

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
ННІ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ**

УДК 621.311:631.147:662.998.2

ПОГОДЖЕНО
Директор ННІ енергетики
автоматики і енергозбереження

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач кафедри
інженерії енергосистем

проф., д.т.н. /КАПЛІУН В.В./
вчене звання, науковий ступінь підпис

доц., к.т.н. /АНТИПОВ Є.О./
вчене звання, науковий ступінь підпис

» _____ » _____ 2025 р.
число місяць рік

» _____ » _____ 2025 р.
число місяць рік

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на тему: «Енергопостачання фермерського господарства з використанням
біогазових і когенераційних установок»

Спеціальність 141 – електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
Освітня програма Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
Орієнтація освітньої програми освітньо-наукова

Гарант освітньої програми

(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

Кривонос В.Є.

(ПІБ)

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

д.т.н., професор
(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

Бабак В.П.

(ПІБ)

Виконав

(підпис)

Ільчаков К.О.

(ПІБ)

КИЇВ – 2025

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
ІНІ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ**

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
Інженерії енергосистем

к.т.н., доцент _____ /**АНТИПОВ Є.О.**/
(підпис)

« _____ » _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ
ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
СТУДЕНТУ

Ільчаков Кирило Олександрович

Спеціальність 141 – електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Освітня програма Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Орієнтація освітньої програми освітньо-наукова

Тема магістерської кваліфікаційної роботи: «Енергопостачання фермерського господарства з використанням біогазових і когенераційних установок»

затверджена наказом ректора НУБіП України від 26.09.2024 № 1665”С”

Термін подання завершеної роботи на кафедру 15. 05 . 2025

Вихідні дані до магістерської кваліфікаційної роботи: Технічна документація.

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1.Аналіз сучасних джерел автономного енергопостачання в аграрному секторі;

2.Теоретичні основи виробництва електроенергії з біомаси та роботи біогазових і когенераційних установок;

3.Розрахунок енергетичних потреб фермерського господарства та вибір відповідного обладнання;

4.Розробка схеми енергопостачання з використанням БДУ та КГУ, з урахуванням умов конкретного господарства;

5.Техніко-економічне обґрунтування.

Дата видачі завдання 26.09.2024 р.

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи _____ **Бабак В.П.**
(підпис) (ПІБ)

Завдання прийняв до виконання _____ **Ільчаков К.О.**
(підпис) (ПІБ)

РЕФЕРАТ

Магістерська робота: 117с., 29 рис., 13 табл., 17 джерела.

Об'єкт дослідження – система енергозабезпечення фермерського господарства з використанням біогазових і когенераційних установок.

Мета роботи – розробка та оцінка ефективності автономної системи енергопостачання фермерського господарства на основі біогазових і когенераційних установок для забезпечення потреб у тепловій та електричній енергії.

Методи дослідження та апаратура – аналіз літературних джерел, розрахунок енергетичних потреб господарства, вибір обладнання, моделювання енергетичних процесів, техніко-економічне обґрунтування.

У роботі проведено аналіз енергетичних потреб фермерського господарства та можливостей їх забезпечення за допомогою біогазових і когенераційних установок. Розглянуто принципи роботи біогазових реакторів та когенераційних систем, що дозволяють одночасно виробляти електричну та теплову енергію. Проведено розрахунки енергетичного балансу, визначено оптимальні параметри роботи установки та оцінено економічну ефективність впровадження такої системи. Результати дослідження свідчать про доцільність використання біогазових і когенераційних установок для автономного енергопостачання фермерських господарств, що сприяє підвищенню енергонезалежності та зменшенню негативного впливу на навколишнє середовище.

Ключові слова: біогазова установка, когенераційна установка, фермерське господарство, енергопостачання, відновлювані джерела енергії, енергонезалежність, техніко-економічне обґрунтування.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	7
ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1. ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ КОГЕНЕРАЦІЙНИХ УСТАНОВОК З ВИКОРИСТАННЯМ БІОГАЗУ	11
1.1. Загальні положення	11
1.2. Види та властивості первинних джерел для отримання біогазу	14
1.3 Енергетичний потенціал виробництва біометану в Україні	15
Висновки до розділу 1	18
РОЗДІЛ 2. БІОГАЗОВІ УСТАНОВКИ ДЛЯ ФЕРМЕРСЬКИХ ГОСПОДАРСТВ	20
2.1. Принцип дії БГУ	20
2.2. Реактори для біогазових установок	22
2.3. Механізм завантаження і вивантаження БГУ	23
2.4. Підтримання температури сировини	24
2.5. Система відбору біогазу з БГУ	26
2.6. Механізм перемішування сировини в біогазових установках	27
Висновки до розділу 2	32
РОЗДІЛ 3. СУЧАСНІ БІОТЕХНОЛОГІЇ НАПРЯМКУ “SMART FARMING”	34
3.1. Опис напрямку “Smart Farming”	34
3.2. Використання техніки напрямку “Smart Farming” для підвищення ефективності роботи біогазових когенераційних установок	37
Висновки до розділу 3	40
РОЗДІЛ 4. СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ МЕТОДІВ ЗБРОДЖЕННЯ	41
4.1. Оптимізація технологічних процесів у біогазовій установці	41
4.2. Матеріали та методи експерименту	42
4.3. Експериментальний дизайн та статистичний аналіз	46
4.4. Порівняння методів обробки	52
Висновки до розділу 4	53

РОЗДІЛ 5. ЗАСТОСУВАННЯ БІОГАЗОВОЇ УСТАНОВКИ В ФЕРМЕРСЬКОМУ ГОСПОДАРСТВІ	55
5.1. Біогаз та способи його виробництва	55
5.2. Потенціал виробництва біогазу	66
Висновок до розділу 5	67
РОЗДІЛ 6. МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ПАРАМЕТРІВ АВТОНОМНОЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ФЕРМЕРСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА	68
6.1. Методика визначення добової потреби в електричній енергії об'єкта та пікової споживаної потужності	68
6.2 Розрахунок елементів біогазової установки	70
6.3 Розрахунок енергетичного балансу процесу анаеробного бродіння	73
6.4 Вибір трансформатора	80
6.5 Вибір силових кабелів	80
6.6 Вибір автоматичних вимикачів на відхідних лініях	88
6.7 Вибір когенераційної установки	91
Висновки до розділу 6	92
РОЗДІЛ 7. ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ БІОГАЗОВОЇ КОГЕНЕРАЦІЙНОЇ УСТАНОВКИ	94
7.1. Методи аналізу економічної ефективності біогазових установок	94
7.2. Розрахунок економічних показників теплових схем когенераційної енергетичної установки	97
Висновки до розділу 7	108
РОЗДІЛ 8. ОХОРОНА ПРАЦІ	109
8.1. Виявлення і аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів на об'єкті. Заходи з охорони праці	109
8.2. Пожежна безпека	111
Висновки до розділу 8	112
ВИСНОВКИ	113
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	115

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

- АПК – агропромисловий комплекс;
- БАУ – Біоенергетична асоціація України;
- БДУ – біогазова установка;
- БМ – біомаса;
- ВВП – внутрішній валовий продукт;
- ВДЕ – відновлювані джерела енергії;
- ЄС – Європейський Союз;
- ЖКГ – житлово-комунальне господарство;
- ЗТ – “зелений” тариф;
- КГУ – когенераційна установка;
- ККД – коефіцієнт корисної дії;
- ВРХ - велика рогата худоба;
- МПВ – механіко-біологічна обробка;
- НАЕР – Державне агентство України з енергоефективності та енергозбереження;
- НКРЕ – Національна комісія, яка виконує державне регулювання у сфері енергетики;
- ОРЕ – оптовий ринок електроенергії;
- ПГ – природний газ;
- СВ – суха речовина;
- ТЕО – техніко-економічне обґрунтування;
- ТЕС – теплова електростанція; ТЕЦ – теплоелектроцентраль; ТПВ - тверді побутові відходи;
- Е/Е – електроенергія.
- ДЕС – дизельна електростанція;
- КВВП – коефіцієнт використання встановленої потужності;
- ККД – коефіцієнт корисної дії;
- САЕП – система автономного електропостачання.

ВСТУП

Аналіз розвитку паливно-енергетичних комплексів у більшості країн світу показує високий ступінь диверсифікації паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР), а також загальну динаміку зростання споживання енергії. Зростання цін на газ та інші викопні джерела енергії зумовлює необхідність пошуку альтернативних рішень. Забезпечення енергетичної безпеки потребує впровадження нових технологій, заснованих на результатах прикладних досліджень і високих інвестиціях у наукомісткі галузі.

Україна, як країна з високою енергоємністю виробництва, гостро потребує реалізації рішень, що спрямовані на ефективне використання власного енергетичного потенціалу. Перехід до ресурсозберігаючого, автономного та екологічно орієнтованого виробництва можливий завдяки впровадженню відновлюваних джерел енергії, зокрема біогазу. Енергія з біогазу дозволяє забезпечити потреби фермерських господарств в електро- та тепlopостачанні, скоротити витрати на паливо й зменшити вплив на довкілля.

Актуальність теми зумовлена необхідністю розробки техніко-економічно обґрунтованих рішень щодо впровадження біогазових когенераційних установок у сільському господарстві. Системний підхід до формування автономного енергозабезпечення фермерського підприємства дозволяє підвищити енергонезалежність, стабільність виробничих процесів і оптимізувати використання агровідходів.

Метою магістерської кваліфікаційної роботи є обґрунтування та розробка енергетичної системи фермерського господарства з використанням біогазової когенераційної установки, адаптованої до умов сільськогосподарського виробництва.

Для досягнення цієї мети поставлено такі **завдання**:

- 1) вивчити технічні особливості біогазових і когенераційних установок;
- 2) класифікувати типи сировини для виробництва біогазу та оцінити її

енергетичний потенціал в Україні;

- 3) проаналізувати технічні параметри основних вузлів БГУ та принцип їх дії;
- 4) дослідити сучасні технології “Smart Farming” як елемент підвищення ефективності біогазових систем;
- 5) здійснити розрахунок параметрів автономного енергозабезпечення на прикладі конкретного господарства;
- 6) провести економічну оцінку ефективності впровадження біогазової когенераційної установки;
- 7) розробити заходи з охорони праці та пожежної безпеки для забезпечення безперебійної експлуатації об’єкта.

Об’єктом дослідження є система енергозабезпечення фермерського господарства.

Предметом дослідження – параметри та компонування автономної енергосистеми з використанням біогазових когенераційних установок.

Методи дослідження, що застосовуються у роботі, включають аналітичний метод, порівняльний техніко-економічний аналіз, розрахунково-графічний метод, енергетичне моделювання та методи системного проектування.

Наукова новизна роботи полягає в комплексному підході до розробки автономної енергосистеми для сільськогосподарських підприємств з урахуванням місцевих ресурсів та можливості когенерації.

Практична значущість полягає у можливості впровадження розробленої системи на базі реального фермерського господарства, що дозволяє знизити витрати на енергоносії, зменшити викиди парникових газів і забезпечити стабільне енергопостачання.

Результати дослідження пройшли апробацію у формі участі у науковому гуртку кафедри, обговорювалися під час виробничої практики та подані до публікації у фаховому виданні. Окремі положення доповідалися на студентській науково-технічній конференції.

На захист виносяться такі положення:

- 1) концепція побудови автономної енергосистеми для фермерського господарства;
- 2) розрахунок енергетичних навантажень і підбір обладнання;
- 3) оцінка економічної ефективності використання біогазової когенерації;
- 4) рекомендації щодо підвищення надійності електропостачання й охорони праці.

Магістерська кваліфікаційна робота складається з восьми розділів. У ній викладено теоретичні основи, технічні рішення, експериментальні розрахунки, економічну оцінку впровадження біогазової установки та заходи з охорони праці. Основний текст роботи викладено на 117 сторінках, містить 13 таблиць, 29 рисунків і посилання на 20 джерел.

РОЗДІЛ 1

ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ КОГЕНЕРАЦІЙНИХ УСТАНОВОК З ВИКОРИСТАННЯМ БІОГАЗУ

1.1. Загальні положення

Біогаз – це горюча суміш газів, що складається переважно з метану (CH_4) та діоксиду вуглецю (CO). Він утворюється в результаті анаеробного бактеріального розкладання, тобто за відсутності кисню, органічних сполук, таких як мул, біомаса з сільськогосподарських та тваринницьких ферм, побічні продукти рослинництва та органічні відходи.

Біогаз можна використовувати як поновлюване джерело, яке можна використовувати як безпосереднє джерело електроенергії та тепла, так і для подальшого зберігання. Ця гнучкість робить його ключовим елементом сталого енергопостачання. Крім того, біогаз підходить для різних цілей: його можна використовувати безпосередньо для приготування їжі та освітлення, для комбінованого виробництва тепла та електроенергії, або виробляти як біометан, так і біодизель.

На думку експертів, його більш широке використання допоможе скоротити використання викопного палива і таким чином скоротити викиди CO_2 . Таким чином, хоча оціночні значення варіюються від дослідження до дослідження, потенціал виробництва біогазу з біомаси величезний.

Основна відмінність біогазу від природного газу полягає в їхньому походженні та викидах CO_2 . Природний газ – це природна газоподібна суміш вуглеводнів, яка утворюється під поверхнею Землі і складається на 97–98% з метану (CH_4) і решти 2–3% з різноманітних інших газів, таких як азот, гелій і сірководень. У порівнянні з біогазом, з яким його часто плутають, природний газ має схожий склад, але зовсім інше походження та залишкові викиди CO_2 (35% проти 1% у біогазу). Видобуток природного газу вимагає дорогого буріння, що тягне за собою значні витрати на інфраструктуру. Крім того, при

його спалюванні виділяється значна кількість вуглекислого газу (CO₂), який впливає на парниковий ефект, хоча і в меншій мірі, ніж традиційні викопні види палива, такі як вугілля і нафта.

Інтерес до відновлюваних джерел енергії зростає у всьому світі: виробництво біогазу постійно збільшується і все більше людей вирішують встановити установки з виробництва біогазу. Насправді його використання має безліч переваг [31]:

- Це відновлювальна енергетика. Сьогоднішнє глобальне енергопостачання значною мірою залежить від викопного палива – сирій нафти, бурого вугілля, вугілля, природного газу – але це невідновлювані ресурси, які виснажуються набагато швидше, ніж їх можна відновити. На відміну від викопного палива, біогаз з біомаси є джерело, що постійно оновлюється.

- Його виробництво дає можливість фермерам отримувати додатковий дохід. Виробництво сировини, у поєднанні з роботою біогазових установок, робить біогазові технології економічно привабливими для аграріїв та забезпечує їм додатковий дохід, дозволяючи набути нової та важливої соціальної функції як постачальників енергії та операторів поводження з відходами.

- Це сприяє зниженню витрат на відходи та утилізацію. Однією з головних переваг виробництва біогазу є можливість перетворення відходів на цінний ресурс, використовуючи їх як субстрат для анаеробного зброджування. Виробництво біогазу – це чудовий спосіб відповідати національним та європейським нормам, які стають все більш жорсткими в секторі, а також використовувати органічну біомасу з аграрного та тваринницького секторів.

- Для цього потрібно менше споживати води. Навіть у порівнянні з іншими видами біопалива, біогаз має деякі переваги. Одна з них полягає в тому, що для процесу АЗ потрібно менше технічної води.

- Україна сильно залежить від імпорту викопного палива з багатих на викопне паливо регіонів. Розробка та впровадження систем відновлюваної енергетики, таких як біогаз від анаеробного зброджування, заснований на

національних та регіональних ресурсах біомаси, може збільшити національне енергопостачання та зменшити залежність від імпорту палива.

– Це створює робочі місця. Виробництво біогазу методом АЗ потребує робочої сили для виробництва, збору та транспортування сировини для АЗ, виготовлення технічного обладнання, будівництва, експлуатації та обслуговування біогазових установок.

Біогазова установка не лише виробляє відновлювану енергію, а й забезпечує утилізацію органічних відходів із подальшим отриманням цінного побічного продукту – переробленого субстрату, відомого як дигестат. Цей матеріал є ефективним добривом, яке містить високі концентрації азоту, фосфору, калію та мікроелементів, необхідних для підвищення родючості ґрунтів. Дигестат можна застосовувати на сільськогосподарських угіддях з використанням стандартного обладнання для внесення гною, що робить його доступним і практичним у використанні. Таким чином, біогазові установки сприяють не лише енергетичній незалежності, а й розвитку сталого сільського господарства. Водночас слід враховувати і певні обмеження впровадження біогазових технологій:

– Для АЗ потрібна оптимальна температура близько 37 ° С : тому в районах з холодним кліматом реакторам потрібна теплова енергія для підтримки постійної подачі біогазу.

– Промислові біогазові установки мають сенс лише там, де є велика кількість сировини, тобто для компаній, які мають велику кількість рослинних відходів, таких як харчові відходи та гній.

– Для будівництва заводів потрібна площа не менше 2 ÷ 3 гектарів, тому виробництво біогазу набагато більше підходить для сільських і заміських територій.

– Необхідні подальші технологічні вдосконалення, щоб спростити процес і зробити його повсюдним і недорогим.

– Біогаз, що утворюється в результаті анаеробного зброджування, містить аміак і сірководень, які можуть викликати появу неприємних та стійких

запахів. Щоб вирішити цю проблему, розроблені спеціальні фільтри здатні очищати біогаз.

1.2. Види та властивості первинних джерел для отримання біогазу

Загалом біогазові системи та установки перетворюють витрати на утилізацію біомаси або відходів та брухту на можливість отримання прибутку для сільськогосподарських компаній, тваринницьких ферм, молокозаводів та промислових підприємств. Перетворення відходів на електроенергію, тепло або транспортне паливо забезпечує відновлюване джерело енергії, яке може зменшити залежність від імпорту іноземної нафти, зменшити викиди парникових газів, покращити якість біомаси та відходів навколишнє середовище та створювати робочі місця. місцевий. Біогазові системи також дозволяють переробляти відходи виробництва, знижуючи потребу в нафтохімічних і мінеральних добривах [32].

Для отримання біогазу необхідно відмовитися від використання викопного палива та прискорити енергетичний перехід і декарбонізацію, потрібна підтримка з боку альтернативних джерел енергії. До них також відноситься біогаз, менш відомий, ніж інші джерела, такі як вітрова та сонячна енергія, але не менш цікавий як рішення для підвищення енергоефективності. Біогаз є альтернативним джерелом викопного палива, використовуючи анаеробне бродіння біомаси для виробництва природного газу.

Розглянута біомаса може бути отримана, наприклад, з відходів і побічних продуктів сільськогосподарської або агропромислової промисловості, зі стічних вод і осаду стічних вод і навіть з органічної фракції міських відходів. Біогаз є джерелом енергії, Це слід враховувати, оскільки він практично не впливає на навколишнє середовище: його чисті викиди фактично вважаються нульовими.

Біогаз є результатом процесу анаеробного бродіння, тобто біомаси, отриманої за відсутності кисню. Біомаса – це речовина тваринного і рослинного походження, яка не пройшла процесів скам'яніння і може бути використана для

виробництва енергії. Наприклад, до них відносяться деревні відходи, морські водорості, відходи сільського господарства, відходи тваринництва та органічні відходи рослин [35].

Для виробництва біогазу, особливо в промислових і великих масштабах, зазвичай віддають перевагу наступним варіантам: сільськогосподарська біомаса, тобто відходи тваринного походження, відходи тваринного і сільськогосподарського виробництва, а також побічні продукти сільського господарства.

1.3 Енергетичний потенціал виробництва біометану в Україні

Сировиною для виробництва біогазу може бути практично будь-який матеріал, який містить значний відсоток органічної речовини, яка піддається розкладанню біохімічними методами і не містить речовин, що пригнічують життєдіяльність бактерій. Таким чином, перелік відходів, побічних продуктів та сировини, придатних для виробництва біогазу, розраховано для сотень окремих видів, включаючи побічні продукти тваринництва, рослинництва, харчової промисловості, спеціально культивовані рослинні культури.

З точки зору проектів з виробництва біометану в Україні, з урахуванням технічної можливості, доступності та обсягів, найбільш вірогідним є використання спеціально вирощеної кукурудзи для свинячого гною, коров'ячого гною, курячого посліду сільськогосподарських підприємств, жому цукрових буряків, рослинних решток основних сільськогосподарських культур, силосу [40].

Для оцінки кількості побічної продукції використовувалися дані Управління національної статистики про загальну кількість тварин в наявності на сільськогосподарських підприємствах станом на березень 2020 року, врожай основних сільськогосподарських культур у 2021 році. При оцінці доцільності виробництва біометану враховувалися літературні дані щодо технічної застосовності збору, частки технологічно доступної біомаси, що обирається для

виробництва біогазу, вмісту сухої речовини та золи, питомого виходу метану на одиницю маси органічної речовини різних видів побічних продуктів.

У розрахунках передбачається, що частка біомаси в поживних рештках (солома, стебла кукурудзи, соняшник), які можуть бути відібрані для виробництва біогазу, становить 30-40% від технічно наявної маси. При цьому зброджена маса з поживних залишків повертається на поле, врівноважуючи потребу в поживних речовинах.

При оцінці можливості використання кукурудзи на силос виходить, що загальна маса кукурудзяного силосу пропорційна загальній масі гною і виробленого гною в співвідношенні 1,5: 1 відповідно. При оцінці площі земель, необхідної для вирощування кукурудзи на силос, ми враховуємо дані статистичних звітів про врожайність кукурудзи за останні роки в розрізі регіонів України.

Загальний розрахунковий потенціал виробництва метану з побічних продуктів та кукурудзяного силосу станом на 2021 рік становив 7,8 млрд nm^3CH_4 на рік, що еквівалентно майже 40% видобутку природного газу в Україні або майже 25% від загального споживання парникових газів у 2020 році.

Майже половину потенціалу для виробництва біогазу може забезпечити використання поживних решток, а ще 35% – вирощування кукурудзи на силос (див. рис. 1.1.) При поєднанні гною та гною потенціал виробництва біогазу з жому цукрових буряків становить лише 4,7%.

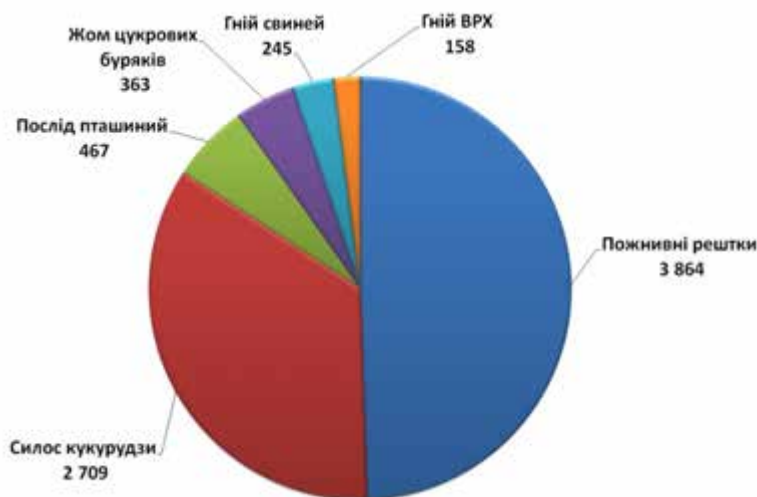


Рис. 1.1. Структура потенціалу виробництва біогазу в Україні (2021 р.), млн $\text{nm}^3\text{CH}_4/\text{рік}$

Серед поживних решток найбільший внесок у потенціал виробництва біогазу роблять солома пшениці (36,4%) та стебла кукурудзи (34,6%). В Україні спостерігається тенденція до збільшення сумарного потенціалу поживних решток, що чітко пов'язано з підвищенням врожайності сільськогосподарських культур. Київська, Черкаська та Полтавська області пропонують загальний потенціал близько 25% (див. рис. 1.2). Найменший потенціал сконцентровано у Закарпатській, Чернівецькій, Рівненській та Івано-Франківській областях.

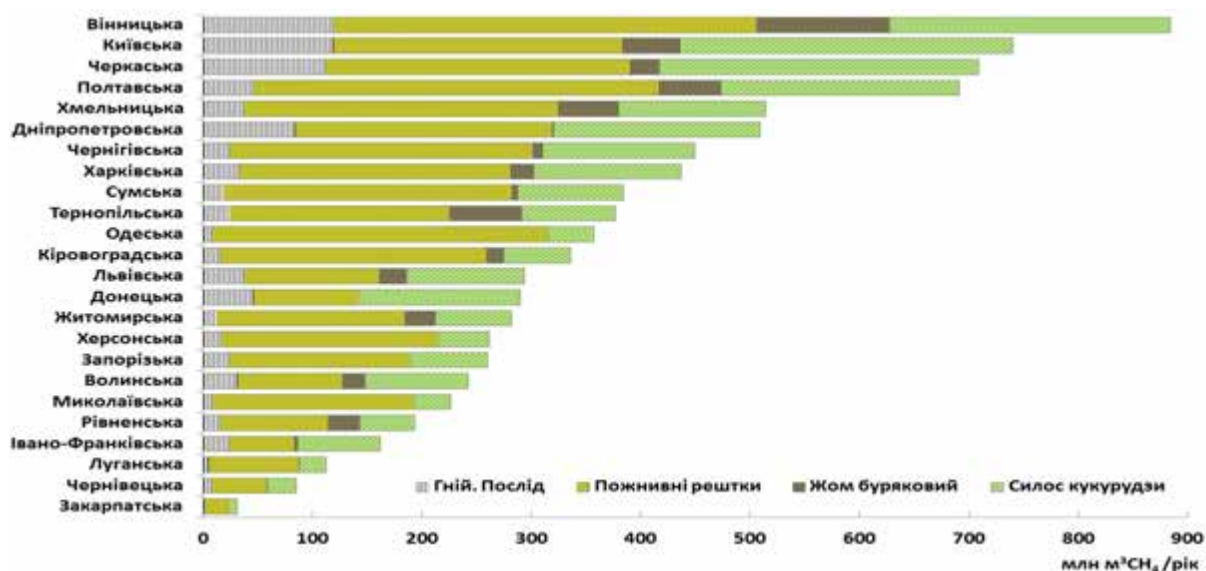


Рис. 1.2. Структура потенціалу виробництва біогазу за регіонами в Україні (2021 рік)

За обсягом поживних решток лідирують Вінницька та Полтавська області, а найменше – у Закарпатській, Чернівецькій та Івано-Франківській областях (див. рис. 1.3).

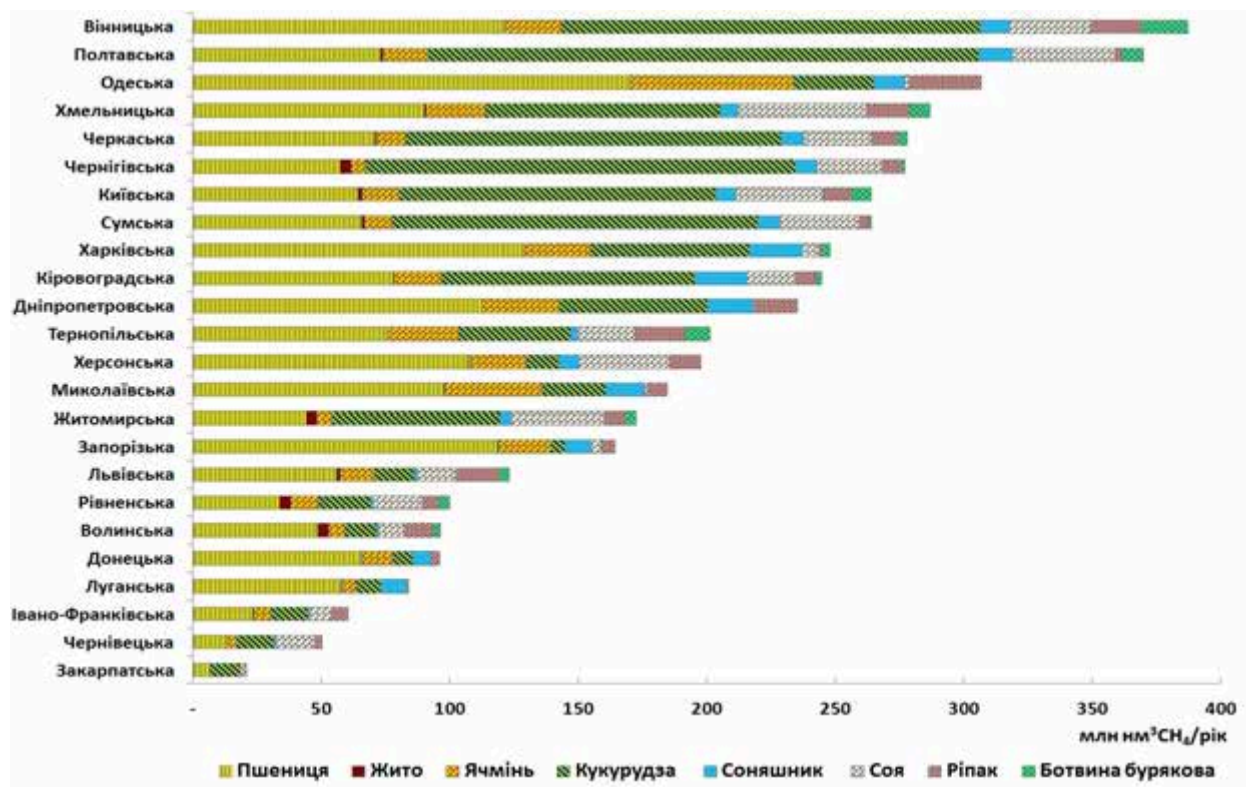


Рис. 1.3. Структура потенціалу виробництва біогазу з поживних решток за регіонами в Україні (2021 рік)

Оціночний потенціал не є верхньою межею, і все ще існує можливість його розширення за рахунок використання інших видів побічної продукції, підвищення врожайності сільськогосподарських культур, збільшення загальної кількості тварин на фермах, залучення більших земельних ділянок для вирощування кукурудзи на силос, а також використання маргінальних земель для вирощування енергетичних культур на біогаз.

