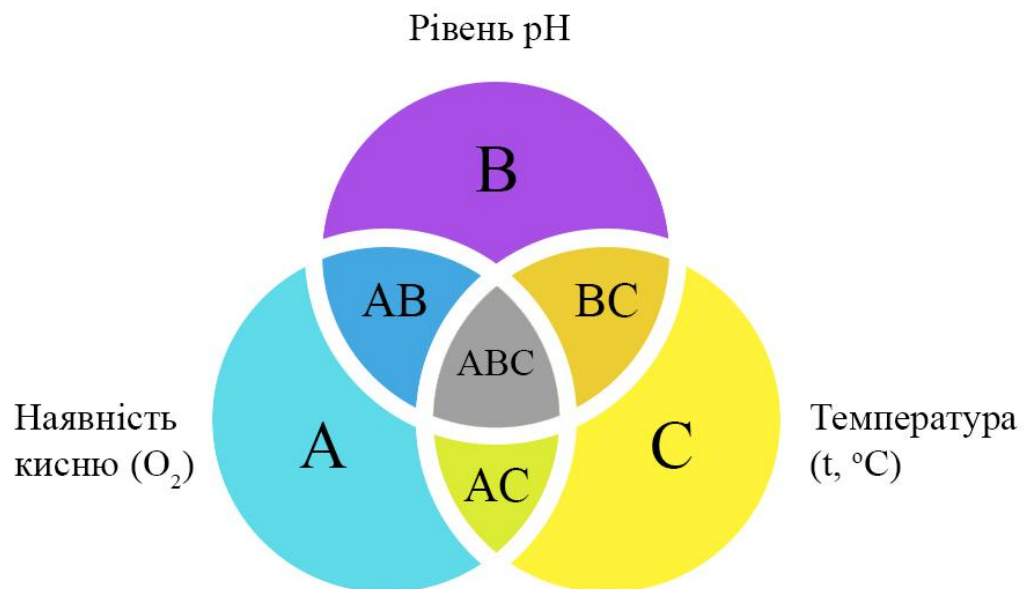
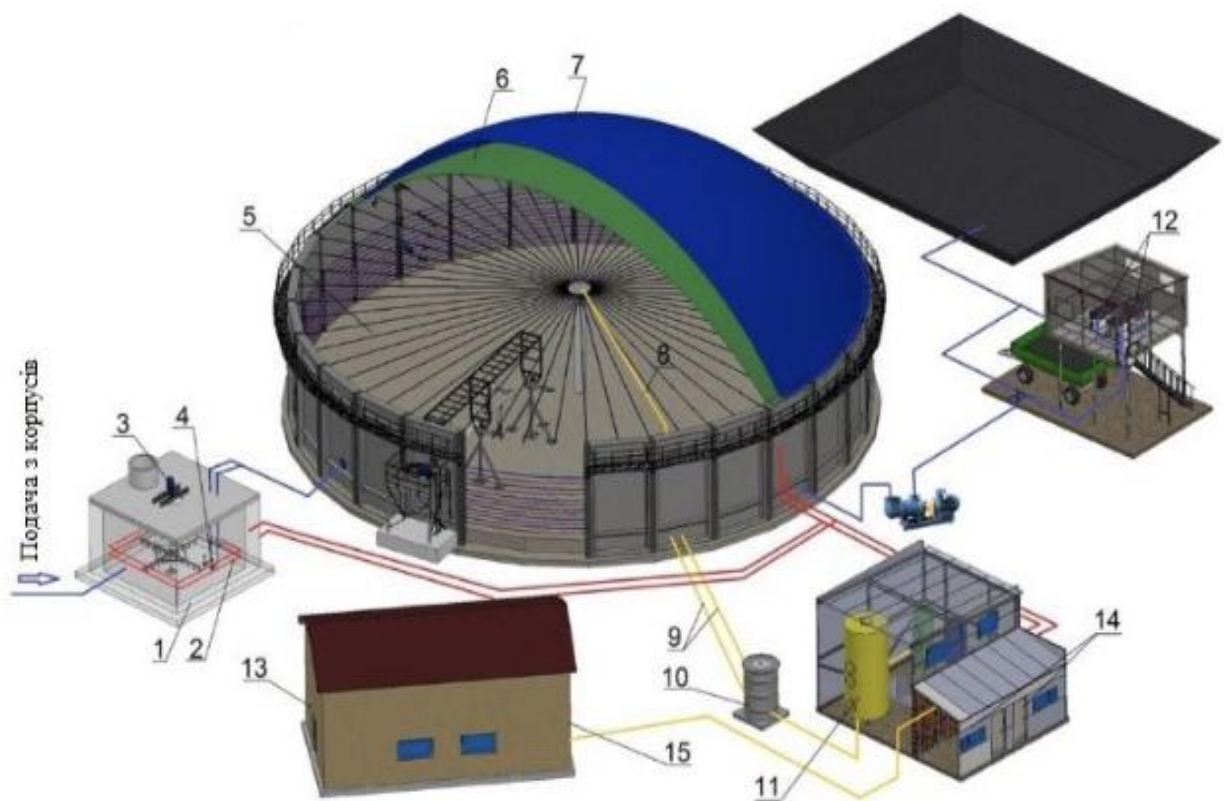


Рисунок 1.12. Основні фактори впливу на ефективність роботи біогазової установки під час зброджування

Схема та принцип роботи біогазової установки. В даний момент часу у світі розроблені та успішно використовуються різні біогазові технології та конструкції установок. В основному їх можна розділити на одно- та двостадійного типу роботи.

Для переробки переважної більшості субстратів застосовують одностадійну технологію, яка вважається базовою. Технологічна схема роботи типової біогазової установки наведена на рис. 1.13, 1.14.



Умовні позначення: 1 – приймальний резервуар; 2 – система обігріву; 3 – система механічного переміщення – мішалки; 4 – система подачі субстрату; 5 – метантенк; 6 – газгольдер; 7 – купол; 8 – система газовідведення; 9 – система газоподачі; 10 – система відводу конденсату; 11 – система сіркоочищення; 12 – сепаратор; 13 – система автоматики процесів та управління; 14 – тепловий пункт; 15 – когенератор

Рисунок 1.13. Типова схема біогазової установки (рисунок з мережі *Internet*)

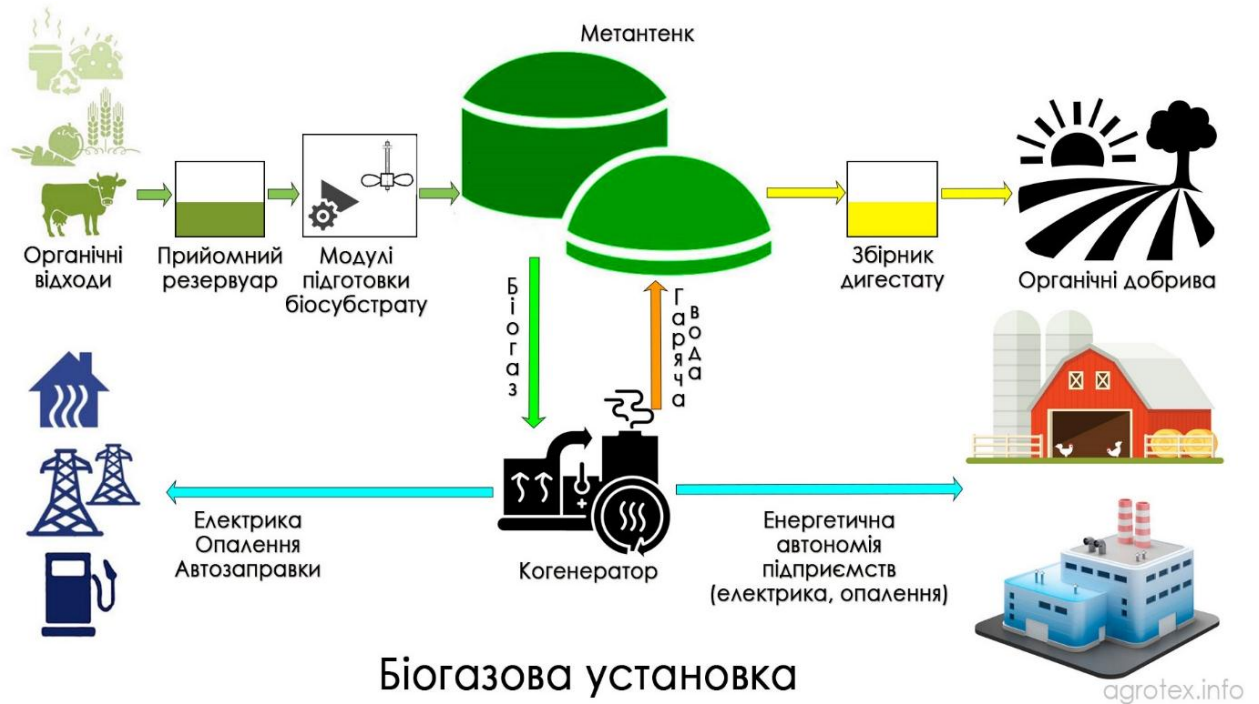


Рисунок 1.14. Принцип роботи біогазової установки (рисунок з мережі *Internet*)

