

ЗМІСТ

ЗАГАЛЬНІ МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ	4
ВИМОГИ ДО ВИКОНАННЯ І ОФОРМЛЕННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ	6
Практична робота № 1. Дослідження процесу анаеробного розкладання для отримання водню та метану.....	7
Практична робота № 2. Дослідження роботи біогазової установки. Встановлення ефективності біогазогенератора і двигун-генераторної установки для утилізації гною ...	21
Практична робота № 3. Дослідження роботи і розрахунок ефективності теплового насосу з електричним приводом	27
Лабораторна робота № 1. Дослідження термічного потенціалу різноманітних сумішей твердих побутових відходів до твердопаливних пелет.....	35
Перелік використаних і рекомендованих джерел	41

ЗАГАЛЬНІ МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

В Україні гідроенергетика, біоенергетика та низькопотенційні джерела енергії мають значний потенціал і можуть відіграти важливу роль у забезпеченні сталої та екологічно чистої енергетики.

Україна має значний потенціал гідроенергетики завдяки річкам та водоймам, які протікають по її території. Головні річки, такі як Дніпро, Дунай, Десна, Прип'ять, Карпатські річки та інші, надають велику кількість водної потужності. В Україні існують великі гідроелектростанції, такі як Київська, ДніпроГЕС та Каховська ГЕС, але значний потенціал залишається невикористаним. Розвиток гідроенергетики може сприяти забезпеченню стабільної енергії, регулюванню водних ресурсів та зменшенню викидів парникових газів.

Україна має великий потенціал у сфері біоенергетики завдяки значним аграрним ресурсам та лісовим масивам. Біоенергетика використовує органічні матеріали, такі як деревина, біогаз, біомаса, біопаливо тощо, для виробництва електричної та теплової енергії. Україна має значний потенціал у виробництві біогазу зі сільськогосподарських відходів, біомаси з лісових ресурсів та біопалива зі стернів, соломи та інших біомасових матеріалів. Розвиток біоенергетики сприяє розширенню використання відновлюваних джерел енергії, підтримці сільського господарства та розвитку сільських районів.

Україна також має значний потенціал у використанні низькопотенційних джерел енергії. Розвиток низькопотенційних джерел енергії допоможе диверсифікувати енергетичний мікс країни, забезпечити енергетичну стійкість та знизити викиди парникових газів.

Загалом, Україна має значний потенціал гідроенергетики, біоенергетики та низькопотенційних джерел енергії, який може бути ефективно використаний для розвитку сталої, незалежної та екологічно чистої енергетики. Вони допомагають зменшити залежність від вуглеводнів та інших нестабільних джерел енергії, знижують ризик енергетичних криз та сприяють енергетичній незалежності. Тому, гідроенергетика, біоенергетика та низькопотенційні джерела енергії є актуальними і важливими напрямками відновлюваної енергетики, що мають значний потенціал у розвитку сталої енергетики, збереженні довкілля та розвитку суспільства.

Виконання лабораторних робіт з дисциплін «Гідроенергетика, біоенергетика та низькопотенційні джерела енергії» мають кілька корисних аспектів:

– практичний досвід: лабораторні роботи дозволяють студентам отримати практичний досвід роботи зі спеціалізованим обладнанням та інструментами, що використовуються в гідроенергетиці, біоенергетиці та низькопотенційних джерелах енергії. Вони можуть вчитися збирати, налаштовувати та вимірювати параметри різних енергетичних систем, а також аналізувати та інтерпретувати отримані дані.

– вирішення реальних завдань: лабораторні роботи можуть бути спрямовані на розв'язання реальних проблем або завдань, пов'язаних з використанням відновлювальної енергії. Це дозволяє студентам застосувати

теоретичні знання на практиці та зрозуміти реальні виклики та обмеження, що виникають у сфері відновлюваної енергетики.

– командна робота: лабораторні роботи часто виконуються у групах, що сприяє розвитку навичок командної роботи та співпраці. Студенти можуть навчитися спілкуватися, обмінюватися ідеями, розподіляти завдання та спільно розв'язувати проблеми, що виникають у процесі виконання лабораторних робіт.

– відпрацювання навичок: лабораторні роботи дають можливість студентам відпрацювати практичні навички, такі як збирання даних, проведення вимірювань, аналіз результатів, дотримання безпеки та протоколів. Це важливо для розвитку вмінь, необхідних у реальних ситуаціях роботи з відновлюваною енергією.

– валідація теорії: лабораторні роботи дозволяють студентам перевірити та підтвердити теоретичні концепції, вивчені на лекціях. Вони можуть спостерігати реальні ефекти та результати, що виникають при застосуванні принципів гідроенергетики, біоенергетики та низькопотенційних джерел енергії, що допомагає закріпити та глибше зрозуміти теоретичні поняття.

Загалом, лабораторні роботи з дисциплін відіграють важливу роль у практичному навчанні студентів, розвитку навичок та формуванні реального розуміння відновлюваної енергетики.

Ці знання та навички можуть бути корисними у професійній кар'єрі, пов'язаній з відновлюваною енергетикою, енергетичним плануванням, енергетичним вимірюванням, проектуванням та реалізацією енергетичних проектів.

Тривалість лабораторних занять визначається відповідно до навчального робочого плану.

ВИМОГИ ДО ВИКОНАННЯ ПРАКТИЧНИХ ТА ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

Лабораторні та практичні роботи слід оформляти в учнівському зошиті або у текстовому редакторі. Кожна робота повинна містити:

- тему та мету роботи;
- зміст завдання і розрахункові формули;
- порядок виконання завдання;
- висновки з даної роботи.

Обсяг роботи є довільним. Звіт повинен містити основні розрахунки, показники чи відомості, які оформляються відповідно до наведених у порядку виконання роботи теоретичних відомостей та прикладів, які стосуються даної роботи. Рисунки у звіті повинні бути чіткими і зрозумілими.

Захист робіт проводиться усно або у тестовій формі.

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 1

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ АНАЕРОБНОГО РОЗКЛАДАННЯ ДЛЯ ОТРИМАННЯ ВОДНЮ ТА МЕТАНУ

Мета роботи: дослідити процеси анаеробного розкладання для отримання водню та метану.

Обладнання і матеріали: лабораторна установка для дослідження об'єктів біоенергетики.

Місце проведення роботи: робота проводиться в лабораторії кафедри енергетичного менеджменту і технічної діагностики.

Тривалість роботи: 8 год.

ОСНОВНІ ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ

Отримання біометану

Перетворення біомаси в результаті фотосинтезу на метан і водень здійснюється мезофільними і термофільними бактеріями (наприклад: *Methanobacterium*, *Methanococcus*, *Methanosarcina* [36]). Це перетворення називається *ферментацією*. Газоподібні продукти, що утворюються при цьому, називаються біогазом. Якщо перетворення відбувається за відсутності повітря, весь процес називається анаеробним бродінням.

Біогаз має різні властивості, викликані різними виробничими процесами. Загальна диференціація: [36]

– Газ з очисних установок (дигестерний газ) – шляхом анаеробної стабілізації осаду міських стічних вод,

– Газ із промислових очисних установок – шляхом анаеробного полегшення органічних висококонцентрованих стічних вод,

– Газ із сільськогосподарських залишків – шляхом анаеробної ферментації екскрементів тварин,

– Газ від утилізації відходів – шляхом стабілізації органічних відходів (органічні відходи),

– Звалищний газ – суміш різних газів, що утворюються мікроорганізмами та/або виділяються на звалищах.

Під час процесу бродіння біомаса в основному перетворюється на метан, CO_2 , воду, H_2S та аміак.

Типовий склад біогазу наведено в наступній таблиці 7.1:

Для подальшої обробки спочатку необхідно відокремити сірководень, оскільки він дуже корозійний і токсичний. Поділ відбувається за допомогою технології адсорбції та абсорбції газу. Наступні етапи обробки ще більше підвищують рівень метану за рахунок стиснення та очищення газу. Зрештою, метан може бути безпосередньо поданий в міську газорозподільну систему та на теплоелектростанції.

Таблиця 7.1 – Типовий склад біогазу

Компоненти	Склад	Середнє значення
Метан, %	45 ÷ 70	60
Вуглекислий газ, %	25 ÷ 55	35
Азот, %	0,01 ÷ 5	1
Кисень, %	0,01 ÷ 2	0,3
Сірководень, %	0,1 ÷ 3	0,05
Тіол, ppm	0,1 ÷ 30	0,1
Аміак, ppm	0,1 ÷ 2,5	0,7
ВТХ, ‰ (промїле – тисячна частинка)	0,1 ÷ 5	0,1
Силоксан, ppm, (пропромїлле – мільйонна частинка)	0,1 ÷ 5	0,1
Вода, %	2 ÷ 4	3,1

Виробництво біоводню

Вироблення метану шляхом анаеробної ферментації, а потім перетворення його за допомогою процесу, який називається *паровим риформінгом*, є ключовою технологією виробництва біоводню [36].

Можливе також безпосереднє виробництво водню шляхом *анаеробної ферментації*. Для цього використовують гетеротрофні та фотогетеротрофні бактерії. Ці бактерії зустрічаються повсюдно в природі, наприклад: *Clostridium*, *Thermoanaerobacter*, *Thermotoga*. Їх можна інкубувати як чисту культуру або отримати як змішану культуру з осаду стічних вод.

Позитивним моментом використання чистої культури є те, що виробляються тільки водень і CO₂. Змішані культури також виробляють метан, який необхідно відокремлювати. Більшість бактерій, здатних виробляти водень, є термофільними і можуть витримувати високу температуру вище 100°C протягом кількох годин. Ця здатність дозволяє легко ізолювати їх від мезофільних (продукують метан) бактерій.