Висновки до розділу 1

Біогаз є універсальним і відновлюваним енергоресурсом, що утворюється в результаті анаеробного розкладання органічної сировини і здатен замінити викопні енергоносії у виробництві теплової та електричної енергії. Його використання у когенераційних установках сприяє енергетичній незалежності,

скороченню викидів парникових газів, підвищенню ефективності утилізації органічних відходів і створенню замкнених аграрно-енергетичних циклів.

Первинними джерелами для виробництва біогазу слугують різні види біомаси: гній, послід, силос, залишки рослинництва, стічні води та органічні відходи, серед яких особливо ефективними є сільськогосподарські та агропромислові залишки. В Україні наявний значний енергетичний потенціал виробництва біометану з біомаси – понад 7 млрд nm^3 метану на рік.

Основну частку цього потенціалу забезпечують пожнивні рештки, зокрема солома пшениці та стебла кукурудзи, а також кукурудзяний силос. Найперспективнішими регіонами для розвитку біогазових установок є Київська, Полтавська та Черкаська області.

За сприятливих умов до 2030 року можливо реалізувати понад 800 проектів біоенергетичних установок, що дозволить створити тисячі робочих місць, скоротити викиди CO_2 та зміцнити енергетичну безпеку держави [4].

РОЗДІЛ 2

БІОГАЗОВІ УСТАНОВКИ ДЛЯ ФЕРМЕРСЬКИХ ГОСПОДАРСТВ

2.1. Принцип дії БГУ

Робота біогазових установок базується на біологічних процесах бродіння та розкладання органічної речовини під впливом метаноутворюючих бактерій в анаеробних умовах, які характеризуються відсутністю вільного кисню, високою вологістю та температурою середовища 15–20 °С для психрофільних, 30–40 °С для мезофільних та 50–70 °С для термофільних бактерій.

Анаеробне бродіння здійснюється в закритій ємності – реакторі (метантенку), зазвичай циліндричної форми та розташованого горизонтально або вертикально. Для ефективного бродіння в порожнині реактора необхідно підтримувати постійну температуру відповідно до обраного режиму бродіння: мезофільного або термофільного, та регулярно перемішувати ферментовану сировину.

Слід зазначити, що мезофільний режим вимагає меншого підведення тепла, але розкладання органічної речовини за цієї температури відбувається повільніше та не повністю.

Термофільний метод переробки сировини вимагає більше тепла, має вищу швидкість розкладання, вищий вихід біогазу та є найменш шкідливим для навколишнього середовища. Однак, цей режим дещо складніший у реалізації та управлінні.

Під час процесу ферментації виділяється біогаз, який містить 40–70% метану, 30–60% вуглекислого газу, приблизно 1% сірководню та невелику кількість азоту та водню. Питома теплота згоряння біогазу становить приблизно 22 МДж.

Кількість біогазу, що виробляється в процесі, який зазвичай відбувається за температури 35–37 °С та середнього часу утримання сировини в реакторі 10 днів, становить від 30 до 70 м³ біогазу на тонну сировини на день.

Якщо відома добова вага свіжого гною, то добовий вихід біогазу буде приблизно таким: 1 тонна гною великої рогатої худоби – 4050 м³ біогазу, 1 тонна свинячого гною – 70-80 м³ біогазу, 1 тонна пташиного посліду – 60-70 м³ біогазу, див. **рисунок 2.1**!

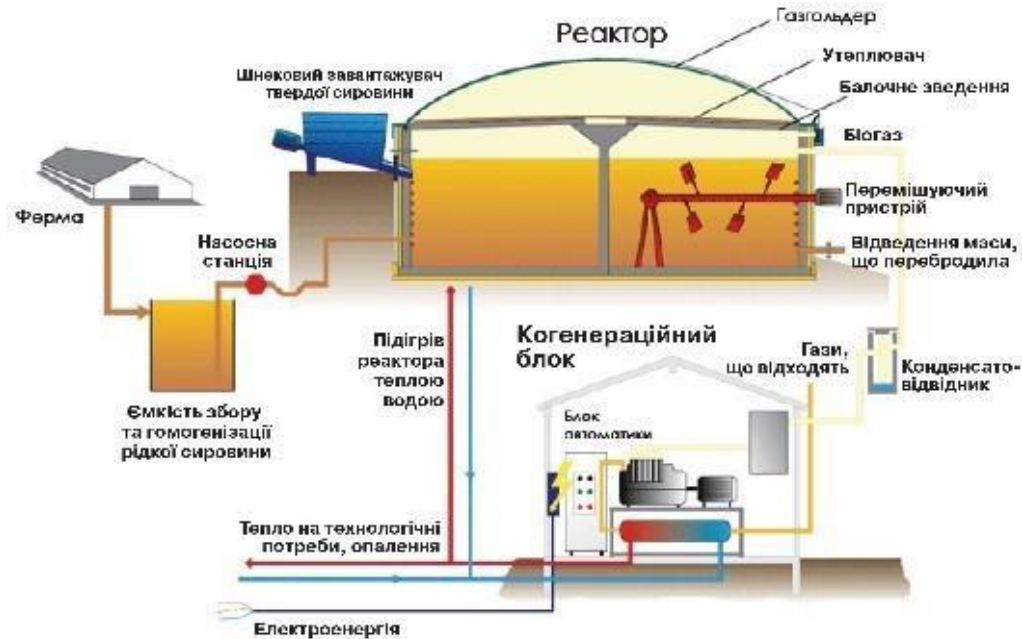


Рис. 2.1. Схема біогазової установки [3]

Основні елементи конструкції:

1. Система зберігання субстрату (біомаси).
2. Модуль зважування та подачі сухого субстрату.
3. Модуль завантаження рідкого субстрату.
4. Ферментатор і доброджувач.
5. Система підігріву субстрату (підтримка температурного режиму).
6. Система масообміну в ферментаторі (механічне перемішування, гідравлічне або барботажне).
7. Газгольдер і газове господарство.
8. Система очищення біогазу.
9. Когенератор.
1. Сепаратор для поділу рідкої та твердої фракції відпрацьованого субстрату (отримання рідкого та твердого органічного добрива).

2. Резервуари для зберігання дигестату (лагуни).
3. Контрольний пункт для операційного управління біогазовою станцією.
4. Лабораторія для контролю характеристик субстрату.
5. Електрощитова.
6. Насосна станція.
7. Санітарні приміщення для персоналу.

2.2. Реактори для біогазових установок

У простих, особливо невеликих біогазових установках, побудованих самостійно, камера ферментації має форму паралелепіпеда (басейна або ями з кришкою). Для підвищення ефективності такий реактор розділений вертикальною стінкою, створюючи основну камеру бродіння та камеру для остаточного бродіння та відстоювання осаду. Однак установки такого типу не дозволяють досягти високого ступеня розкладання субстрату, оскільки практично неможливо забезпечити рівномірне перемішування біомаси, контролювати завантаження робочого об'єму камери та підтримувати час перебування маси в реакторі, що необхідно для отримання максимальної кількості газу.

Типи реакторів біогазових установок, див. рис. 2.2:

- а – циліндричний реактор з верхнім завантаженням;
- б – циліндричний реактор з нижнім завантаженням
- в – циліндричний двосекційний реактор;
- г – похилий реактор;
- д – траншейний реактор з плавальним покриттям;
- е – горизонтальний секційний реактор.

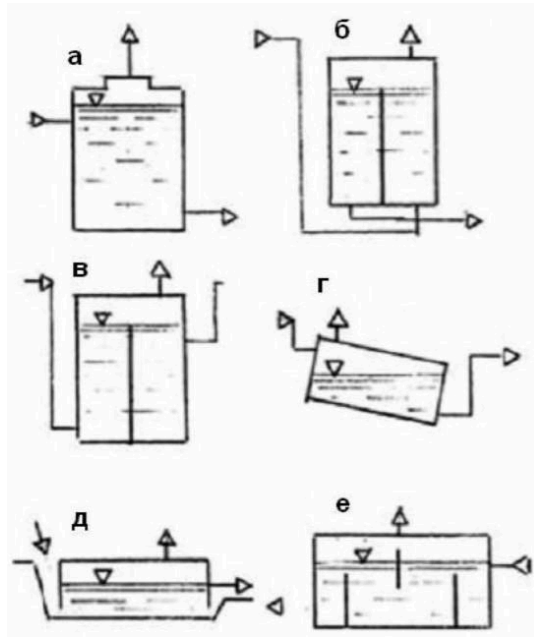


Рис. 2.2. Типи реакторів біогазових установок

Його можна розмістити над землею на фундаменті, закопати в землю або встановити всередині приміщення, де знаходяться тварини. Важливою вимогою до реактора є забезпечення герметичності та корозійної стійкості. Реактор повинен мати люк, який необхідний для проведення періодичних профілактичних робіт та ремонтних робіт усередині реактора. Між кузовом і шиною має бути гумова прокладка або спеціальний герметик.

Головним критерієм при виборі конструкції реактора є можливість її реалізації на практиці та зручність з точки зору обслуговування та експлуатації. Якщо у вас металевий бак достатнього об'єму, необхідно перевірити внутрішню та зовнішню поверхні стінок на наявність раковин, якість зварювання, наявність отворів та інших пошкоджень, які необхідно усунути. Потім ці поверхні необхідно очистити та пофарбувати.

2.3. Механізм завантаження і вивантаження БГУ

1. Робота БГУ передбачає щоденне завантаження сировини та розвантаження ферментованого гною.
2. Найпростішим методом завантаження та розвантаження є переливний

метод, який полягає в тому, що при завантаженні свіжого гною рівень сировини в реакторі підвищується, і через підключену до нього переливну трубу така ж кількість ферментованої сировини вивантажується в збірний резервуар.

3. Для забезпечення герметичності реактора під час завантаження та розвантаження вхідний та вихідний патрубки розташовують під кутом до вертикальної осі таким чином, щоб нижній кінець патрубка був розташований нижче рівня рідини. Це створює гідравлічне ущільнення, яке запобігає потраплянню повітря в реактор.

4. Для рівномірного розподілу свіжої сировини по всьому об'єму реактора та ефективного видалення обробленого шламу завантажувальні та розвантажувальні труби розташовані на протилежних сторонах реактора.

5. Маса, що завантажується, може містити тверді частинки досить великого розміру, такі як підстилковий матеріал (солома, тирса), стебла рослин, а також сторонні предмети. Щоб запобігти засміченню труб, їх діаметр повинен бути не менше 300 мм. Завантажувальна труба має лійку для попередньої підготовки сировини.

6. Ферментована маса автоматично видаляється з реактора шляхом переливу через вихідну трубу при завантаженні свіжої сировини. З реактора ферментована маса потрапляє в спеціальну ємність, яка служить для тимчасового зберігання обробленої сировини. Обидва контейнери можуть бути виготовлені з бетону або металу.

7. Інший спосіб завантаження – пневматичний, коли підготовлена сировина завантажується в реактор під тиском біогазу.

2.4. Підтримання температури сировини

Найпоширенішим варіантом є система опалення та гарячого водопостачання, яка працює на біогазі, електроенергії та твердому паливі (рис. 2.2). Як нагрівальні елементи використовуються теплообмінники у вигляді змійовиків, секцій радіаторів або паралельно зварених труб, де теплоносієм

виступає гаряча вода з температурою приблизно 60 °С. Вищі температури збільшують ризик прилипання зважених частинок до поверхні теплообмінника.

Рекомендується розміщувати теплообмінники в робочій зоні змішувального вузла, що допомагає уникнути осадження твердих частинок на зовнішній поверхні.

Існує чотири категорії біомаси для використання в енергії:

- лісова біомаса;
- енергетичні установки;
- сільськогосподарські відходи;
- органічні відходи.

Під час встановлення системи опалення важливо забезпечити необхідні умови для природної циркуляції рідини в системі. Для цього необхідно забезпечити подачу гарячої води у верхню точку системи та повернення охолодженої води в нижню точку, див. рис. 2.3.

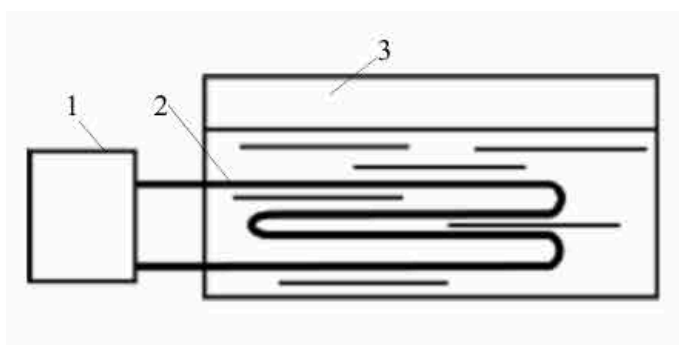


Рис. 2.3. Підігрів сировини за допомогою водонагрівного котла

1 – котел; 2 – водонагрівач; 3 – ємність з водою.

На трубопроводах опалення повинні бути встановлені вентилі для випуску повітря з верхніх точок, а на системі підігріву устаткування розширювальний бачок для компенсації зміни об'єму води. Для контролю температури всередині реактора повинен бути встановлений термометр чи термостат.

2.5. Система відбору біогазу з БГУ

Система включає газорозподільні трубопроводи, збірник конденсату, запобіжний клапан, газовий акумулятор (газовий бак) та споживачі газу (варильні поверхні, водонагрівачі, двигуни внутрішнього згоряння тощо). Систему встановлюють лише після того, як реактор встановлено в робоче положення. Система повинна бути виготовлена зі сталевих труб із внутрішнім діаметром не менше 15 мм та зварними з'єднаннями. Для відключення газової системи під час запуску реактора обов'язково необхідно встановити напівповоротний клапан, див. рис. 2.4.

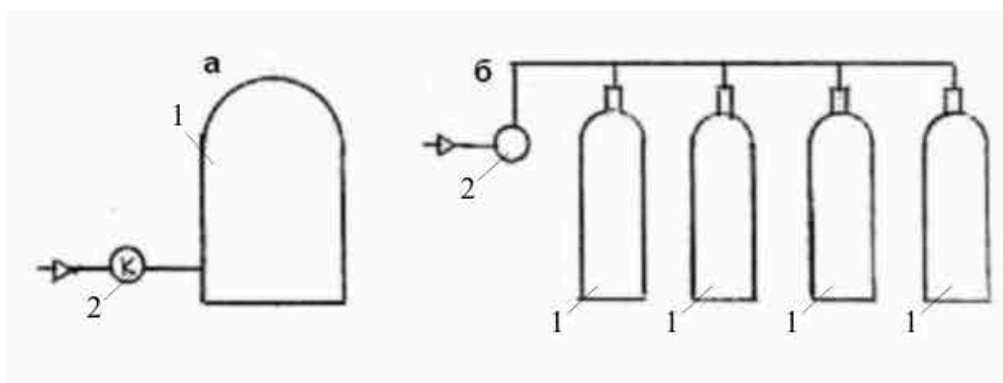


Рис. 2.4. Збір і зберігання біогазу: а) газгольдер; б) кілька газгольдерів
1 – газгольдер; 2 – запобіжний клапан

Отвір для вилучення біогазу з реактора має бути розташований у верхній частині. Відразу після збірника конденсату встановлюється запобіжний клапан, заповнений у вигляді ємності водою, що забезпечує проходження газу в одному напрямку.

У середині резервуара вхідний кінець трубопроводу опущений у воду, а вихідний розміщується над водою. Це запобігає потраплянню атмосферного повітря в реактор через газову систему та уникає зворотного спалаху через систему газорозподілу.

Клапан необхідно встановити перед відгалуженням системи у напрямку потоку газу, щоб весь вироблений біогаз проходив через клапан.

Спосіб зберігання біогазу залежить від мети, для якої біогаз буде використовуватися. Якщо в пальниках котлів з двигуном внутрішнього згорання є пряме горіння, великі газові резервуари не потрібні. У цьому випадку вони необхідні для згладжування нерівномірних викидів газів і тим самим покращення умов горіння.

У невеликих біогазових установках великі відсіки автомобілів або тракторів можуть використовуватися як резервуари для зберігання біогазу (газові контейнери). Для зберігання великої кількості біогазу використовуються сталеві балони малого та середнього розміру, розраховані на тиск до 200 кг/см², або інші ємності з достатньою товщиною та міцністю стінок. Газ закачується в такі газові балони за допомогою компресора.

Трубопроводи для подачі біогазу від заводу до споживачів повинні бути захищені від пошкоджень. Необхідно використовувати якісні оцинковані або поліетиленові труби та, по можливості, прокладати їх під землею на глибину не менше 25 см.

Щоб зменшити ризик витоку газу, необхідно мінімізувати використання роз'ємних з'єднань труб. Витік газу можна перевірити за допомогою мильного розчину.

Газопровід має бути обладнаний запобіжним клапаном, який випускає біогаз в атмосферу при підвищенні тиску понад 0,03–0,035 МПа (0,3–0,35 кг/см²).

Окрім накопичення біогазу в газовому контейнері, його надлишки можна спалювати. Спалювання невикористаного газу запобігає забрудненню атмосфери метаном. Для цього можна використовувати найпростіший пристрій для пальника, встановлений подалі від предметів і конструкцій, що спалюються.

2.6. Механізм перемішування сировини в біогазових установках

Перемішування сировини в реакторі підвищує ефективність роботи БГУ, запобігає осадженню твердих частинок на теплообмінники і дно реактора, див.

рис. 2.5.

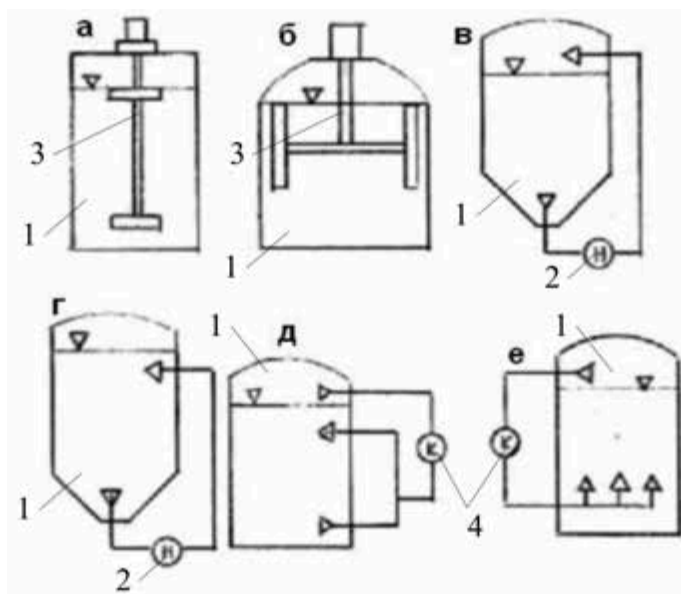


Рис. 2.5. Способи перемішування сировини: а, б – механічна мішалка; в, г – перемішування за допомогою насоса; д – перемішування біогазом і рідиною; е – перемішування біогазом.

1- реактор; 2 – насос; 3- мішалка; 4- запобіжний клапан

Перемішування сировини в реакторі підвищує ефективність роботи БГУ, запобігає осадженню твердих частинок на теплообмінники і дно реактора. Перешкоджає утворенню кірки на поверхні.

Перемішування може бути постійним або періодичним в залежності від режиму роботи реактора. Варіанти перемішування для вертикальних і горизонтальних реакторів, див. рис. 2.6.

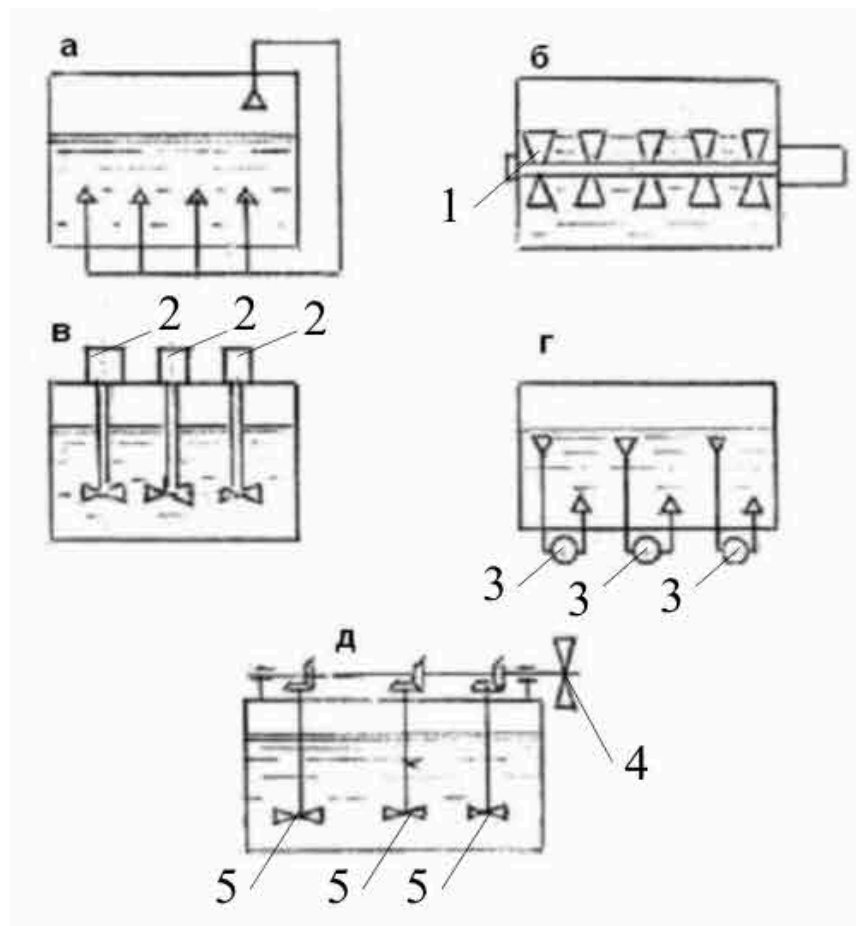


Рис. 2.6. Способи перемішування сировини в горизонтальних реакторах:

- а) перемішування біогазом; б) перемішування механічними лапастими;
- в) перемішування механічними мішалками з електродвигунами;
- г) перемішування за допомогою насоса; д) перемішування механічними мішалками від вітряного двигуна.

1- механічні лопасті; 2 – механічні мішалки з електродвигунами; 3 – насоси; 4 – вітряний двигун; 5 – механічні мішалки.

Змішування можна по суті звести до таких методів: механічні змішувачі, біогаз (який пропускається через товщу сировини) та перекачування сировини з верхньої зони в нижню. Робочими елементами механічних змішувачів є шнеки, лопаті та стрижні. Вони можуть працювати вручну, за допомогою електродвигунів або пневматичного двигуна.

Ручні механічні змішувачі найпростіші у виготовленні та експлуатації, якщо їх використовувати в реакторах на невеликих заводах з низьким

виробництвом біогазу. Конструктивно вони являють собою горизонтально або вертикально встановлений вал усередині реактора, паралельний або співвісний з центральною віссю. До валу кріпляться лопаті або інші елементи зі спіральною поверхнею, які забезпечують переміщення сировини, збагаченої метановими бактеріями, від місця розвантаження до місця завантаження. Це дозволяє збільшити швидкість утворення метану та скоротити час перебування сировини в реакторі.

Змішування шляхом пропускання біогазу через товщу сировини дає хороші результати лише в тому випадку, якщо конструкція біогазової установки включає компресор, який перекачує вироблений біогаз у газовий контейнер, з якого частина стиснутого біогазу періодично направляється для змішування сировини в реакторі. Схеми для біогазових установок.

Біогазова установка (див. рис. 2.7) призначена для невеликих фермерських господарств. Об'єм реактора становить від 3 до 10 м³, розрахований на переробку 50–200 кг добрив на добу. Установка містить мінімум компонентів для забезпечення процесу обробки гною та виробництва біодобрива і біогазу. Біогаз, що виробляється заводом, негайно направляється для використання в газових приладах.

Схема найпростішої біогазової установки з ручним завантаженням без перемішування і без підігріву сировини в реакторі:

1. реактор;
2. бункер завантаження;
3. люк для доступу в реактор;
4. водяний затвор;
5. вивантажувальна труба;
6. відвід біогазу.

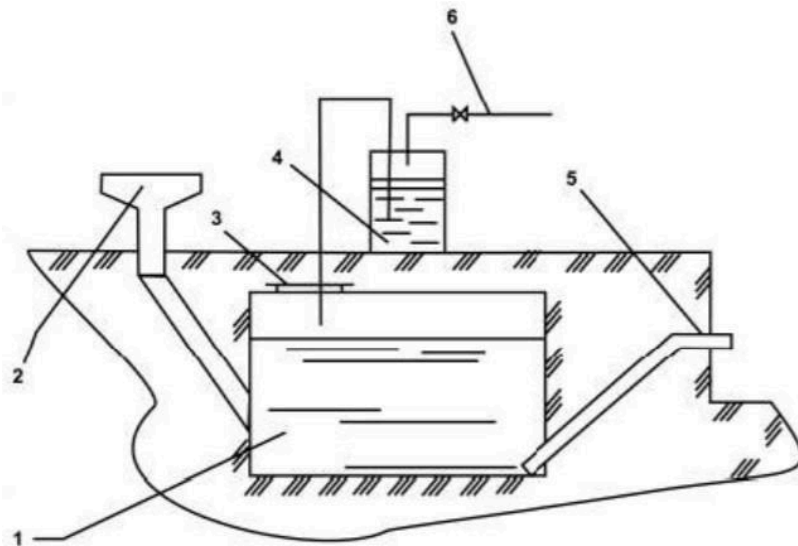


Рис. 2.7. Схема найпростішої біогазової установки з ручним завантаженням без перемішування і без підігріву сировини в реакторі

Перероблена маса видаляється з реактора через вивантажувальну трубу в момент завантаження чергової порції сировини або за рахунок тиску біогазу. Зброджена маса, яка вивантажується, потрапляє в ємність для тимчасового зберігання, об'єм якої повинна бути не менший, ніж об'єм реактора.

Реактор біогазової установки підігрівається за допомогою водонагрівального котла, який працює на біогазі, що виробляється. Решта біогазу використовується безпосередньо в газових приладах.

Схема біогазової установки з ручним завантаженням, перемішуванням і підігрівом сировини в реакторі, див. рис 2.8:

1. водонагрівальний котел;
2. бункер завантаження;
3. перемішувальний пристрій;
4. реактор;
5. водяний затвор;
6. відвід біогазу;
7. вивантажувальний бункер;
8. ємність для зберігання біодобрив;
9. вивантажувальна труба.