Принцип роботи біогазової установки заснований на процесі максимальної автоматизації та зведення до мінімуму затрат людської праці. Органічні відходи подаються і попередньо накопичуються у приймальному резервуарі де відбувається їх усереднення, підігрів і ретельне перемішування. Подача сировини безпосередньо до метантенку відбувається декілька разів на добу за допомогою спеціального насосу. Метантенк є газонепроникним, герметичним резервуаром. Для підтримання стабільної температури метантенк обладнаний системою обігріву дна та стінок споруди. Також метантенк може мати зовнішню теплоізоляцію. Субстрат постійно переміщується за допомогою мішалок. В залежності від фізико-механічних властивостей субстрату, використовують різні види систем перемішування: механічні, гідравлічні, пневматичні тощо. Загальне управління біогазовою установкою відбувається за допомогою автоматизованої системи (пульт керування). Вироблений біогаз накопичується у газгольдері. Відведення біогазу відбувається по спеціалізованому газопроводу, який оснащений приладами автоматичного відводу конденсату та запобіжними приладами. Вони захищають газгольдер та купол від перевищення допустимого тиску.

Біогаз неперервно подається на станцію очистки, а далі на когенераційну установку або котельню. Перероблений субстрат подається на механічне розділення на тверду та рідку фракції.

Реактор (метантенк) – є головним вузлом установки. Як правило, вони виконуються із залізобетону, сталі або пластмаси. Біогаз у них починає утворюватися після 5-6 діб роботи і при досягненні максимального його виходу поступово знижується. Потім зброджений субстрат вивантажують, і метантенки знову наповнюють новим субстратом. За обсягом реактора біогазові установки розділяють на типи: малої потужності – обсяг реактора 5 - 20 м³; середньої потужності – обсяг реактора 20 – 1000 м³; великої потужності 1000 – 10000 м³;

Двостадійна технологія використовується в основному для субстратів, які здатні до розщеплення за відносно короткий проміжок часу, в наслідок чого вони мають підвищену схильність до окислення. Перевагою даної технології є підтримка ефективності бактерій через створення оптимальних умов їх життєдіяльності, в першу чергу рівня рН. Це забезпечує підвищене виробництво біогазу. Головна відмінність двухстадійного анаеробного збродження від одностадійного – в додатковому метантенку гідролізу. Разом з тим, додаткові капітальні вкладення на другий резервуар, витрати потужності на системи змішування, обігрів, додаткові насоси та інші технологічні особливості вимагають проведення детального і обґрунтованого техніко-економічного аналізу.

Отже, за умови адаптації українського законодавства до загальноєвропейських стандартів, біогазові установки можуть бути економічно вигідними, адже підприємства будуть заощаджувати на теплі та електроенергії, витрачаючи кошти лише на обладнання і його сервісне обслуговування. Окупність та перспективність впровадження таких систем також залежить від подальшої відсутності необхідності шукати способи, технології й матеріальні (економічні) ресурси та місця для утилізувати

відходів, які так чи інакше є на кожному підприємстві, що автоматично перетворює їх в сировину для виробництва біогазу.

Аналіз наведених вище розділ засвідчує про наступні загальні висновки щодо переваг розвитку біоенергетики в Україні, а саме:

- 1) під час використання рослинних відходів можна отримати від 6 до 12 тис. м³ біогазу з одного гектара; від однієї тварини (ВРХ) можна отримати близько 400-500 м³ біогазу.
- 2) гарантоване отримання електроенергії незалежно від кризових ситуацій в мережі; з 1 м³ біогазу можна виробити близько 7 кВт електроенергії.
- 3) отримання тепла у вигляді гарячої води, що утворюється під час охолодження двигуна; обігрів господарсько-побутових приміщень, ферм, цехів, теплиць тощо.
- 4) використання модулів для очищення біогазу дає можливість забезпечити власні побутові потреби шляхом заміщення природного газу; вміст метану може бути збільшений до 90%, а побічні гази – видалені.
- 5) отримання рідких органічних добрив (біодобрив) цінність яких визначається вмістом активної речовини N-P-K; після переробки в біомасі зберігаються всі поживні речовини, але знаходяться вони у вільній формі; у разі використання біодобрив урожайність сільськогосподарських культур можна підвищити до 30%.
- 6) вирішення низки екологічних проблем шляхом утилізації всіх шкідливих речовин; запобігання викидів метану в атмосферу (декарбонізація); зниження обсягів застосування хімічних добрив, ліквідує небезпеку забруднення ґрунтових вод.
- 7) широкий спектр сировини для виробництва біогазу дає змогу будувати установки практично всюди в районах концентрації сільськогосподарського виробництва та технологічно пов'язаних із ним інших галузей промисловості.

2. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ОБ'ЄКТ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА МЕТОДИКА ВИКОНАННЯ РОЗРАХУНКІВ

2.1 Характеристика об'єкту досліджень

Об'єктом дослідження у кваліфікаційній роботі обрано підприємство Дослідне господарство «Руно» Національної академії аграрних наук України, що розташовано у с. Затишне, Кам'янського району Дніпропетровської області (рис. 2.1). Підприємство спеціалізується на розведенні великої рогатої худоби молочних порід. Для подальших розрахунків приймає загальну кількість поголів'я у 415 тварин.

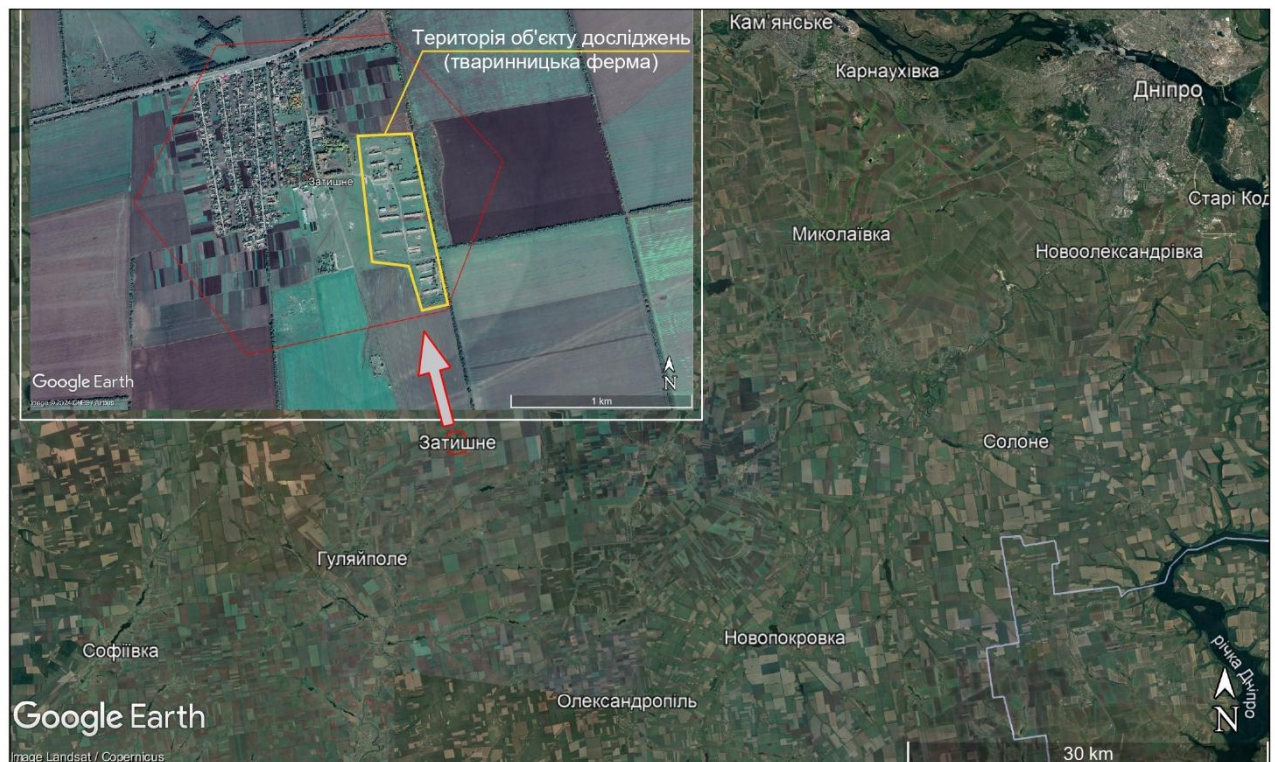


Рисунок 2.1. Оглядова карта розташування об'єкту досліджень

2.2 Методика розрахунок обсягу метантенка біоенергетичної установки

Загальні методичні підходи до розрахунків біогазових/біоенергетичних установок (БУ) виконані на основі літературних джерел [5, 9, 11].