Як джерело вуглецю для анаеробного бродіння не використовуються органічні відходи, оскільки це призведе до занадто великої кількості побічних реакцій. Субстрати з високим відсотком глюкози або крохмалю, такі як кукурудза або картопля, використовуються замість цього для підтримки виробництва водню.

Чотири етапи ферментації [36]:

Гідроліз – реагенти (гідри вуглецю, білки) розщеплюються на прості органічні сполуки

Ацидогенез – продукти гідролізу катаболізуються на короткі жирні кислоти, органічні кислоти, спирт, альдегіди, аміак і H₂ і CO₂

Ацетогенез – довгі вуглецеві ланцюги, спирт і альдегіди перетворюються на оцтову кислоту, водень і вуглекислий газ

Метаногенез – під час останньої фази оцтові кислоти перетворюються на метан. Для виробництва біоводню цей етап є шкідливим і потребує відокремлення.

Опис лабораторної установки

Лабораторна установка leXsolar-BioEnergy для дослідження об'єктів біоенергетики [36] зображена на рис. 7.1.

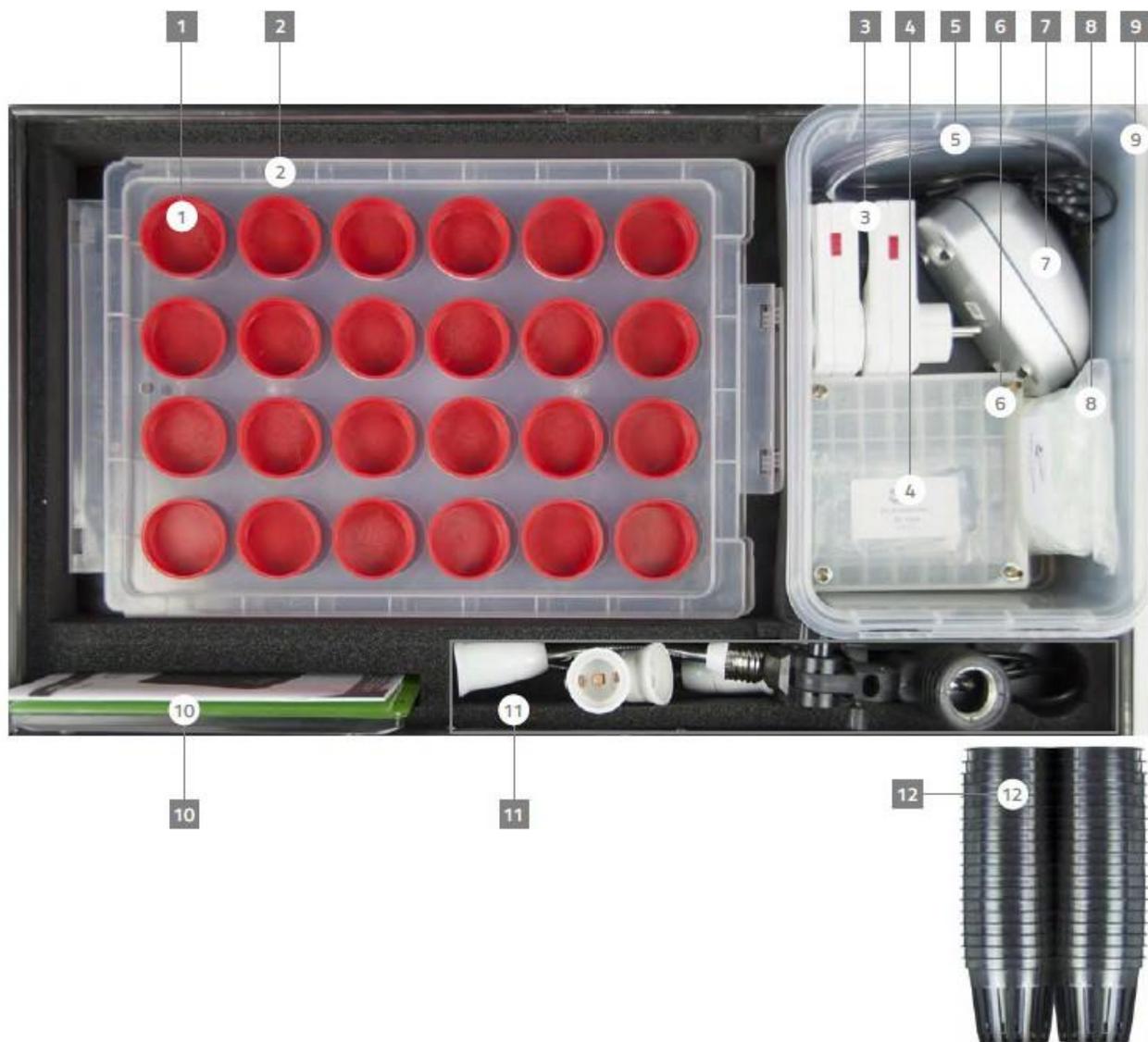


Рисунок 7.1.1 – Лабораторна установка leXsolar- BioEnergy для дослідження об'єктів біоенергетики

- 1 – Пробка червоного кольору,
- 2 – Підставка,
- 3 – Таймер,
- 4 – Мітки,
- 5 – Силіконова трубка 4 мм,
- 6 – Скринька для паростків,
- 7 – Насос,
- 8 – Добриво,
- 9 – Коробка 6 л,
- 10 – Вага,
- 11 – Штатив для рослинного освітлення,
- 12 – Сітчаста сітка для сівалки,



Рисунок 7.1.2 – Лабораторна установка leXsolar- BioEnergy для дослідження об'єктів біоенергетики

- 13 – Набір насіння,
- 14 – Керамзитовий камінь,
- 15 – Світло для рослин,
- 16 – Пінцет,
- 17 – Штатив для рослинного освітлення,
- 18 – Камінь для аерації,
- 19 – Пластиковая коробка глибиною 75 мм,
- 20 – Вимірювач електропровідності рідин,
- 21 – Хомут для шланга,
- 22 – Y-перемикач 4 мм,
- 23 – Небулайзер (розпилювач),



Рисунок 7.1.3 – Лабораторна установка leXsolar- BioEnergy для дослідження об'єктів біоенергетики

- 24 – Контейнер для збору газу,
- 25 – Пальник,
- 26 – Штатив,
- 27 – Каталізатор для компосту,
- 28 – Базовий блок,
- 29 – Температурний реєстратор,
- 30 – Модуль паливних елементів,
- 31 – Модуль двигуна без редуктора з пропелером,
- 32 – Колба Ерленмейера 1000 мл,
- 33 – Гумова заглушка з трубкою,
- 34 – Провід 25 см, чорний, провід 25 см, червоний, штепсель,
- 35 – Компост

Ідентифікація компонентів

У наведеному нижче списку показані елементи, що входять у готовий до використання набір leXsolar BioEnergy та будуть використані у лабораторному дослідженні.

Невеликий базовий блок (рис. 7.2) являє собою вставну плату, яка може вмістити до двох модулів. Для з'єднання модулів на базовому блоці з іншими передбачено чотири з'єднання з двох протилежних сторін. Також доступні два роз'єми для підключення модулів до базового блоку.



Рисунок 7.2 – Базовий блок

Модуль паливних елементів (рис. 7.3) перетворює водень і кисень в електрику і воду. Вихідна напруга: 0,6 В (DC). Вихідний струм: 0,45 А. Потужність: 270 мВт.



Рисунок 7.3 – Модуль паливних елементів

Вставний модуль (рис. 7.4) з двигуном постійного струму оснащений автоматичним захистом від перенапруги. Пускові струми: ~ 20 мА. Початкова напруга: ~0,35 В.



Рисунок 7.4 – Модуль двигуна з пропелером

Біоактивний прискорювач компосту (рис. 7.5) запускає і оптимізує теплову ферментацію чистих природних речовин. Контейнер для компосту (рис. 7.5), що складається з двох частин: прозора кришка дає можливість візуально спостерігати за всіма процесами та змінами; основа з ніжками та отворами дозволяє відводити зайву рідину та забезпечує достатню вентиляцію компосту. Потрібно помістити на відповідну тарілку.



Рисунок 7.5 – Прискорювач компосту та контейнер для нього

Контейнер для газу (рис. 7.6) дозволяє збирати газ метану та водню, перетворених шляхом переробки біогазу. За допомогою силіконового шланга газ можна розподілити до пальника. За допомогою надрукованої шкали можна спостерігати швидкість газоутворення залежно від різних параметрів.

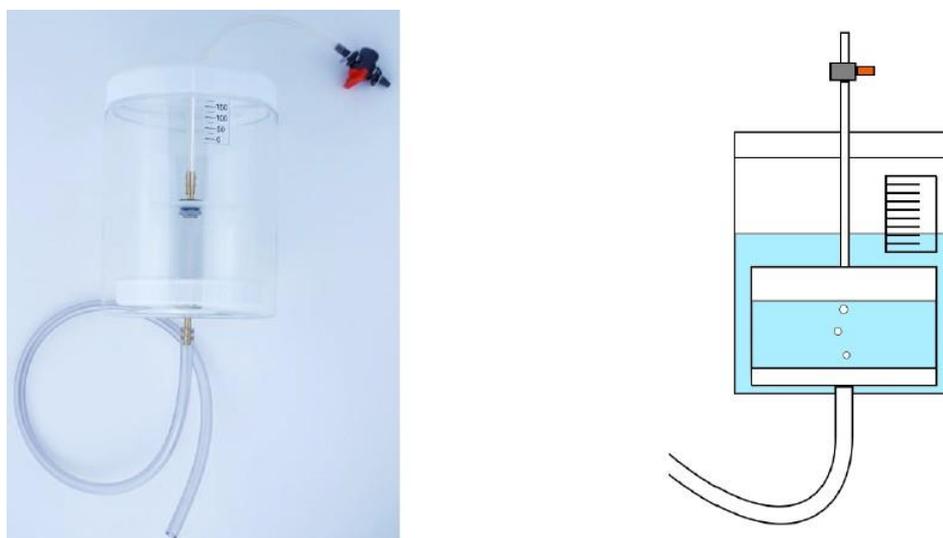


Рисунок 7.6 – Посуд для збору газу

Пальник (рис. 7.7) використовується для контрольованого спалювання газів від біогазових процесів. Зібраний в газоприймачі газ подається на пальник через силіконову трубу і кульовий кран.