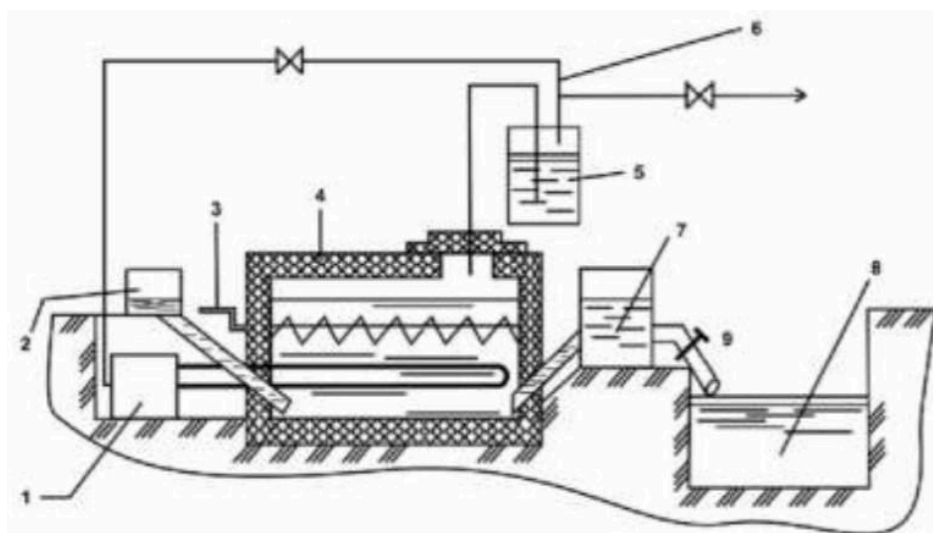


Рис. 2.8. Схема біогазової установки з ручним завантаженням, перемішуванням і підігрівом сировини в реакторі.

Висновки до розділу 2

Біогазові установки для фермерських господарств функціонують на основі анаеробного бродіння органічної сировини, що відбувається в герметичних реакторах при чітко контрольованій температурі та вологості. Основними режимами роботи є мезофільний і термофільний, кожен з яких має свої переваги залежно від цілей і можливостей господарства. Типи реакторів можуть варіюватися за формою, кількістю секцій і способом розміщення, проте ключовими критеріями є герметичність, стійкість до корозії та зручність обслуговування. Завантаження і вивантаження сировини зазвичай здійснюється методом переливу, з використанням гідравлічного затвора, що запобігає проникненню повітря.

Підтримання стабільної температури забезпечується системою підігріву, часто на основі котлів, що працюють на біогазі, а для запобігання осадженню твердих частинок теплообмінники розміщуються в зоні перемішування. Відбір і зберігання біогазу здійснюється через систему трубопроводів, конденсатозбірників, запобіжних клапанів і газгольдерів, які забезпечують безпечне транспортування газу до споживачів.

Перемішування сировини відіграє важливу роль у рівномірному розподілі бактерій та підтриманні активності ферментації й може здійснюватися механічними, гідравлічними чи пневматичними засобами. Залежно від масштабу господарства, біогазові установки можуть мати різну складність – від найпростіших ручних систем до автоматизованих комплексів із підігрівом і перемішуванням, що забезпечує гнучкість і адаптивність технології до локальних потреб.

РОЗДІЛ 3

СУЧАСНІ БІОТЕХНОЛОГІЇ НАПРЯМКУ “SMART FARMING”

3.1. Опис напрямку “Smart Farming”

Розумне сільське господарство (Smart Farming) – це комбіноване застосування сучасних інформаційно-комунікаційних технологій у сільськогосподарському секторі для оптимізації управління культурами, зниження витрат та збереження навколишнього середовища. Використання інформаційних систем управління фермою (FMIS) підтримує автоматизований збір, обробку та прийняття рішень для досягнення цих цілей. Зі збільшенням збору сільськогосподарських даних все більше FMIS інтегрують технологію ІОТ для покращення точного управління сільським господарством та бізнес-цілей.

У той час як системи ІОТ для сільського господарства часто мають різні функції та вимоги до якості, загальні рамки можна застосовувати до будь-якого типу інтелектуальних технологій ведення сільського господарства. Зростання ринку ІОТ у сільському господарстві багато в чому пояснюється великомасштабним розгортанням мережевої інфраструктури довгострокової еволюції, впровадженням рішень для управління та моніторингу обладнання, а також еволюцією нових бізнес-моделей операторами зв'язку. Дані, отримані від машини до машини, також використовуються для моніторингу сільськогосподарських культур та прогнозування погоди за допомогою інтелектуальних метеостанцій.

В умовах інтенсивної міграції міст необхідність інтелектуального та простого збору даних змусила деякі уряди прийняти правила для забезпечення моніторингу ферм із використанням новітніх технологій. Smart Farming господарство відноситься до використання технологічних інновацій та методів розумного землеробства у стійкому сільськогосподарському виробництві. По суті інтелектуальне сільське господарство полягає у використанні точного

землеробства для підвищення ефективності та підвищення продуктивності складних систем ведення сільського господарства.

Це може включати такі речі, як інтелектуальна система сільського господарства, що використовує технологію ІОТ для моніторингу стану здоров'я сільськогосподарських культур або використання системного аналізу великих даних для оптимізації показників застосування добрив, див. рис. 3.1:

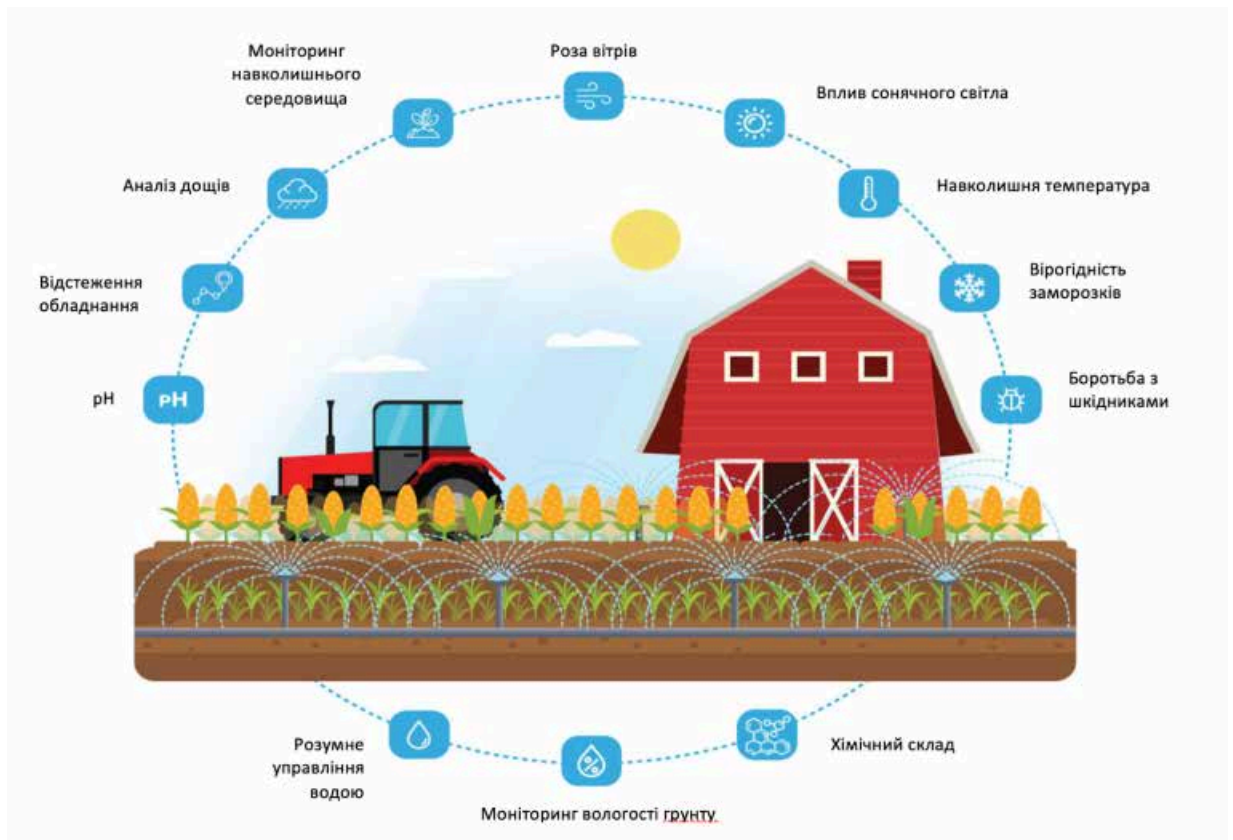


Рис. 3.1. Схема ідеї системи розумної ферми

Важливість розумного землеробства неможливо переоцінити. Оскільки населення світу, за прогнозами, досягне 9,8 мільярда осіб до 2050 року, існує нагальна потреба у більш стійкій сільськогосподарській практиці, яка здатна максимізувати врожайність при меншому використанні людських ресурсів.

Розумне сільське господарство надає одне з таких рішень, допомагаючи фермерам розробляти ефективніші методи виробництва продуктів харчування, адаптовані до конкретних потреб та умов населення світу. Будь то використання тракторів з підтримкою GPS, інструментів підтримки прийняття рішень на

основі даних або інших датчиків, що використовуються у сільському господарстві, інтелектуальне сільське господарство на основі ІОТ допомагає трансформувати сільське господарство та прокласти шлях до більш стійкого майбутнього.

Поняття ІОТ у сільському господарстві. Термін ІОТ(Internet of Things) у сільському господарстві відноситься до використання підключених пристроїв та передових технологій у практиці точного землеробства. Ці інструменти можуть включати такі речі, як інтелектуальне землеробство або точне прикладне обладнання, а також системи аналізу великих даних, які збирають і аналізують інформацію про хвороби сільськогосподарських культур, якість ґрунту, погодні умови, умови навколишнього середовища, точне тваринництво і багато іншого.

Надаючи фермерам інформацію про свої сфери в режимі реального часу, технологія ІОТ у сільському господарстві допомагає оптимізувати управління ресурсами та підвищити загальну продуктивність інтелектуальної ферми.

За допомогою взаємопов'язаних технологій поля розглянули кілька питань, пов'язаних із діяльністю ферми та викидами парникових газів. Незалежно від того, чи є ви визнаним фермером, який бажає вивести свої сільськогосподарські процеси на новий рівень, або просто хочете дізнатися більше про цю захоплюючу область, рішення ІОТ для сільського господарства - це те, за чим повинні стежити всі виробники.

Важливість ІОТ у сільському господарстві. Потреба ІОТ у сільськогосподарській галузі незаперечна, оскільки за інтелектуальних сільськогосподарських технологій управління фермою здається більш продуктивним і організованим. Оскільки використання датчиків ІОТ у сільському господарстві продовжує зростати, ясно, що революція інтелектуального землеробства ближча, ніж очікувалося.

Вплив ІОТ на сільське господарство досяг рівня, коли бізнес-процес більше не розглядається без технологій ІОТ.

ІОТ та інтелектуальне сільське господарство можуть допомогти фермерам досягти своїх виробничих цілей. Зі зростанням використання підключених

пристроїв фермери тепер можуть збирати дані про вологість ґрунту та здоров'я сільськогосподарських культур або навіть здоров'я стада одним натисканням кнопки.

Однак передача даних між сільськогосподарськими об'єктами є проблемою, оскільки вона має бути стабільною та надійною для ефективних сільськогосподарських процесів. В даний час фермери використовують різні протоколи підключення і не можуть покладатися на єдине рішення для вирішення цієї проблеми. Крім того, застосовуючи робототехніку та інтелектуальний аналіз у польових умовах, фермери можуть використовувати сторожові супутники для надання гіперспектральних зображень і не тільки для вирішення, а й прогнозування проблем, що виникають як для одного заводу, так і для всієї ферми.

Гіперспектральні зображення разом із системами геопозиціонування мають реальний потенціал для кращого прийняття рішень у сільськогосподарській галузі та навіть можуть підвищити економічну віддачу. З кількома способами застосування точного землеробства та використанням аерофотознімків необхідна врожайність та форма більше не будуть проблемою.

Маючи систему підтримки прийняття рішень на основі ІОТ, фермери зможуть легко виробляти вміст органічних речовин, полегшити селекцію рослин і, можливо, навіть почати нові генетичні революції, які зменшать вплив виробництва на навколишнє середовище, оптимізуючи прибутковість. За допомогою цих трьох взаємопов'язаних технологічних областей фермери матимуть точно вимірювальні зміни для максимізації операційної ефективності та сільськогосподарського виробництва.

3.2. Використання техніки напрямку “Smart Farming” для підвищення ефективності роботи біогазових когенераційних установок

Створення демонстраційного майданчика малої розумної ферми. Для того, щоб продемонструвати найкращу модель практики для розвитку розумної

ферми зеленої енергії в регіоні АТЕС, на експериментальній фермі в Китайському Тайбеї було створено невеликий демонстраційний майданчик (випробувальну базу). Місцем є експериментальна тваринницька ферма, розташована в місті Тайчжун.

Загальна площа становить близько 7330 га. Це завдання полягає в тому, щоб інтегрувати передові технології перетворення енергії та побудувати розумну зелену ферму для наступного покоління. Таким чином, завдання полягають у створенні модульної системи та досягненні кінцевої мети передачі та копіювання технологій для їх експорту. Для досягнення мети необхідно охопити три ключові теми дослідження, які виконуються окремо на початкових етапах, після перевірки окремої функції, а потім інтегруються одна з одною, щоб нарешті побудувати самоефективну зелену ферму.

Таким чином, енергія біомаси та твердий вуглець із біоджерел, вироблений зеленою фермою, переробляється на ферму для повторного використання разом із виробленою сонячною енергією, створюючи екологічно чисту ферму нового покоління. Це завдання поєднує в собі три згадані вище теми розвитку, які ефективно зменшують споживання електроенергії, використовують відновлювані джерела енергії та створюють зелене середовище, створюючи інтегровану систему розумної зеленої ферми наступного покоління, інноваційну бізнес-модель та промислову ефективність. Інноваційна стратегія розвитку, спрямована на підвищення конкурентоспроможності АТЕС у виробництві каркасів нового покоління, виконана та попередньо перевірена.

Технологія перетворення енергії мобільних відходів сільськогосподарських угідь. Завдання полягає в тому, щоб побудувати маломасштабну мобільну низхідну енергосистему на основі газифікації біомаси з низхідним потоком, використовуючи відходи птахівництва та тваринництва та відходи сільського господарства та тваринництва для відновлення енергії, щоб продемонструвати використання електроенергії для пасовищ, а також виробництво гаряче повітря, його можна використовувати в тепличних приміщеннях. З іншого боку, відходи

сільського господарства та тваринництва будуть перетворені на відходи біовугілля, які повернуться в ґрунт для стимулювання росту рослин для досягнення цілей сталого розвитку безвідходної зеленої ферми.

Максимальна вихідна потужність цієї маломасштабної мобільної енергетичної системи з низхідним потоком біомаси на основі газифікації становить 10 кВт. Система включає газифікатор низхідного потоку, теплообмінник, фільтр синтетичного газу, генератор і мобільне шасі підшипників, як показано на рис. 3.2. Газогенератор був виготовлений з нержавіючої сталі SUS310 товщиною 6 мм, покритої керамічним волокном, щоб зменшити втрати тепла. Газогенератор має висоту 100 см і діаметр 30 см, див. рис. 3.2:



Рис. 3.2. Маломасштабна мобільна енергосистема на основі газифікації біомаси з низхідним потоком електроенергії потужністю 10 кВт [19]

Коли система газифікації електроенергії працює, біомаса подається в газифікатор. Після газифікації біомаси синтез-газ залишає газифікатор і проходить через теплообмінник. Крім того, теплообмінник також може регулювати свої трубопроводи, щоб попередньо нагріте повітря могло надходити в теплицю для рослин. Після теплообміну синтез-газ проходить через фільтр для видалення пилу та смоли синтез-газу, і він надходить у

генератор для виробництва електроенергії. Крім того, розробка роботи з аналізу біовугілля щодо викидів парникових газів у ґрунті в лабораторії повинна підготувати біовугілля.

Бізнес-модуль зеленого сільського господарства та тваринництва має переваги енергозбереження та зменшення вуглекислого газу в навколишньому середовищі, зменшує кількість викидів органічних відходів, вирощування орхідей і поглинання вуглекислого газу є корисними для захисту навколишнього середовища.

Висновки до розділу 3

Smart Farming – це сучасний підхід до агровиробництва, що базується на використанні цифрових технологій, зокрема IoT, великих даних, геопозиціонування та автоматизованих систем управління. Цей підхід забезпечує точне землеробство, ефективне використання ресурсів і зменшення впливу на довкілля, дозволяючи фермерам у реальному часі контролювати стан ґрунтів, культур і тварин. Інтеграція таких систем є відповіддю на глобальний запит на стале виробництво продовольства в умовах зростання населення і потреб у зниженні викидів парникових газів. Застосування Smart Farming у біогазових когенераційних установках дозволяє підвищити їхню ефективність за рахунок автоматизації процесів, точного контролю над витратами енергії та використанням ресурсів.

Демонстраційні проекти показують перспективність створення маломасштабних мобільних енергетичних систем на базі біомаси, які не лише генерують електроенергію та тепло, а й перетворюють органічні залишки на біовугілля для підвищення родючості ґрунтів. Така модель створює замкнуту екосистему з енергоефективною інфраструктурою, що поєднує біогазову генерацію, сонячну енергію, аграрне виробництво й переробку відходів, утворюючи інноваційний бізнес-модуль сталого сільського господарства нового покоління.

РОЗДІЛ 4

СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ МЕТОДІВ ЗБРОДЖЕННЯ

4.1. Оптимізація технологічних процесів у біогазовій установці

Дослідження методів збродження субстрату проводиться на базі фермерського господарства “ЛІДЕР-АГРО” Херсонської обл., Білозерський р-н, село Садове. Щороку на 10 га овочевих теплиць, постачається 25 тис. МВт·год теплової енергії. Це відновлене тепло доповнює 120 тис. МВт·год електроенергії, яка виробляється шляхом спалювання біогазу, що утворюється в результаті збродження 192 тис. т відходів.

Теплова енергія, що постачається, вдвічі зменшує рахунки власника теплиць за обігрів підприємства. Сприятливі умови дали змогу фермеру розширити площі до 10 га і виробляти 6000 т томатів на рік. Фермер використовує збродження відходів томатів та коров'ячого гною для виробництва електроенергії та тепла: тепло, що виділяється при спалюванні відходів у печах, йде на виробництво електроенергії за допомогою турбогенератора. Починаючи з 2016 року, низькотемпературна енергія, яка залишається після горіння, відновлюється для подачі тепла в овочеві теплиці, побудовані поруч з майданчиком, а не розсіюється в атмосфері.

Анаеробне збродження є альтернативою для зменшення проблем забруднення, які можуть бути спричинені зберіганням відходів на відкритому повітрі, таких як гній та рослинні залишки; Крім того, це варіант отримання енергії шляхом виробництва біогазового палива.

Метою даного дослідження була оцінка спільного бродіння коров'ячого гною з томатними залишками. Була використана повністю рандомізована схема з розподілом факторів 2×2 , з двома рівнями гною (20 і 50%) і двома рівнями початкового рН (6,8 і 7,5). Було встановлено, що при доведенні початкового рН до 7,5 з використанням 20 або 50% гною сумарне виробництво біогазу і метану збільшилося вдвічі в порівнянні з тим, що було отримано в реакторах, де

початковий рН становив 6,8. У реакторах, де використовувалося 50% гною і 50% залишків томатів, було досягнуто вмісту метану 45%, що є мінімальним показником для використання в якості палива; Використовуючи 20% гною і 80% залишків томатів, вироблялося 35-37% метану. Співвідношення гною та залишків томатів у співвідношенні 50:50 з початковим рівнем рН 7,5 виявилось найкращою системою для виробництва біогазового палива. Отриманий загальний дигестат не показав фітотоксичності в тесті на проростання насіння салату, а концентрації коліформних бактерій і сальмонел були нижчими за значення, зазначені в стандарті NOM 004-SEMARNAT.

Помідор (*Solanum lycopersicum*L.) в даний час споживається, можливо, по всій планеті. Промислове виробництво томатних соусів та препаратів, а також надлишок або псування врожаю призводять до утворення тон томатних відходів, що може стати логістичною та екологічною проблемою. Наприклад, Європейський Союз виробляє 300 мільйонів тон томатних відходів щороку, тоді як лише Флорида виробляє 400 000 тон на рік.

Метою даної роботи була оцінка спільної переробки коров'ячого гною з поживними залишками томатів для виробництва біогазу з вмістом метану не менше 45% - мінімально необхідного для його горючості.

4.2. Матеріали та методи експерименту

20 кг свіжого гною великої рогатої худоби було отримано з молочної ферми, розташованої в Херсонській області. Звичайним раціоном тварин було свіже пасовище.

Відходи врожаю томатів були отримані з теплиць. Після того, як вирощувач томатів збирає врожай, він дає рослині висохнути, а потім зрізає його і складає цей матеріал. З цієї купи було зібрано 20 кг, що складаються на 45% з листя, на 45% зі стебел і на 10% з помідорів, які не були продані, оскільки не відповідали вимогам якості. Поживні залишки подрібнювали і просівали

через сітчасте сито 5 мм. У таблиці 4.1. представлені аналізи використаного гною і залишків томатів.

Таблиця 4.1

Дослідження виміряних властивостей коров'ячого гною та поживних залишків томатів

	Загальна кількість сухих речовин (%)	Леткі тверді речовини (%)	Початковий рівень рН	Співвідношення C/N
Гній великої рогатої худоби	20.65	17.30	6.71	12.70
Поживні залишки томатів	21.15	18.25	6.91	19.60

Для того щоб довести співвідношення C/N до 20/1, використовувався один кілограм соснової тирси; Для попередньої обробки її зберігали в трилітровому чорному поліетиленовому пакеті протягом двох тижнів при вологості 70% і температурі 25 ± 5 °C.

Анаеробне співзброджування проводилося в трилітрових пластикових реакторах (рис. 1) з робочим об'ємом 2,4 літра і загальним вмістом сухих речовин 10% в перерахунку на суху речовину. Кожен реактор був оснащений випуском газу у верхній частині та випуском рідини внизу для відбору проб. Після заповнення реакторів протягом 5 хвилин через них продували азот для видалення розчиненого кисню. Реактори були герметично закриті і витримані протягом 75 діб при температурі 30 °C, див. рис. 4.1:



Рис. 4.1. Реактор, який використовується для спільного бродіння коров'ячого гною і залишків томатів.

Процес анаеробного зброджування біогазового палива оцінювали за допомогою двох процесів спільного зброджування:

- 1) з використанням 80% залишків врожаю томатів з 20% коров'ячого гною;
- 2) з використанням 50% залишків врожаю томатів з 50% гною.

Є звіти, наприклад, що вказує на те, що при спільному бродінні сумішей, що містять рівну кількість субстратів, утворюється найбільша кількість метану в порівнянні з використанням окремих субстратів. Показано, що спільне розщеплення здійснюється за допомогою сумішей від 10 до 50% від маси різних субстратів.

Кислотність вихідних сумішей обох процесів становив $pH=6,8$. Оскільки рекомендований рівень pH для стимуляції метаногенезу становить від 6,7 до 7,5, а при значеннях pH нижче 6,7 процес гальмується, виробництво біогазу оцінювали за рівнем pH сумішей та шляхом коригування початкового рівня pH . 7.5.

Характеристики сумішей різних обробок, виміряні на початку процесу травлення, наведені в Таблиці 4.2. Нижче наведені параметри, виміряні для біогазу та дигестату.

Таблиця 4.2

Дослідження виміряних властивостей коров'ячого гною та поживних залишків томатів

	Гній (%)	Залишки врожаю томатів (%)	Леткі тверді речовини (%)	Початковий рівень рН	Співвідношення C/N
Б20	20	80	10	7,28	6,8
Б20-1	20	80	10	7,28	7,8
Б50	50	50	10	6,8	6,8
Б50-1	50	50	10	6,58	7,5

* Початковий рівень рН було скориговано до 7,5

Кількісне визначення метану в біогазі. Визначення метану та діоксиду вуглецю в біогазі проводили методом газової хроматографії. Використовувалося обладнання Hewlett Packard Model 6890 (США) з детектором теплопровідності (TCD) і капілярною колонкою GS-Carbon Plot, в якості газу-носія використовувався азот. Використовувалися такі параметри: детектор при 250 °С, інжектор при 250 °С, початкова температура печі при 30 °С з кроком 50 °С в хвилину до 250 °С. В якості стандартного палива використовувався природний газ.

Фізико-хімічні характеристики дигестату. Були проведені наступні аналізи стічних вод:

1. рН вимірювали за допомогою рН-метра марки Orion, модель 410 А, відповідно до мексиканського стандарту NMX-AA-008-SCFI-2016.
2. Піч Felisa, модель FE-131D, використовувалася для вимірювання вологості, загальної кількості твердих речовин і летких речовин відповідно до мексиканського стандарту NMX-AA-034-SCFI-2001.
3. Співвідношення вуглецю та азоту (C/N) визначали за допомогою елементного аналізатора Perkin Elmer 2400 CHN (США), як зазначено.

4. Леткі жирні кислоти (ВФА) (оцтова, пропіонова, масляна, ізомасляна та валеріанова кислоти) визначали на газовому хроматографі Hewlett Packard Model 7240, оснащеному детектором іонізації полум'я відповідно до методики.

5. Тест на фітотоксичність був проведений з використанням насіння салату..

6. Кількісне визначення коліформ і *сальмонел*. Вона була проведена відповідно до положень офіційного мексиканського стандарту NOM-004-SEMARNAT-2002.

4.3. Експериментальний дизайн та статистичний аналіз

Експериментальний дизайн був повністю рандомізованим, з розподілом факторів (2×2), з трьома повтореннями досліду. Факторами були два рівні внесення гною (20 і 50% в перерахунку на суху речовину) і два рівні рН (6,8 і 7,5). У всіх випадках співвідношення C/N було скориговано до 20. Дані організовувалися щотижня, а середнє значення порівнювалося за допомогою процедури SAS/STAT PROC GLM і тест Тьюкі ($p \leq 0,05$), щоб визначити, чи були суттєві відмінності між варіантами лікування.

Характеристика сумішей для зброджування. У таблицях 4.1. і 4.2. Наведено характеристику коров'ячого гною, залишків томатів і сумішей, що подаються біореакторами. Ця характеристика важлива, тому що існує ряд параметрів, які необхідно враховувати для стимуляції вироблення метану. Було визначено, що відношення летких твердих речовин (VOL) до загальної кількості сухих речовин (OL) усіх сумішей становить приблизно 70% (4.2). Зміст летких сухих речовин має важливе значення, оскільки воно вважається першим показником здатності субстратів утворювати метан; Вміст СВ понад 50% підходить для анаеробного зброджування, яке може здійснюватися з отриманням метану.

Рівень рН корму впливає на ріст метаногенних мікроорганізмів і впливає на дисоціацію деяких важливих компонентів для анаеробних процесів травлення, таких як аміак, органічні кислоти і сульфід. При рН від 6,7 до 7,5 це сприяє утворенню метану. Метаногенезу сприяє співвідношення C/N від 20/1 до 30/1, оскільки це співвідношення C/N сприяє правильному росту мікроорганізмів; Вуглець потрібен як джерело енергії, а азот – для побудови клітинних структур. У таблиці 4.1 Було показано, що поживні рештки томатів мають більш високе співвідношення C/N, ніж гній, а також більш високий вміст сухих речовин, див. рис. 4.2:

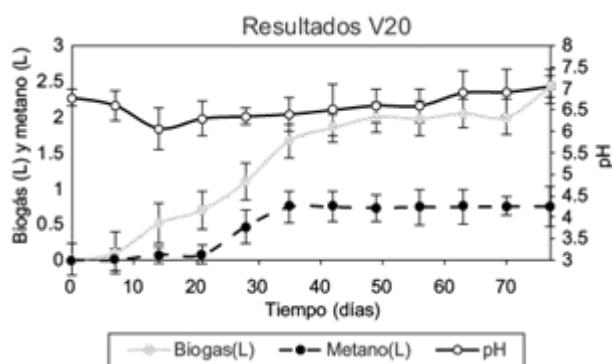


Рис. 4.2. Зміна рН, утворення біогазу та метану при спільному бродінні 20% коров'ячого гною та 80% залишків томатів, початковий рН 6,8 (V20)

Процес бродіння V20 починався при рН 6,8 (рисунок 4.2) і знижувався до 5,93 на 15 день. З 30 дня він збільшувався до кінця о 7.24 на 75 день. Зниження значень рН може бути пов'язано з початком утворення летких жирних кислот, які були виявлені з першого тижня по 60 день.

Утворення біогазу та метану фіксували з другого тижня від початку процесу до 28-го дня. Швидкість їх утворення, розрахована як нахил графіка залежності продуктів від часу, становила 0,035 л біогазу/добу та 0,021 л метану/добу. день; з 28 по 35 добу швидкість утворення зросла до 0,11 л біогазу/добу та 0,05 л метану/добу; Після 45-го дня вироблення обох газів залишалася постійною. Всього 2,4 літра біогазу та 0,9 літра метану при вмісті останнього 37,5%. Вміст метану не досяг 45%, що є мінімальним значенням, при якому біогаз вважається горючим.