Добовий вихід біомаси (кг/добу) для зброджування в метантенку:

$$M_{\text{бм}} = k_n \sum_{j=1}^n N_j \cdot m_j \quad (2.1)$$

де N_j – розрахункова кількість тварин даної групи на фермі (для корів приймаємо 50 кг/добу); m_j – добовий вихід гною від однієї тварини, кг; n – кількість різних груп с.-г. тварин; k_n – коефіцієнт, що враховує підстилку і залишки корму, для розрахунків приймаємо $k_n = 1,3$.

Місткість метантенка, що забезпечує необхідні умови переробки органічних відходів, що накопичуються за добу:

$$V_{\text{мт}} = \frac{M_{\text{бм}} \cdot \tau_{\text{сбр}} + \beta}{\rho_{\text{б}}} \quad (2.2)$$

де $\tau_{\text{сбр}}$ – тривалість зброджування, 28 діб; $\rho_{\text{б}}$ – щільність зброджуваної біомаси, $\text{кг}/\text{м}^3$ (з огляду на вологість завантаженої біомаси приймаємо $\rho_{\text{б}} = 925 \text{ кг}/\text{м}^3$); β – коефіцієнт об'ємного розширення збродженої біомаси – 0,195.

Вміст сухої речовини в біомасі визначаємо за формулою:

$$C_{\text{сух}} = 1 / [1 - (W_{\text{бм}} / 100)], \% \quad (2.3)$$

де $W_{\text{бм}}$ – вологість завантаженої у метантенк біомаси, %.

Корисний об'єм метантенка:

$$V_{\text{бм}} = k_3 \cdot V_{\text{мт}} \quad (2.4)$$

де k_3 – коефіцієнт заповнення метантенка, приймаємо 0,7.

2.3 Розрахунок теплового навантаження метантенка

Теплове навантаження метантенка з безперервним режимом збродження визначається згідно з динамікою потреби тепла за річний період експлуатації БУ. Представлені на рисунку графічні залежності ґрунтуються на наступних рівняннях теплового балансу для кожного з періодів роботи метантенка, згідно з розрахунковою схемою теплового навантаження (рис.2.2).

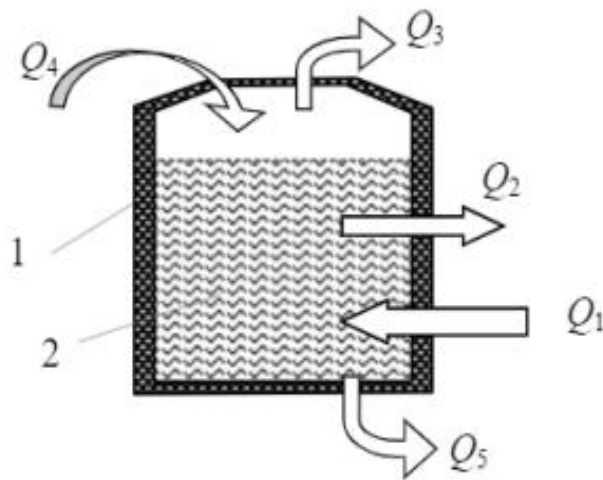


Рисунок 2.2. Розрахункова схема теплового навантаження метантенка:

1 – метантенк з теплоізоляцією; – зброджувана біомаса.

- для I періоду нагріву біомаси в МТ до температури обраного режиму зброджування:

$$E_{\text{н}} = Q_1 + Q_2 \quad (2.5)$$

- для II періоду циклічного зброджування біомаси в МТ:

$$E_{\text{цк}} = Q_2 + Q_3 \quad (2.6)$$

- для періоду III безперервного режиму зброджування біомаси:

$$E_{\text{нс}} = Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 \quad (2.7)$$

де E_n , E_{nc} і E_{nc} – потреба метантенка в тепловій енергії, відповідно для кожних періодів: I (нагрівання біомаси до температури обраного режиму зброджування), II (роботи в циклічному режимі), III (режим безперервного зброджування), Дж; Q_1 – кількість теплоти, необхідне для нагрівання повного об'єму завантаженої в метантенк біомаси до температури обраного режиму збродження, Дж; Q_2 – кількість втрат теплоти через огороджувальні поверхні метантенка, Дж; Q_3 – кількість втрат теплоти пов'язані з виділенням біогазу, Дж; Q_4 – кількість теплоти, необхідне для нагрівання добової дози біомаси, Дж; Q_5 – кількість втрат теплоти з видаляється добовою дозою збродженого субстрату, Дж.

Для МТ циліндричної форми з відомим, заздалегідь розрахованим корисним об'ємом $V_{бм}$, складові рівнянь теплового балансу визначаються наступним чином. Кількість теплоти (Q_1 , Дж) необхідне для нагрівання повного обсягу біомаси в метантенку до температури обраного режиму зброджування:

$$Q_1 = V_{бм} \cdot \rho_b \cdot c_b \cdot (t_{сбр} - t_{вих}) \quad (2.8)$$

де c_b – середня питома масова теплоємність збродженої біомаси в розглянутому інтервалі температур, Дж/(кг·К); $t_{сбр}$ – температура обраного (заданого) режиму зброджування, °С; $t_{вих}$ – вихідна температура завантаженою в метантенк біомаси, яка залежить від способу завантаження біомаси в метантенк, °С.

Якщо біомаса надходить безпосередньо з ферми, то її температура така ж як в приміщенні. Якщо біомасу для зброджування беруть зі сховища, то її температура дорівнює температурі повітря навколишнього середовища. З огляду на високу вологість завантажуються в метантенк біомаси можна прийняти цю величину рівної теплоємності води, тобто $c_b = 4,18 \cdot 10^3$

Дж/(кг·К). Тепловтрати метантенка (Q_2 , Дж) через непрозорі огорожувальні поверхні визначаються за формулою:

$$Q_2 = k_m \cdot F_{MT} \cdot (t_{cbr} - t_{oc}) \cdot \tau_{доб} \quad (2.9)$$

де F_{MT} - площа зовнішньої поверхні метантенка, m^2 ; t_{oc} - температура повітря навколишнього середовища, $^{\circ}C$; $\tau_{доб}$ - проміжок часу, за який розраховуються втрати теплоти метантенка, с. У нашому випадку час за добу; k_m - коефіцієнт теплопередачі збродженої біомаси до навколишнього середовища, $Вт/(m^2 \cdot K)$.

Коефіцієнт теплопередачі визначається за виразом:

$$k_m = 1 / \left[\frac{1}{\alpha_1} + \left(\sum_{i=1}^{i=n} \frac{\delta_i}{\lambda_i} \right) + \frac{1}{\alpha_2} \right] \quad (2.10)$$

де $1/\alpha_1$ - опір теплосприйняття (приймаємо $0,04 (m^2 \cdot K)/Вт$); $1/\alpha_2$ - опір тепловіддачі (приймаємо $0,05 (m^2 \cdot K)/Вт$); δ_i - товщина i -го шару елемента огорожі (стінки і шари теплоізоляції метантенка), м; λ_i - коефіцієнти теплопровідності i -го шару елемента огорожі (матеріалів стінки і теплоізоляції метантенка), $Вт/(m \cdot K)$.