Рисунок 7.7 – Пальник Бунзена

Штатив (рис. 7.8 виконує роль тримача для газозбірної ємності.



Рисунок 7.8 – Штатив

Гумова пробка (рис. 7.9) гарантує герметичність колб Ерленмейера. Утворений біогаз по шлангу подається в ємність для збору газу.



Рисунок 7.9 – Гумова трубка з пробкою

Реєстратор температури (рис. 7.10) запише значення температури в індивідуально вибрані інтервали часу. Записані дані можна прочитати через USB-інтерфейс і відповідне програмне забезпечення на ПК.



Рисунок 7.10 – Реєстратор температури

Ваги (рис. 7.11) визначають вагу рослин і, таким чином, приріст біомаси. Ефективний діапазон вимірювання: до 5 кг, допуск: 1 г



Рисунок 7.11 – Вага

Колба Ерленмейера (рис. 7.12) місткістю 1000 мл



Рисунок 7.12 – Колба Ерленмейера 1000 мл

Інструкції з техніки безпеки

1. Під час роботи з небезпечними рідинами оператори повинні носити захисний одяг.

2. Лабораторне обладнання та скляний посуд слід перевіряти перед кожним використанням, щоб переконатися, що немає тріщин, відколів та інших дефектів.

3. Відремонтоване обладнання необхідно очистити та знезаразити.

Прискорювач компосту

1. При попаданні на шкіру: ретельно промийте шкіру великою кількістю води.

2. При попаданні в око: ретельно промийте око та зверніться до лікаря.

3. При проковтуванні: прополоскати рот водою і пити багато. Викликайте лікаря.

4. Не викидайте прискорювач безпосередньо в каналізацію, землю або воду.

Вуглекислий газ

1. Зберігати в добре провітрюваному місці.

Метан і водень

1. Дуже легкозаймистий газ.
2. Зберігати подалі від одягу/інших горючих матеріалів.
3. Пожежа з витоком газу: не гасити, якщо витік не можна безпечно зупинити.
4. У разі витоку усуньте всі джерела займання, якщо це безпечно.
5. Зберігати в добре провітрюваному місці.

Скляне обладнання

1. Перед експериментом перевірте скляне обладнання на наявність пошкоджених частин, щоб уникнути порізів та інших травм.
2. Розбите скло може становити величезну загрозу здоров'ю і може призвести до подальших рваних ран і хімічних опіків.
3. Уникайте різких перепадів температури. Це може призвести до натягу в скляній структурі та до її поломки.
4. Уникайте швидкої зміни тиску. Це також може призвести до розбиття скла.
5. Скляний посуд може призвести до глибоких порізів, якщо з ним поводитися неправильно. Тримайте пов'язки та пінцети наготові, щоб видалити будь-які маленькі шматочки. Для більших уламків скла поблизу артерій негайно звертайтеся за медичною допомогою прибрати стружки і не робіть цього самостійно.

Робота паливного елемента

1. Коли паливний елемент не використовується, його слід зберігати в герметичній пластиковій упаковці, щоб уникнути висихання.

Інструкції користувача:

1. Для роботи паливного елемента потрібен газоподібний водень.
2. Якщо водень забирається з бензобака, трубку необхідно затиснути, щоб уникнути витоку газоподібного водню.
3. Трубка бака H_2 повинна бути підключена до нижнього порту паливного елемента. Подача O_2 для цієї моделі забезпечується атмосферним повітрям.
4. Верхній порт паливного елемента необхідно закрити за допомогою короткого шматка трубки та шпильки.
5. Тепер паливний елемент можна розмістити на платі модуля та підключити до нього за допомогою відповідних кабелів (червоний для O_2 , чорний для H_2).
6. Тепер пристрій можна підключити до електричного навантаження, помістивши на невеликому базовому блоці. (Зверніть увагу на полярність!).
7. Розкривши затискач трубки, можна почати експеримент.

ПРИМІТКА. Для кількісних експериментів, таких як створення характеристичної кривої, рекомендуємо промити паливний елемент газоподібним воднем, ініціюючи подачу газу (відкриваючи затискач трубки на баку або відкриваючи клапан на сховищі H_2) та видаляючи штифт на короткій трубці. лише на 1-2 секунди.

Схема установки для дослідження процесу утворення водню з біомаси наведена на рис. 7.13.

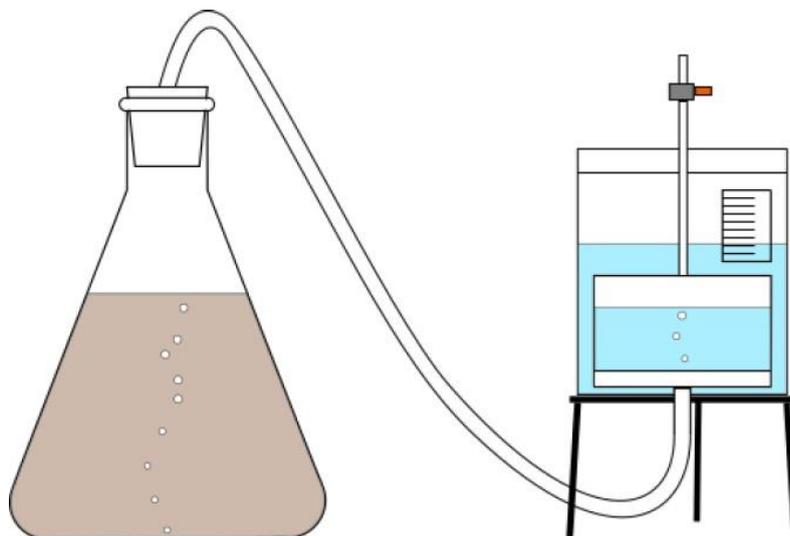


Рисунок 7.13 – Схема установки для дослідження процесу утворення водню та метану з біомаси

Перелік обладнання:

- Колба Ерленмейера
- Гумова пробка
- Посуд для збору газу
- Паливний елемент
- Пальник Бунзена
- Модуль двигуна з пропелером
- Кабель
- Прискорювач компосту

Додатково:

- Глюкоза
- Окріп
- Сірники або запальничка
- Пробірка
- Коров'ячий гній
- Вода

№1 Утворення водню з біомаси [36].

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Наповніть колбу Ерленмейера 30 г глюкози та 10 г прискорювача компосту.

2. Додайте 1 л окропу і закрийте колбу гумовою пробкою.

3. Зберіть всю систему разом:

Система містить дві ємності: одну малу для збору газу і більшу з вагами і двома з'єднаннями зверху і знизу

Збірний контейнер слід вкрутити в балансувальний контейнер

Помістіть збірну систему на штатив і під'єднайте шланг колби Ерленмейера до дна .

Наповніть ємність для вирівнювання тиску водою. Ємність для збору газу також повинна бути заповнена водою

Залийте її водою до нульової позначки

Витягніть шланг з верхньої частини внутрішнього контейнера для збору газу через отвір у верхній кришці балансувального контейнера. Підключіть його до клапана і закрийте вентиль

Залишився один шланг. Підключіть один кінець до клапана, а інший - до паливного елемента

Принцип дії: бактерії в колбі Ерленмейера виробляють газ. Він потрапляє в контейнер для збору газу і виштовхує воду в балансувальний контейнер. За допомогою шкали можна спостерігати цю процедуру. Якщо вентиль відкривається, газ виливається з колекторної ємності, і вода знову вливається всередину.

4. Після 1-2 днів очікування помітно, що газ зібрався.

Киснево-водневий факел

5. Якщо ємність для збору газу наполовину заповнена, використовуйте пробірку догори дном і дайте в неї втекти частині газу, що утворився. Потім піднесіть полум'я до отвору пробірки і запишіть свої спостереження.

Будьте обережні та надягайте рукавички.

Виробництво газу – з підгрівом і без

6. Відкрийте вентиль і випустіть газ. Скільки газу (див. шкалу об'єму) утворилося за одну годину?

7. Повторіть експеримент, але нагрійте колбу Ерленмейера, поставивши її на нагрівальний прилад. Скільки газу утворилося за годину порівняно з попереднім експериментом?

8. Під'єднайте шланг газозбірної ємності до паливного елемента та відкрийте клапан (рис.7.14).