Спостережуване збільшення виробництва біогазу та метану з 30-го по 45-й день узгоджується зі збільшенням відсотка споживаних летких твердих речовин, яке реєструється з 30-го дня, можливо, тому, що леткі тверді речовини є органічною речовиною, що біологічно розкладається..

Кількісно визначені такі леткі жирні кислоти (ВЖК): оцтова, пропіонова, масляна, ізомасляна та валеріана. Повідомлялося, що вміст VFA має бути в певних межах, щоб не пригнічувати процес травлення, оскільки більш високі значення цих кислот можуть пригнічувати ріст метаногенних бактерій. Вміст ізомасляної кислоти не повинен перевищувати 300 мг/л, валеріанової кислоти - 200 мг/л, оцтової кислоти – 1600 мг/л та пропіонової кислоти – 950 мг/л.

При V20 найвищі концентрації VFA, зареєстровані під час спільної ферментації, були такими: масляна кислота – 45 мг/л; оцтова кислота – 19 мг/л; пропіонова кислота – 16 мг/л; валеріанова кислота – 20 мг/л; та ізомасляна кислота – 5 мг/л. Найвища концентрація була виявлена в масляній кислоті, одному з ВЖК, які зазвичай утворюються під час анаеробного зброджування. виявили підвищене утворення масляної та валеріанової кислот під час перетравлення відходів переробки томатів. У всіх випадках обробки кількість цих кислот не виходила за рекомендовані межі, тому можна сказати, що ніякого інгібування з боку VFA не спостерігалось.

Процес зброджування при очищенні V20-1. Подібно до поведінки реакторів очищення рН V20, реактори для очищення V20-1 зазнали зниження значень рН протягом перших двох тижнів, а потім вони почали збільшуватися; З 28 дня і до кінця процесу (75 день) рН залишався в межах від 7,5 до 7,55 (рис 4.2), що сприяло утворенню метану. Значення рН стабілізувалося в цьому та інших варіантах, незважаючи на утворення летких жирних кислот в процесі травлення. Вищесказане можна пояснити тим, що лужні компоненти, присутні в коров'ячому гної, нейтралізують рН, створюючи буферний ефект, див. рис. 4.3:

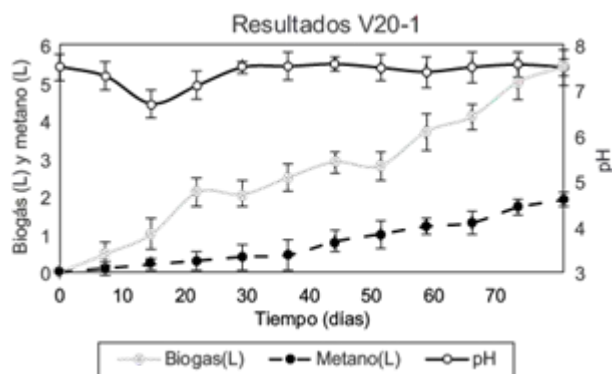


Рис. 4.3. Зміна рН, утворення біогазу та метану при спільному бродінні 20% коров'ячого гною та 80% залишків томатів, початковий рН 7,5 (V20-1)

Виробництво біогазу та метану здійснювалося з постійною швидкістю від початку процесу та становило 0,069 та 0,028 л/добу відповідно. Загальний обсяг утворення біогазу становив 5,4 літра, а утворення метану – 2 літри; Тобто загальне виробництво біогазу зросло на 120%, а виробництво метану – на 100% порівняно з обробкою V20, де на початку процесу не було корекції рН. Однак реактори V20-1 також мали вміст метану менше 45%, тому він не вважався горючим. Зменшення летких твердих речовин було більшим, ніж у реакторах V20 (Таблиця 4.3), що свідчить про більш інтенсивному розкладанні органічної речовини в процесі травлення.

Таблиця 4.3

Результати спільного зброджування залишків рослин і коров'ячого гною при різних обробках

	Всього біогазу (л)	Загальний метан (л)	Метан (%)	Зменшення вмісту летких твердих речовин (%)	Вихід(л метану/кг летких твердих речовин)
Б20	2,4 ± 0,12	0,9 ± 0,3	35,60 ± 0,1	21,18 ± 0,16	23,53 ± 1,15
Б20-1	5,4 ± 0,53 с	2,0 ± 0,16	37,08 ± 6,6	34,21 ± 0,12	22,91 ± 0,11
Б50	7,9 ± 0,60	3,6 ± 0,83	45,71 ± 1,4	51,89 ± 0,60	46,90 ± 1,91
Б50-1	13,0 ± 0,46	6,0 ± 0,13	46,16 ± 1,5	48,72 ± 0,54	72,93 ± 1,69

Різні значення в стовпцях вказують на наявність статистичної різниці ($p < 0,05$); Середні значення \pm стандартному відхиленні, $n = 3$

При цьому досліді вироблення VFA також починалося на початку процесу і тривало до 60-го дня. Найвищими вимірними значеннями були: масляна кислота – 105 мг/л; оцтова кислота, 52 мг/л; пропіонова кислота, 245 мг/л; валеріанової кислоти – 57 мг/л та ізомасляної кислоти – 38 мг/л. Жодна з цих кислот не вироблялася в кількостях, які могли б перешкодити процесу травлення.

Процес бродіння при обробці V50. Хоча леткі жирні кислоти були виявлені з самого початку травлення, рН залишався в межах від 6,8 до 7,5 протягом усього процесу травлення. Наявність більшої кількості гною в порівнянні з попередніми зброджуваннями (V20 і V20-1) сприяло природній нейтралізації кислот, що утворюються при анаеробному зброджуванні. Були зафіксовані високі значення летких жирних кислот, головним чином оцтової (783 мг/л) і пропіонової кислоти (627 мг/л). Згодом кількість кислот зменшувалася і залишалася на низькому рівні (менше 50 мг/л) протягом решти травного періоду, що сприяло підтримці слаболужного рівня рН і, отже, сприяло метаногенезу. повідомив про високі початкові значення жирних кислот у коров'ячому гної, переважно мурашиної, пропіонової, оцтової та масляної кислот, при цьому рівень оцтової кислоти в деяких випадках досягав 5 г/л, див. рис. 4.4:

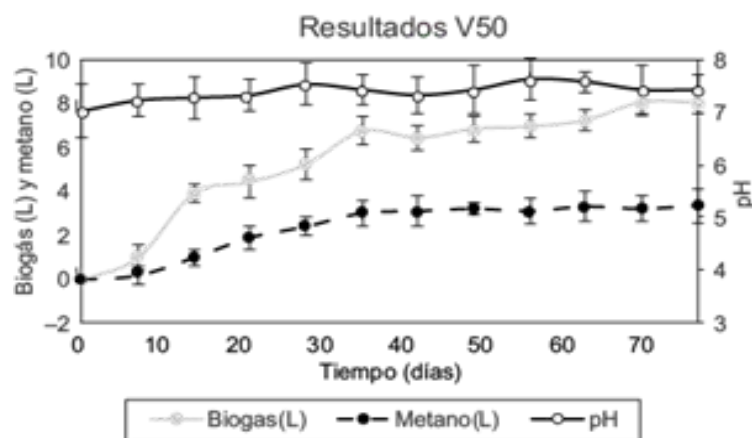


Рис. 4.4. Зміна рН, утворення біогазу та метану з спільним бродінням 50% коров'ячого гною та 50% залишків томатів, початковий рН 6,8 (V50)

Виробництво біогазу та метану розпочалося у першу добу зі швидкістю 0,19 та 0,09 л/добу відповідно та тривало до 35-го дня; Згодом швидкість утворення обох знизилася до 0,034 л біогазу/добу та 0,015 л метану/добу. Загальне виробництво біогазу склало 7,9 л, а виробництво метану – 3,6 л, що на 230 і 300% відповідно більше, ніж було отримано при обробці V20 і на 200 і 80% відповідно, ніж при обробці V20. -1. Загальний вміст метану з 42-го дня становив не менше 45%, тому цей біогаз горючий.

Процес бродіння при обробці V50-1. Під час процесу травлення початковий рівень рН був скоригований до 7,5 під час лікування V50-1. На початку процесу цей показник знижувався за рахунок утворення ВФА, а потім збільшувався. З 21 дня рН був слаболужним до кінця процесу (4.4), ймовірно, через буферні системи, присутні в коров'ячому гної, як пояснюється для обробки V50. Виробництво біогазу та метану було зафіксовано з самого початку; Норма першого становила 0,32 літра біогазу/добу до 21 дня, а потім 0,11 літра біогазу/добу. У випадку з метаном виробництво було постійним і становило 0,08 літра метану на добу. Загальний обсяг виробництва склав 13 літрів біогазу з 6 літрів метану, тобто вдвічі більше загального обсягу біогазу та метану було вироблено у порівнянні з обробкою V50. Як і в останньому випадку, в даному випадку вміст метану перевищив 45% з 42-го дня, тому отриманий біогаз за даними є горючим, див. рис. 4.5:

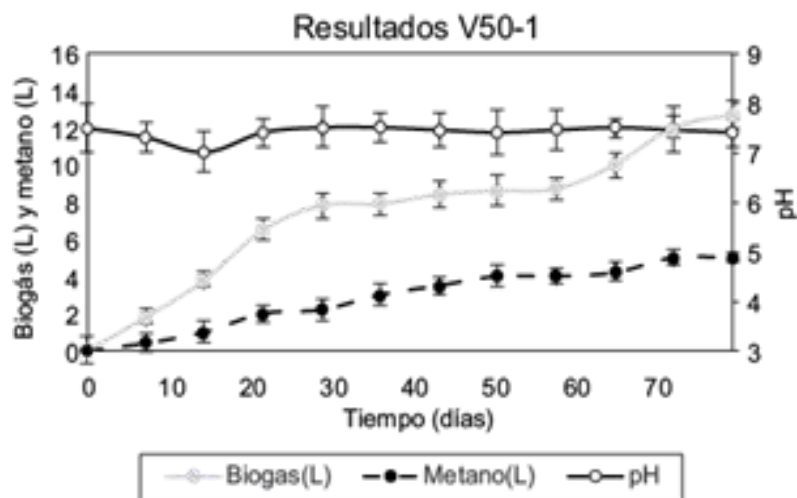


Рис. 4.5. Зміна рН, утворення біогазу та метану з спільним бродінням 20% коров'ячого гною та 80% залишків томатів, початковий рН 7,5 (V50-1)

Найвищі значення, зареєстровані для VFA: оцтова кислота, 392 мг/л; масляної кислоти, 340 мг/л; пропіонова кислота, 194 мг/л, та валеріанова кислота; 86 мг/л. Інгібування АГВ не спостерігалось.

4.4. Порівняння методів обробки

У таблиці 4.3 наведено середнє значення виробництва і стандартне відхилення біогазу і метану, одержуваних при кожному обробці, а також результати статистичного аналізу ($p < 0,05$). Найкращим є глибоке вивчення двовимірних зображень глибинного поперечного перерізу георадара обробкою є V50-1, оскільки статистично ($p < 0,05$) виходить найбільша загальна кількість біогазу і метану, а також найвищий вихід; Крім того, за цих умов обидва залишки можуть бути використані для виробництва альтернативної енергії. Для регулювання також отримують горючий біогаз, але в меншій кількості, ніж якби цей параметр був скоригований до 7,5. У таблиці 4.4 представлений факторний аналіз результатів, отриманих при спільному травленні.

Таблиця 4.4

Результати аналізу спільної переробки рослинних залишків і коров'ячого гною за різних умов обробки

	Чинник	Всього біогазу (л)	Загальний метан (л)	Метан (%)	Зменшення вмісту летких твердих речовин (%)	Вихід (л метану/кг летких твердих речовин)
Гній (%)	20	3,88	1,46	36,34	27,69	23,21
	50	10,45	4,78	45,94	50,29	59,94
РН	6,8	5,16	2,22	40,54	36,51	35,22
	7,5	9,2	4,01	41,74	41,47	47,92

РН * $p = 0,05$, ** $p = 0,01$; NS: не значимо ($p > 0,05$).

Додавання більшої кількості гною, ніж при бродінні V20 і V20-1, природно, допомогло досягти балансу між кислими компонентами, що утворюються в процесі анаеробного зброджування.

Було визнано, що завантаження біореакторів лише гноєм не є найефективнішим способом виробництва біогазу через дефіцит вуглецю. Вони пояснюють, що, а пізніше Хашимото (в 1983 році) підкреслював, що додавання сільськогосподарських відходів збільшує співвідношення C/N і знижує ризик пригнічення процесу травлення за рахунок утворення амонію, який збільшує виробництво метану. Спільне зброджування гною з сільськогосподарськими залишками було перевірено в кількох дослідженнях;

Факторний аналіз (Таблиця 4.4) показує, що як кількість гною, так і рН мали вплив на всі змінні, які оцінювалися при виробництві біогазу та метану, а також на вихід останнього та зменшення летких твердих речовин. Єдиною змінною, на яку не вплинула взаємодія концентрації гною та рН, був відсоток метану в біогазі.

Висновки до розділу 4

Оптимізація технологічних процесів у біогазовій установці передбачає врахування ключових параметрів анаеробного зброджування: рН, температури, співвідношення C/N, типу субстратів і часу утримання. Найефективнішою виявилася суміш із 50% гною та 50% залишків томатів за рН 7,5 – саме ця комбінація забезпечила найвищий вихід метану (понад 45%), що дозволяє класифікувати біогаз як паливо. Крім того, такі умови сприяли стабільності процесу, зменшенню летких кислот і підвищенню рівня метаногенезу.

Матеріали та методи експерименту показали, що попередня обробка залишків томатів, регулювання вмісту сухих речовин та корекція рН дозволяють оптимізувати анаеробне середовище для активності мікроорганізмів. Для створення збалансованого середовища також використовувались тирса та

регуляція C/N до значення 20, що підтверджує важливість правильного добору субстратів і їх підготовки.

Експериментальний дизайн та статистичний аналіз довели, що як кількість гною, так і рН суттєво впливають на обсяг утвореного біогазу, метану та ступінь зниження летких твердих речовин. Найвищі показники було зафіксовано в обробці з 50% гною за рН 7,5 (V50-1). Усі варіанти дали нетоксичний дигестат, придатний для використання як добриво.

Порівняння методів обробки засвідчило, що співзброджування субстратів (гній + рослинні залишки) з оптимальним регулюванням рН підвищує енергетичну ефективність процесу. Найкращі результати досягнуто при комбінації 50% гною і нейтралізованому рН – отримано максимальний вихід метану, високий ступінь деградації органіки та безпечний для ґрунту побічний продукт [20].

РОЗДІЛ 5

ЗАСТОСУВАННЯ БІОГАЗОВОЇ УСТАНОВКИ В ФЕРМЕРСЬКОМУ ГОСПОДАРСТВІ

5.1. Біогаз та способи його виробництва

Для того щоб зрозуміти ефективність та рентабельність використання біогазу, необхідно знати технологію його виробництва, див. рис. 5.1:

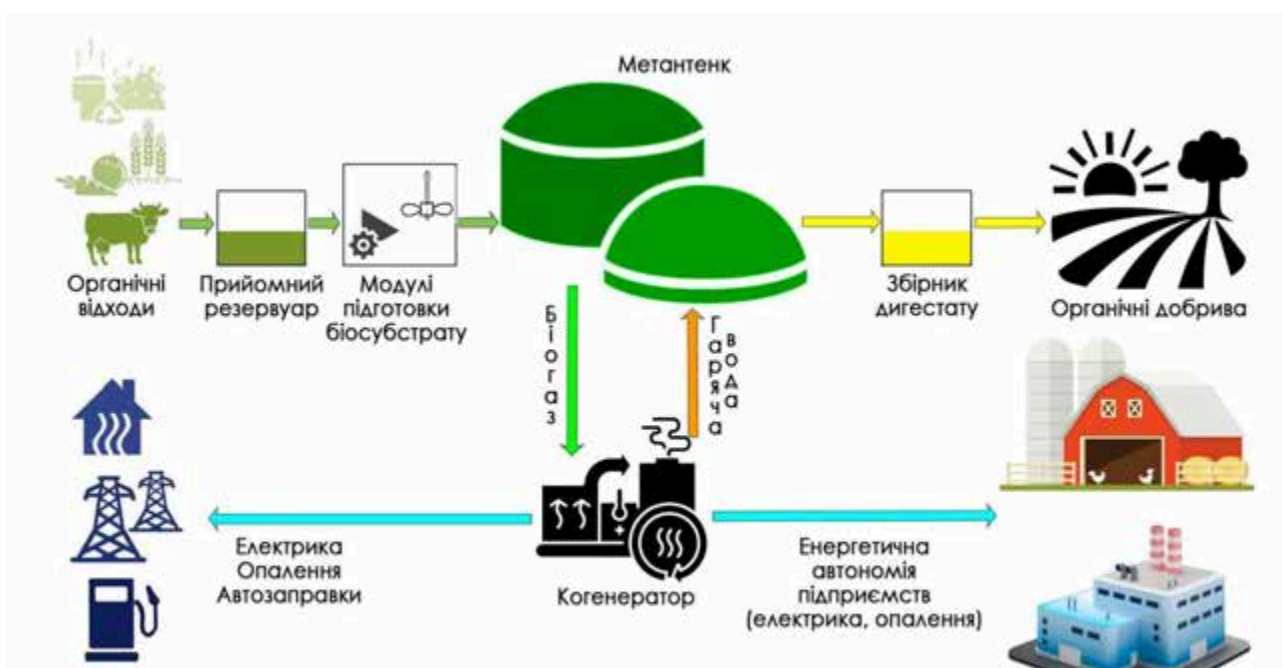


Рис. 5.1. Технологічна схема БГУ

Біогаз є продуктом розкладання субстрату, в результаті метаболізму бактерій.

Походження та етапи виробництва біогазу. В якості субстрату для виробництва біогазу розглянемо відходи, які залишаються з птахофабрики, а саме курячий послід.

Гній — це речовина в'язкої консистенції з вологою. 64–82%. Гній містить неорганічні і органічні сполуки. Органічні сполуки, такі як вуглецеві сполуки (гліцерини, ліпіди, вуглеводи, жирні кислоти, леткі кислоти, клітковина, цукор, спирти), азотисті сполуки (пептиди, амінокислоти, білки), сполуки сірки

(сульфіди). Неорганічними сполуками є вода, деякі сполуки аміаку, азоту, нітратів, сполуки фосфору, міді, калію, кальцію, цинку, марганцю [13].

При утриманні та вирощуванні птиці інші мінеральні та органічні компоненти або воду можна змішувати з гноєм, а також навпаки, її можна висушувати. Виходячи з вмісту в посліді води і мінеральних речовин, його поділяють на такі різновиди:

1. Підстилка являє собою суміш натурального гною з підстилковим матеріалом. Він виходить при утриманні птахів на підлозі, має вологість 15-40%.

2. Гній природної вологості, що виключає потрапляння води з поїлок або в процесі збирання врожаю, виходить при утриманні птиці в кліткових батареях з стрічковим видаленням гною або з очищенням скребкового типу.

3. Рідкий гній отримують при утриманні птиці в кліткових батареях з видаленням гною скребком, це основний вид гною і він має вологість 85-98%.

4. Висушений гній має вологість 55-70%, його отримують при утриманні птиці в кліткових батареях без вбудованих воздухопроводів з стрічковою системою видалення посліду, а частота прибирання - один раз в 5-7 днів. Отримати висушений гній можна і в тому випадку, якщо зберігати його в спеціальних провітрюваних сховищах.

Розкладання субстрату охоплює чотири основні фази ферментації, які в одностадійному процесі перебігають одночасно. У ферментерах, що використовуються для зброджування сільськогосподарських відходів, чітке розмежування цих етапів не є принциповим, оскільки всі фази тісно пов'язані між собою: проміжні продукти однієї реакції є субстратами для наступної. Водночас між фазами можливе взаємне пригнічення – накопичення або нестача окремих сполук може інгібувати активність мікроорганізмів і порушувати перебіг реакцій. Крім того, швидкість процесів змінюється залежно від стадії: гідроліз відбувається найшвидше, а метаноутворення – найповільніше, див. рис. 5.2:

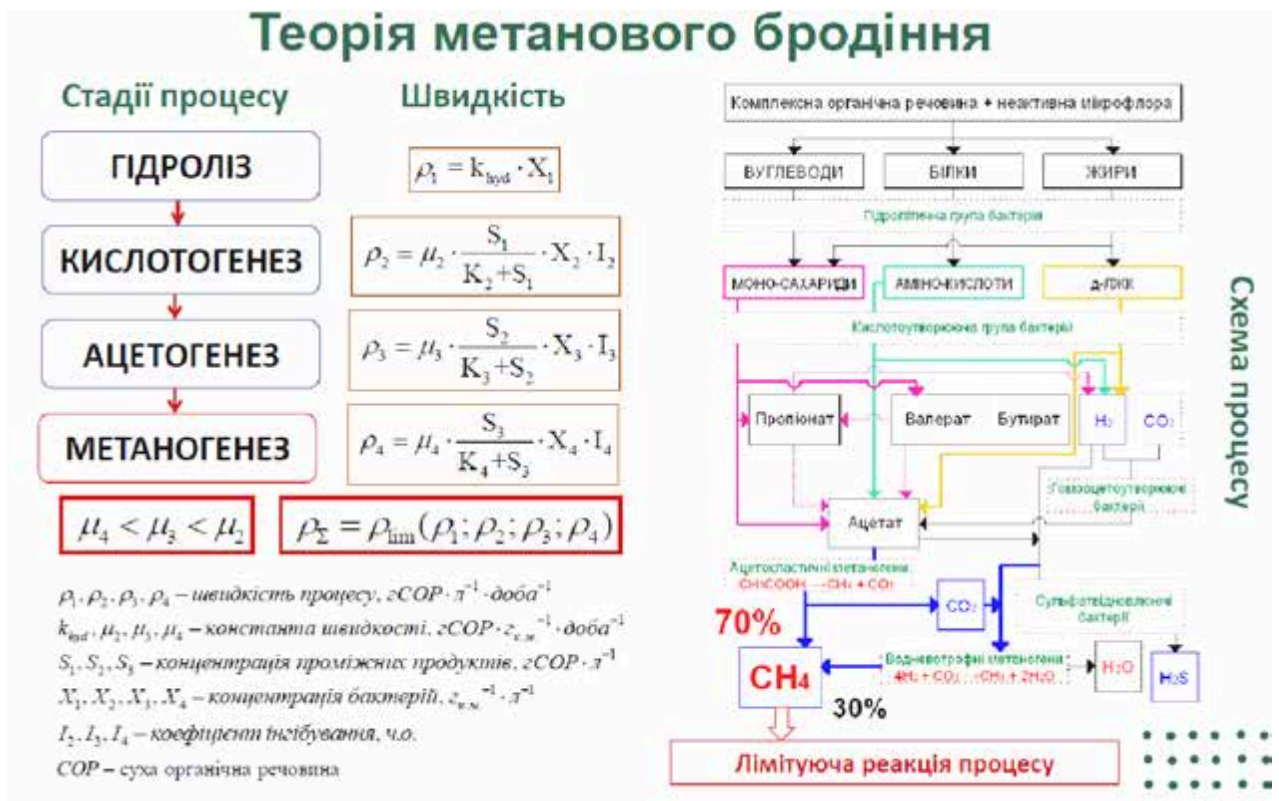


Рис. 5.2. Теорія метанового бродіння

1. На першому етапі аеробні бактерії використовують ферменти для відновлення високомолекулярних органічних речовин, таких як білки, жири, вуглеводи та целюлоза, у низькомолекулярні сполуки (амінокислоти, цукор, жирні кислоти та воду). Гідролізовані бактерії виділяють ферменти, вони прикріплюються до зовнішньої стінки бактерій і починається процес розщеплення органічних компонентів субстрату на водорозчинні молекули. Цей процес називається гідролізом, він дуже повільний і залежить від позаклітинних ферментів, таких як амілази, целюлоза, ліпази та протеази.

2. Далі йде процес розщеплення, який здійснюється бактеріями, що утворюють кислоту. Молекули проникають в клітини бактерій і продовжують там розкладатися. У цьому процесі частково беруть участь анаеробні бактерії, які при споживанні залишків кисню утворюють анаеробні умови для метанових бактерій. При рівні рН 6-7,5 в першу чергу утворюються нестійкі жирні кислоти, такі як карбонові кислоти - мурашина, оцтова, масляна і пропіонова, гази – вуглевод, вуглекислий газ, аміак і сірководень, низькомолекулярні спирти

– етанол. На цьому етапі рівень рН знижується і його називають фазою окислення.

3. Після цього, завдяки кислотоутворюючим бактеріям, створюються вихідні продукти для утворення метану, а саме: вуглець, вуглекислий газ і оцтова кислота. Кислотоутворюючі бактерії дуже чутливі до температури, тому на цьому етапі необхідно підтримувати певний рівень температури.

4. На останньому етапі отримують метан, вуглекислий газ і воду, як продукт життєдіяльності метанових бактерій з мурашиною і оцтовою кислотою, вуглецем і воднем. На цьому етапі виробляється 90% всього метану, 70% – з оцтової кислоти. Освіта оцтової кислоти відбувається на трьох стадіях розщеплення, це є фактором швидкості утворення метану. Метанові бактерії є виключно анаеробними. Оптимальним рівнем рН для якого є 7, а температура коливань може бути в межах 6,6-8.

Під час ферментації субстрату речовини, які залишаються після метаболізму кожної групи бактерій, будуть поживними речовинами для наступної групи. Різні групи бактерій працюють з різною швидкістю і тому поетапний розпад органічної речовини відбувається по-різному.

Швидкість розщеплення субстрату впливає на технологію і час виробництва біогазу. Тому, плануючи біогазову установку, потрібно чітко знати, які субстрати будуть використовуватися для бродіння.

Існує багато різних способів отримання метану. Основні відмінності між типами установок полягають у таких аспектах:

- як подається сировина (це може бути періодична подача або безперервна);
- як перемішується субстрат (наприклад, повне перемішування або метод проштовхування маси);
- чи є система одноступеневою або багаступеневою;
- яка консистенція сировини використовується (тверда чи рідка форма).

Найбільш поширені методи:

1. Спосіб, за допомогою якого відбувається бродіння твердого субстрату з високим вмістом сухої речовини, часто неправильно називають сухим бродінням, важливо ще раз згадати, що в будь-якому вигляді бродіння головною умовою є наявність вологи. Отже, установки для бродіння твердого субстрату – це ті, в яких субстрат подається в штабелі в резервуар, за періодичним методом він характеризується заповненням камери бродіння в один етап без подальшого додавання субстрату. Потім субстрат замочують в кашці для бродіння і після закінчення процесу бродіння в такому ж вигляді виймають з ємності. Перевагою цього методу є надійний гігієнічний ефект, але при такому способі відбувається нерівномірне газоутворення.

2. Спосіб, за допомогою якого відбувається бродіння рідкого субстрату, – це проточний метод в чистому вигляді або в поєднанні з накопичувальним методом. У невелику ємність вводиться рідкий свіжий субстрат, потім твердий субстрат багато разів протягом доби за допомогою спеціальних пристроїв потрапляє в камеру бродіння, при цьому при цьому при переливі ємності в накопичувальну ємність переходить точно така ж кількість ферментованого субстрату. Перевагою цього методу є рівномірне отримання газу, а недоліком – змішування свіжого субстрату з уже перебродившим, що погіршує гігієнічний ефект [12].

На сьогоднішній день прийнято використовувати поступовий процес подачі субстрату, при якому субстрат подається протягом дня декількома невеликими порціями, це призводить до рівномірного

Для субстратів, схильних до окислення через їх швидкого розпаду, рекомендується використовувати окрему ємність для гідролізу і окислення, щоб продукти розкладання завантажувалися в ферментатор невеликими дозами. Така технологія називається двоступеневою.

Перевага даної технології полягає в забезпеченні оптимальних умов для більш ефективної роботи, перш за все, однією з умов є підтримка рівня рН. Завдяки цьому вдається досягти великого виробництва біогазу.

Двоступеневі технології не дуже поширені через додаткові витрати на другий бак, систему змішування, систему збереження тепла і насоси. Хоча перегородка є найкращою умовою для життєдіяльності бактерій, ця технологія може окупитися лише для певних видів субстратів.

З іншого боку, на практиці часто використовуються два поперемінно з'єднаних бака. У тих випадках, коли використовується дана технологія, видно, що роль ферментера виконує перша ємність, оснащена підігрівом, мішалками, розрахована на короткочасне бродіння і використання субстратів, які дуже швидко розкладаються. У другій ємності, що представляє собою ферментер без підігріву, утворюється газ, цей процес відбувається повільно і процес бродіння в ньому триває довше [12].