Відношення $\delta/\lambda = R_T$ називається термічним опором стінок ($m^2 \cdot K/Вт$). Площа поверхні метантенка (F_{MT}) визначаємо з наступних міркувань. Як правило, метантенки мають циліндричну форму, при цьому відношення висоти метантенка (h , м) до його зовнішнього діаметра (d , м) приймається в межах $h/d = 0,9 - 1,3$. Попередньо приймаючи відношення довжини циліндра до його діаметру рівного 1, за значенням V_{MT} можна визначити значення діаметра метантенка:

$$d = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot V_{MT}}{\pi}} \quad (2.11)$$

З огляду на те, що площа поверхні циліндра дорівнює сумі його поверхні і подвійній площі основи, площа поверхні метантенка розраховуємо з виразу:

$$F_{\text{MT}} = S_{\text{біч}} + S_{\text{осн}} = \pi \cdot d^2 + \frac{\pi \cdot d^2}{2} \quad (2.12)$$

де $S_{\text{біч}}$ – площа бічної поверхні циліндричного метантенка, м^2 ; $S_{\text{осн}}$ – площа підстави циліндричного метантенка, м^2 .

Кількість втрат теплоти пов'язані з виділенням біогазу (Q_3 , Дж) визначаються в залежності від добового обсягу виділеного біогазу, що розраховується за формулою:

$$Q_3 = V_{\text{бг}} \cdot c' \cdot t_{\text{бг}} \quad (2.13)$$

де $V_{\text{бг}}$ – добовий обсяг виділеного біогазу, м^3 ; c' – об'ємна теплоємність біогазу, $\text{Дж}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C})$; $t_{\text{бг}}$ – температура біогазу на виході з метантенка, $^\circ\text{C}$. Значення $t_{\text{бг}}$ можна прийняти рівною температурі обраного режиму збродження.

Величина добового обсягу виділеного біогазу визначається з таких міркувань. Вихід біогазу від 1 кг сухої речовини збродженої біомаси (гною) на добу пропорційна температурі збродження і становить приблизно $U_{\text{бг}} = 0,2-0,4 \text{ м}^3/\text{кг}$. Вміст сухої речовини ($C_{\text{сух}}$, %), що визначений раніше, з урахуванням величини обсягу збродженої в метантенку біомаси ($V_{\text{пол}}$, м^3), добовий обсяг виділеного біогазу ($V_{\text{бг}}$, м^3) можна визначити за формулою:

$$V_{\text{бг}} = \frac{U_{\text{бг}} \cdot V_{\text{бг}} \cdot \rho_{\text{бм}} \cdot C_{\text{сух}}}{100} \quad (2.14)$$

де $\rho_{\text{бм}}$ – щільність збродженої у метантенку біомаси, $\text{кг}/\text{м}^3$

Величина об'ємної теплоємності біогазу визначається як об'ємна теплоємність суміші газів і складається з 70% метану (CH_4) і 30% вуглекислого газу (CO_2):

$$c' = \sum_{i=1}^n v_i \cdot c'_i \quad (2.15)$$

де v_i – об'ємна частка i -го компонента в складі біогазу, частки від одиниці; c'_i – об'ємна теплоємність i -го компонента в складі біогазу, Дж/(м³·С).

Дані величини для CH_4 і CO_2 визначаються за довідниками, з огляду на залежність теплоємності від температури. Обсяг газгольдера розраховуємо з урахуванням накопичення біогазу протягом 8 годин розраховуємо за формулою:

$$V_{\Gamma} = \frac{V_{\text{бг}} \cdot t_{\text{н}}}{24} \quad (2.16)$$

де $t_{\text{н}}$ – час накопичення біогазу, год.; 24 – кількість годин у добі.

Кількість теплоти, необхідної для нагрівання добової дози завантаження біомаси до температури зброджування (Q_4 , Дж) розраховуємо за формулою:

$$Q_4 = V_{\text{дз}} \cdot c_{\text{б}} \cdot \rho_{\text{б}} \cdot (t_{\text{сбр}} - t_{\text{вих}}) \quad (2.17)$$

де $V_{\text{дз}}$ – об'єм добової дози біомаси, що завантажується в метантенк:

$$V_{\text{дз}} = \frac{V_{\text{бм}}}{\tau_{\text{сбр}}} \quad (2.18)$$

Кількість втрат теплоти з дозою добового вивантаження зброженого субстрату, що видаляється (Q_5 , Дж) розраховуємо за формулою:

$$Q_5 = V_{\text{дз}} \cdot c_{\text{б}} \cdot \rho_{\text{б}} \cdot t_{\text{сбр}} \quad (2.19)$$

2.4 Розрахунок необхідної кількості енергії на роботу біоенергетичної установки

Потрібна кількість енергії на роботу біоенергетичної установки визначається як сума теплового навантаження метантенка і витрати енергії на механічне перемішування збродженої біомаси в метантенку. Додаткова витрата енергії на механічне перемішування збродженої біомаси в метантенку ($Q_{\text{мех}}$, Дж) визначається за формулою:

$$Q_{\text{мех}} = q_n \cdot V_{\text{бм}} \quad (2.20)$$

де q_n – питома витрата енергії на роботу мішалки, МДж/(м³·добу).

Рекомендовані значення цієї величини в межах 1,5-2,5 МДж/(м³·добу) пропорційно робочому об'єму метантенка. Припускаючи, що початковий нагрів біомаси (Дж) буде здійснено протягом доби, потрібну кількість енергії на початковий період нагрівання повного обсягу біомаси в метантенка становить:

$$E_1 = Q_1 + Q_2 + Q_{\text{мех}} \quad (2.21)$$

Потрібна кількість енергії (Дж) для періоду циклічного режиму зброджування за проміжок часу $\tau_{\text{сбр}}$ становить:

$$E_2 = (Q_2 + Q_3 + Q_{\text{мех}}) \cdot \tau_{\text{сбр}} \quad (2.22)$$

Потрібна кількість енергії (Дж) для періоду усталеного стаціонарного безперервного режиму зброджування за рік становить:

$$E_3 = (Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_{\text{мех}}) \cdot (\tau_{\text{річ}} - \tau_{\text{сбр}} - \tau_{\text{то}}) \quad (2.23)$$

де $\tau_{\text{річ}}$ – число діб в році; $\tau_{\text{то}}$ – час, що відводиться на профілактичне технічне обслуговування і ремонт установки, 15 діб.

Загальну потрібну кількість енергії (Дж) на роботу БУ за рік розраховують за формулою:

$$E_{\text{потр}} = E_1 + E_2 + E_3 \quad (2.24)$$

2.5 Розрахунок показників енергетичної ефективності біоенергетичної установки

Вважаємо, що біоенергетична установка виробляє біогаз протягом 350 днів на рік. На профілактичний ремонт установки дається 15 діб. Потенційна енергія біогазу ($Q_{\text{бг}}$, Дж), що виробляється установкою за рік визначається за формулою:

$$Q_{\text{бг}} = q_{\text{бг}} \cdot V_{\text{бг}} \cdot (\tau_{\text{год}} - \tau_{\text{мо}}) \quad (2.25)$$

де $q_{\text{бг}}$ – теплота згоряння біогазу, Дж/м³. Рекомендована величина теплоти згоряння біогазу 22-25 МДж/м³.

Енергія біогазу ($Q_{\text{власн}}$, Дж), необхідна для компенсації власних енергетичних потреб установки за рік визначається за формулою:

$$Q_{\text{власн}} = \frac{E_{\text{потр}}}{q_{\text{бг}} \times \eta_{\text{тп}}} \quad (2.26)$$

де $\eta_{\text{тп}}$ – КПД топінного пристрою, 0,64-0,68.

Кількість виробленого установкою товарного біогазу за рік ($V_{\text{ТОВ}}$, м^3) розраховується за формулою:

$$V_{\text{ТОВ}} = \frac{Q_{\text{бг}} - Q_{\text{власн}}}{q_{\text{бг}}} \quad (2.27)$$

Енергетичний ефект біоенергетичної установки ($E_{\text{біеу}}$, Дж) становить:

$$E_{\text{біеу}} = Q_{\text{бг}} - Q_{\text{власн}} \quad (2.28)$$

Річну величину зекономлених традиційних паливно-енергетичних ресурсів ($V_{\text{трад}}$, кг умовного палива) розраховуємо за формулою:

$$V_{\text{трад}} = \frac{E_{\text{біеу}}}{q_{\text{уп}}} \quad (2.29)$$

де $q_{\text{уп}}$ – теплота згоряння умовного палива, Дж/кг.

Розраховуємо економію енергії за рахунок отриманих екологічно чистих добрив у вигляді збродженого субстрату за формулою:

$$Q_{\text{добр}} = V_{\text{ТОВ}} \cdot (\tau_{\text{річ}} - \tau_{\text{сбр}} - \tau_{\text{то}}) \cdot \phi \gamma_{\text{пит}} \quad (2.30)$$

де $\gamma_{\text{пит}}$ – питомі енергетичні витрати на виробництво 1м^3 рідких добрив, МДж/ м^3 . У розрахунках рекомендується приймаємо 390-420 МДж/ м^3 .