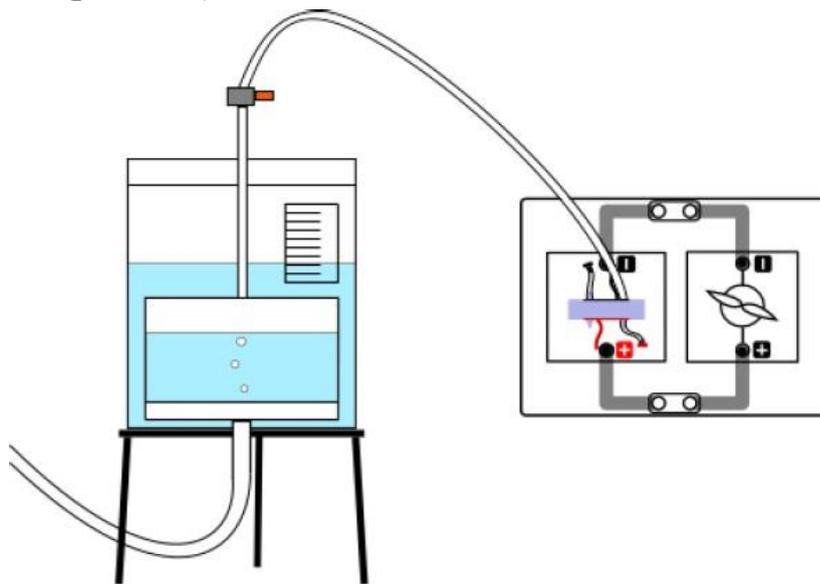


Рисунок 7.14 – Паливний елемент

9. Підключіть модуль двигуна та паливний елемент до базового блоку та з'єднайте їх за допомогою штекерів.

10. Зачекайте приблизно від 15 до 30 хвилин. Коли двигун починає обертатися?

11. Результати дослідження:

- Киснево-водневий факел: спостереження.
- Збір газу: об'єм водню без нагрівання, об'єм водню з нагріванням.
- Паливний елемент: спостереження.

№2 Перетворення біомаси в метан [36].

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Отримайте трохи коров'ячого гною з ферми або поля. (свинячий гній або гній морської свинки також працює).

2. Наповніть колбу Ерленмейера на 2/3 коров'ячим послідом і додайте 1/3 води.

3. Надіньте гумову пробку і трохи потрясіть.

4. Зберіть всю систему збору разом і закрийте її до біомаси в колбі Ерленмейера:

Система збору містить дві ємності: одну малу для збору газу і більшу з шкалою і двома з'єднаннями зверху і знизу.

Збірний контейнер слід вкрутити в балансувальний контейнер

Помістіть збірну систему на штатив і під'єднайте шланг колби Ерленмейера до дна

Наповніть ємність для вирівнювання тиску водою. Ємність для збору газу також повинна бути заповнена водою

Залийте її водою до нульової позначки

Витягніть шланг з верхньої частини внутрішнього контейнера для збору газу через отвір у верхній кришці балансувального контейнера. Підключіть його до клапана і закрийте вентиль.

Залишився один шланг. З'єднайте один кінець з клапаном, а інший - з пальником Бунзена.

Принцип дії: бактерії в колбі Ерленмейера виробляють газ. Він потрапляє в контейнер для збору газу і виштовхує воду в балансувальний контейнер. За допомогою шкали можна спостерігати цю процедуру. Якщо вентиль відкривається, газ виливається з колекторної ємності, і вода знову вливається всередину.

5. Через два тижні спостерігаємо деяке газоутворення.

6. Якщо ємність для збору газу заповнена більш ніж на 25%, можна спробувати спалити її:

Відкрийте вентиль і спробуйте підпалити пальник Бунзена. Будь ласка, будь обережним!

Повинно бути видно блакитне полум'я. Його найкраще видно в темряві або на темному тлі, тому слід вимкнути світло.

Якщо газ не горить спочатку, випустіть весь газ і спробуйте перевірити його ще раз через пару днів.

Як тільки побачите полум'я, можете продовжувати подальші експерименти.

Виробництво газу з опаленням і без

7. Спорожніть газозбірний контейнер.

8. Запишіть, скільки газу виділяється за день або півдня.

9. Спорожніть газозбірний контейнер.

10. Запишіть, скільки газу утворюється протягом дня або півдня, якщо нагріти колбу Ерленмейера.

11. Результати дослідження оформіть у вигляді таблиць 7.2 та 7.3.

12. Наведіть висновки.

Таблиця 7.2 – Виробництво метану

Початок	Дослід 1	Дослід 2	Дослід 3	Дослід 4
Дата, час				
Займистість				

Таблиця 7.3 – Виробництво газу з опаленням і без

	З підігрівом		Без підігріву	
	Дата, час	об'єм (мл)	Дата, час	об'єм (мл)
Початок				
Через пів дня				
Через один день				

ЗАПИТАННЯ ДО САМОКОНТРОЛЮ

7.1. Чому вибухає газ?

7.2. Поясніть різний об'єм газу з підігрівом і без?

7.3. Скільки часу потрібно для вироблення горючого газу? Поясніть свої спостереження?

7.4. Скільки газу можна видобути за добу з використанням підігріву та без нього? Чому є різниця?

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 2

ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ БІОГАЗОВОЇ УСТАНОВКИ. ВСТАНОВЛЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ БІОГАЗОГЕНЕРАТОРА І ДВИГУН- ГЕНЕРАТОРНОЇ УСТАНОВКИ ДЛЯ УТИЛІЗАЦІЇ ГНОЮ

Мета роботи: вивчити принцип дії біогазової установки; ознайомитися з методикою встановлення ефективності біогазогенератора і двигун-генераторної установки.

Обладнання і матеріали: установка для дослідження об'єктів біоенергетики.

Місце проведення роботи: робота проводиться в лабораторії кафедри енергетичного менеджменту і технічної діагностики.

Тривалість роботи: 4 год.

ОСНОВНІ ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ

Основними джерелами біомаси є [39]:

- лісорозробки і відходи переробки деревини;
- цукрова тростина;
- зернові і інші, продовольчі і технічні культури, продукція енергетичного рослинництва;
- відходи тваринництва (гній);
- міські стоки, сміття (тверді побутові відходи).

Переробка біомаси, пов'язана з витяганням енергії, здійснюється термохімічними, біохімічними і агрохімічними способами.

Термохімічні способи – це пряме спалювання і піроліз, *біохімічні* – спиртова ферментація і анаеробна переробка, *агрохімічні* – екстракція палив прямо від живих рослин (наприклад, отримання каучуку).

Спалювання біопалива з отриманням тепла використовується для приготування їжі, обігріву житла, для сушки зерна, отримання електроенергії і так далі.

Біогаз – це суміш газів, яка містить метан (CH_4), вуглекислий газ (CO_2), сірководень (H_2S) та певні інші компоненти [39].

Найбільш розповсюджений спосіб отримання біогазу – *анаеробне* (без доступу кисню) *зброджування органічної маси*. На першому етапі анаеробного зброджування органічних речовин шляхом біохімічного розчеплення високомолекулярні з'єднання (вуглеводи, жири, білкові речовини) розкладаються на низькомолекулярні. На другому етапі відбувається подальше розкладання із створенням органічних кислот та солей, спиртів, вуглекислого газу та водню, а потім сірководню та аміаку. На третьому етапі органічні речовини перетворюються у вуглекислий газ та метан (метанове зброджування). В подальшому із CO_2 та H_2 створюється додаткова кількість метану та води.

Мінімальна *температура*, за якої відбувається процес зброджування субстрату, складає 5-8 °С. Розвиток мезофільної бактеріальної флори у

біогазовій установці найбільш активно протікає при температурі 30-35 °С, розвиток термофільної бактеріальної флори – при температурі 50-60 °С. Активність мікробної реакції в значній мірі залежить від співвідношення вуглецю та азоту. Найбільш активно ця реакція спостерігається при показнику C/N як 10/16 [39].

В залежності від технологічної схеми розрізняють біогазові установки безперервної дії, періодичні та акумулятивні. Існують різні конструкції біогазових установок: без підводу тепла та перемішування субстрату, без підводу тепла але з перемішуванням субстрату, з підводом тепла та перемішуванням субстрату.

Для перемішування субстрату у біогазових установках використовують механічні, гідравлічні та газові пристрої. Швидкість перемішування повинна бути не більше за 0,5 м/с.

Вихід гною в перерахунку на суху речовину визначають за формулою [40]:

$$m_{c.гн} = n \cdot m_{o.1}, \quad (9.1)$$

де n – кількість тварин; $m_{o.1}$ – вихід сухого гною на 1 тварину за добу (для свиней $m_{o.1} = 0,5$ кг/добу, для корів $m_{o.1} = 2$ кг/добу).

Об'єм рідкої гнійної маси визначають за формулою:

$$V_{гн} = \frac{m_{c.гн}}{\rho_{c.гн}}, \quad (9.2)$$

де $\rho_{c.гн}$ – густина сухого гною, розподіленого в гнійній масі, кг/м³. Приймаємо $\rho_{c.гн} = 50$ кг/м³.

Розрахунковий об'єм біогазової установки при разовій заправці реактора визначають за формулою:

$$V'_z = t_z \cdot V_{гн}, \quad (9.3)$$

де t_z – час перебування порції гнійної маси в генераторі (від 8 до 20 діб).

Розрахунковий об'єм біогазогенератора при безперервній технології виробництва біогазу дорівнює:

$$V'_z = V_{гн}. \quad (9.4)$$

Добову продуктивність біогазової установки визначають за рівнянням:

$$V_{БГУ} = C_1 \cdot m_{c.гн}, \quad (9.5)$$

де C_1 – вихід біогазу з 1 кг сухої маси (від 0,2 до 0,4 м³/кг в залежності від виду тварин: для свиней більше, для корів менше); $m_{c.гн}$ – кількість сухого гною в реакторі, кг.

Розрахункову теплоту згоряння біогазу визначають за формулою:

$$E = H_M \cdot f_M \cdot V_{БГУ}, \quad (9.6)$$

де H_M – питома теплота згоряння метану (28 МДж/м³); f_M – частка метану в біогазі, $f_M = 0,6 \dots 0,8$.