Для отримання більшої ефективності та скорочення терміну окупності біоенергетичної установки необхідно дотримуватися певних сприятливих умов, які дозволять отримати більш високий вихід біогазу. Розглянемо їх.

Сприятливе середовище для виробництва біогазу. Вологе середовище. Бактерії переробляють речовини тільки в розчиненому вигляді, тому розпад субстрату і перетворення його в метан може відбуватися тільки у вологому середовищі. Це означає, що для твердих субстратів є потреба у воді, тому спочатку не має значення, чи був субстрат вологим або став таким при поливі або перемішуванні. Бажано, щоб в навколишньому середовищі не було речовин, що перешкоджають дії бактерій, таких як миючі засоби, антибіотики і мило [9].

Виключення попадання повітря. Багато мікроорганізмів беруть участь в анаеробному процесі розщеплення органічних субстратів. Близько 50% з них є аеробними бактеріями або факультативно аеробними і потребують кисню або добре його переносять. А метанові бактерії виключно анаеробні, тому якщо в субстраті ще присутній кисень, то в першу чергу його будуть використовувати аеробні бактерії, це відбувається на першому етапі біогазоутворення. Можна сказати, що невелика кількість кисню не шкідливо, якщо, наприклад, він проникає при відкритті оглядових вікон або при запуску повітря для видалення сірки.

Температура. Кількість одержуваного газу залежить від температури, чим вище температура, тим вище градус і швидкість руху органічної речовини.

Є три режими температури:

1. Психрофільний режим при температурі нижче 25°C. У зв'язку з тривалим часом бродіння і низьким газоутворенням не користується популярністю.
2. Мезофільний режим при температурі 25-45°C. Більшість установок працюють саме в такому режимі. Потрібні більш низькі витрати на підтримку температури і прийнятний період ферментації субстрату в 2530 днів.
3. Термофільний режим при температурі вище 45°C. У такому режимі роботи потрібна особлива система автоматизації та точне керування біогазовою станцією. Це створює додаткові труднощі. Але при такому режимі роботи субстрат розкладається інтенсивніше, ніж 12 днів [19].

Виняток попадання світла. Контакт світла з субстратом в процесі бродіння уповільнює процес утворення метану. Тому його необхідно виключити, а субстрат захистити світлонепроникними ємностями і кришками.

Рівень рН. Гідролізуючі і кислотоутворюючі бактерії з рівнем рН 4,5-6,3 досягають максимуму своєї життєдіяльності в кислому середовищі і, отже, цей рівень рН необхідно підтримувати саме так. А бактерії, що утворюють оцтову кислоту і метан, можуть жити тільки при слаболужному або нейтральному рівні рН 6,8-8. Тому можна сказати, що якщо рівень рН вищий або нижчий за оптимальний, то вони повільнішають у своїй життєдіяльності, що є гальмуючим фактором для утворення біогазу [13].

У виробництві метану є багато тонкощів, але принцип роботи більшості біогазових станцій однаковий, розглянемо сучасну біогазову станцію, її складові та принцип роботи, див. рис. 5.3:

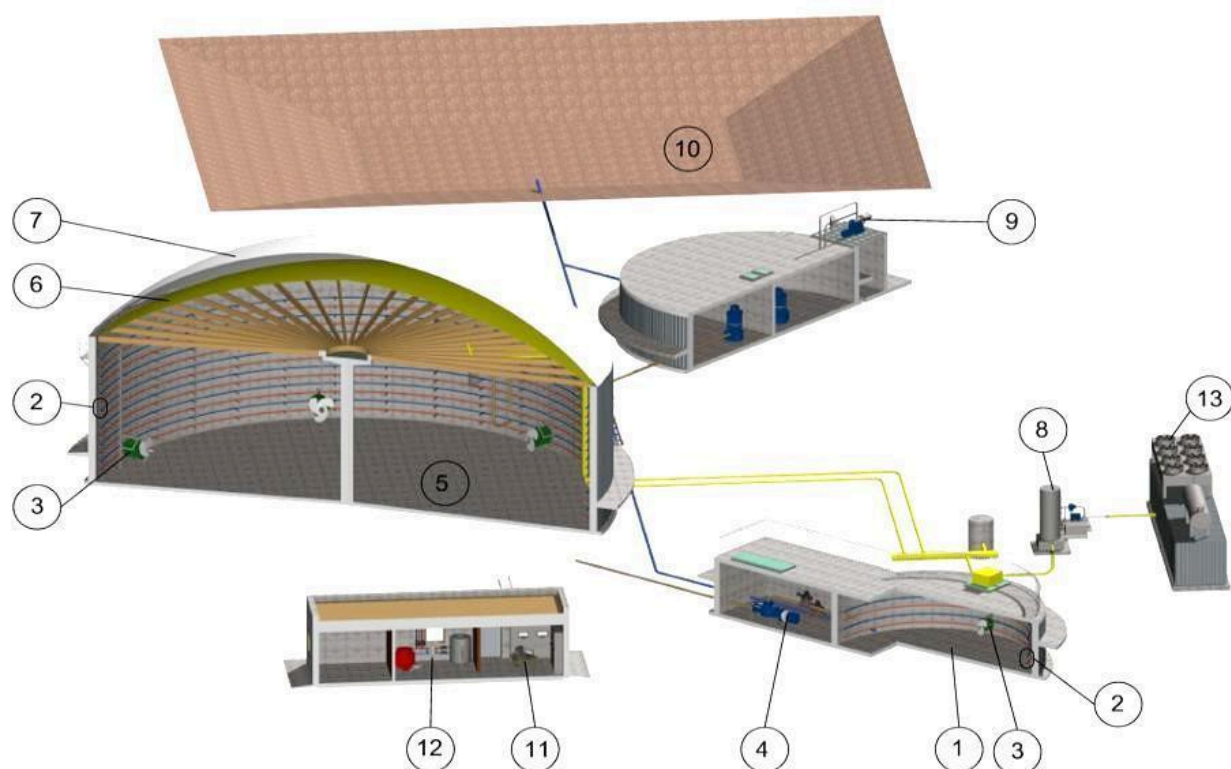


Рис. 5.3. Схема роботи біогазової установки

Приймальний бак призначений для короткочасного регулювання припливу біомаси, що подається до насосів. Резервуари складаються з робочої (приймальної) частини, куди надходить біомаса, і розташованого над нею приміщення для обладнання. Принцип роботи біогазової установки передбачає максимальну автоматизацію та мінімізацію витрат людської праці. У приймальному баку (1), куди надходять відходи, вони нагріваються, накопичуються, перемішуються (3) і нагріваються (2). Сировина надходить в ферментер (5) 4-6 разів на добу за допомогою насоса для в'язких і рідких субстратів. Ферментер (5) являє собою газонепроникний, герметичний резервуар.

Для підтримки стабільної температури внутрішня частина ферментера оснащена системою підігріву дна і стінок (2). У холодному кліматі, щоб уникнути втрати тепла, ферментер теплоізований зовні. Субстрат постійно переміщується за допомогою низькооберткових механічних мішалок (3), завдяки яким відбувається ретельне і щадне перемішування. механічні, пневматичні.

Перебродивший субстрат заповнюється і вивантажується з однаковою частотою, і все це відбувається автоматично. Всі роботи і контроль на біогазовій станції здійснюється за допомогою автоматики (11). Біогаз накопичується в газгольдері (6), так як він виконує функцію накопичення. Зовнішній купол (7) має високу стійкість до ультрафіолету, стійкість до підпалів і надзвичайно розтяжний.

Схема роботи біогазової установки передбачає високу пружність цього елемента і надійну фіксацію конструкції. Відведення біогазу здійснюється по трубопроводу (8). Безперервна подача газу з газгольдера (6) надходить на когенераційну установку, а саме в газовий двигун, де відбувається його спалювання, або попередньо біогаз надходить на очищення, а потім в газовий двигун. Далі для поділу зброженої маси на тверду і рідку фракції субстрат надходить в сепаратор (9).

Система сепарації працює 4-6 разів на добу [5].

Експлуатація когенераційної установки. Когенераційні установки є складним технологічним обладнанням, призначеним для комбінованого виробництва теплової та електричної енергії. Силова установка когенераційної установки включає в себе наступні основні вузли і вузли:

- двигун внутрішнього згоряння;
- генератор;
- система теплообмінників;
- система управління, див. рис. 5.4:

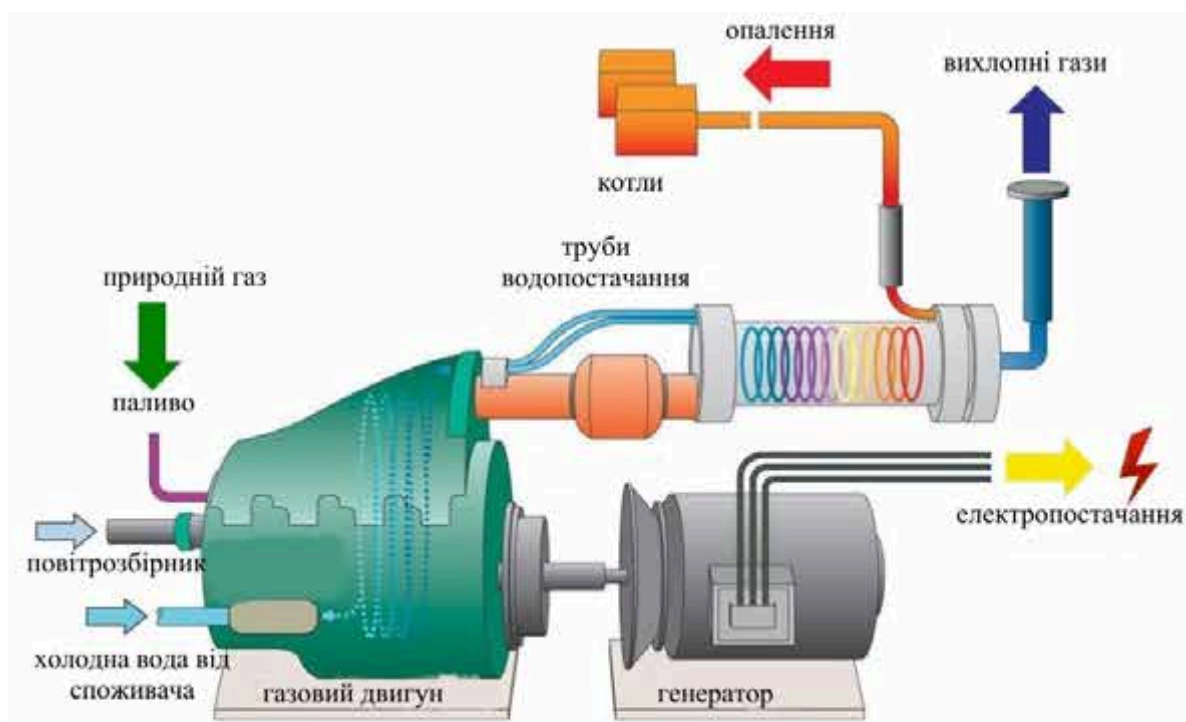


Рис. 5.4. Схема когенераційної установки

Принцип отримання електричної енергії полягає в обертанні електрогенератора завдяки турбіні. Сама турбіна приводиться в рух паром, який утворюється при згорянні палива. Звичайна установка, що виробляє електроенергію, має великі втрати енергії через безглузде виділення тепла в простір, ККД цього методу становить близько 50%.

Когенерація має схожий принцип роботи, тобто електрогенератор отримує енергію обертання від поршневого двигуна внутрішнього згорання. Великі електростанції використовують в якості палива вугілля, але міні-електростанції часто пристосовані для використання природного газу (пропану, біогазу, коксу, деревини та інших газів). Газ є найменш забруднюючим продуктом.

Після того, як відбулося згорання палива і електрогенератор отримав силу обертання, тепла енергія не витрачається даремно, а передається для подальшого використання через воду для охолодження двигуна (надходить в теплообмінник для охолодження), відпрацьованих газів (теплова енергія відводиться через теплообмінник опалення), випромінюваного тепла (надходить через вентиляційну установку).

Когенераційні установки на базі газових двигунів внутрішнього згорання є децентралізованими джерелами енергії. Тобто виробництво електроенергії і тепла здійснюється в безпосередній близькості від місця їх споживання.

Електроенергія, вироблена когенераційною установкою, використовується для власних потреб об'єкта, на території якого розташована когенераційна установка, або вона може бути підключена до мережі загального користування. Тепло когенераційних установок використовується для опалення приміщень, підігріву води та в технологічних цілях. Когенераційні установки успішно використовуються як аварійні джерела електроенергії під час перебоїв в електромережі загального користування, що знижує вразливість тих об'єктів, де потрібне безперебійне постачання електроенергії. За допомогою абсорбційного охолоджувача тепло, що виділяється в процесі когенерації, може бути використане для виробництва холоду для технологічних цілей або для кондиціонування об'єктів. Така система комбінованого виробництва енергії називається тригенерацією – виробництвом електроенергії, тепла і холоду.

Розглянувши способи виробництва біогазу, умови його максимального виходу, можна говорити про те, яка технологія може бути застосована до нашого об'єкта дослідження – фермерського господарства “ЛІДЕР-АГРО”.

В якості початкового палива буде використовуватися гній, припустимо, що його загальна вологість становить 85-98%, такий висновок можна зробити виходячи з утримання птахів на птахофабриках, а у нас є підлоговий і клітковий типи. Далі розглянемо найпоширеніший спосіб ферментації рідкого субстрату, це проточний спосіб, згідно з яким субстрат подається невеликими порціями протягом доби. Далі вибираємо двоетапний процес розщеплення субстрату, він допоможе створити оптимальні умови для ефективного виробництва біогазу. Також для того, щоб створити оптимальні умови, необхідно правильно підібрати обладнання.

Проаналізувавши, яке обладнання пропонує нам ринок і що вже використовується на реальних об'єктах, можна зробити висновок, що при виборі обладнання потрібно орієнтуватися на кількість палива, яке ми можемо

використовувати, і подальше виробництво з нього біогазу і вироблення електроенергії, певну кількість якої нам потрібно забезпечити споживачам. Далі давайте розрахуємо паливо, яке ми можемо використовувати, і подивимося, скільки енергії нам потрібно виробляти.

5.2. Потенціал виробництва біогазу

Для початку треба розрахувати вихід можливого біогазу, спалюючи котрий отримаємо електроенергію, якою будемо вирівнювати подачу електроенергії від фотоелектростанції в мережу.

Ферма налічує $N=800$ голів, системою утримання: боксова, у якості підстилки використовується солома, а як система гноєвідділення: самосплавна система. Розрахунок проводиться за загальновідомими формулами.

Розрахунок річного і добового виходу гною

Щоденний вихід екскрементів від корів : $m_{\text{екс}} = 15$ кг.

Для розрахунку щоденного виходу води при видаленні екскрементів з тваринницьких споруд, враховуємо коефіцієнт, який для самосплавної системи дорівнює $K = 0,4$.

Кількість води, що має потрапити за день у систему відділення:

$$m_{\text{H}_2\text{O}} = m_{\text{екс}} \cdot K = 15 \cdot 0,4 = 6 \text{ кг} \quad (5.1)$$

Кількість маси підстилки на добу на одну голову: $m_{\text{п}} = 1$ кг

Вихід біомаси з використанням підстилки на добу:

$$m_{\text{гною}} = N \cdot (m_{\text{екс}} + m_{\text{H}_2\text{O}} + m_{\text{п}}) / 1000 = 800 \cdot (15 + 6 + 1) / 1000 = 17,6 \text{ т} \quad (5.2)$$

Кількість біомаси, що надходить в метантенк:

$$m_{\text{б}} = m_{\text{гною}} \cdot 365 = 17,6 \cdot 365 = 6424 \text{ т} \quad (5.3)$$

Висновок до розділу 5

Біогазові установки функціонують за принципом анаеробного бродіння, де органічна сировина розкладається під дією метаногенних бактерій у герметичному середовищі з контрольованою температурою та вологістю. Оптимальним для більшості господарств є мезофільний режим, який забезпечує стабільний процес газоутворення з помірними витратами енергії. Біогаз утворюється внаслідок багатоступеневої ферментації субстрату, яка включає гідроліз, окислення, ацетогенез і метаногенез, при цьому ключову роль відіграє вміст сухої речовини, тип сировини та технологія подачі.

Потенціал виробництва біогазу на базі фермерського господарства “ЛІДЕР-АГРО” обумовлений значними обсягами пташиного посліду, що забезпечують вихід до 17 млн м³ біогазу на рік, що еквівалентно виробництву значної кількості електроенергії та тепла. Для реалізації цього потенціалу доцільним є використання біозаводу ВІО-350, технічні характеристики якого відповідають обсягу сировини та дозволяють ефективно переробляти відходи у біогаз, електроенергію, тепло та добрива. Раціональний підбір когенераційної установки та трансформаторного обладнання забезпечує стабільне живлення критичних споживачів, а також дозволяє оптимізувати електропостачання об’єкта в цілому.

РОЗДІЛ 6

МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ПАРАМЕТРІВ АВТОНОМНОЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ФЕРМЕРСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА

6.1. Методика визначення добової потреби в електричній енергії об'єкта та пікової споживаної потужності

Правильне визначення величини навантаження на електричні станції та підстанції на етапі проектування дозволяє оптимізувати режим роботи СЕП в цілому та її окремих кіл, ланок, обладнання та інших її елементів. Завищення значень навантаження може призвести до перегріву струмопровідних частин і їхнього виходу з ладу, а заниження значень навантаження призводить до нераціональних витрат коштів, недонавантаження елементів системи, зниження коефіцієнта корисної дії та ін. Тому завдання правильного визначення розрахункових навантажень є одним з головних питань проектування. Для вирішення цього завдання головним фактором є графіки навантажень, які показують залежність значень витраченої активної та реактивної потужності у функції часу.

Застосовуються добові, річні графіки навантажень і річні графіки зміни добових максимальних навантажень. При проектуванні СЕП за графіками навантажень визначають потужність електричної станції або підстанції, здійснюють вибір кількості та потужності джерел і перетворювачів електричної енергії, розраховують поперечний переріз проводів ЛЕП, норми витрат електроенергії, втрати електроенергії в ЛЕП і потужних трансформаторах, а також ряд інших показників, які характеризують режими роботи електроустановок. Режими роботи електроустановок упродовж року в більшості випадків визначаються найбільш характерними графіками навантаження за зимову та літню добу.

На стадії проектування електроустановок потрібно спочатку визначити їхні режими роботи та установити деякі показники. Основним показником є

сумарна встановлена потужність приймачів електричної енергії.

Розглянемо споживання активної потужності в мережі для періоду найбільших навантажень. Це споживання складається з навантажень виконавчих механізмів (P_{ni}), втрат потужності в лініях і понижуючих трансформаторах мережі.

Всі технологічні розрахунки виконуємо для зимового періоду, як найбільш напруженого для роботи обладнання і обслуговуючого персоналу.

Перелік обладнання фермерського господарства наведений в таблиці 6.1.

Таблиця 6.1

Перелік технологічного обладнання

№ п/п	Найменування	Марка	Кількість	Потужність, кВт.	Технічна характеристика
1	Подрібнювач коренебульбоплодів	ИКМ-Ф-10	1	P= 2,2 P= 7,5	продуктивн. 10 т / год.
2	Транспортер коренебульбоплодів	ТК-5,06	1	P= 1,5	продуктивн. 5 т / год.
3	Живильник концкормів	ПК-6Б	1	P= 1,1	продуктивн. 6 т / год.
4	Вивантажувальний шнек	ШВС-40М	1	P= 2,2	продуктивн. 40 м ³ / год.
5	Транспортер скребковий	ТС-40М	1	P= 2,2	продуктивн. 40 м ³ / год.
6	Завантажувальний шнек	ШЗО-40С	1	P= 2,2	продуктивн. 40 м ³ / год.
7	Насос відцентровий для молока	36МЦ-10-20	1	P= 1,5	продуктивн. 10 л/год.; H=20м
8	Молочний резервуар	РМВЦ-2	1		ємк. 2000л
9	Змішувач кормів	С-12	1	P= 15,0 P= 0,6	12 м ³
10	Подрібнювач кормів	“Волгарь-5”	1	P= 22,0	продуктивн. 3-5 т / год.
11	Транспортер скребковий	ТС-40С	1	P= 2,2	продуктивн. 40 м ³ / год.
12	Насос відцентровий на плиті з електродвигуном АИР100SU3		1	P= 4,0	43 м ³ / год. H= 10м
13	Кран підвісний одноблочний	КБМД1-6	1		В.п. 1т L=6000

На рисунку 6.1 Зображена схема біогазової когенераційної установки на фермі.

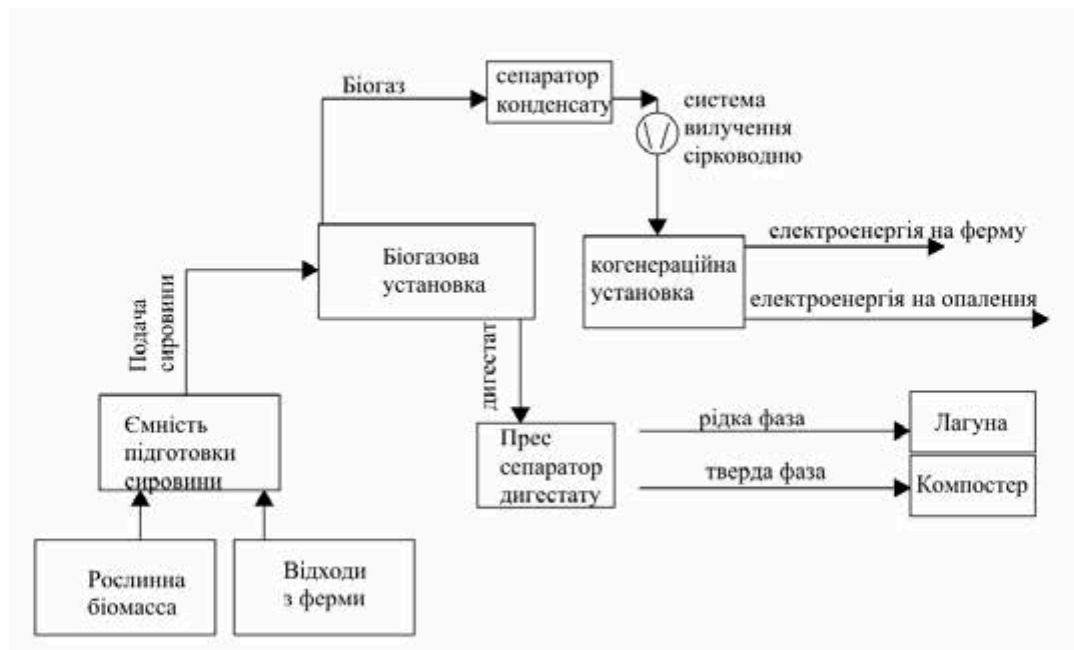


Рис. 6.1 - Схема біогазової когенераційної установки на фермі.

6.2 Розрахунок елементів біогазової установки

Розрахунок впливу якісних параметрів біомаси на вихід біогазу [39]

Вміст карбону та азоту в гною корів:

Співвідношення карбону до азоту має бути 10, а вміст азоту $N_a = 3,8\%$.

$$N_c = (m_{\text{гною}} \cdot 365 \cdot N_a) / 100 = (17,6 \cdot 365 \cdot 3,8) / 1000 = 244; \quad (6.1)$$

$$C_2 = 244 \cdot 10 = 2440;$$

Визначення вологості вихідної біомаси

Відсоткове відношення підстилки та води в гнойовій біомасі:

$$P_B = (m_{H_2O} \cdot 100) / (m_{\text{екс}} + m_{H_2O} + m_{\text{п}}) = (6 \cdot 100) / (15 + 6 + 1) = 27,3 \% ; \quad (6.2)$$

$$P_{\text{п}} = (m_{\text{п}} \cdot 100) / (m_{\text{екс}} + m_{H_2O} + m_{\text{п}}) = (1 \cdot 100) / (15 + 6 + 1) = 4,5 \% ; \quad (6.3)$$

Відносна вологість посліду з гною: $W_{\text{екс}} = 88 \% ;$

Вологість підстилки: $W_{\text{п}} = 17 \% ;$

Вологість біомаси, яка потрапляє в метантенк:

$$W_{\text{гною}} = W_{\text{екс}} - (0,01 \cdot P_{\text{п}} \cdot (W_{\text{екс}} - W_{\text{п}})) + 0,01 \cdot P_{\text{п}} \cdot (100 - W_{\text{екс}}) = 81,5 \% ; \quad (6.4)$$

Оскільки вологість біомаси, що потрапляє у метантенк менше оптимальних значень (85-92%), то потрібно розвести водою.

Визначимо потрібну кількість води, яку треба додати для одержання оптимальної вологості $W_{\text{опт}} = 88\%$:

$$\begin{aligned} m_{H_2O} &= m_{\text{б}} \cdot (W_{\text{опт}} - W_{\text{гною}}) / (100 - W_{\text{опт}}) = \\ &= 6424 \cdot (88 - 81,5) / (100 - 88) = 3480 \text{ т} ; \end{aligned} \quad (6.5)$$

Визначення органічної і сухої речовини в біомасі:

$$\begin{aligned} m_{\text{срп}} &= (m_{\text{гною}} \cdot 365 \cdot (100 - W_{\text{гною}})) / 100 = \\ &= (17,6 \cdot 365 \cdot (100 - 81,5)) / 100 = 1188 \text{ т} ; \end{aligned} \quad (6.6)$$

Кількість органічної речовини:

$$m_{\text{сорг}} = (m_{\text{срп}} \cdot v_{\text{сорг}}) / 100 = (1188 \cdot 73) / 100 = 867,6 \text{ т} ; \quad (6.7)$$

$$m_{\text{сop}} = (m_{\text{сорг}} \cdot v_{\text{сop}}) / 100 = (867,6 \cdot 73) / 100 = 633,3 \text{ т} ; \quad (6.8)$$

Визначення основних параметрів процесу метанового бродіння

Визначення обсягу завантаження та об'єму метантенка:

$\rho_{\text{гною}}=1,08 \text{ т м}^3$ – густина гнойової біомаси при вологості 88%;

$\rho_{\text{H}_2\text{O}}=1 \text{ т м}^3$ – густина води;

$$G_{\text{доб}} = \frac{\frac{365 \cdot m_{\text{гною}}}{\rho_{\text{гною}}} + \frac{m_{\text{H}_2\text{O}}}{\rho_{\text{H}_2\text{O}}}}{365} = \frac{\frac{365 \cdot 17,6}{1,08} + \frac{3480}{1}}{365} = 25,83 \text{ т} \quad (6.9)$$

Необхідний об'єм бродильної камери:

$$V_{\text{бк}} = G_{\text{доб}} \cdot 33 = 25,83 \cdot 33 = 852,4 \text{ м}^3; \quad (6.10)$$

де 33- кількість днів бродіння;

Необхідний об'єм метантенка:

$$V_{\text{мет}} = V_{\text{бк}} \varphi = 852,4 \cdot 0,8 = 1065 \text{ м}^3; \quad (6.11)$$

$\varphi=0,8$ – коефіцієнт заповнення

Внутрішній діаметр і висота метантенку:

$$d_{\text{в}} = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot V_{\text{мет}}}{\pi \cdot K_v}} = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 1065}{\pi \cdot 0,9}} = 11,4 \text{ м} \quad (6.12)$$

$$h_{\text{м}} = d_{\text{в}} \cdot K_v = 11,4 \cdot 0,9 = 10,3 \text{ м}. \quad (6.13)$$

Завантаження бродильної камери:

$$OLR = \frac{\frac{m_{\text{сop}}}{365}}{V_{\text{бк}}} \cdot 1000 = \frac{\frac{633,3}{365}}{852,4} \cdot 1000 = 2 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3 \cdot \text{добу}} \quad (6.14)$$

Річний можливий вихід біогазу:

$$\eta_{\text{гною}} = 450 \text{ м}^3/\text{т} ;$$

$$V_{\text{біорік}} = m_{\text{срг}} \cdot v_{\text{срг}}/100 \cdot \eta_{\text{гною}} = 1188 \cdot 73 /100 \cdot 450 = 390402 \text{ м}^3 ; \quad (6.15)$$

Вихід біогазу для нашої технології метанового бродіння:

$$V_{\text{біо}} = V_{\text{біорік}} \cdot \eta_{\text{х}} = 390402 \cdot 0,6 = 234200 \text{ м}^3 \quad (6.16)$$

де $\eta_{\text{х}} = 0,6$ – ступінь зброджування субстрату або їх сумішей

6.3 Розрахунок енергетичного балансу процесу анаеробного бродіння

Кількість теплоти, що можна отримати при використанні біогазу на протязі місяця.

$$Q_{\text{бг}} = (V_{\text{біо}}/365) \cdot 31 \cdot Q_{\text{н}} = (234242/365) \cdot 31 \cdot 23 = 457600 \text{ МДж}; \quad (6.17)$$

де $Q_{\text{н}} = 23$ - нижча теплота згорання біогазу, МДж/м³

Розрахунок тепла та енерговитрат в процесі отримання біогазу:

$C_{\text{р}} = 4,18$ - теплоємність субстрату, МДж т·К ;

$T_{\text{кр}} = -5$ °С – температура зовнішнього середовища в грудні.