3. РОЗРАХУНОК ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ РОБОТИ БІОГАЗОВОЇ УСТАНОВКИ

3.1 Результати розрахунків технологічних параметрів роботи біогазової установки

За результатами розрахунків згідно наведеної у другому розділі методи їх виконання, добовий вихід біомаси (кг/добу) для зброджування в метантенку за становить:

$$M_{\text{бм}} = 1,3 \cdot 415 \cdot 50 \approx 27000 \text{ кг/добу} = 27 \text{ т/добу}$$

Потрібний обсяг метантенка складає:

$$V_{\text{мт}} = \frac{27000 \cdot 28 \cdot 1 + 0,195}{925} = 820 \text{ м}^3$$

Вміст сухої речовини в біомасі становить $C_{\text{сух}} = 0,12\%$.

Далі визначаємо корисний об'єм метантенка:

$$V_{\text{бм}} = 0,7 \cdot 820 \approx 575 \text{ м}^3$$

Коефіцієнт заповнення метантенка k_3 приймаємо для розрахунків 0,7.

Визначаємо потреби метантенка в тепловій енергії відповідно для кожного з періодів окремо:

- для 1 періоду нагріву біомаси в МТ до температури обраного режиму зброджування становить:

$$E_{\text{н}} = 64862,5 + 2234,5 = 67097 \text{ МДж}$$

- для 2 періоду циклічного зброджування біомаси в МТ:

$$E_{\text{цс}} = 2234 + 24 = 2258 \text{ МДж}$$

- для періоду 3 безперервного режиму зброджування біомаси:

$$E_{\text{нс}} = 2235 + 24 + 185 + 281 = 2725 \text{ МДж}$$

Визначаємо кількість теплоти, необхідної для нагрівання повного об'єму завантаженої в метантенку біомаси до температури обраного режиму збродження:

$$Q_1 = 578 \cdot 925 \cdot 4180 \cdot (44 - 15) = 64863 \text{ МДж}$$

Кількість втрат теплоти через огорожувальні поверхні метантенка:

$$Q_2 = 0,74 \cdot 233 \cdot (44 - 11) \cdot 86400 = 2235 \text{ МДж}$$

Коефіцієнт теплопередачі k_T становить:

$$k_T = 1 / \left[\frac{1}{0,04} + 1,4 \right] + 0,05 = 0,74$$

Діаметр метантенка:

$$d = \sqrt[3]{\frac{4 \times 820}{3,14}} \approx 10 \text{ м}$$

Площа поверхні метантенка становитиме:

$$F_{\text{MT}} = 187 + 48 = 235 \text{ м}^2$$

Кількість втрат теплоти пов'язані з виділенням біогазу:

$$Q_3 = 257 \cdot 2100 \cdot 44 = 24 \text{ МДж}$$

Добовий обсяг виділеного біогазу $V_{\text{бг}}$ становить

$$V_{\text{бг}} = \frac{0,4 \times 575 \times 925 \times 0,12}{100} \approx 260 \text{ м}^3/\text{добу}$$

Так як в складі біогазу є 70% метану і 30% вуглекислого газу, то величина об'ємної теплоємності біогазу c' складе:

$$c' = 70 \cdot 30 = 2100 \text{ Дж}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C})$$

Обсяг газгольдера $V_{\text{г}}$ становить:

$$V_{\text{г}} = \frac{257 \times 8}{24} \approx 85 \text{ м}^3$$

$$Q_4 = 1,65 \cdot 4180 \cdot 925 \cdot (44 - 15) = 185 \text{ МДж}$$

Кількість втрат теплоти з дозою добового вивантаження збродженого субстрату:

$$Q_5 = 1,65 \cdot 4180 \cdot 925 \cdot 44 \approx 280 \text{ МДж}$$

Добова витрата енергії на механічне перемішування зброженої біомаси:

$$Q_{\text{мех}} = 2,5 \times 578 = 1445 \text{ МДж}$$

Потрібна кількість енергії на початковий період нагрівання повного обсягу біомаси в метантенка становить:

$$E_1 = 64863 + 2235 + 1445 = 68543 \text{ МДж}$$

Потрібна кількість енергії E_2 для періоду циклічного режиму зброжування за проміжок часу $\tau_{\text{сбр}} = 28$ діб:

$$E_2 = (2235 + 24 + 1445) \cdot 28 = 95312 \text{ МДж}$$

Потрібна кількість енергії E_3 для періоду усталеного стаціонарного безперервного режиму зброжування становить:

$$E_3 = (2235 + 24 + 185 + 280 + 1445) \times (365 - 28 - 15) = 4169 \cdot 322 = 1342418 \text{ МДж}$$

Визначаємо загальну потрібну кількість енергії $E_{\text{потр}}$ на роботу БУ за рік:

$$E_{\text{потр}} = 67097 + 63235 + 1342418 = 1472750 \text{ МДж} = 1473 \text{ ГДж}$$

Потенційна енергія біогазу $Q_{\text{бг}}$, що виробляється установкою за рік:

$$Q_{\text{бг}} = 25 \times 260 \times (365 - 15) = 2275000 \text{ МДж} = 2275 \text{ ГДж}$$

Енергія біогазу $Q_{\text{власн}}$, необхідна для компенсації власних енергетичних потреб установки за рік при $\eta_{\text{гн}}=0,68$:

$$Q_{\text{власн}} = \frac{1472750}{25 \times 0,68} = 86630 \text{ МДж}$$

Кількість виробленого установкою товарного біогазу за рік $V_{\text{тов}}$:

$$V_{\text{тов}} = \frac{2275000 - 86630}{25} = 87500 \text{ м}^3$$

Енергетичний ефект біоенергетичної установки:

$$E_{\text{біо}} = 2275000 - 86630 = 2188370 \text{ МДж}$$

3.2 Конструктивні параметри роботи біогазової установки

Для переробки органічних відходів пропонується використовувати біогазову установку, з компонованням у відповідності до рис. 3.1. Таке компоновання дає змогу отримувати біогаз та зброджений субстрат, який є рідким органічним добривом. Біогаз, в свою чергу, є джерелом енергії для блоку когенерації, завдяки якому можна отримати електроенергію та гарячу воду (теплову енергію). Конструктивні параметри роботи установки можуть бути прийняті згідно з [5].