Еквівалент бензину визначають за формулою:

$$V_6 = \frac{E}{E_o \cdot \rho_6}, \quad (9.7)$$

де E_o – теплотворність бензину (45 МДж/кг); ρ_6 – густина бензину, 0,7 кг/л.

Еквівалент електроенергії визначають за співвідношенням величин, а саме:

$$\frac{E}{3,6} \quad (9.8)$$

Необхідна кількість теплоти для підігрівання біомаси в холодний час до оптимальної температури (30-35 °С) визначається за рівнянням:

$$Q = m_{гн} C_2 (t_o - t_1), \quad (9.9)$$

де $m_{гн}$ – маса гнійної маси в реакторі, кг; C_2 – питома теплоємність гнійної маси води (приймаємо $C_2 = 4,2$ кДж/кг·°С); t_o і t_1 – відповідно оптимальна і фактична температура гною, що потрапляє у біогазову установку.

$$m_{гн} = V_{гн} \cdot \rho_{гн}, \quad (9.10)$$

де $V_{гн}$ – об'єм гнійної маси в реакторі, м³; $\rho_{гн}$ – густина гнійної маси (можна прийняти $\rho_{гн} = 1000$ кг/м³).

Необхідна потужність нагрівача для повільного розігрівання реактора:

$$P = \frac{Q}{t}, \quad (9.11)$$

де t – тривалість розігріву, год (приймають декілька годин, залежно від маси гною, щоб не зірвати процес бродіння).

Річне вироблення електроенергії при використанні біогазу в двигун - генераторній установці:

$$W = \eta \cdot V_{БГУ} \cdot C_B \cdot 365, \quad (9.12)$$

де $V_{БГУ}$ – об'єм біогазу, що виділяється біогазогенератором за добу, м³; $C_B = 20$ МДж/м³ – сумарна теплотворна здатність біогазу (50% -метан і 50% - вуглекислий газ); ККД двигун-генераторної установки $\eta = 30-60\%$.

Номинальна потужність двигун - генератора, кВт:

$$P_H = \frac{K_3 \cdot W}{365 \cdot 24}, \quad (9.13)$$

де $K_3 = 1$ - коефіцієнт запасу.

Витрата електроенергії в рік двигунами насосів і мішалок біогазогенератора при їх встановленій потужності і коефіцієнті використання 0,1:

$$W_2 = P_{\text{встк}} \cdot K_{\text{встк}} \cdot 8760. \quad (9.14)$$

Річна економія електроенергії:

$$\Delta W = W - W_1 - W_2. \quad (9.15)$$

Річний економічний ефект без урахування додаткових експлуатаційних витрат при тарифі на електроенергію для виробничих споживачів b , грн/кВт·год:

$$E = \Delta W \cdot b. \quad (9.16)$$

Опис лабораторної установки

Зброджування в біогазогенераторі може відбуватися при температурі 20...30°C за участю психрофілических бактерій з циклом зброджування 14 діб. При підігріванні до 35°C в процесі беруть участь мезофілическі бактерії і процес прискорюється до 7 діб. Для підігрівання використовується частина біогазу, що отримується в біогазогенераторі. При необхідності прискорення розкладання біомаси без збільшення виходу біогазу масу підігривають до 55°C, що відповідає термофілическому рівню анаеробних бактерій. У будь-якому випадку необхідно підтримувати в біогазогенераторі стабільні умови по температурі і подачі біомаси для виведення відповідних для цих умов популяцій бактерій.

Процес зброджування йде в три стадії, які забезпечуються власними для кожної стадії бактеріями:

1 стадія – розщеплення нерозчинних матеріалів (целюлоза, жири, полісахариди) на вуглеводи і жирні кислоти протягом 1 доби при 20...25°C;

2 стадія – розщеплення оцтової та інших кислот протягом 1 доби;

3 стадія – утворення метану, повне зброджування маси з отриманням біогазу (70% метану і 30% вуглекислого газу) з домішкою водню і сірководню протягом 14 діб.

Технологічна і електрична схема біогазогенератора для умов помірного клімату для утилізації гною тваринницького комплексу, що використовує електроенергію як основне джерело енергії представлена на рисунку 9.1.

Гній поміщають в накопичувач, де він відділяється від незброджуваних матеріалів. Далі маса повільно проходить через місткість, заглиблену в землю,

де відбувається зброджування, а потім відпрацьована маса поступає в бак для відпрацьованої маси, яка використовується для добрива. Тиск газу в газгольдері створюється важкою металевою кришкою газгольдера.

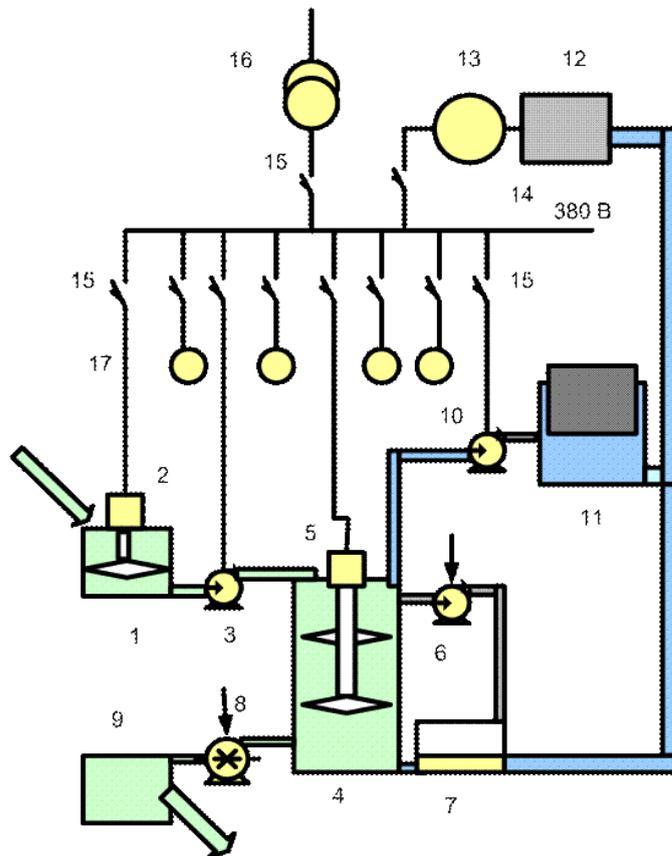


Рисунок 9.1 - Схема біогазогенератора

На рисунку 9.1 введено наступні позначення:

- 1- приймальна ємність з мішалкою, куди поступає очищений від соломи і інших неактивних матеріалів гній;
- 2- мішалка; 3- насос; 4- бак з мішалкою; 5- мішалка;
- 6- насос для перекачування гною в бак з підігріванням в зимовий час за допомогою газового нагрівача;
- 7- газовий нагрівач;
- 8- насос для перекачування відпрацьованого гною у вихідну ємність для відходів;
- 9- вихідна місткість;
- 10- компресор для перекачування отриманого біогазу в газгольдер;
- 11- водяний газгольдер;
- 12- двигун внутрішнього згорання;
- 13- електрогенератор;
- 14- шини трансформаторної підстанції підприємства;
- 15- комутуючі апарати підстанції;
- 16- головний трансформатор підстанції підприємства;
- 17- приводні електродвигуни витяжної і нагнітаючої вентиляції з калориферами для обігріву приміщень, приводу механізмів кормороздачі, скребоків, а також лампи освітлення.

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Для розрахунку задайте кількість голів худоби (корів або свиней). Для цього номер варіанту (номер у списку групи) помножьте на 10.
2. За наведеною вище методикою визначте продуктивність біогазової установки.
3. Наведіть варіанти застосування біогазу як палива.
4. Розрахуйте річний економічний ефект біогазової установки.
5. Наведіть висновки.

ЗАПИТАННЯ ДО САМОКОНТРОЛЮ

- 9.1. З якого матеріалу отримують біогаз??
- 9.2. Які основні складові частини біогазу Ви знаєте??
- 9.3. Які хімічні процеси протікають в біогазовій установці?
- 9.4. Які умови треба підтримувати для нормального протікання процесу зброджування?
- 9.5. Як розрахувати об'єм рідкої гнійної маси, що виділяють тварини за добу?
- 9.6. Як визначити добову продуктивність біогазової установки?
- 9.7. Як знайти розрахункову теплоту згоряння біогазу?
- 9.8. Як визначити необхідну потужність нагрівача?
- 9.9. З яких основних частин складається біогазова установка?

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 3

ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ І РОЗРАХУНОК ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕПЛООВОГО НАСОСУ З ЕЛЕКТРИЧНИМ ПРИВОДОМ

Мета роботи: ознайомитись з призначенням, будовою і принципом функціонування парокомпресійного теплового насосу з електричним приводом, як устаткування відновлюваної енергетики. Набути практичних навичок щодо оцінювання технічних характеристик парокомпресійного теплового насосу з електричним приводом.

Обладнання і матеріали: лабораторна установка «парокомпресійний тепловий насос з електричним приводом», цифровий двоканальний термометр, цифровий ватметр-електролічильник, мірна ємність.

Місце проведення роботи: робота проводиться в лабораторії кафедри енергетичного менеджменту і технічної діагностики.

Тривалість роботи: 8 год.

ОСНОВНІ ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ

Тепловий насос це пристрій для перенесення теплової енергії від низькопотенціального джерела тепла (наприклад, зовнішнє повітря або ґрунт) до споживача тепла з високою температурою. Для роботи теплового насосу необхідно використання зовнішньої енергії: механічної, електричної, хімічної і т.п.