Втрати енергії на підігрів субстрату за день:

$$Q_{\text{добпід}} = m_{\text{гною}} \cdot C_{\text{р}} \cdot (T_{\text{зб}} - T_{\text{кр}}) = 17,6 \cdot 4,18 \cdot (34 + 5) =$$

$$= 2869 \text{ МДж добу} ; \quad (6.18)$$

Втрати енергії на підігрів установки за місяць:

$$Q_{\text{під}} = Q_{\text{добпід}} \cdot 31 = 88940 \text{ МДж міс} ; \quad (6.19)$$

Величина втрат тепла з внутрішнього середовища:

$v_v=5,4$ м/с- середньо місячна швидкість вітру в грудні.

Коефіцієнт обміну теплоти на зовнішній поверхні метантенку:

$$\alpha_z = 11,6 + 7 \cdot \sqrt{v_v} = 11,6 + 7 \cdot \sqrt{5,4} = 27,9; \quad (6.20)$$

Термічний опір передачі тепла на зовнішній поверхні:

$$R_z = 1/\alpha_z = 1/27,9 = 0,036 \text{ м}^2 \cdot \text{КВТ}; \quad (6.21)$$

$\delta_{\text{см}} = 0,006$ м- товщина стінок метантенка;

$\delta_{\text{іс}} = 0,25$ м- товщина шару ізоляції в метантенки;

$\lambda_{\text{см}} = 58$ Вт $\text{м}^2 \cdot \text{К}$ - коефіцієнт провідності теплоти стінки метантенка з сталі;

$\lambda_{\text{іс}} = 0,06$ Вт $\text{м}^2 \cdot \text{К}$ - коефіцієнт провідності теплоти теплоізоляції з мінеральної вати;

Термічний опір теплопровідності теплоізоляційного шару:

$$R_{\text{іс}} = \delta_{\text{см}}/\lambda_{\text{см}} + \delta_{\text{іс}}/\lambda_{\text{іс}} = 0,006/58 + 0,25/0,06 = 4,2 \text{ м}^2 \text{ К ВТ}; \quad (6.22)$$

Коефіцієнт теплопередачі:

$$K_T = 1/(R_{\text{іс}} + R_z) = 1/(4,2 + 0,036) = 0,24 \text{ ВТ К м}; \quad (6.23)$$

Розрахунок площі основи метантенка:

$$S_{\text{осн}} = \pi \cdot d_B^2/4 = \pi \cdot 11,472^2/4 = 103,3 \text{ м}^2; \quad (6.24)$$

Розрахунок площі бічної поверхні метантенка:

$$S_{\text{біч}} = \pi \cdot d_{\text{в}} \cdot h_{\text{м}} = \pi \cdot 11,47 \cdot 10,3 = 372 \text{ м}^2 ; \quad (6.25)$$

Розрахунок площі зовнішньої поверхні метантенка:

$$S_{\text{мет}} = 2 \cdot S_{\text{осн}} + S_{\text{біч}} = 2 \cdot 103,3 + 372 = 578,6 \text{ м}^2 ; \quad (6.26)$$

Кількість втрат тепла з внутрішнього середовища:

$$Q_{\text{ввт}} = K_{\text{т}} \cdot S_{\text{мет}} \cdot (T_{\text{зб}} - T_{\text{кр}}) = 0,24 \cdot 578,6 \cdot (34 + 5) = 5368 \text{ Вт}; \quad (6.27)$$

З врахуванням того, що 1Вт·год становить 3600 Дж, втрати тепла від метантенку в довілля, що виражаються в МДж, розраховуються :

$$Q_{\text{вт}} = 0,0036 \cdot Q_{\text{ввт}} \cdot 720 = 0,0036 \cdot 5368 \cdot 720 = 13910 \text{ МДж}; \quad (6.28)$$

де $Q_{\text{м}} = 0,05 \text{ кВт} \cdot \text{год м}^3$ – питоме навантаження на мішалку;

$Z=5 \text{ год}$ – тривалість роботи мішалки;

Загальні втрати енергії на механічне перемішування біомаси в метантенку:

$$\begin{aligned} Q_{\text{мех}} &= Q_{\text{м}} \cdot V_{\text{мет}} \cdot Z \cdot 3,6 \cdot 31 = 0,05 \cdot 1065,5 \cdot 5 \cdot 3,6 \cdot 31 = \\ &= 29730 \text{ МДж міс}; \end{aligned} \quad (6.29)$$

Сума втрат енергії для реалізації процесу протягом місяця

$$Q_{\text{заг}} = Q_{\text{під}} + Q_{\text{вт}} + Q_{\text{мех}} = 132584 \text{ МДж міс}; \quad (6.30)$$

Розрахунок кількості біогазу що необхідна для підтримання температурного режиму в середині метантенка:

$$V_{\text{бг}} = Q_{\text{заг}}/Q_{\text{н}} = 132584 \cdot 23 = 5765 \text{ м}^3 ; \quad (6.31)$$

Визначення виходу товарного біогазу:

$$V_{\text{тов}} = V_{\text{біо}}/12 - V_{\text{бг}} = 234242 \cdot 12 - 5765 = 13756 \text{ м}^3/\text{міс} ; \quad (6.32)$$

Розрахунки показників енергетичної ефективності біогазових установок

Кількість енергії, що можна продати:

$$Q_{\text{тов}} = V_{\text{тов}} \cdot Q_{\text{н}} = 13756 \cdot 23 = 316400 \text{ МДж}; \quad (6.33)$$

Розрахунок коефіцієнта товарності біогазу:

$$k_{\text{тов}} = Q_{\text{тов}}/Q_{\text{бг}} \cdot 100 = 316400 / 457573 \cdot 100 = 69,14\%; \quad (6.34)$$

Місячна заміна умовного палива:

$$B_{\text{уп}} = Q_{\text{тов}}/29300 = 316400/29300 = 10,8; \quad (6.35)$$

Кількість можливої енергії на продаж за рік:

$Q_{\text{товрік}} = 4291100 \text{ МДж}$ - кількість можливої товарної енергії за рік;

$Q_{\text{ферм}} = 126000 \text{ МДж}$ - кількість необхідної енергії, яка потрібна для утримання ферми протягом року;

$$Q_{\text{продаж}} = Q_{\text{товрік}} - Q_{\text{ферм}} = 4291100 - 126000 = 4165100 \text{ МДж}; \quad (6.36)$$




Розрахунки зменшення викидів CO_2 в атмосферу протягом року

$$M_{\text{CO}_2} = V_{\text{біо}} \cdot 0,6 \cdot 1,97 = 234242 \cdot 0,6 \cdot 1,97 = 276874 \text{ м}^3 . \quad (6.37)$$

Основними елементами біогазової установки є біореактор і резервуар для збору газу - газгольдер, також важливими елементами є пристрої для нагріву і перемішування, а також пристрої управління. Згідно з розрахунками з попереднього розділу підбираємо елементи конструкції, які будуть відповідати потребам. Основні елементи біогазової установки наведені в таблиці 6.2.


Таблиця 6.2

Комплектація БГУ

№	Назва обладнання	Примітка	Умовне зображення	Ціна, тис. грн.
1	Приймальна ємність, $V=15 \text{ м}^3$	Має мішалку та насос		150
2	Біореактор, $V=1000 \text{ м}^3$	Має мішалку, теплоізоляцію та насос		2330
3	Газгольдер, $V=400 \text{ м}^3$	Полімерний з мембраною		690

Продовження табл. 6.2

4	Колона очистки біогазу від сірководня			270
5	Колона висушування біогазу			110
6	Газовий генератор N=80 кВт.	Одноконтурний		1131
7	Газовый котел РИВНЕТЕРМ-5 6			28

8	Біогазовий компресор	Вибухозахищений		80
---	----------------------	-----------------	--	----

Продовження табл. 6.2

9	Сепаратор			400
10	Електричне обладнання та матеріали			200
11	Труби і арматура			300
12	Інструменти та вимірвальні прилади			200
13	Система автоматичного керування			400
14	Система блискавкозахисту			50
	Всього:			6339

Таблиця 6.3

Технічні характеристики газового генератора Generac SG100

Газ, який використовується	Природний(біогаз)
Тиск газу (біогазу), кПа	1,25-3,5
Об'єми газу (Біогазу), м ³ /год	21,6/29,5/37,8
Рівень шуму, дБ	66
Тип двигуна	V-образний
Запуск	електростатор

Генератор типу	синхронний
Максимальна потужність, кВт	80
Вихід струму, А	144
Розміри. В*Ш*Г, мм	1611*1042*3913
Вага, кг	132
Країна-виробник	США

6.4 Вибір трансформатора

Оскільки було розраховане максимальне навантаження споживачів ферми, і як видно з нерівності, що максимальне навантаження в день більше за максимальне навантаження увечері, можна вибрати трансформатор для повної потужності денного максимуму.

Трансформатор вибирається згідно умови:

$$S_{н.тр.} > S_{розрахункова} \quad (6.38)$$

де $S_{н.тр.}$ – номінальна потужність трансформатора, кВА;

$S_{розрахункова}$ – розрахована потужність молочної ферми, кВА.

Вибираю 1 силовий енергозберігаючий трансформатор ТМГ-100 з $S_{н.тр.}=100\text{кВА}$ $100\text{ кВА} > 85,6\text{ кВА}$

Оскільки умова виконана, то даний трансформатор було підібрано правильно. [14]

6.5 Вибір силових кабелів

Розрахунок лінії 10 кВ.

Максимальний струм ділянки:

$$I_M = \frac{S_M}{\sqrt{3}U_H} = \frac{85,6}{\sqrt{3} \cdot 10} = 4,94 \text{ А} \quad (6.39)$$

де U_H – номінальна напруга з високого боку.

Розрахувати переріз можна за формулою:

$$F_e = \frac{I_M}{j_e} \quad (6.40)$$

де j_e – економічна щільність струму

Підставивши значення:

$$F_e = \frac{4,94}{1,4} = 3,53 \text{ мм}^2$$

Згідно з Правилами устаткування електроустановок(ПУЕ) для ПЛ-10кВ рекомендовано брати переріз не менше 50 мм² .[6]

Приймаю кабель ААШв 3х50 з такими параметрами як: допустимим струмом прокладання в повітрі $I_{\text{доп}} = 132 \text{ А}$., активним опором $R_0 = 0,62 \text{ Ом/км}$ та реактивним опором $X_0 = 0,08 \text{ Ом/км}$.

Вибраний кабель потрібно перевірити на умову нагрівання тривалим струмом який було розраховано вище:

$$I_{\text{доп}} \geq I_{\text{м.р.}}, \quad (6.41)$$

$$132 \text{ А} \geq 4,94 \text{ А}$$

Як видно з нерівності умова нагрівання кабелю не виконана, з чого роблю висновок, що кабель не буде нагріватися.[5]

Також потрібно розглянути падіння напруги на лінії, воно не має бути більшим за 6%, тобто $\Delta U\% < 6\%$

Розрахунок втрати напруги здійснюється за формулою:

$$\Delta U_p = P \cdot R_o + Q \cdot X_o \cdot \frac{l}{U_H} \quad (6.42)$$

де P – активна потужність, кВт;

R_o – активний опір лінії, Ом/км;

Q – реактивна потужність, кВАр;

X_o – реактивний опір лінії, Ом/км;

l – відстань прокладання кабелю (довжина);

U_H – номінальна напруга, кВ.

$$\Delta U_p = (70,66 \cdot 0,62 + 51,18 \cdot 0,08) \cdot \frac{2,9}{10} = 13,86 \text{ В}$$

Тепер потрібно знайти % втрату напруги, для цього використаю наступну формулу:

$$\% \Delta U_p = \frac{\Delta U_p}{U_H} \cdot 100\%$$

$$\% \Delta U_p = \frac{13,89}{1000} \cdot 100\% = 0,139\%$$

Перевірю виконання умови $\Delta U\% < 6\%$:

$$0,139\% < 6\%$$

Так як умова виконана, то кабель модна вважати підібрано правильно. Розрахунок лінії 0,4 кВ. Від трансформаторної підстанції відходить 3 живильних лінії 0,4 кВ. Перша лінія живить бригадний будинок, ветеринарний пункт та насосну станцію.

Розрахунок першої відхідної лінії.

Потужність на ділянці визначаємо за формулою:

$$P_{\text{д}} = \sum P \cdot K_{\text{o}} \quad (6.44)$$

де $\sum P$ - сумарна потужність ділянок;

K_{o} – коефіцієнт одночасності.

Тоді для ділянки 2-3 потужність складатиме:

$$P_{\text{д}} = 7,59 \text{ кВт}$$

Повну потужність ділянки ми знаходимо за формулою:

$$S_{\text{д}} = \frac{P_{\text{д}}}{\cos \varphi} \quad (6.45)$$

де $\cos \varphi$ - коефіцієнт потужності.

Повна потужність для ділянки 2-3 становитиме:

$$S_{\text{д}} = \frac{7,59}{0,8} = 9,49 \text{ кВа}$$

Далі потрібно розрахувати еквівалентну потужність:

$$S_{\text{екв}} = S_{\text{д}} \cdot K_{\text{з.н.}} \quad (6.46)$$

де $K_{\text{з.н.}}$ – коефіцієнт зростання навантаження.

Еквівалентна потужність для ділянки 2-3 складатиме:

$$S_{\text{екв}} = 9,49 \cdot 0,7 = 6,64 \text{ кВа}$$

Для ділянки 1-2 повторимо всі розрахунки:

$$P_{д(1-2)} = (7,59+6,8)*0,9=12,95\text{кВт}$$

$$S_{д} = \frac{12,95}{0,8} = 16,19 \text{ кВА}$$

$$S_{\text{екв}} = 16,19 * 0,7 = 11,33 \text{ кВА}$$

Для ділянки 0-1 повторимо всі розрахунки:

$$P_{д(0-1)} = (16,19+4,3)*0,9=18,44 \text{ кВт}$$

$$S_{д} = \frac{18,44}{0,8} = 23,05 \text{ кВА}$$

$$S_{\text{екв}} = 23,05*0,7 = 16,12 \text{ кВА}$$

Далі розраховую максимальний струм ділянки:

$$I_{м} = \frac{S_{м}}{\sqrt{3}U_{н}} = \frac{16,12}{\sqrt{3}*0,4} = 23,29\text{А} \quad (6.47)$$

Розрахунковий переріз знаходимо за формулою

$$F_{e} = \frac{23,29}{1,1} = 21,17\text{мм}^2$$

Вибираємо кабель ВВГ 4x25, він може витримувати навантаження до 75,7 кВА, $\Delta U = 0,354 \text{ В}$, $I_{\text{доп}}=112 \text{ А}$, $R_0=0,74 \text{ Ом/км}$, $X_0=0,066 \text{ Ом/км}$.

$$S_{п} = 75,7 \text{ кВА} \geq S_{\text{екв}} = 16,135 \text{ кВА},$$

$$I_{\text{доп}} = 112\text{А} \geq I_{м} = 23,29\text{А}$$

Як видно з нерівності умова нагрівання кабелю не виконана, з чого роблю висновок, що кабель не буде нагріватися. Також потрібно перевірити обраний кабель на втрати напруги.

Знайти втрати напруги на всіх ділянках можна за формулою:

$$U_{\text{д}} = \Delta U_{\text{табл.}} \cdot S_{\text{д}} \cdot l_{\text{д}} \quad (6.48)$$

де $\Delta U_{\text{табл.}}$ – втрати напруги залежно від жили кабелю(матеріалу) вибирається з таблиці.

$l_{\text{д}}$ - довжина лінії (ділянки), м.

Втрата напруги для першої лінії складає:

$$U_{2-3} = 0,354 \cdot 9,49 \cdot 29,5 \cdot 10^{-3} = 0,099\%$$

$$U_{1-2} = 0,354 \cdot 16,19 \cdot 29,5 \cdot 10^{-3} = 0,095\%$$

$$U_{2-3} = 0,354 \cdot 23,05 \cdot 29,5 \cdot 10^{-3} = 0,065\%$$

Сумарна втрата напруги складає 0,159% що відповідає умові яку ставить ПУЕ $\Delta U\% < 6\%$, через що остаточно можна прийняти для усіх ділянок кабель ВВГ 4х25.

Розрахунок другої лінії, що відходить. 2 лінія живить склад(кормоцех) та гараж.

Для ділянки 4-5 повторимо всі розрахунки:

$$P_{\text{д(4-5)}} = 5,45 \cdot 0,9 = 4,91 \text{ кВт}$$

$$S_{\text{д}} = \frac{4,91}{0,8} = 6,14 \text{ кВА}$$

$$S_{\text{екв}} = 6,14 \cdot 0,7 = 4,3 \text{ кВА}$$

Для ділянки 0-4 повторимо всі розрахунки:

$$P_{\text{д(0-4)}} = (6,14 + 22,15) \cdot 0,9 = 25,46 \text{ кВт}$$

$$S_{\text{д}} = \frac{25,46}{0,8} = 31,83 \text{ кВА}$$

$$S_{\text{екв}} = 31,83 \cdot 0,7 = 22,28 \text{ кВА}$$

Далі розраховую максимальний струм ділянки:

$$I_{\text{м}} = \frac{S_{\text{м}}}{\sqrt{3}U_{\text{н}}} = \frac{31,83}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 45,94 \text{ А}$$

Вибираю кабель ВВГ 4х25, він може витримувати навантаження до 75,7 кВА, $\Delta U_{\text{табл.}} = 0,354 \text{ В}$, $I_{\text{доп}} = 112 \text{ А}$, $R_0 = 0,74 \text{ Ом/км}$, $X_0 = 0,066 \text{ Ом/км}$.

$$S_{\text{п}} = 75,7 \text{ кВА} \geq S_{\text{екв}} = 22,28 \text{ кВА},$$

$$I_{\text{доп}} = 112 \text{ А} \geq I_{\text{м}} = 45,94 \text{ А}$$

Умови виконанні, це означає що кабель підібрано правильно. Також потрібно перевірити обраний кабель на втрати напруги.

$$U_{4-5} = 0,354 \cdot 6,14 \cdot 27,5 \cdot 10^{-3} = 0,06\%$$

$$U_{1-2} = 0,354 \cdot 31,83 \cdot 8,2 \cdot 10^{-3} = 0,092\%$$

Сумарна втрата напруги складає 0,152% що відповідає умові яку ставить ПУЕ $\Delta U\% < 6\%$, тому кабель марки ВВГ 4х25 підходить.

Розрахунок третьої лінії, що відходять.

Третя лінія живить корівник у який входять молочне та основне приміщення, тому їх буде об'єднано [47].

Для ділянки 0-6 повторимо всі розрахунки:

$$P_{\text{д(0-6)}} = (15,93 + 18,94) \cdot 0,9 = 31,38 \text{ кВт}$$

$$S_{\text{д}} = \frac{31,38}{0,8} = 39,23 \text{ кВА}$$

$$S_{\text{екв}} = 39,23 \cdot 0,7 = 27,46 \text{ кВА}$$

Далі розраховую максимальний струм ділянки:

$$I_{\text{м}} = \frac{S_{\text{м}}}{\sqrt{3}U_{\text{н}}} = \frac{39,23}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 56,62 \text{ А}$$

Вибираю кабель ВВГ 4х25, він може витримувати навантаження до 75,7 кВА, $\Delta U_{\text{табл.}} = 0,354 \text{ В}$, $I_{\text{доп}} = 112 \text{ А}$, $R_0 = 0,74 \text{ Ом/км}$, $X_0 = 0,066 \text{ Ом/км}$.

$$S_{\text{п}} = 75,7 \text{ кВА} \geq S_{\text{екв}} = 27,46 \text{ кВА},$$

$$I_{\text{доп}} = 112 \text{ А} \geq I_{\text{м}} = 56,62 \text{ А}$$

Умови виконанні, це означає що кабель підібрано правильно. Також потрібно перевірити обраний кабель на втрати напруги.

$$U_{0-6} = 0,354 \cdot 39,23 \cdot 32,5 \cdot 10^{-3} = 0,451 \%$$

Сумарна втрата напруги складає 0,451% що відповідає умові яку ставить ПУЕ $\Delta U\% < 6\%$, тому кабель марки ВВГ 4х25 підходить.

На рис. 6.2 показано план підключення приміщень до трансформаторної підстанції на фермі.

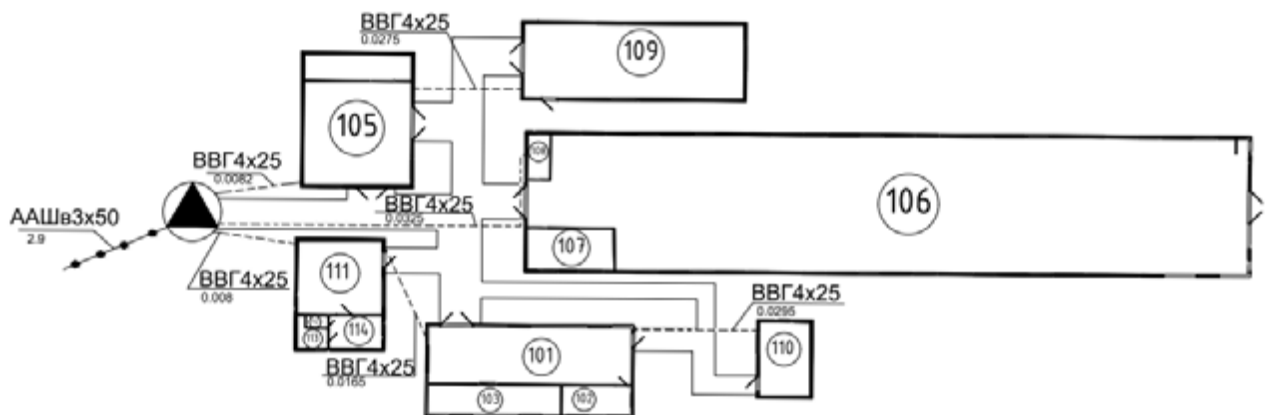


Рис. 6.2 – План молочної ферми

- Приміщення на плані позначенні наступним чином: 100 — ТП 10/0,4 кВ;
 101-103 — Ветеринарний пункт;
 104-105 — Складське приміщення (кормоцех);
 106-108— Корівник та молочний блок;
 109 — Гараж;
 110 — Насосний будинок (насосна станція)
 111-114 — Бригадний будинок 53

6.6 Вибір автоматичних вимикачів на відхідних лініях

Спершу потрібно розрахувати струм короткого замикання, для цього розрахую опір елементів ланцюга.

Опір ПЛ-10кВ ААШв 3х50:

$$z_{\text{пл}} = (\sqrt{r_0^2 + x_0^2}) \cdot l \quad (6.49)$$

де $R_0=0,62$ Ом/км – активний опір кабелю ААШв 3х50;

$X_0=0,08$ Ом/км – індуктивний опір даного кабелю.

$$z_{\text{пл}} = \left(\sqrt{0,62^2 + 0,08^2} \right) \cdot 2,9 = 1,81 \text{ Ом}$$

Далі знаходимо опір трансформатора:

$$Z_{\text{т}} = \frac{4,5}{100} \cdot \frac{(10 \cdot 10^3)^2}{100000} = 45 \text{ Ом}$$

Струм к.з. у точні 1:

$$I_{\text{тр}} = \frac{U_{\text{н}}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\text{пл}}} \quad (6.50)$$

$$I_{\text{тр}} = \frac{10000}{\sqrt{3} \cdot 1,68} = 3436,61 \text{ A}$$

Струм к.з. у точці 2:

$$I_{\text{тр}} = \frac{U_{\text{н}}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\text{пл}}}$$

$$I_{\text{тр}} = \frac{10000}{\sqrt{3} \cdot 46,68} = 123,68 \text{ A}$$

Для того щоб дізнатися струм к.з. на шині 0,4 кВ наведу $I_{\text{кз}}$ до напруги 0,4 кВ:

$$I_{\text{кз}} = 123,68 \cdot \frac{10000}{0,4} = 3092 \text{ A}$$

І тепер можна вибрати автоматичні вимикачі на лінії, що відходять. Вибір автоматичних вимикачів. Автоматичні вимикачі використовують для автоматичного відключення ланцюгів при к.з. або якщо виник ненормальний режим роботи, також їх можна використовувати для не частого вмикання та вимикання лінії.[5]

Автоматичні вимикачі вибираю за такими умовами:

$$U_{\text{н.а.}} \geq U_{\text{н.у.}}$$

$$I_{\text{н.а.}} \geq I_{\text{н.у.}}$$

$$I_{\text{м.с.}} \geq K_{\text{тр}} \cdot I_{\text{р.}}$$

$$I_{\text{м.відкл.}} = I_{\text{кз}}$$

За даними формулами можна здійснити вибір автоматичного вимикача для 1 лінії.

Робочий струм лінії:

$$I_{\text{тр}} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н}}}$$

$$I_{\text{тр}} = \frac{23,05}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 33,27 \text{ A}$$

S – повна потужність 1 лінії.

Визначаю робочий струм врахувавши коефіцієнту теплового розчіплювача:

$$K_{\text{тр}} \cdot I_{\text{р}} = 1,1 * 33,27 = 36,6 \text{ A}$$

Для 1-ї лінії живлення приймаю автоматичний вимикач серії FMC 2/3U 40A компанії Промфактор, $I_{\text{н}} = 40 \text{ A}$, $I_{\text{м.с.}} = 400 \text{ A}$ та $I_{\text{м.відкл.}} = 35 \text{ кА}$

Так як умови виконуються, можна зробити висновок, що автоматичний вимикач вибрано правильно. Далі вибираю автоматичний вимикач для 2 лінії, що відходить.

Робочий струм на лінії знаходимо за формулою:

$$I_{\text{тр}} = \frac{31,83}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 45,94 \text{ A}$$

Визначаю робочий струм врахувавши коефіцієнту теплового розчіплювача:

$$K_{\text{тр}} \cdot I_{\text{р}} = 1,1 * 45,94 = 50,53 \text{ A}$$

Для 2-ї лінії живлення приймаю автоматичний вимикач серії FMC 2/3U 63A компанії Промфактор, $I_{\text{н}} = 63 \text{ A}$, $I_{\text{м.с.}} = 630 \text{ A}$ та $I_{\text{м.відкл.}} = 35 \text{ кА}$

Так як умови виконуються, можна зробити висновок, що автоматичний вимикач вибрано правильно.

Далі вибираю автоматичний вимикач для 3 відхідної лінії.

Робочий струм на лінії знаходимо за формулою:

$$I_{\text{тр}} = \frac{39,23}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 56,62 \text{ A}$$

Визначаю робочий струм врахувавши коефіцієнту теплого розчіплювала:

$$K_{\text{т.р}} \cdot I_{\text{р.}} = 1,1 \cdot 56,62 = 62,28 \text{ A}$$

Для 3-ї лінії живлення приймаю автоматичний вимикач серії FMC 2/3U 63A компанії Промфактор, $I_n = 63 \text{ A}$, $I_{\text{м.с.}} = 630 \text{ A}$ та $I_{\text{м.відкл.}} = 35 \text{ кА}$.

Так як умови виконуються, можна зробити висновок, що автоматичний вимикач вибрано правильно. Вибрані автоматичні вимикачі та їх паспортні дані зображенні в табл. 6.4.

Таблиця 6.4

Вибрані автоматичні вимикачі та їх параметри

Номінальна гранична найбільша відключаюча здатність при напрузі 380В, кА	Номінальний струм вимикача, А	Струм уставки електромагнітного розчеплювача	Найменування автоматичного вимикача
35	40	400	FMC 2/3U 3P 40A
35	63	630	FMC 2/3U 3P 63A
35	63	630	FMC 2/3U 3P 63A 3.6

6.7 Вибір когенераційної установки

В результаті отриманих розрахунків виходу товарного біогазу, було підібрано когенераційну установку яка зображена на рис.3.4, а саме по виходу товарного біогазу яке становить 6,07 м³ /хв. Її параметри наведено в табл.3.3.