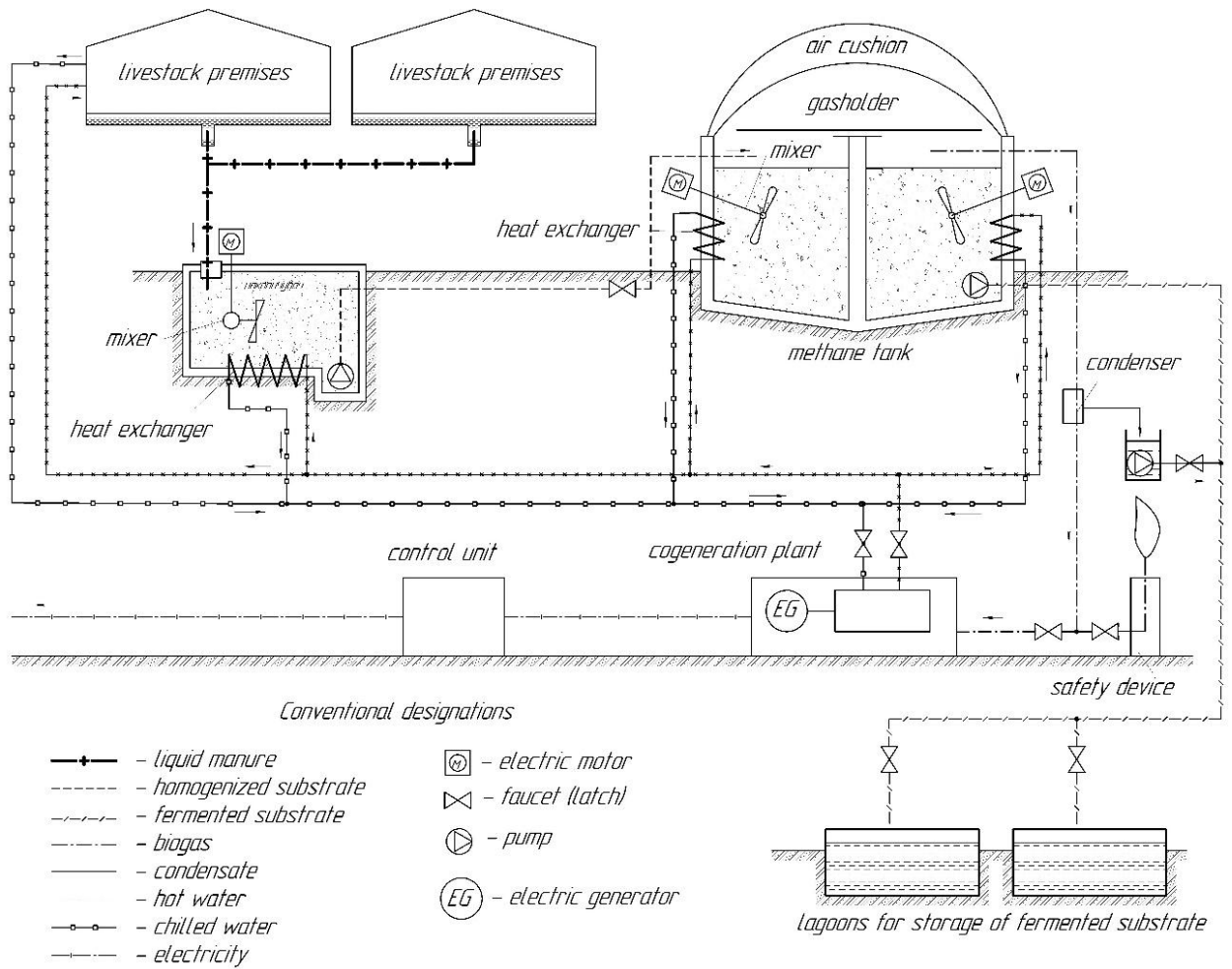


Рисунок 3.1. Конструктивна схема роботи біогазової установаки [5]

4. ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ

4.1 Розрахунок економічної ефективності роботи біогазової установки

Метою проведення економічних розрахунків є визначення доцільності та економічної ефективності проекту в умовах господарства «Руно». Основною для розрахунків є попередні дослідження багатьох авторів [13-15] та власні результати отриманих розрахунків технологічних параметрів роботи БУ. Перше, що необхідно визначити у даному розділі це капітальні витрати на улаштування (монтаж) біогазової установки. У загальний перелік затрат входить перелік устаткування та його прийнята вартість табл.4.1.

Таблиця 4.1. Кошторисні витрати на улаштування біогазової установки

Найменування	Ціна, тис. грн
Реактор (100м ³)	170,5
Газгольдер	40,5
Компресор	38,2
Приймальний бункер	4,5
Пристрій для подачі сировини	8,7
Пристрій для анаеробного перемішування	4,8
Нагрівачий пристрій	45,5
Пристрій для стабілізації	5,5
Пристрій для контролю рівня, температури, тиску	6,5
Автоматичний відкачувальний пристрій	30
Запобіжних пристроїв (рівень бункера подачі, тиск в реакторах і газгольдері)	4,5
Шафа управління	3,7
Допоміжних матеріалів	30,0
Всього капітальні вкладення ($\Sigma_{\text{КВ}}$)	392,9

Додатково до капітальних витрат на устаткування необхідно врахувати витрату на транспортування і монтаж установки, що становить на рівні 15% від суми кошторису. Тобто $392,9 \cdot 0,17 = 67$ тис. грн.

Отже загальна капітальні витрати складуть $392,9 + 67 \approx 460$ тис. грн.

Далі визначаємо витрати на амортизацію та ремонт. Для цього необхідно капітальні витрати поділити на середній строк експлуатації установки. Вихідні параметри розрахунку наступні:

- середній строк експлуатації установки становить 15 років;
- витрати на амортизацію складуть $460/15 = 30$ тис. грн/рік
- витрати на амортизацію за місяць $30/12 = 2500$ грн/міс
- витрати на ремонт становлять 50% від витрат на амортизацію, що складає $30 \cdot 0,5 = 15$ тис. грн/рік.

Наступними видами затратної частини є витрати на виробництво, в які входить заробітна плата робітників (обслуговуючого персоналу) та затрати електроенергії на виробництво 1 м^3 біогазу.

Для нормальної роботи нашої установки нам необхідні такі фахівці з визначеним рівнем заробітної плати:

1. Головний інженер – 1 чол. (заробітна плата 35000 грн/міс).
2. Інженери – 2 чол. (заробітна плата 25000 грн/міс).
3. Оператори – 4 чол. (заробітна плата 17000 грн/міс)

Отже, загальні нарахування заробітної плати за місяць становлять $35000 \cdot 1 + 25000 \cdot 2 + 17000 \cdot 4 = 128000$ грн/міс. З урахуванням 22% від суми заробітної плати у фонд нарахувань всього фонд заробітної плати складе 156160 грн/міс (1873,92 тис. грн/рік).

При цьому загальні затрати становитимуть:

$$Z_{\text{заг}} = 30 + 15 + 1873,92 \approx 1919 \text{ тис. грн. / рік}$$

За результатами попередніх розрахунків кількість виробленого біогазу за добу становить 260 м^3 , при 28 робочих змінах у місяць установка виробляє близько 7280 м^3 ($\sim 87500 \text{ м}^3/\text{рік}$).

Для умов розрахунку прийнято, що загальне споживання електроенергії господарством у середньому становить $42615 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{міс}$. Отже за рік виходить $511380 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{рік}$. Прийнята розрахункова ціна на електроенергію для у 2024 році становить $6,5 \text{ грн}$ за $1 \text{ кВт}\cdot\text{год}$. Загальні витрати на електроенергію підприємством за місяць становлять $42615 \times 6,5 = 277 \text{ тис. грн}/\text{міс}$, а річні ($V_{\text{спож}}$) $3324 \text{ тис. грн}/\text{рік}$.

Собівартість 1 м^3 виробленого біогазу визначаємо як відношення витрат на виробництво (заробітна плата, амортизація, ремонт тощо). до загальної кількості виробленого біогазу за місяць:

$$C_{\text{біогаз}} = 1919000 / 87500 = 21,9 \text{ грн}/\text{м}^3$$

Так, як в біогазі міститься метану приблизно 70% , тоді чистий вихід виробленого біогазу, придатного до спалювання становить $61250 \text{ м}^3/\text{рік}$. Відсотковий розподіл тепла та електроенергії під час роботи установки складає $55/45$ відповідно.

Приймаємо теплоутворюючу спроможність 1 м^3 біогазу на рівні $9 \text{ кВт}\cdot\text{год}$. Виходячи з цього, біогазова установка спроможна виробляти $61250 \cdot 0,55 \cdot 9 = 303188 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{рік}$ теплової енергії.

Прийняту спроможність 1 м^3 біогазу на вироблення електричної енергії приймаємо на рівня $7 \text{ кВт}\cdot\text{год}$. Виходячи з цього, біогазова установка спроможна виробляти $61250 \cdot 0,45 \cdot 7 = 192938 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{рік}$.

Отже загальна вартість отриманих енергоресурсів від роботи біогазової установки становитиме (при ринкових цінах на теплову енергію 7 грн за 1 кВт·год; і 6,5 грн за 1 кВт·год електроенергії):

$$B_{\text{заг}} = 7 \cdot 303188 + 6,5 \cdot 192938 = 2122316 + 1254097 = 3376413 \text{ грн} \approx 3376 \text{ тис. грн/рік}$$

Таким чином, за рахунок компенсації власних потреб економія енергоресурсів та зниження затрат на закупівлю енергії становитиме:

$$E = B_{\text{заг}} - B_{\text{спож}} = 3376 - 3324 = 52 \text{ тис. грн/рік.}$$

Отже термін окупності біогазової установки складе

$$T_{\text{окуп}} = \Sigma_{\text{кв}} / E = 392,9 / 52 = 7,55 \sim 8 \text{ років}$$

За результатами розрахунків визначено, що термін окупності біогазової установки буде становити близько 8 років, що з економічної точки зору є доцільним для підприємства в умовах постійного підвищення тарифів на енергоносії та ризиків відключення світла.