Незалежно від типу теплового насосу і типу приводу компресора на одиницю витраченого вихідного палива споживач отримує принаймні в декілька раз більше тепла, ніж при прямому спалюванні палива. Така висока ефективність виробництва тепла досягається тим, що тепловий насос залучає в корисне використання низькопотенційне тепло природного походження (тепло ґрунту, природних водойм, ґрунтових вод, повітря) та техногенного походження (промислові стоки, очисні споруди, вентиляція і т.д.) з температурою від +3 до 40 °С, тобто таке тепло, яке не може бути безпосередньо використано для теплопостачання.

Природно, що теплові насоси досить інтенсивно витісняють традиційні способи теплопостачання, засновані на спалюванні органічного палива.

Теплові насоси *класифікуються* за такими ознаками:

- за принципом дії, на парокомпресійні, абсорбція, адсорбційні, термоелектричні;

- за джерелом низькопотенційної теплоти, на що використовують зовнішнє повітря, підземні або поверхневі води, сонячну енергію, ґрунт, технологічні і вентиляційні викиди;

- по комбінації джерела низькопотенційної теплоти і середовищем яке нагрівається тепловим насосом, на повітря-повітря, повітря-вода, вода-повітря, вода-вода, ґрунт-вода, вода-ґрунт;

- по джерелу, що витрачається на роботу теплового насосу енергії, поділяються на ті що споживають електроенергію, викопне паливо і вторинні енергетичні ресурси;

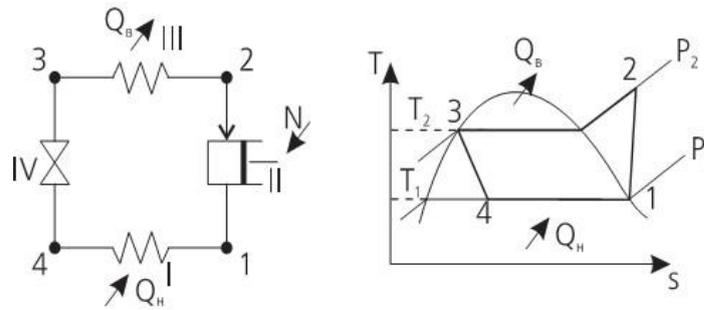
- за типом інженерної системи, на потреби яких використовується відібрана теплота: опалювальні, вентиляційні, кондиціонування повітря і технологічні.

Беззаперечно, домінуючим типом на ринку теплових насосів є парокомпресійні установки - практично всі побутові теплонасосні машини працюють за цим принципом. Робота парокомпресійного теплового насосу заснована на одному з фундаментальних положень термодинаміки - циклі Карно. Це єдиний оборотний цикл, що відбувається в замкнутій системі та може здійснюватись в прямому та зворотньому напрямках. Відповідно установка на основі циклу Карно може працювати як холодильник чи тепловий насос, або поєднувати в одному пристрої функції опалення та охолодження. Компресійні теплові насоси застосовують механічну енергію, використовуючи електроенергію в якості джерела живлення.

Також як і холодильні машини, теплові насоси відносять до трансформаторів тепла. Принципової різниці в роботі і в конструкції між ними не існує. Різняться лише призначення і температурний рівень одержуваної теплоти. Мета холодильної машини - отримання теплоти з температурою нижче рівня температури навколишнього середовища, тобто виробництво холоду. Холод в парокомпресійній холодильній установці виходить у вигляді охолодженого теплоносія (розсоли, антифризи, повітря, вода), що виходить з випарника. Призначення теплового насосу - отримання теплоти, яка в разі парокомпресійного теплового насосу виходить у вигляді нагрітого теплоносія (води, повітря), що виходить з конденсатора.

Принцип дії парокомпресійного теплового насосу наведено на рис. 10.1, на якому зображені його схема і термодинамічний цикл в діаграмі T-S («температура-ентропія»). Тепловий насос діє за рахунок підведеної до компресора механічної роботи. Привід компресора може здійснюватись від електричного або теплового двигуна. У компресорі (процес 1-2) підвищується тиск робочої речовини, що знаходиться в пароподібному стані від тиску P_1 до тиску P_2 . Потім в конденсаторі (процес 2-3) при постійному тиску відбувається конденсація робочої речовини. Отримане при конденсації тепло передається споживачеві при температурі T_2 , наприклад, нагріваючи воду системи опалення. У дроселі відбувається розширення робочої речовини до тиску P_1 з його частковим випаровуванням (процес 3-4). Далі, робоча речовина повністю перетворюється в пару при температурі T_1 в випарнику, де відбирається теплота від її джерела, наприклад від нагрітого вентиляційного повітря або продуктів згорання.

Основними характеристиками теплового насосу є: коефіцієнт перетворення (трансформації) тепла, термодинамічний ККД, питома вартість, тобто вартість, віднесена до теплопродуктивності теплового насосу [41].



**Рисунок 10.1 – Схема парокомпресійного теплового насосу і його цикл в T-S - діаграмі:
I - випарник; II - компресор; III - конденсатор; IV – дросель**

Коефіцієнт перетворення тепла являє собою відношення одержуваної теплової потужності до затрачуваної потужності на привід компресора. Він істотно залежить від температури холодного джерела теплоти T_1 і температури одержуваного гарячого теплоносія T_2 . В результаті роботи теплового насоса можемо отримати приблизно в $2 \div 8$ разів більше теплоти, ніж в разі безпосереднього підігріву теплоносія в електрокалорифері.

Знаходячись під низьким тиском у випарнику, холодоагент здатен кипіти при низькій температурі, що дозволяє відбирати тепло від низькопотенційного джерела енергії: повітря, ґрунту, води. Далі робоче тіло (газоподібний стан) надходить в компресор, де стискається внаслідок механічної дії, що призводить до різкого підвищення температури. Потім холодоагент подається на теплообмінник - конденсатор, де при високому тиску починає конденсувати. Внаслідок конденсування виділяється тепло, яке передається теплоносію системи опалення. Після конденсатора робоче тіло проходить через дросельний клапан, який знижує тиск, що призводить і до зниження температури. На цьому термодинамічний цикл замикається і холодоагент знову готовий до кипіння та відбору тепла у випарнику.

Таким чином теплова потужність теплових насосів на 80% складається з відновлювальної енергії навколишнього середовища і лише 20% енергії використовується для роботи самого теплового насосу (рис. 10.2). Теплові насоси забезпечують опалення приміщень та гаряче водопостачання. А за наявності в контурі теплового насосу реверсивного вентиля, здатні працювати в зворотному режимі - здійснювати охолодження приміщень.

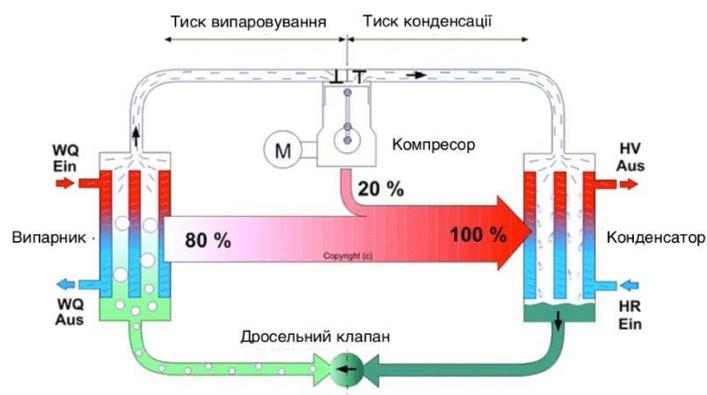


Рисунок 10.2 – Енергетичний баланс теплового насосу

Серцем теплового насосу звичайно є компресор, від якого в основному і залежать технічні характеристики установки. Основні типи компресорів, що використовуються в паро-компресорних теплонасосних установках:

- роторні, в основному застосовуються для установок невеликої потужності.

В сучасних повітряних теплових насосах найчастіше використовуються двоухоторні компресори, які характеризуються збільшеним ресурсом та надійністю. Завдяки такій конструкції компресор може працювати при низькій швидкості обертання, тим самим зменшуючи кількість циклів пуску та зупинок, що суттєво підвищує ефективність роботи теплових насосів. Застосування двох роторів також дозволяє знизити вібрацію та шум.

- спіральні, найпоширеніші для комплектації теплових насосів малої та середньої потужності. Переваги таких компресорів: висока ефективність, безшумність під час роботи, довговічність, висока надійність.

Застосування інверторної техніки дозволяє забезпечувати високу ефективність теплових насосів із спіральними компресорами у всьому діапазоні потужності. Для будівництва теплових насосів середньої та більшої потужності використовується поєднання двох компресорів, так званий тандем. Такі установки гарантують високу ефективність при зміні теплового навантаження, оптимально пристосовуючись до умов експлуатації.

В даний час одним з найбільш поширених типових рішень є індивідуальний геотермальний тепловий насос, який обслуговує, як правило, одноквартирні житлові будинки. Принципова схема його роботи наведена на рис. 10.3.