Також було розраховано генерацію електричної та теплової енергії цією установкою, результати наведенні в табл.3.4.

Параметри когенераційної установки наведено в табл. 6.5.

Таблиця 6.5

Параметри когенераційної установки

Параметр	Значення
Тип агрегату	HE-PG836-B
Модель двигуна	Perkins 4016-61TRS1
Країна виробник	Англія
Електрична потужність	836 кВт
Електричний ККД	38,5 %
Теплова потужність	1020 кВт
Тепловий ККД	54 %
Втрати	8,5 %
Споживання газу	6,074 м ³ /хв

Таблиця 6.6

Генерація електричної та теплової енергії та споживання

	День	Місяць	Рік
Вихід товарного біогазу	8683 м ³	260500 м ³	3,169*10 ⁶ м.
Отримана кількість електричної енергії	20710 кВт * год	0.621 тис. МВт * год	7,56 тис. МВт * год
Отримана кількість теплової енергії	24480 кВт * год	0.734 тис. МВт * год	8,93 тис. МВт * год
Енергоспоживання станції аерації	36440 кВт * год	1,093 тис. МВт*год	13,3 тис. МВт*год

З таблиці видно, що електричної енергії виробленої в когенераційній установці вистачає лише на покриття 55% потреб водоочисної станції. З урахуванням того, що станція споживає орієнтовано 13,3 тис. МВт*год/рік. Тобто при необхідності потрібно буде споживати енергію з мережі. Потреби в тепловій енергії покрито понад чим над 100%. Вироблена тепла енергія йде на потреби станції, та на опалення в зимовий період, а вся надлишкова тепла відправляється на потреби місцевих лікарень та шкіл.

Висновки до розділу 6

Автономна система електропостачання фермерського господарства передбачає точне визначення добової потреби в електроенергії, пікових

навантажень і режимів роботи обладнання з урахуванням сезонних умов. Графік навантажень дозволяє виявити півгодинний максимум споживаної потужності, що слугує основою для розрахунку джерел енергопостачання й вибору апаратури.

В даному розділі було розраховано силове та освітлювальне навантаження на фермі, здійснив вибір силового трансформатора, розрахував переріз кабелів, струми короткого замикання та було обрано автоматичні вимикачі.

Всі технологічні агрегати враховані в енергетичному балансі з визначенням їхньої встановленої потужності та тривалості дії. Потужність електродвигунів і параметри пуску розраховано з урахуванням допустимих механічних і теплових навантажень. Електроосвітлення проєктовано методом коефіцієнта використання світлового потоку, із забезпеченням нормативної освітленості та розрахунком кількості й розміщення світильників.

Вибір кабельної продукції, апаратури захисту й управління (вимикачів, пускачів, теплових реле) здійснено відповідно до розрахункових струмів та умов експлуатації. Застосування радіальної схеми електропостачання з резервуванням забезпечує надійність і стабільність роботи електрообладнання в умовах змінних навантажень сільськогосподарського виробництва.

РОЗДІЛ 7

ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ БІОГАЗОВОЇ КОГЕНЕРАЦІЙНОЇ УСТАНОВКИ

7.1. Методи аналізу економічної ефективності біогазових установок

Впровадження економіки замкнутого циклу є одним із пріоритетів світової економіки, а енергоефективність є одним із стовпів. У розділі обговорюється ефективне використання відходів агропродовольчої промисловості для відходів в енергію на біогазових установках. Його основною метою є порівняльна оцінка екологічної ефективності виробництва біогазу в залежності від типу використовуваної сировини, її транспортування та можливості використання тепла, що виробляється. Вплив аналізованих установок на довкілля було оцінено із застосуванням методології оцінки життєвого циклу (LCA).

Аналіз LCA показав, що біогазова установка з нижчим рівнем використання відпрацьованого тепла, де субстрати доставлялися колісним транспортом, негативно впливає на навколишнє середовище. Структура розподілених витрат за виробництво енергії свідчить про значну частку витрат за постачання сировини у вартості коефіцієнта LCOE.

Таким чином, фактором, що впливає на досягнення високої економічної ефективності, є розташування біогазової установки в безпосередній близькості від агропродовольчої переробної фабрики, з якої основна сировина для виробництва біогазу подається по передавальному трубопроводу, в той час як тепло передається для потреб виробничих процесів у фермерському господарстві. Відходи в енергію є одним із елементів економіки замкнутого циклу. Враховуючи життєвий цикл продукту, це останній варіант після повторного використання, відновлення та переробки. Тим не менш, у життєвому циклі багатьох продуктів утворюються відходи, які зазнають процесу рекуперації електрики та теплопостачання. Відходи в енергію у

контексті переробки сільськогосподарських відходів та відходів агропродовольчої промисловості на сільськогосподарських біогазових установках є частиною рекуперації енергії. Багато факторів визначають ефективну роботу біогазової установки.

З екологічної та економічної точки зору сировина субстратів та їх транспортування є дуже важливим питанням, тоді як оптимізація цих процесів визначає переваги, що можуть виникнути від процесу переробки відходів на енергію. Тому варто наголосити, що тема, розглянута в цьому розділі, важлива не лише з погляду пошуку ефективних рішень для економіки замкнутого циклу, а й у контексті необхідності диверсифікації джерел та методів придбання енергії.

У випадку Польщі дотримання вимог ЄС, які передбачають 15% частки енергії з відновлюваних джерел у загальному валовому споживанні енергії, буде можливим переважно внаслідок розвитку ринку сільськогосподарських біогазових установок. У проекті документа Національна енергетична політика до 2050 року біомаса та біогаз визнано найважливішими джерелами виробництва відновлюваних джерел енергії. Польща має значні ресурси біомаси, що надаються широко розвиненим польським сільським господарством та агропродовольчою промисловістю. У цьому розділі представлені дослідження, присвячені порівняльній оцінці екологічної ефективності процесу виробництва біогазу в залежності від типу використовуваної сировини, її перенесення та можливості використання тепла, що виробляється.

На їх основі було обрано варіант сільськогосподарської біогазової установки, реалізація якого може бути рекомендована в рамках будівництва економіки замкнутого циклу, одним із стовпів якої є енергоефективність.

Як суб'єкти цього дослідження було обрано дві сільськогосподарські біогазові установки, що працюють в Україні для цілей цього аналізу вони були позначені як "Біогазова установка А" та "Біогазова установка В". Суб'єкти були обрані таким чином, щоб вони відрізнялися за встановленою потужністю, типом сировини та способом його транспортування, методом використання

тепла та поводження з дигестатом. Вони також відображають встановлену потужність установок, які працюють в Україні. Основною метою проведених досліджень була порівняльна оцінка екологічної та економічної ефективності процесу переробки відходів в енергію із субстратів, що містять фракції сільськогосподарських відходів. Проміжні цілі включають:

Виявлення та оцінка негативних та позитивних екологічних впливів, пов'язаних з процесом переробки відходів в енергію із субстратів, що містять фракції сільськогосподарських відходів; Оцінка собівартості виробництва енергії, що надходить із відновлюваних джерел, на прикладі аналізованих біогазових установок.

Оцінка впливу на довкілля проводилася з використанням методології оцінки життєвого циклу (LCA) на основі ISO 14040-44 та з використанням методу "Impact 2002+". Функціональна установка була визначена як спалювання біогазу в кількості, що дозволяє виробляти 1 МВтч електроенергії зі стандартними параметрами на біогазовій установці, аналогічно роботам Лихо, тому що основною функцією досліджуваних біогазових установок є постачання електроенергії в національну мережу агропродовольче господарство. Тепло та дигестат є побічними продуктами процесу.

Розрахунки на довкілля засновані на реальних даних операторів біогазових установок. Дані з бази даних Ecoinvent використовувалися лише для аналізу, пов'язаного з виробництвом вантажівок, стадією їх експлуатації та кількістю викидів під час спалювання дизельного палива. Дані про вирощування енергетичних культур були зібрані на основі емпіричних даних, а також літературних даних та цінностей, що включені до бази даних Ecoinvent. Дані про екобаланс були зібрані для окремих процесів, реалізованих у рамках сучасної технології мезофільної ферментації.

Кордони системи включали енергетичні культури, що забезпечують сировину, включаючи транспортування, виробництво енергії, зберігання та застосування дистиляторів. Будівництво та знесення біогазових установок, а також утворення відходів були виключені з досліджень.

Метод LCOE був обраний через те, що він найбільше широко використовується в країнах ЄС з використанням системи пільгових тарифів. Це дозволяє порівняти всі витрати на виробництво енергії з різних джерел, створених різними технологіями протягом усього їхнього життєвого циклу. Нормалізована методологія оцінки LCOE розробили США. Управління енергетичної інформації, одна з найважливіших незалежних американських установ. Розподілена вартість виробництва енергії є мінімальною ціною, за якою сума дисконтованих доходів дорівнює сумі дисконтованих витрат з урахуванням інвестиційних витрат, понесених на будівництво, експлуатаційні та фінансові витрати, а також вартості власного капіталу, понесеного за цей період життєвого циклу установки [48].

Метод LCOE відображає загальний технологічний та фінансовий ризик; він є реальними інвестиційними витратами, пов'язані з виробництвом електроенергії на регульованих монопольних ринках електроенергії з регульованими цінами. Рівняння вказує на рівність між поточною вартістю дисконтованих доходів та поточною вартістю дисконтованих витрат з урахуванням інвестиційних витрат. Слід підкреслити, що дисконтується не кількість енергії, що виробляється, а дохід, отриманий від продажу певної кількості енергії протягом цього року, тобто економічна вартість виробленої енергії [1].

7.2. Розрахунок економічних показників теплових схем когенераційної енергетичної установки

Для досягнення мети було поставлено та вирішено такі завдання:

1. Провести тепловий розрахунок всіх схем когенераційної енергетичної установки, що розглядаються.

Для проведення теплових розрахунків схем регенерації КЕУ було прийнято такі характеристики установки:

– електрична потужність КЕУ $N_e = 4000$ кВт;

- розрахункове теплове навантаження котла-утилізатора $Q_{\text{КУ}}^{\text{P}} = 3500$ кВт;
- температура газів, що йдуть після котла-утилізатора $t_5 = 170^{\circ}\text{C}$;
- температура газів після турбіни $t_4 = 584^{\circ}\text{C}$;
- температура води, що нагрівається на вході котла-утилізатора $t_{2\text{H}} = 70^{\circ}\text{C}$;
- температура нагрітої води на виході котла-утилізатора $t_{2\text{К}} = 110^{\circ}\text{C}$;
- температура повітря на вході камери згоряння становить $t'_{\text{КС}} = 455 \div 500^{\circ}\text{C}$ (залежно від схеми регенерації);
- температура повітря на виході з компресора та вході ГВП $t_{2\text{H}}^{\text{ГВП}} = 405^{\circ}\text{C}$;
- нижча теплота згоряння палива $Q_{\text{H}}^{\text{P}} = 44300$ кДж/кг.

2. З отриманих даних теплових розрахунків розрахувати економічні показники для аналізованих схем.

Як зазначалося вище, до основних показників енергетичної ефективності ставляться: електричний ($\eta_{\text{ел}}$) та тепловий ($\eta_{\text{ТЕ}}$) ККД, що характеризують витрату палива на одиницю виробленої електричної та теплової енергії відповідно. Розраховуються значення цих ККД за формулами:

$$\eta_{\text{ел}} = \frac{N_{\text{э}}}{q_{\text{T}} Q_{\text{H}}^{\text{P}}}; \eta_{\text{ТЕ}} = \frac{Q_{\text{ТЕ}}}{q_{\text{T}} Q_{\text{H}}^{\text{P}}}; Q_{\text{ТЕ}} = Q_{\text{КУ}} + Q_{\text{ГВП}} \quad (7.1)$$

де q_{T} - Витрата палива, кг / с.

$Q_{\text{КУ}}, Q_{\text{ГВП}}$ - теплова потужність відповідно котла-утилізатора та газо-повітряного підігрівача, кВт;

$Q_{\text{ТЕ}}$ - теплова потужність усієї когенераційної установки, кВт.

А також коефіцієнт використання теплоти палива ($\eta_{\text{кеу}}$), що характеризує ефективність роботи всієї установки:

$$\eta_{\text{кеу}} = \frac{Q_{\text{ТЕ}} + N_{\text{е}}}{q_{\text{т}} Q_{\text{н}}^{\text{р}}} = \eta_{\text{ел}} + \eta_{\text{ТЕ}} \quad (7.2)$$

3. Спираючись на результати проведених розрахунків визначити найбільш економічний варіант схеми отримання тепла газів, що йдуть з максимальним значенням коефіцієнта корисної дії і мінімальним значенням витрати палива.

Перший із розглянутих варіантів теплових схем когенераційних установок, представлений на рис. 7.1. Повітря, що нагнітається компресором (К), надходить у камеру згоряння (КС). Гази, що виходять з камери згоряння, прямують у газову турбіну (Т) і, виконуючи роботу, обертають електрогенератор (Г). Частина газів, що йдуть з турбіни (Т), утилізується в котлі-утилізаторі (КУ), а частина, що залишилася, викидається в атмосферу через байпас. Таким чином, здійснюється одночасне вироблення електричної та теплової енергії.

При цьому теплова потужність КУ складає $Q_{\text{КУ}} = 3459$ кВт, витрата палива $q_{\text{т}} = 0,256$ кг/с, електричний ККД ($\eta_{\text{ел}} = 0,3528$) та тепловий ККД ($\eta_{\text{ТЕ}} = 0,3051$), а загальний ККД ($\eta_{\text{кеу}}$) дорівнює:

$$\eta_{\text{кеу}} = \eta_{\text{ел}} + \eta_{\text{ТЕ}} = 0,3528 + 0,3051 = 0,6579 \quad (7.3)$$

Тепловий та конструктивний розрахунки котла-утилізатора проведені для температури навколишнього середовища в зимовий час $t_{\text{oc}} = -15^{\circ}\text{C}$. У випадку, коли температура навколишнього середовища стає нижчою за розрахункову, то частина газів, що йдуть, через байпас перепускається в котел-утилізатор, тим

самим збільшуючи його теплову потужність. При повністю закритому байпасі потужність КУ становить $Q_{КУ} = 5284$ кВт.

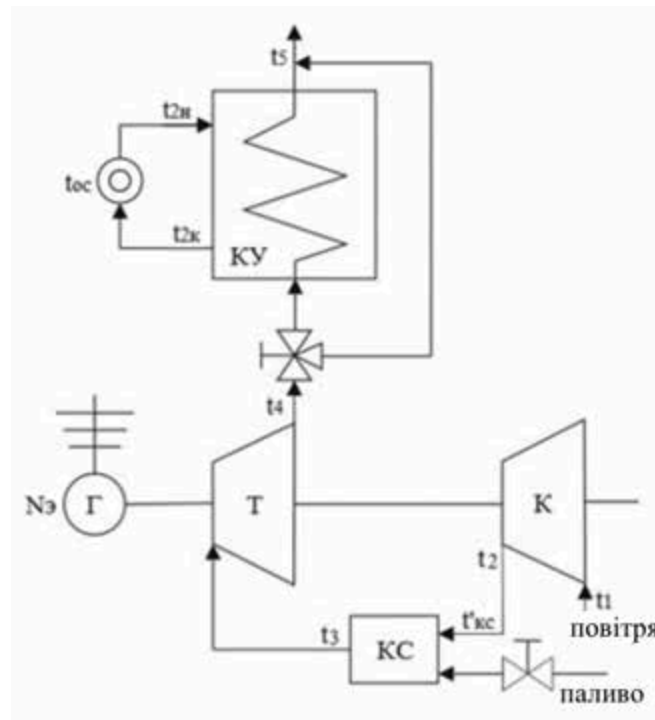


Рис. 7.1. Схема когенераційної установки з байпасом котлоутилізатора

Перевагою схеми, що розглядається, є можливість забезпечити збільшення теплової потужності котла-утилізатора для зимового періоду зі зниженими температурами навколишнього середовища за рахунок байпасу котла-утилізатора. Однак такий спосіб регулювання відпустки тепла значно знижує можливий ККД установки, тому що зайве тепло в більш теплу пору року марно втрачається.

Другий варіант схеми дозволяє підвищити економічність установки за рахунок використання тепла газів, що йдуть через байпас в обхід КУ для підігріву повітря після компресора в газо-повітряному підігрівачі (рис. 2).

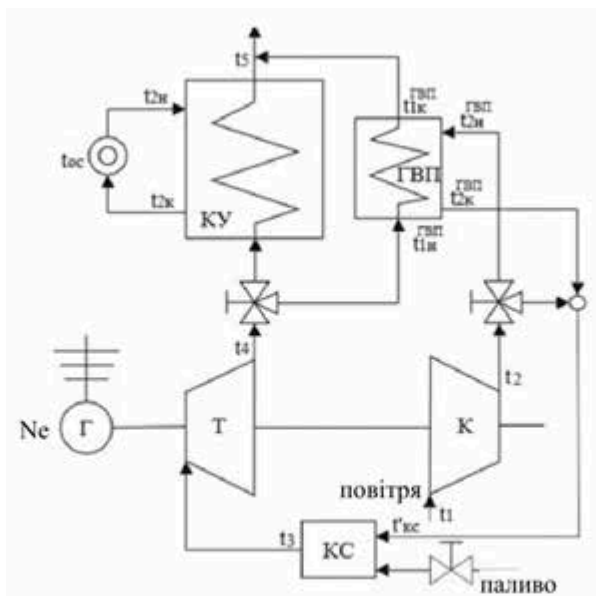


Рис. 7.2. Схема когенераційної установки із частковим підігрівом повітря після компресора

При такому варіанті схеми загальний ККД установки збільшується за рахунок підвищення температури повітря на вході в камеру згорання, і, як наслідок, зниження витрат палива до $q_T = 0,242 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$.

Теплова потужність КУ, як і в попередній схемі, дорівнює $Q_{КУ} = 3459 \text{ кВт}$, а теплова потужність ГВП $-Q_{ГВП} = 602 \text{ кВт}$. Таким чином, ККД теплової частини установки складає $\eta_{ТЕ} = 0,3785$, електричний ККД $\eta_{ел} = 0,3728$ та загальний:

$$\eta_{кеу} = \eta_{ТЕ} + \eta_{ел} = 0,3785 + 0,3728 = 0,7513.$$

Значення загального ККД теплової схеми зростатиме із зменшенням температури газів на виході ГВП, проте пропорційно зростатиме і поверхня теплообміну підігрівача, що призведе до подорожчання теплообмінного обладнання та установки загалом.

При зниженні температури навколишнього середовища нижче за розрахункову, витрата газу після турбіни можна перерозподілити, забезпечуючи споживача теплом у повному обсязі.

Третій варіант технологічної схеми КЕУ передбачає використання всієї теплоти газів, що йдуть у котлі-утилізаторі, наприклад, для потреб теплопостачання (рис. 7.3).

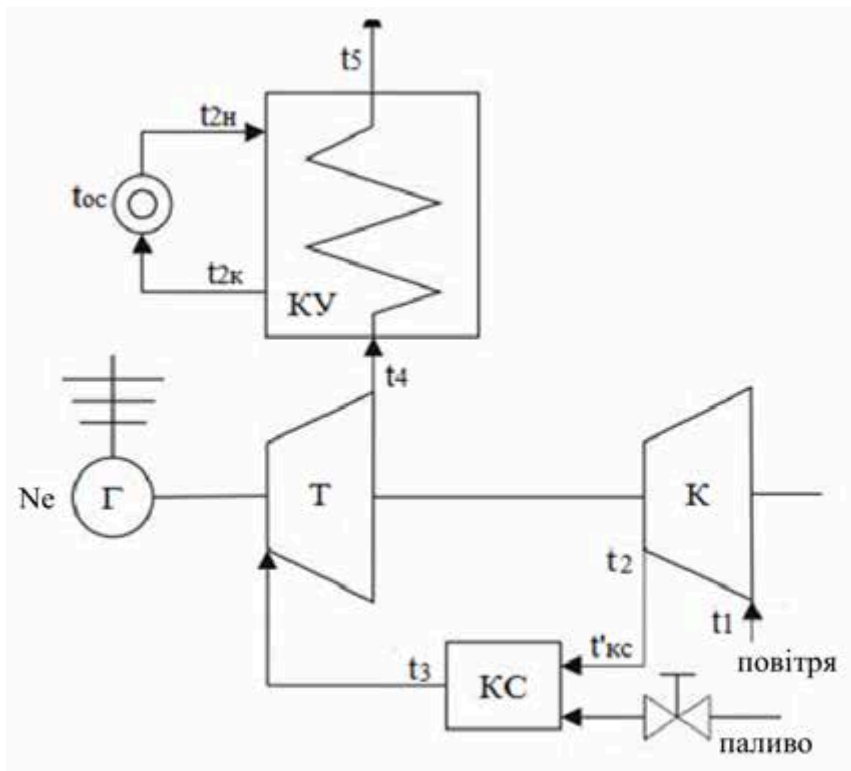


Рис. 7.3. Схема когенераційної установки з утилізацією тепла газів, що йдуть у котлі-утилізаторі (КУ)

Для цього варіанта схеми витрата палива становить $q_T = 0,256$ кг/с, теплова потужність КУ зростає до $Q_{КУ} = 5284$ кВтта загальний ККД ($\eta_{КЕУ}$) також збільшується:

$$\eta_{КЕУ} = \eta_{ТЕ} + \eta_{ел} = 0,4660 + 0,3528 = 0,8188.$$

У цій схемі значення загального ККД установки вище, ніж у попередній схемі, незважаючи на більшу витрату палива, за рахунок збільшення ККД теплової частини установки $\eta_{TE} = 0,4660$.

Головною перевагою даної технологічної схеми є простота та дешевизна. А недоліком, відсутність можливості регулювання відпуску теплової енергії у разі зміни теплового навантаження чи сезону.

Четвертий варіант технологічної схеми поєднує переваги першої та другої схем і представлений на рис. 4.

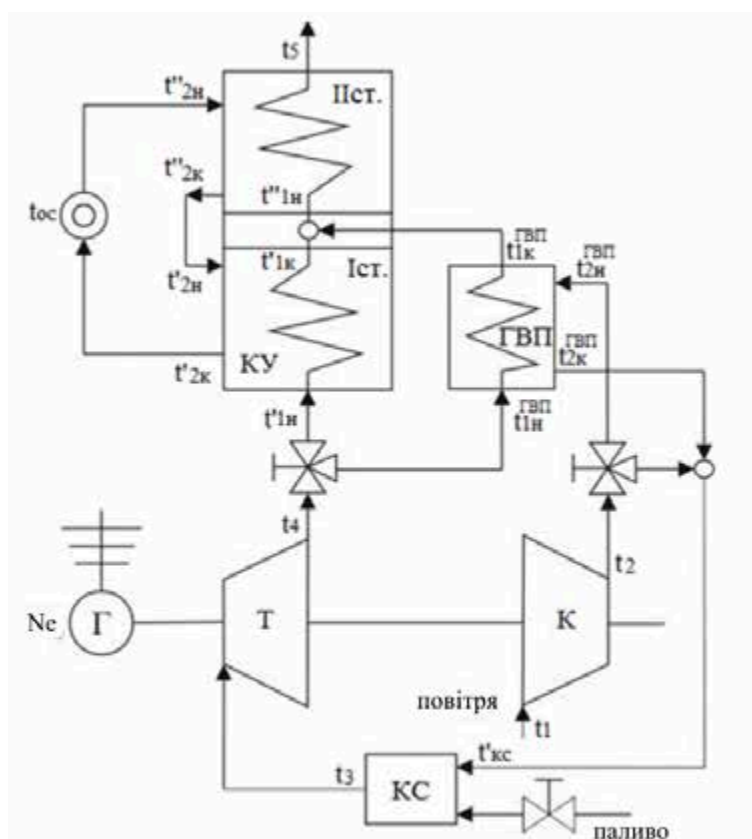


Рис. 7.4. Схема когенераційної установки з частковим підігрівом повітря та двоступінчастим КУ

У цій схемі котел-утилізатор має два ступені та тепло газів, після газо-повітряного підігрівача, використовується в другому ступені КВ.

Витрата палива для цієї схеми складає $q_T = 0,242$ кг/с, теплова потужність котла-утилізатора та газо-повітряного підігрівача – відповідно $Q_{КУ} = 4673$ кВт, $Q_{ГВП} = 602$ кВт, А загальний ККД установки дорівнює:

$$\eta_{КЕУ} = \eta_{ТЕ} + \eta_{ел} = 0,4916 + 0,3728 = 0,8644.$$

Як видно з результатів розрахунку економічних показників схеми, що розглядається, такий варіант утилізації тепла газів, що йдуть, робить схему більш економічною, проте ускладнює і подорожчає її, що є недоліком. Таким чином, при виборі цього варіанта схеми слід співвідносити величину підвищення ефективності з величиною збільшення капіталовкладень.

Останній із розглянутих варіантів технологічних схем КЕУ представлений на рис. 7.5. У цій схемі газ, що йде, з турбіни направляється в ГВП, де віддають тепло повітря, що надходить з компресора, а потім в КУ. Такий варіант регенерації дозволяє ще більше знизити витрати палива за рахунок збільшення температури повітря на вході в камеру згоряння.

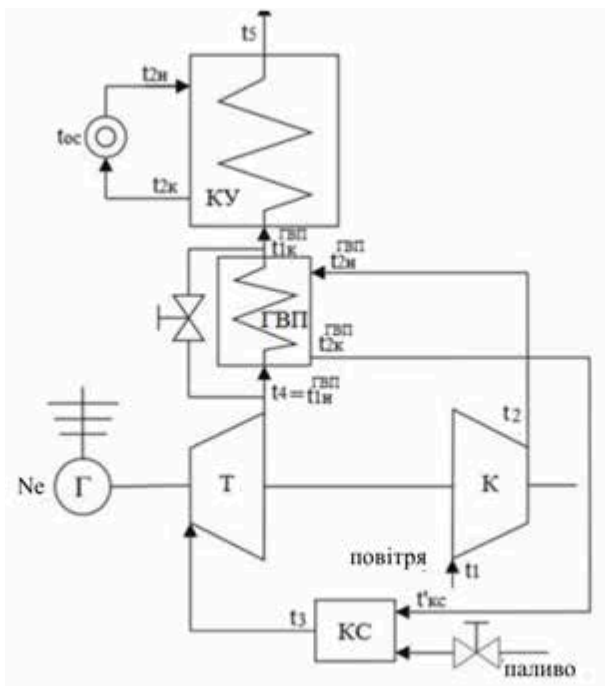


Рис. 7.5. Схема когенераційної установки з максимальною утилізацією тепла газів.

Витрата палива для даної схеми складає $q_T = 0,229$ кг/с, а теплова потужність КУ та ГВП відповідно дорівнює $Q_{КУ} = 3538$ кВт і $Q_{ГВП} = 1729$ кВт.

Загальний ККД установки дорівнює:

$$\eta_{кеу} = \eta_{те} + \eta_{эл} = 0,5185 + 0,3973 = 0,9122.$$

Незважаючи на значне зниження теплового потоку на вході в котел-утилізатор за рахунок збільшення теплової потужності ГВП ($Q_{ГВП} = 1729$ кВт) котел-утилізатор здатний забезпечити розрахункове значення теплового навантаження ($Q_{КУ} = 3538$ кВт).

Повне відкриття байпасного клапана забезпечує енергетичні показники когенераційної установки, що мають місце у схемі, представленій на рис. 3.

Проведений розрахунок економічних показників когенераційної енергетичної установки дозволив визначити ефективність роботи кожної із розглянутих схем регенерації.

Виходячи з результатів розрахунків економічних показників КЕУ, можна рекомендувати як найбільш економічну схему, представлену на рис. 5.

Для даної схеми витрата палива має найменше значення, а ККД - найбільша з усіх розглянутих схем. Це пояснюється найбільш ефективним використанням теплоти газів. Також схема представлена на рис. 5, конструктивно простіше в порівнянні зі схемою з двоступінчастим утилізатором котлом, що, безсумнівно, є ще однією її гідністю.

Найменше значення витрати палива, важливо у світлі нинішнього економічного становища України та ринкової вартості палива.

Схема може забезпечити загальний ККД установки в межах $\eta_{кеу} = 0,8188 - 0,9122$ та витрата палива $q_T = 0,229 - 0,256$ кг/с.

Також є можливість перерозподілу теплових потоків через теплообмінні апарати, що дає можливість варіювання теплового навантаження у досить широких межах $Q_{КУ} = 5284 - 3538$ кВт.