5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ПІД ЧАС РОБОТИ БІОГАЗОВОЇ УСТАНОВКИ

Для введення в експлуатацію біогазової установки необхідно дотримуватись вимог чинного законодавства [16]. Додатково, також, варто керуватись різними технічними нормативами щодо Правил технічної експлуатації БУ. Біогазова установка на підприємстві, в тому числі, використовується для покриття базового теплового навантаження, що експлуатується паралельно з додатковим котлом для нагрівання води, що дозволяє покривати пікові навантаження. Таким чином БУ включена у загальнозаводську систему опалення та додатково подає тепло, забезпечує гаряче водопостачання або навіть може бути направлено на інших (додаткових) споживачів теплової енергії. Залежно від технологічного режиму та характеру споживання теплової енергії на підприємстві (та поза його межами), раціональним може бути застосування додаткових ємностей, що дозволяє збільшити час безперервної роботи БУ. Електричний струм, який виробляє установка, використовується, як правило, лише для покриття власних технологічних потреб тваринницького комплексу. Біогазова установка може працювати в різних експлуатаційних режимах як автономного джерела енергогенерації так і паралельно з зовнішньою електромережею без скиду надлишків виробленої електроенергії. У момент часу запуску БУ повинні бути дотримані всі захисні заходи з електробезпеки. До запуску комісією може бути допущена установка, на якій повністю пройшли випробування та перевірені всі наявні пристрої захисту. Загальна інструкція обов'язково повинна включати: список персоналу (перелік осіб), які мають допуск і право на експлуатацію; наказ про призначення особи, що несе відповідальність за належний рівень технічного стану установки.

Для обслуговування біогазової установки та забезпечення її надійного

режиму роботи і справного технічного стану повинні бути назначені особи, що мають відповідну категорією з допуском до рівня електробезпеки, а також підготовлені згідно з вимогами правил технічної експлуатації електроустановок. У своїй діяльності працівники повинні керуватися вимогами та всією технічною документацією (регламентом) від виробника БУ, інструкцією щодо її обслуговування й експлуатації та інших нормативними документами затвердженими на державному та внутрішньому рівнях безпеки. На установку повинен бути встановлений відповідний регламент технічного обслуговування та періодичність всіх видів робіт (поточні, капітальні, позачергові та інші види ремонтів). Регламент експлуатації повинен передбачати:

- постійний візуальний огляд всіх елементів конструкції та обладнання;
- перевірку й випробування складових елементів електрообладнання, датчиків, пристроїв тощо;
- контроль за кріпленням елементів конструкції та обладнання;
- перевірку справності системи автоматизованого керування технологічним процесом та діагностику засобів вимірювальної техніки;
- своєчасну постійну заміну деталей і конструкцій у процесі експлуатації.

Для кожного виду технічного обслуговування визначається термін з урахуванням документації. Огляд БУ, повинен проводитися не рідше ніж один раз на два-три місяці. Всі відомості про готовність пуску БУ та подальшої її експлуатації повинні оформлюватися належним чином в технічному журналі та відображатись на електричній схемі роботи установки.

Для вирішення питань розвитку системи резервного енергогонування на тваринницькій фермі враховують ремонтні, аварійні та після аварійні режими її роботи. Для автоматичної фіксації та реєстрації всіх аварійних і аномальних процесів під час роботи БУ потрібно передбачати улаштування різноманітних цифрових багатоканальних реєстраторів аварійних сигналів

(РАС) з аналоговими і дискретними входами, реєстрацією передаварійного і нормального експлуатаційного режимів з можливістю автоматичного передавання даних різними каналами телекомунікацій, у тому числі окремих або вбудованих в БУ пристрої технічного захисту. Кількість таких сигналів, що реєструється датчиками аварійних подій, вибирають залежно від технологічної схеми роботи БУ. Вибір кількості різноманітних реєстраторів повинен обґрунтовуватись необхідністю резервування запису певних параметрів у разі виведення з ладу одного з діючих РАС. З метою уникнення нескоординованих дій обов'язки персоналу повинні бути чітко визначені та розподілені між всіма. Особлива увага повинна бути приділена діям обслуговуючого персоналу під час виникненні небезпечних та аварійних ситуацій. Комплектуючі та агрегати повинні забезпечуватись всіма необхідними пристроями безпеки підприємством, що є виробником продукції. Не допускається демонтаж або зміна пристроїв безпеки без належного контролю та обґрунтування необхідності таких дій. Це може призвести до нанесення шкоди здоров'ю та життю обслуговуючого персоналу. У випадку виявлення несправностей під час щоденних оглядів працездатного стану БУ, обслуговуючий персонал повинен попередити про їх наявність і зміну характеру роботи агрегатів відповідну сервісну службу. На підприємстві завжди повинна бути забезпечена чистота і порядок на виробничому місці. У приміщенні, де розташовані генератори, забороняється складування та розміщення сторонніх предметів. Евакуаційні шляхи повинні бути завжди вільними, а схеми знаходитись у доступному (наглядному) місці розташування. Не допускається виконання будь-яких видів ремонтних або сервісних (обслуговуючих) робіт під час роботи генераторів БУ. Труба для відведення продуктів згоряння повинна бути герметичною.

Загальний перелік дій в умовах виникнення загрози або аварійних ситуацій, які можуть привести до нещасних випадків наступний:

➤ під час виникнення аварійної ситуації (поява диму, підвищена

загазованість, загоряння, нетиповий шум та вібрація обладнання тощо) необхідно зупинити роботу та подачу електроенергії, вийти з небезпечної зони потенційного ураження, повідомити про ситуацію керівника експлуатаційної служби, терміново приступити до ліквідації аварійної ситуації відповідно до затвердженого плану ліквідації аварій.

- під час виникненні пожежі на БУ, що працюють під високим тиском необхідно користуватися вуглекислотними і порошковими вогнегасниками; за умови суттєвої пожежі та неспроможності її ліквідації підручними засобами (вогнегасниками) необхідно викликати службу ДСНС; поставити до відома керівника експлуатаційної служби, повідомити про пожежу на пост охорони підприємства; відчинити всі запасні виходи з будівлі та знеструмити електроживлення; організувати зустріч пожежної команди і своєчасно покинувши територію займання знаходитися в безпечній зоні для подальшої евакуації. При гасінні пожежі необхідно пам'ятати про наступні умови застосування матеріалів: пісок застосовують при гасінні невеликих вогнищ горіння твердих і рідких речовин; азбестове полотно, брезент, кошму застосовують для гасіння невеликих поверхонь, що горять і одягу на людині.
- за умови ураження людини електричним струмом необхідно звільнити потерпілого від дії електричного струму, використовуючи засоби і матеріали, що володіють діелектричними властивостями; після цього варто оцінити загальний стан потерпілого та надати необхідну першу долікарську допомогу і викликати бригаду швидкої допомоги (або забезпечити транспортування потерпілого до лікарні).
- під час нещасного випадку необхідно негайно організувати потерпілому першу допомогу і, за необхідності, доставити його до медичної установи; після цього необхідно вжити невідкладних заходів щодо запобігання подальшого розвитку аварійної та/або будь-якої іншої надзвичайної ситуації, мінімізувати та виключити можливий вплив всіх травмуючих

чинників на інших учасників процесу експлуатації БУ; для розслідування нещасного випадку варто зберегти початкову обстановку, якою вона була на момент події за умови, що це не загрожує життю і здоров'ю працівників та не призведе до подальшого погіршення ситуація (аварії) або виникнення інших надзвичайних обставин, а в разі неможливості виконати цієї вимоги – зафіксувати початкову обстановку (скласти схеми, фото, провести інші заходи тощо).

Під час експлуатації БУ безпосередньо на території підприємства необхідно також, виконати наступні заходи з техніки безпеки та охорони праці передбачивши наступне:

- 1) виконати огороження навколо БУ висотою щонайменше 1,5 м;
- 2) встановити захисне заземлення та блискавкозахист ($R_{\min}=10 \text{ Ом}$);
- 3) улаштувати сигналізацію та належний рівень освітлення для забезпечення видимості території підвищеної небезпеки;
- 4) розмістити відповідні попереджаючі знаки та плакати з вказанням «Обережно...», «Заборонено...» тощо;
- 5) виконати надійну ізоляцію всіх електросилових кабелів;
- 6) допускати до обслуговування лише персонал, що пройшов відповідну підготовку та має дійсні посвідчення допуску до небезпечних видів робіт;

Для індивідуального захисту робітників варто забезпечити:

- 1) захист органів дихання шляхом використання індивідуальних масок від дрібного пилу, золи та інших домішок;
- 2) захист від механічних пошкоджень шляхом використання рукавиць і спеціального вогнетривкого одягу;
- 3) захист голови шляхом постійного використання касок;
- 4) захист органів зору шляхом використання спеціальних окулярів;
- 5) захист органів слуху від надлишкового шумового забруднення;

- б) захисне взуття, що дозволяє уникнути ураження струмом та має високі вогнестійкі властивості;
- 7) додаткові різноманітні захисні пристосування у вигляді ізолюючих килимків, індикатори тощо;
- 8) забезпечити у постійному працездатному стані пожежний щиток, необхідну кількість вогенгасників;
- 9) постійно проводити інструктажі з пожежної та електробезпеки з підтримкою у належному стані документації та покрокових інструкцій дій на випадок надзвичайних ситуацій;
- 10) мати затверджений та діючий план евакуації і ефективних дій на випадок пожеж і вибухів.