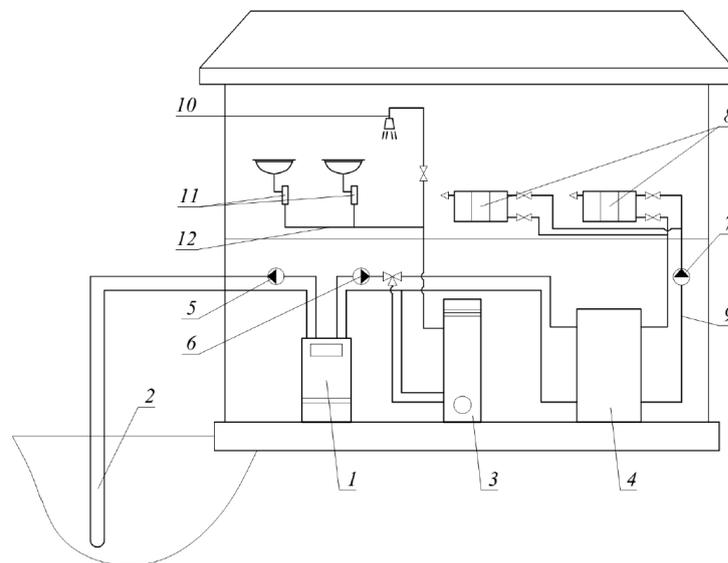


Рисунок 10.3 – Принципова схема використання геотермального теплового насосу в одноквартирному житловому будинку:

1 - тепловий насос; 2 - джерело низькопотенційної теплової енергії; 3 - бойлер непрямого нагріву; 4 - тепловий акумулятор; 5, 6, 7 - циркуляційні насоси; 8 - опалювальні прилади; 9 - система опалення; 10 - душ; 11 - мийки; 12 – система гарячого водопостачання

В даній схемі тепловий насос 1 перетворює низькопотенційну енергію ґрунтових вод, ґрунту і поверхневих водойм 2. Низькопотенційний теплоносіє подається в тепловий насос за допомогою циркуляційного насосу 5. Циркуляційний насос 6 подає високотемпературний теплоносіє з теплового насоса в бойлер непрямого нагріву 3 системи гарячого водопостачання 12, а насос 7 - в тепловий акумулятор 4 системи опалення 9. По трубопроводах систем опалення та системи гарячого водопостачання теплоносіє надходить до опалювальних 8 і водорозбірних приладів 10, 11.

Опис лабораторної установки.

Лабораторна установка «парокомпресійний тепловий насос з електричним приводом» зображена на рис. 10.4. В роботі використовується модель теплового насосу DT400-1P австрійської компанії Fruhmann GmbH NTL Manufacturer & Wholesaler. У використуваному комплекті лабораторного обладнання використовується компресійний холодильний агрегат, працюючий на холодоагенті тетрафторетані R134a ($\text{CF}_3\text{-CH}_2\text{F}$), він не завдає шкоди озоновому шару Землі і має лише незначний вплив на парниковий ефект.

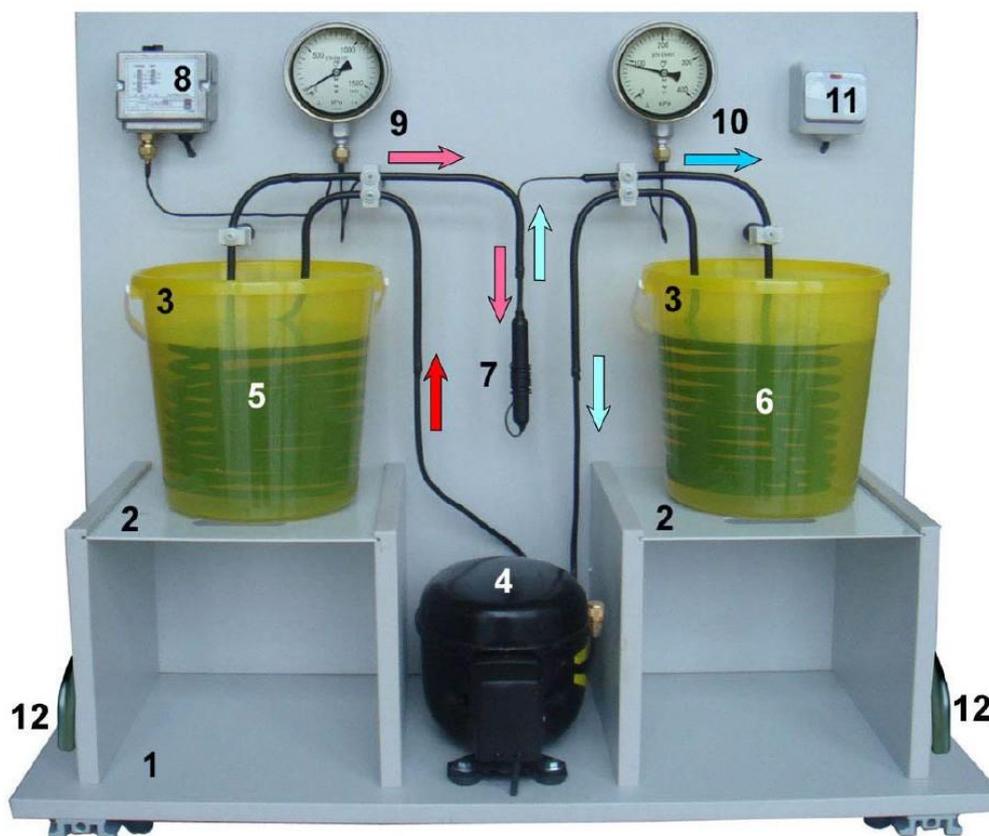


Рисунок 10.4 – Лабораторна установка «парокомпресійний тепловий насос з електричним приводом»:

1- основа, 2 – засувка; 3 – пластикова ємність, 4 – компресор, 5 – конденсатор, 6 – випарник, 7 – дросельний клапан, 8 – запобіжний регулятор надлишкового тиску (вимикається при 1500 кПа, робочий режим, 9 – манометр високого тиску, 10 – манометр низького тиску; 11– вимикач живлення; 12 – ручка для транспортування

Принцип роботи лабораторної установки.

Суха перегріта пара холодоагенту стискується поршневим компресором з електричним приводом 4 і направляється в конденсатор 5. У конденсаторі 5 пара охолоджується до температури конденсації (визначається за допомогою манометру високого тиску 9) і перетворюється в рідкий холодоагент. Рідкий холодоагент продовжує охолоджуватися і виходить з конденсатора 5 з температурою нижче температури конденсації. Різниця між температурою конденсації холодоагенту і температурою рідкого холодоагенту називається переохолодженням. Отримане при конденсації тепло передається середовищу, яке оточує конденсатор 5. Вийшовши з конденсатора 5, рідкий холодоагент потрапляє в дросельний клапан 7. Пройшовши дросельний клапан 7, рідкий холодоагент попадає у випарник 6, де нагрівається до температури пароутворення (визначається по манометру низького тиску 10), закипає і перетворюється в пару. Пара продовжує нагріватися і виходить з випарника 6 перегрітою з температурою вище температури пароутворення. Різниця між температурою пароутворення холодоагенту і температурою пари, яка виходить з випарника 6, називається перегрівом. В процесі закипання холодоагенту у випарнику 6 відбирається теплова енергія з навколишнього середовища. Пара холодоагенту, яка вийшла з випарника 6 знову стискається компресором 4 і цикл повторюється. Запобіжний регулятор надлишкового тиску 8 вимикає компресор 4 при досягненні критичного тиску в системі (1500 кПа).

Рекомендації по експлуатації лабораторної установки з метою збереження обладнання і забезпечення його довгого терміну служби встановлюють наступні правила до лабораторних випробувань.

1) Не допускається вмикати компресор 4 установки, не переконавшись, що теплообмінники 5 і 6 заповнені водою.

2) Не допускається тривала робота лабораторної установки при температурі води в ємності в теплообмінника-випарника 6 менш ніж 5 °С.

3) Не допускається тривала робота установки при температурі води в ємності теплообмінника-конденсатора 5 більш 50 °С.

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1) Дві ємності для води 3 заповнюють по 4 л води за допомогою мірної ємності. Температура води в ємності повинна бути нижче кімнатної температури, щоб запобігти втраті тепла шляхом випаровування.

2) По центру теплообмінників 5 і 6 встановлюються давачі двоканального цифрового термометра.

3) Лабораторна установка приєднується до електричної мережі через цифровий ватметр-електролічильник.

4) Увімкнути лабораторну установку за допомогою вимикача 11.

5) Зафіксувати початкові значення температури у конденсаторі t_1 і випарнику t_2 .

6) Через кожні 2 хв провести фіксацію значення температури у конденсаторі t_1 і випарнику t_2 , різниці $\Delta t = t_{1,i+1} - t_{1,i}$ (відповідно значення $t_{1,i+1}$ – поточне а $t_{1,i}$ попереднє значення температури в ємності

конденсатора), електричної потужності, яка споживається установкою W за час T , величина спожитої електричної енергії E і коефіцієнт перетворення теплового насосу ε .

Отримані значення заносимо в таблицю 10.1.

Дослідження проводяться до моменту відключення компресора 4 запобіжним регулятором надлишкового тиску 8.

Значення коефіцієнту теплового насосу визначається як відношення кількості теплової енергії, яка віддана конденсатором 5 теплоносію (воді) в ємності 3 до величини спожитої електричної енергії:

$$\varepsilon = \frac{Q}{E} \quad (10.1)$$

Величина спожитої електричної енергії визначається відповідно до показів цифрового ватметра-електролічильника:

$$E = W \cdot T \quad (10.2)$$

Величина отриманої теплової енергії розраховується відповідно до наступної залежності:

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta t, \quad (10.3)$$

де c – питома теплоємність води (4190 Дж/(кг·°C)); m – маса теплоносія (води) в системі; $\Delta t = t_{1,i+1} - t_{1,i}$ (відповідно значення $t_{1,i+1}$ – поточне а $t_{1,i}$ попереднє значення температури в ємності конденсатора). Для коректного визначення коефіцієнту перетворення теплового насосу ε відповідно до (4.1) необхідно привести до однакових одиниць вимірювання (1 Вт·год=3600 Дж).