В результаті проведених теплових та економічних розрахунків схем когенераційної енергетичної установки було отримано значення основних економічних показників розглянутих схем регенерації. Результати розрахунків зведено у табл. 1.

Таблиця 7.1

Економічні показники схем регенерації когенераційної установки

Варіант схеми регенерації	Теплова потужність КУ $Q_{КУ}$, кВт	Теплова потужність ГВП $Q_{ГВП}$, кВт	Витрата палива $q_{Т'}$, кг/с	ККД теплової частини КЕУ $\eta_{ТЕ}$	ККД електричної частини КЕУ $\eta_{ел}$	Загальний ККД КЕУ $\eta_{КЕУ}$
Схема 1	3459	-	0,256	0,3051	0,3528	0,6579
Схема 2	3459	602	0,242	0,3785	0,3728	0,7513
Схема 3	5284	-	0,256	0,4660	0,3528	0,8188
Схема 4	4673	602	0,242	0,4916	0,3728	0,8644
Схема 5	3538	1729	0,229	0,5185	0,3937	0,9122

Аналізуючи дані табл. 1 можна зробити висновок, що зі збільшенням ступеня регенерації теплоти газів, що йдуть, ККД установки зростає. Причому слід наголосити на важливості застосування газо-повітряного підігрівача, т.к. за рахунок збільшення температури повітря на вході до камери згоряння ГТУ знижується витрата палива. Так, для схеми 3 значення ККД становить 0,8188, а для схеми 2 – 0,7513, але при цьому витрата палива у другої схеми менша (0,242 кг/с), ніж у третьої схеми (0,256 кг/с).

На підставі проведеного аналізу слід рекомендувати, як найбільш економічну, схему, що включає газо-повітряний підігрівач і котел-утилізатор, включені послідовно, тому що така схема має не тільки максимальне значення

коефіцієнта корисної дії ($\eta_{\text{кеу}} = 0,9122$), а й найменша витрата палива ($q_{\text{т}} = 0,229 \text{ кг/с}$). Зниження витрати палива дозволяє знизити енергоємність виробленої продукції та збільшити її конкурентоспроможність.

Економічні показники проекту

Відповідно до розрахунків, комплексна біогазової установки має віддавати в мережу 30 кВт·год в місяць.

Отже в рік 360 кВт·год.

Тариф на продаж електроенергії складає 0,13 євроцентів це 4,3 грн [52].

Дохід від продажу електроенергії в мережу складатиме 1 544,4 тис. грн в рік. Також з біогазової установки є відходи, які можна продавати як біодобрива: Вихід твердого добрива за рік:

$$\text{БДт} = m_{\delta} \cdot (W_{\text{р}} - W_{\text{гною}}) / (W_{\text{р}} - W_{\text{ш}}) \quad (7.4)$$

Де $W_{\text{р}}$ - вологість рідкої фракції, % (98-99);

$W_{\text{ш}}$ - вологість твердого добрива, 87%;

$$\text{БДт} = 6424 \cdot (98 - 88) / (98 - 87) = 5840 \text{ т}$$

Вихід рідкого добрива за рік:

$$\text{БДр} = m_{\delta} \cdot (W_{\text{гною}} - W_{\text{ш}}) / (W_{\text{р}} - W_{\text{ш}}) = 6424 \cdot (88 - 87) / (98 - 87) = 584 \text{ т} \quad (7.5)$$

Ціна на тверде добриво 200 грн за тону, отже дохід буде твердого біодобрива: $5\,840 \cdot 200 = 1\,168$ тис. грн на рік

Ціна на рідке паливо приблизно коштує за 1л- 14 грн, ціна за рік $584\ 000 \cdot 14 = 817,6$ тис. грн на рік. Витрати на обладнання та на монтажні і будівельні роботи вказані в таблиці 7.2.

Таблиця 7.2

Економічний розрахунок

№	Назва	Ціна, тис.грн
1	Вартість обладнання для БГУ-1000, з ПДВ	6 339
2	Вартість проектних, пуско-налагоджувальних, будівельно-монтажних, робіт та транспортних робіт	440
3	Витрати на обладнання для пакування біодобрих	1 257
	Всього:	10 725
4	Продаж електроенергії	1 544
5	Продаж добрив	1 168
6	Продаж рідкого біодобрива	817,6 7
	Всього: 3 530	

Термін окупності 3 роки

Якщо не врахувати продаж рідких та твердих біодобрив та втрати на обладнання та фасування, то термін окупності буде складати 6 років.

Висновки до розділу 7

Біогазові когенераційні установки забезпечують перетворення агровідходів в електричну та теплову енергію із мінімальним екологічним навантаженням, за умови оптимізації сировинної логістики й повного використання побічної теплоти. Економічна ефективність таких систем прямо залежить від розташування щодо джерел сировини та споживачів енергії, що дозволяє скоротити витрати на транспортування та підвищити коефіцієнт використання ресурсів.

Методологія оцінки LCOE демонструє, що виробнича собівартість електроенергії істотно знижується при локалізованому споживанні тепла та використанні передавального трубопроводу замість автотранспорту. Рекуперація енергії з органічних відходів знижує вартість технологічних

процесів у сільському господарстві та забезпечує зменшення трудових витрат на понад 13%, зберігаючи енергоефективність і стабільність постачання.

Показники екологічного балансу свідчать про відсутність критичних впливів на довкілля при дотриманні стандартів використання дигестату та рекуперації тепла. Біогаз, отриманий із вмістом метану не менше 45%, є горючим і може використовуватись як стабільне паливо. У поєднанні з локальним циклом обігу речовин і енергії біогазові установки становлять повноцінну основу для формування енергонезалежних фермерських систем із низьким вуглецевим слідом.

РОЗДІЛ 8

ОХОРОНА ПРАЦІ

8.1. Виявлення і аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів на об'єкті. Заходи з охорони праці

В даній частині розроблені заходи по охороні праці на фермерському господарстві.

Для забезпечення безпеки обслуговуючого персоналу передбачено занулення всіх металевих частин електроустановок, які нормально не знаходяться під напругою, але можуть опинитись під напругою під час аварії до заземленої нейтралі, що прокладається по стінах приміщення.

З'єднання передбачено зварювальним чи болтовим.

Захист електродвигунів від перенавантажень переважно виконують тепловими реле, а захист від коротких замикань – електромагнітними розчіплювачами автоматичних вимикачів.

Силові мережі необхідно виконувати в трубах. Робоче і чергове освітлення передбачено виконувати на напругу 380/220 В.

Ремонтне освітлення – від трансформатора ОСМ –0,25 –220/12 В.

Розробка заходів щодо усунення небезпечних та шкідливих виробничих факторів.

Розробку технічних та організаційних заходів оснований на результатах аналізу умов праці та класифікації приміщень, приділяючи особливу увагу заходам захисту людей та тварин, від дії електричного струму.

Перелік технічних та організаційних заходів для усунення небезпечних та шкідливих виробничих факторів:

- 1) забезпечення достатньої вентиляції виробничих приміщень;
- 2) раціональне розміщення виробничого устаткування, всі рухомі частини обладнання захищаються огорожами;
- 3) в усіх приміщеннях потрібно забезпечити достатню освітленість;

- 4) використання ізолюючих вставок у водопровідній мережі для попередження винесення електричного потенціалу на водонапувалки;
- 5) занулення корпусів всіх електроприймачів;
- 6) передбачення повторного заземлення нульового проводу на кінцях магістралей та відгалуження, а також на вводах в будівлі;
- 7) обмеження шумів і вібрацій;
- 8) дотримання при проектуванні, спорудженні та експлуатації електроустановок правил і норм, вказаних в ПУЕ, ПТЕ, ПТБ;
- 9) використання плакатів по ТБ та пожежній безпеці, по гігієні праці, по методам надання першої допомоги при ураженні електричним струмом.

Розрахунок індивідуальних засобів захисту.

Для безпечної роботи при обслуговуванні електроустановок передбачено забезпечення обслуговуючого персоналу основними та додатковими засобами захисту, розрахунок яких виконано відповідно до “Норм комплектування засобами захисту”, які викладено в ПТЕ і ПТБ, ПУЕ. Результати розрахунків приведено в табл. 8.1.

Таблиця 8.1

Розрахунок необхідної кількості засобів захисту

Найменування засобу захисту	Марка, тип	Необхідна кількість	Місце зберігання
1	2	3	4
Кліщі ізолюючі	К-1000	2	електроцех
Вказівник напруги	УНН - 1	2	електроцех
Діелектричні рукавички		3	електроцех
Боти діелектричні		2	електроцех
Комплект інструменту	КСМИ - 2	2	електроцех
Вимірювальні кліщі	Ц - 4501	2	електроцех
Переносне заземлення	ШЗП - 1	2	електроцех
Діелектричні калоші		2	електроцех
Пояс запобіжний	ПО - 2	2	електроцех
Ізолюючі накладки та діелектричні коврики		3	електроцех
Захисні окуляри	СП1 - 80	2	електроцех
Переносні плакати і знаки безпеки		5	електроцех
Респіратори	РПГ - 67	3	електроцех
Захисні каски	“Дружба”	4	електроцех

8.2. Пожежна безпека

На виробництві знаходяться горючі та важкогорючі рідини, тверді горючі та важкогорючі речовини та матеріали (в тому числі пил і волокна). За вибухопожежною та пожежною небезпекою належить до категорії В – пожежонебезпечні у відповідності з ДСТУ Б В.1.1-36:2016, за умови, що приміщення, не належать до категорій А і Б.

Ступінь вогнестійкості будівлі II, згідно з ДБН В.1.1-7:2016, тому що стіни приміщення кабінету цегляні. Приміщення відповідає класу пожежонебезпечної зони П-І відповідно до ПУЕ. Найбільш швидким та надійним засобом виявлення ознак займання та сигналізації про пожежу є автоматична установка пожежної сигналізації (АУПС), яка працює цілодобово. Комбіновані сповіщувачі ІПК-1, ІПК-2, ІПК-3 контролюють відразу два чинника, що супроводжують пожежу: дим та температуру [42].

До засобів гасіння, передбачених проектом, належать: стаціонарний модульний порошковий вогнегасник САМ-3, вогнегасник порошковий призначений для гасіння загорянь тліючих матеріалів, горючих рідин, газів і електроустановок, що знаходяться під напругою не більше 1000 В, на промислових підприємствах, складах зберігання горючих матеріалів, а також на транспортних засобах. Також передбачено наявність переносних вуглекислотних вогнегасників ОУ-3, в яких у якості вогнегасної речовини застосовується діоксид вуглецю (CO_2), при переході вуглекислоти з рідкого стану в газоподібний відбувається збільшення її обсягу в 400-500 разів, супроводжуване різким охолодженням до температури $-72\text{ }^\circ\text{C}$ і часткової кристалізацією.

При цьому ефект вогнегасіння досягається зниженням температури вогнища загоряння нижче точки займання, і витісненням кисню із зони горіння негорючим вуглекислим газом.

Висновки до розділу 8

В умовах роботи кормоцеху і тваринницького комплексу ідентифіковано основні шкідливі й небезпечні виробничі фактори, пов'язані з впливом електричного струму, шумом, вібраціями та мікрокліматом. Для їхнього усунення реалізовано систему технічних і організаційних заходів: захисне занулення електрообладнання, повторне заземлення нульових провідників, встановлення захисних кожухів на рухомих частинах машин, оптимальне розміщення обладнання, освітлення відповідно до санітарних норм, вентиляція, а також використання попереджувальних знаків і засобів наочної інструкції.

Розраховано потребу в індивідуальних та колективних засобах захисту для персоналу, включаючи діелектричні рукавички, ізолюючі кліщі, вказівники напруги, респіратори, захисні каски, пояси безпеки й переносні заземлення. Комплектування виконано на підставі вимог ПУЕ, ПТЕ та ПТБ.

Система пожежної безпеки охоплює приміщення з наявністю пилу, горючих речовин і технічних матеріалів. Приміщення віднесено до категорії В за пожежною небезпекою і класу П-І за електробезпекою. Для раннього виявлення ознак займання встановлено автоматичну установку пожежної сигналізації з комбінованими сповіщувачами, чутливими до диму й температури. Гасіння забезпечують стаціонарні порошкові установки типу САМ-3 та переносні вуглекислотні вогнегасники ОУ-3, які діють шляхом різкого охолодження осередку займання та витіснення кисню з повітря.

ВИСНОВКИ

1. У результаті дослідження було вивчено технічні особливості біогазових і когенераційних установок, які забезпечують комплексне виробництво електроенергії та тепла з відновлюваних джерел. З'ясовано, що ефективність таких систем залежить від правильної конфігурації технологічних елементів – реакторів, газозбірників, систем утилізації тепла та енергетичних модулів. Когенерація на основі біогазу дозволяє знизити залежність від централізованих джерел енергії та забезпечити стабільну подачу електро- і теплопостачання в умовах фермерського виробництва.

2. Проведена класифікація типів сировини для біогазового виробництва дозволила визначити, що найбільший потенціал для фермерських господарств мають агропромислові відходи, зокрема гній великої рогатої худоби, пташиний послід, рослинні залишки та харчові відходи. На основі статистичних даних зроблено оцінку енергетичного потенціалу біомаси в Україні, яка свідчить про доцільність масштабного впровадження біогазових технологій, зокрема в регіонах із розвиненим тваринництвом.

3. Технічний аналіз вузлів біогазової установки дав змогу оцінити конструктивні особливості реакторів, механізмів завантаження, перемішування, систем відбору газу та контролю температури. Визначено, що стабільність і результативність процесу анаеробного зброджування напряму залежать від вибору типу реактора (наприклад, мезофільного або термофільного) та підтримання відповідних параметрів ферментації. Ретельна технічна інтеграція всіх вузлів підвищує коефіцієнт перетворення біомаси в енергію.

4. У рамках аналізу технологій “Smart Farming” встановлено, що цифрові рішення, зокрема автоматизація подачі сировини, моніторинг температури, вологості й газовиділення, дозволяють оптимізувати роботу біогазових когенераційних систем. Виявлено, що застосування сенсорних систем і програмного забезпечення для дистанційного контролю забезпечує стабільні умови зброджування, знижує втрати енергії та сприяє скороченню

експлуатаційних витрат.

5. На основі методики розрахунку автономної системи електропостачання здійснено інженерне моделювання для конкретного фермерського господарства. Враховано добову потребу в електроенергії, пікові навантаження, особливості технологічного обладнання кормоцеху та вентиляції. Визначено необхідні параметри електродвигунів, перерізи кабелів, конфігурацію мереж і схему енергозабезпечення, що підтвердило технічну можливість повного покриття енергетичних потреб за рахунок біогазової установки.

6. Економічна оцінка показала, що впровадження біогазової когенераційної установки має високий потенціал окупності за умови раціонального використання локальної сировини та теплової енергії. Методика LCOE дозволила порівняти витрати на виробництво енергії з альтернативних джерел. Встановлено, що економія електроенергії, зниження затрат на опалення, а також можливість реалізації надлишкової енергії в мережу позитивно впливають на загальні фінансові показники підприємства.

7. Для забезпечення безпеки експлуатації біогазової установки розроблено комплекс заходів з охорони праці та пожежної безпеки. Проведено аналіз небезпечних і шкідливих факторів, визначено вимоги до електрозахисту, вентиляції, освітлення та заземлення. Розраховано індивідуальні засоби захисту для персоналу, рекомендовано використання автоматичних пожежних сигналізаторів і модульних засобів гасіння. Забезпечено відповідність електроустановок чинним нормам ПУЕ, ПТЕ та ПТБ.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Аналітична стаття. Сфера біогазу в Україні: великі перспективи та реальність. 9 квітня 2020 р. URL: <https://energytransition.in.ua/sfera-biohazu-v-ukraini-velykiperspektyvy-ta-real-nist/> (дата звернення: 10.03.2025).
2. Гелетуха Г., Кучерук П., Матвеев Ю. Аналітична записка UABIO №29. Перспективи виробництва біометану в Україні. Вересень 2022 р. 58 с. URL: <https://uabio.org/wp-content/uploads/2022/09/UA-Position-paper-UABIO-29.pdf> (дата звернення: 10.03.2025).
3. Енергетика: історія, сучасність і майбутнє. Пізнання й досвід - шлях до сучасної енергетики [Текст] / Є. Т. Базеев, Г. Б. Варламов, І. А. Вольчин [та ін.] ; наук. ред. Ю. О. Ландау, І. Я. Сігал, С. В. Дубовської. - Київ : Б.в., 2013. - 328 с. - Бібліогр.: с. 323-325.
4. Звіт Unese. Проектування вуглецево-нейтральної енергосистеми України: збільшення біопалова й біомаси в Україні. 31.03.2023.
5. Журахівський, А.В. Оптимізація режимів електроенергетичних систем: навч. посібник для вузів / А.В. Журахівський, І.В. Жежеленко; Держ. ун-т "Львівська політехніка"; ПДТУ. Каф. електропостачання пром. підприємств.- Львів ; Маріуполь :, 2000. - 109 с.
6. Advantages and Disadvantages of Biogas. URL: <https://www.homebiogas.com/blog/advantages-and-disadvantages-of-biogas/> (дата звернення: 10.03.2025).
7. Andlar M., Belskaya H., Morzak G. Biogas Production Systems and Upgrading Technologies: A Review. National Library of Medicine. Грудень 2021 р. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8753803/> (дата звернення: 10.03.2025).
8. Hajizadeh A., Mohamadi-Baghmolaei M., Cata Saady N. M., Zendejboudi S. Hydrogen Production from Biomass Through Integration of

Anaerobic Digestion and Biogas Dry Reforming. 2021. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0306261921016676> (дата звернення: 10.03.2025).

9. Improving the Energetic Efficiency of Biogas Plants Using Enzymatic Additives to Anaerobic Digestion. 13 лютого 2023 р. URL: <https://www.mdpi.com/1996-1073/16/4/1845> (дата звернення: 10.03.2025).

10. Kozak T., Majchrzycka A. Application of Biogas for Combined Heat and Power Production in the Rural Region. West Pomeranian University of Technology, Szczecin. The Faculty of Mechanical Engineering and Mechatronics. URL: https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/47/013/47013704.pdf (дата звернення: 10.03.2025).

11. Kumar R., Kumar A., Pal A. Hydrogen Production from Biogas: Methods and Economic Analysis. 8 червня 2021 р. 18 с. URL: <https://assets.researchsquare.com/files/rs-457836/v1/624beb21-1a29-4d05-b1f9-fb5a08736158.pdf?c=1631884212> (дата звернення: 10.03.2025).

12. Nagarajan S., Jones R. J. Intensification of Acidogenic Fermentation for the Production of Biohydrogen and Volatile Fatty Acids – A Perspective. 2022. 39 с. URL: <https://www.mdpi.com/2311-5637/8/7/325/pdf> (дата звернення: 10.03.2025).

13. Optimization of the Biogas Production Process. URL: https://energypedia.info/wiki/Optimization_of_the_Biogas_Production_Process (дата звернення: 10.03.2025).

14. Paolini V., Petracchini F., Segreto M. Environmental Impact of Biogas: A Short Review of Current Knowledge. 13 квітня 2018 р. URL: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10934529.2018.1459076> (дата звернення: 10.03.2025).

15. Process Monitoring in Biogas Plants. ISBN 978-1-910154-03-8. 38 с. URL: https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2013/12/Technical-Brochureprocess_monitoring.pdf (дата звернення: 10.03.2025).

16. Smart Farming Technologies: Transforming Agriculture for the Future.

15 листопада 2022 р. URL: <https://www.cropin.com/smart-farming> (дата звернення: 10.03.2025).

17. Tetteh E. K., Rathilal S. Kinetics and Nanoparticle Catalytic Enhancement of Biogas Production from Wastewater Using a Magnetized Biochemical Methane Potential (MBMP) System. Прийнято: 10 жовтня 2020 р. Опубліковано: 16 жовтня 2020 р. URL: <https://www.mdpi.com/2073-4344/10/10/1200> (дата звернення: 10.03.2025).

18. The Whole Truth About Smart Farming: Pros And Cons You Need To Know. 2 червня 2022 р. URL: <https://tektelic.com/expertise/the-whole-truth-about-smartfarming-pros-and-cons-you-need-to-know/> (дата звернення: 10.03.2025).

19. Varlamov G. B., Romanova K. A., Nazarova I., Dashchenko O., Kapustiansky A. Improvement of Energy Efficiency and Environmental Safety of Thermal Energy Through the Implementation of Contact Energy Exchange Processes. *Archives of Thermodynamics*. 2017. Vol. 38, No. 4. P. 127–137.

20. Wu K.-T., Liu W.-Y., Su Y.-Y., Andoko E., Maynard D., Chavez M., Wang H. Best Practices for Developing the Green Energy Smart Farm in the APEC Region. Жовтень 2017 р. 193 с. URL: https://www.apec.org/docs/default-source/publications/2017/10/best-practices-for-developing-the-green-energy-smart-farm-in-the-apec-region/217_ewg_best-practices-for-developing-the-green-energy-smartfarm-in-the-apec-region.pdf?sfvrsn=1d1bfb0f_1 (дата звернення: 10.03.2025).

21. Відновлювані джерела енергії / за заг. ред. Кудрі С.О. – Київ: Інститут відновлюваної енергетики НАНУ, 2020. – 392 с

22. Дубровін В.О. Біопалива (технології, машини і обладнання) / [В.О. Дубровін, М.О. Корчемний, І.П. Масло та ін.]. – К.: Енергетика і електрифікація, 2004. – 137 с

23. ДСТУ 7721:2015. Газоподібне паливо. Біогаз. Технічні вимоги та методи контролювання / С.О. Кудря, В.О. Дубровін, Г.Г. Гелетуша та ін. – Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2016 р.

24. Мудрак, Р. П. Виробництво біопалива та продовольча безпека країни. Збірник наукових праць Уманського національного університету садівництва. 2014. Вип. 84. С. 236-243.
25. Калетнік, Г. М. Біопаливо: продовольча, енергетична та екологічна безпека України. Біоенергетика. 2013. № 2. С.12-14.
26. Ринок біопалива 2-го покоління. URL: <http://bio.ukrbio.com/ua/articles/5229>.
27. Калетнік Г.М. Економіка виробництва біопалива в Україні та забезпечення продовольчої безпеки. Економіка АПК. 2010. № 1. С. 30-35.
28. Остапчук А.Д. Використання біоенергетичних технологій у сільській місцевості. Науковий вісник Національного університету біоресурсів та природокористування України. 2009. № 2. С. 241-244.
29. Бузовський Є.А., Скрипнеченко В.А., Лучник М.М. Інноваційний розвиток альтернативних джерел енергії. Науковий вісник Національного університету біоресурсів та природокористування України. 2009. № 1. С. 14- 19.
30. Про комбіноване виробництво теплової та електричної енергії (когенерацію) та використання скидного енергопотенціалу: Закон України від 26.11.2016 №2509-IV. URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2509-15>
31. Кушнір І.В. Перспективи розвитку виробництва біодизелю в Україні. Збірник наукових праць ВНАУ. Економічні науки. 2011. № 1 (48). С. 41-46.
32. Климчук О.В. Регулювання розвитку конкурентоспроможного виробництва біопалив в Україні. Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису. 2018. 412 с.
33. Скорук О.П., Токарчук Д.М. Економічна ефективність виробництва і споживання біогазу: світовий і український досвід. Збірник наукових праць Таврійського державного агротехнологічного університету (Економічні науки). 2012. № 2 (18). Т.5. С. 289-298.
34. Токарчук Д.М. Інвестиційне забезпечення виробництва біогазу сільськогосподарськими підприємствами України. Економіка. Фінанси.

Менеджмент: актуальні питання науки і практики. 2016. №12. С. 289-298.

35. Токарчук Д.М. Стратегічні напрями виробництва біопалива сільськогосподарськими підприємствами України. Економіка. Фінанси. Менеджмент: актуальні питання науки і практики. 2016. №7. С.18-26.

36. Калетнік Г.М. Виробництво та використання біопалив: Підручник. В.: Консоль, 2015. 408 с.

37. Синявський О. Ю., Савченко В. В. Вплив якості електричної енергії на технологічні процеси в тваринництві. Енергетика і автоматика. 2015. № 3. С. 60-69.

38. Любін М.В., Токарчук О. А., Любін В.С., Смалківський С. В. Аналіз, класифікація та використання простих біогазових установок. Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету: Серія: Технічні науки. 2011. Вип. 8. С. 69-77.

39. Конспект лекцій з дисципліни «біоенергетика» для студентів очної форми навчання за напрямком підготовки 6.050701 – електротехніка та електротехнології за програмою професійного спрямування – Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії. Укладач: Будько М. О., – К.: ФЕА НТУУ «КПІ», 2014. – 40 с.

40. Вступ до спеціальності. Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії: Курс лекцій/ С.О. Кудря, В.І. Будько. – К.: НТУУ «КПІ», 2013. – 387 с

41. Добровольська Л. Н. Проблеми надійності електропостачання сільськогосподарських об'єктів / Л. Н. Добровольська, М. В. Романюк, Д. С. Собчук //Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – Харків, 2015. – № 164. – С. 56-57.

42. Лисенко О. В. Аналіз можливості використання відновлюваних джерел енергії для підвищення якості електропостачання в сільськогосподарському виробництві/ Лисенко О.В.// Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету [Електронний ресурс]. – Мелітополь: ТДАТУ, 2018. – Вип. 8, том 2. - Режим доступу: <http://oj.tsatu.edu.ua/index.php/visnik>. 8273- 16821-1-SM

43. Д. М. Токарчук. Виробництво і використання біогазу в Україні: економічні і соціальні перспективи / Д. М. Токарчук, О. В. Яремчук // Збірник наукових праць Таврійського державного агротехнологічного університету (економічні науки). - 2013. - № 2(3). - С. 338-346.
44. Сидоров Ю. І. Сучасні біогазові технології / Ю. І. Сидоров. // *Biotechnologia Acta*. - 2013. - Vol. 6, № 1. –
45. Кучерук П.П., Матвєєв Ю.Б., Ходаківська Т.В. Дослідження ефективності метаногенезу при анаеробному зброджуванні гною ВРХ з рослинними рештками // *Відновл. енергетика*. – 2010. – 20, №1. – С.83-89.
46. Гелетуха Г.Г., Кучерук П.П., Матвєєв Ю.Б., Ходаківська Т.В. Перспективи виробництва біогазу в Україні // *Відновл. енергетика*. – 2011. – №3. – С. 73-77.
47. Механізація, електрифікація та автоматизація сільськогосподарського виробництва: підр. / за. ред. Рудь А. В. Київ : Агросвіта, 2012. 432 с.
48. Ткачук К.Н., Зацарний В.В., Третьякова Л.Д., Мітюк Л.О. Охорона праці і промислова безпека: навчальний посібник. Київ: Лібра, 2010. - 425 с
49. Біоенергетика: Сучасний стан, перспективи, зарубіжний досвід.-Голуб Р.Т. – 2 с.
50. Основні тенденції ефективності використання біогазу в Україні. Ю.В. Охота, К.В. Козак. – 7 с.
51. Градовий В.В. Еколого-економічна оцінка та напрями забезпечення виробництва біогазу- Магістерська робота-Тернопільський національний економічний університет-2017р. – 10 с.
52. Концепція розвитку біоенергетики в Україні / Ін-т технічної теплофізики НАН України, НТЦ “Біомаса”, ТО “Енергія майбутнього століття”. – К., 2001.- 14 с.
53. Заїка П.М. Теорія сільськогосподарських машин. Т. 1 (ч.3). Машини для приготування і внесення добрив.- Харків: Око. 2002.- 352 с.
54. А. В. Борисенко, В. А. Пешко Основи теплової енергетики: конспект

лекцій [Електронний ресурс]: навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавра за спеціальністю 105 Прикладна фізика та наноматеріали / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: А. В. Борисенко, В. А. Пешко. – Електронні текстові дані. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021.– 149 с

55. Дубровська В.В., Шкляр В.І. Технологія виробництва електричної енергії : підручник / В.В. Дубровська, В.І. Шкляр – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 316 с

56. Когенераційні технології в малій енергетиці : монографія / В. А. Маляренко, О. Л. Шубенко, С. Ю. Андреев, М. Ю. Бабак, О. В. Сенецький / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова, Ін-т проблем машинобуд. ім. А. М. Підгорного. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. – 454 с

57. Чепурний М. М., Ткаченко С. Й., Енергозбережні технології в теплоенергетиці. Вінниця, Україна: ВНТУ, 2009, 114

58. Тарифи на електричну енергію [Електронний ресурс] URL: <https://www.oree.com.ua/>