На основі статистичних даних встановлено наступні можливі зони ризику під час роботи біогазових установок:

- ревізійний отвір в реакторі для мішалки;
- незворушне оглядове вікно;
- запобіжник гранично високого тиску;
- виведення повітря з газгольдера;
- подача повітря до газгольдера.

Правила безпечної експлуатації метантенків. Біогаз, який складається переважно із метану та діоксиду вуглецю є досить вибухонебезпечним. Самозагорання відбувається при температурі близько 630°C . таким чином, метантенки, газгольдери і виробничі приміщення при них відносяться до категорії споруд підвищеної пожежної та вибухової небезпеки. Кожен метантенк повинен бути забезпечений засувками (гідрозатворами), які у випадку аварійної ситуації могли б його відключити від магістрального газопроводу біогазу. Газ, що утворюється в процесі зброджування, повинен мати вільний вихід із метантенку в газопровід. Метантенки повинні забезпечувати анаеробне зброджування осаду з відстійників і надлишкового активного мулу в умовах мезофільного або термофільного режимів роботи.

У процесі експлуатації метантенків персонал зобов'язаний:

- контролювати вологість, зольність, температуру осадів і мулу, що надходять, та забезпечувати завантаження не вище встановленої норми;
- постійно підтримувати заданий температурний режим у метантенку;
- контролювати процес перемішування осаду, не допускаючи ущільнення та утворення на його поверхні кірки;
- забезпечувати постійний рівень осаду в метантенку і вільний вихід газу; вести постійний облік виходу газу, визначати його склад, слідкувати за тиском у газопроводі та газовому просторі метантенку і газгольдері; вести облік кількості пари або гарячої води, що подаються в метантенки, з реєстрацією тиску і температури;
- регулярно вивантажувати зброджений осад, вести облік його кількісних і якісних показників (вологість, зольність, температура, питомий опір фільтруванню тощо).

ВИСНОВКИ

За результатами виконаної кваліфікаційної роботи можна сформулювати наступні загальні висновки:

- 1) Дорожня карта розвитку біоенергетики в Україні до 2050 року передбачає впровадження та зростання виробництва біогазу та біометану. Фактичне виробництво біометану в Україні може досягти 1 млрд м³ у 2030 році та 4,5 млрд м³ у 2050 р.
- 2) На сьогодні актуальним є питання енергетичної безпеки як на глобальному так і на регіональному рівнях забезпечення. Особливо гостро це відчувається в умовах тривалих військових дій внаслідок чого цілеспрямовано знищується енергетична інфраструктура України. Така ситуація потребує диверсифікації поставок енергії та пошуку до альтернативних шляхів її генерації.
- 3) Доцільність та перспективність біогазових технологій в повній мірі узгоджується зі світовими цілями по боротьбі зі зміною клімату (потепління, декарбонізація), поліпшення якості компонент навколишнього середовища (повітря, ґрунтовий покрив, водне середовище) і забезпечення доступу до енергії.
- 4) Станом на 2022 р. в Україні працюють близько 70 біогазових установок загальною потужністю понад 135 МВт. При цьому виробництво біогазу обмежується лише п'ятьма основними видами сировини: курячий послід, свинячий гній, гній ВРХ, силос, жом цукрових буряків.
- 5) Об'єкт дослідження підприємство Дослідне господарство «Руно» Національної академії аграрних наук України, що розташовано у с. Затишне, Кам'янського району Дніпропетровської області спеціалізується на розведенні великої рогатої худоби молочних порід та має прийнятну розрахункову кількість поголів'я у 415 тварин.

- б) За результатами технологічних розрахунків встановлені наступні основні (ключові) параметри роботи біогазової установки:
- добовий вихід біомаси на тваринницькій фермі 27 т/добу;
 - корисний обсяг метантенка складає 575 м³;
 - добовий обсяг виділеного біогазу становить 260 м³/добу (~91000 м³/рік);
 - обсяг газгольдера 85 м³;
 - потрібна кількість енергії на роботу установки за рік 1473 ГДж
 - енергія біогазу, необхідна для компенсації власних енергетичних потреб установки за рік 86630 МДж
 - кількість виробленого установкою товарного біогазу за рік 87500 м³
 - енергетичний ефект установки 2188370 МДж
- 7) Загальні капітальні вкладення на улаштування БУ становитимуть 392,9 тис. грн.
- 8) Собівартість 1 м³ виробленого біогазу 21,9 грн/м³
- 9) Загальна вартість отриманих енергоресурсів від роботи біогазової установки ~3376 тис. грн/рік
- 10) Термін окупності біогазової установки ~ 8 років
- У кваліфікаційній роботі також розглянуті питання щодо охорони праці та вимог з техніки безпеки під час експлуатації біогазової установки.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Report on the determination of the second national defined contribution of Ukraine to the Paris climate agreement (2021). https://www.ubta.com.ua/docs/CEV_UBTA.pdf
2. World biogas association. <https://www.worldbiogasassociation.org/>
3. Bioenergy clusters: a recipe for sustainable urban development. <https://www.epravda.com.ua/columns/2023/01/25/696334/>
4. Geletukha, G., Kucheruk, P., Matveev, Yu., (2022). Prospects of biomethane production in Ukraine. UABIO, 29. Retrieved from: <https://uabio.org/wp-content/uploads/2022/09/UA-Position-paper-UABIO-29.pdf>
5. Dudin, V., Polehenka, M., Tkalich, O., Pavlychenko, A., Hapich, H., & Roubík, H. (2024). Ecological and economic assessment of the effectiveness of implementing bioenergy technologies in the conditions of post-war recovery of Ukraine. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, (1), 203–208. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2024-1/203>
6. Chubur, V., Danylov, D., Chernysh, Y., Plyatsuk, L., Shtepa, V., Haneklaus, N., & Roubik, H. (2022). Methods for intensifying biogas production from waste: A scientometric review of cavitation and electrolysis treatments. *Fermentation*, 8(10), 570. Retrieved from: <https://doi.org/10.3390/fermentation8100570>
7. Grabovskyi, M., Lozinskyi, M., Grabovska, T., & Roubík, H. (2021). Green mass to biogas in Ukraine – bioenergy potential of corn and sweet sorghum. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 13(4), 3309–3317. <https://doi.org/10.1007/s13399-021-01316-0>
8. Lohosha, R., Palamarchuk, V., & Krychkovskyi, V. (2023). Economic efficiency of using digestate from biogas plants in Ukraine when growing agricultural crops as a way of achieving the goals of the European Green Deal.

Polityka Energetyczna – Energy Policy Journal, 26(2), 161–182.
<https://doi.org/10.33223/epj/163434>

9. Герасимов О.І. Теоретичні основи технологій захисту навколишнього середовища: навчальний посібник. Одеса: ОДЕУ, 2018, 228 с.
10. Склад і зміст матеріалів оцінки впливів на навколишнє середовище (ОВНС). ДБН А.2.2-1:2021. Київ Міністерство розвитку громад та територій України, 2022, 26 с.
11. Біогазові технології в Україні [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://cba.org.ua/one/images/stories/CBA_news/Innovations_in_CBA/Budivnytvo_i_ekspl_Biogas_2011.pdf
12. Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України. Потенціал біоенергетики при заміщенні природного газу. 2020. Режим доступу: <https://sae.gov.ua/uk/documents/3528>
13. Кернасюк Ю.В. Науково-методологічні підходи до визначення собівартості виробництва та економічної ефективності продукції біоенергетичної утилізації гною. Наукові праці КНТУ. Економічні науки, 2010, вип. 17, 164-171.
14. Чернявський С. Є., Сокрут О. В. Енергозабезпечення тваринницьких ферм за рахунок біогазу, 128-132.
15. Кернасюк Ю. В. Методологічні підходи до визначення собівартості виробництва та економічної ефективності продукції біоенергетичної утилізації гною: [метод. рекомендації]. Кіровоград: Кіровоградський ін-т АПВ НААН, 2010, 24 с.
16. Закон України «Про альтернативні види палива» від 14.01.2000 № 1391-XIV. Режим доступу: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/1391-14>