Таблиця 10.1 – Визначення енергетичних показників теплового парокомпресійного теплового насосу з електричним приводом

№ дос-ліду	T, с	t ₁ , °C	t ₂ , °C	t ₁ -t ₂ , °C	Δt, °C	W, Вт	E, Дж	Q, Дж	ε
1									
2									
...									
N									

7) На основі отриманих даних (табл. 10.1) побудувати залежності $t_1=f(T)$, $t_2=f(T)$ (температури в ємності конденсатора і випарника від часу в одних координатах) $W=f(t_1-t_2)$, $\varepsilon=f(t_1-t_2)$.

8) Зробити висновки щодо ефективності роботи теплового насосу.

ЗАПИТАННЯ ДО САМОКОНТРОЛЮ

- 1.1. Що таке тепловий насос і для чого його застосовують ?
- 1.2. Який принцип дії теплового насоса. Як класифікуються теплові насоси ?
- 1.3. Які відмінності між холодильною машиною і тепловим насосом установкою, що спільного між ними і чим вони відрізняються?
- 1.4. Що таке цикл роботи теплового насосу?
- 1.5. Як впливає на ефективність теплового насосу різниця температур середовищ, які оточують випарник і конденсатор ?
- 1.6. Які переваги і недоліки теплових насосів?
- 1.7. Яка структура і принцип дії системи гарячого водопостачання будівлі на основі теплового насосу?
- 1.8. Які джерела низькопотенційного тепла можуть використовувати теплові насоси?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕРМІЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ РІЗНОМАНІТНИХ СУМІШЕЙ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ ДО ТВЕРДОПАЛИВНИХ ПЕЛЕТ

Мета роботи: ознайомитись з призначенням, будовою і принципом функціонування калориметра. Набути практичних навичок щодо оцінювання термічного потенціалу твердопаливних пелет шляхом дослідження калорійності.

Обладнання і матеріали: калориметр ІКА С1.

Місце проведення роботи: робота проводиться в лабораторії кафедри енергетичного менеджменту і технічної діагностики.

Тривалість роботи: 8 год.

ОСНОВНІ ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ

Проблема *твердих побутових відходів (ТПВ)* надзвичайно актуальна, оскільки в Україні спостерігається стала тенденція до збільшення обсягів утворення твердих побутових відходів, що підлягають перевезенню та захороненню на сміттєзвалищах і полігонах. В свою чергу це призводить до утворення величезних звалищ ТПВ поблизу території великих міст.

В останні роки у всіх країнах спостерігається інтерес до нових екологічно безпечних і безвідходних технологій термічного знешкодження побутових відходів з утворенням горючих газів. Універсального методу поводження з ТПВ, який би задовольняв сучасні екологічні та економічні вимоги, немає. Найбільш прийнятним є комбінований метод, який передбачає використання відходів як джерела енергії та вторинної сировини [37, 38].

Деревні пелети є одним з популярних видів біопалива, використовуваного у відновлюваній енергетиці. Вони виготовляються шляхом стиснення деревної стружки або деревного багаття під високим тиском без застосування клею або хімічних домішок. Основним матеріалом для виробництва деревних пелет є лісові залишки, деревинні обрізки, солома та інші деревні відходи.

Основні види деревини, що використовуються для виготовлення пелет, включають:

Сосна: Деревинні пелети з сосни є дуже популярними через широку поширеність цього виду деревини. Вони мають високу калорійність та низький вміст золи. Пелети з сосни зазвичай мають світлу колірну гаму.

Дуб: Деревинні пелети з дуба мають високу калорійність і довготривалу горіння. Вони вирізняються своєю темною колірною гамою. Пелети з дуба часто використовуються для опалення і систем з довгим часом роботи.

Бук: Деревинні пелети з бука також відомі своєю високою калорійністю та надійним горінням. Вони мають світло-коричневий колір і використовуються як ефективний вид палива для різних технологій відновлюваної енергії.

Верба: Деревинні пелети з верби вирізняються своєю низькою калорійністю порівняно з іншими видами деревини. Вони використовуються в основному для домашнього опалення та малих систем енергетики.

Інші види: Крім вищезгаданих, деревні пелети можуть бути виготовлені з інших видів деревини, таких як ялина, евкالیпт, клен, граб, смерека та інші. Кожен вид має свої особливості щодо калорійності, горіння та властивостей пелет.

Вибір виду деревини для виготовлення деревних пелет залежить від багатьох факторів, таких як доступність деревини, екологічність, ціна, вимоги споживачів та регуляторні норми.

Одна з ключових характеристик деревних пелет - це їх *калорійність*. Калорійність визначається кількістю енергії, яку можна отримати з певної маси палива. Калорійність деревних пелет вимірюється у кілокалоріях на кілограм (кКал/кг) або мегаджоулях на кілограм (МДж/кг).

Загальна калорійність деревних пелет залежить від кількох факторів, включаючи вид деревини, вологість пелет, їх густину та інші фізичні властивості. Найпоширеніші види деревини, використовувані для виготовлення пелет, включають дуб, сосну, бук та інші м'які та тверді породи дерева.

Середня калорійність деревних пелет становить приблизно 4,5-5,5 кКал/кг (18-22 МДж/кг). Проте це значення може варіюватися в залежності від вищезгаданих факторів. Наприклад, пелети з дуба або бука можуть мати більшу калорійність, ніж пелети з сосни.

Важливо зазначити, що калорійність деревних пелет може відрізнятися від калорійності інших видів палива, таких як вугілля чи нафта. Також, калорійність може впливати на ефективність та результативність пелетного котла або іншого типу спалювання.

Визначення калорійності деревних пелет є важливим кроком у виробництві та використанні цього виду біопалива. Ось кілька причин, чому визначення калорійності пелет є значущим:

Енергетична ефективність: Калорійність пелет вказує на кількість енергії, яку можна отримати з певної маси палива. Це важлива інформація для визначення енергетичної ефективності та потенційного використання пелет для опалення або виробництва електроенергії. Знання калорійності допомагає оцінити, скільки пелет необхідно для задоволення певної енергетичної потреби.

Сортування та якість: Калорійність пелет є важливим показником якості. Висока калорійність вказує на високу енергетичну вартість палива. При виробництві пелет важливо контролювати якість і забезпечувати однорідну калорійність для ефективного використання палива.

Маркування та торгові стандарти: Визначення калорійності є частиною стандартів та норм, які регулюють виробництво та торгівлю деревними пелетами. Калорійність може бути вказана на маркуванні пелет та в угоді між постачальниками та споживачами. Це допомагає забезпечити прозорість і впевненість у якості палива для кінцевих користувачів.

Оптимальне використання: Знання калорійності пелет дозволяє розрахувати оптимальну кількість палива для систем опалення або виробництва

енергії. Це допомагає планувати постачання пелет та забезпечувати ефективне використання ресурсів.

Загалом, визначення калорійності деревних пелет дозволяє оцінити їх енергетичну потужність, забезпечити якість та ефективне використання пелет у відновлюваній енергетиці.

Для визначення калорійності деревних пелет використовуються спеціальні прилади, які називаються *калориметрами*. Калориметри - це пристрої, які вимірюють кількість енергії, що виділяється під час згорання палива, тобто калорійність

Калориметри дозволяють отримати точні дані про калорійність пелет і використовуються як у лабораторних умовах, так і на промислових масштабах для контролю якості та енергетичної ефективності деревних пелет.

Опис лабораторної установки.

Калориметр С 1 має високий ступінь автоматизації і вимагає значно менше простору в порівнянні зі звичайними калориметрами, змінюючи тим самим зовнішній вигляд та методи роботи з калориметрами у майбутньому.

С1 є калориметром зі статичною оболонкою. Він працює відповідно до DIN 51900 та ISO 1928. Обчислення температурних значень здійснюється класичним ізопериболічним методом за формулою Реньо-Пфаундлера.

Завдяки різним інтерфейсам (ПК, принтера, вагам) цей прилад легко адаптується до конкретних потреб користувача.

Для роботи з ПК використовується програмне забезпечення ІКА С 6040 Calwin (постачається додатково), яке надає додаткові розширення та налаштування в управлінні даними вимірювань та лабораторно-інформаційних систем.

З приладом поставляються всі необхідні деталі для його установки, а також запчастини, що зношуються, і витратні матеріали для перших 500 використань, включаючи 25 калібрувань.

Калориметр С1 забезпечує точні і повторювані вимірювання кількості теплової енергії, що супроводжує хімічні реакції або фізичні процеси. Він знаходить широке застосування в наукових дослідженнях, фармацевтичній промисловості, харчовій промисловості та інших галузях, де важливо виміряти теплові ефекти процесів.

Принцип роботи лабораторної установки.

Калориметр ІКА Calorimeter С1 (рис. 8.1) є приладом, який використовується для вимірювання кількості енергії, що виділяється або поглинається під час хімічних реакцій або фізичних процесів. Принцип роботи калориметра С1 базується на принципі рівноваги теплової енергії між зразком і оточуючим середовищем.

Основні компоненти калориметра С1 включають теплоізольовану камеру, де розташовується зразок, і терморезисторний елемент, який використовується для вимірювання змін температури в камері.



Рисунок 8.1 – Загальний вигляд калориметра IKA Calorimeter C1

Підготовка зразків полягає у наступному:

Зразки ТПВ попередньо подрібнюються до утворення дрібнодисперсної маси (схожої на пил).

Зразки відходів поміщуються в муфельну піч для зменшення їхньої вологості

Після сушки, зразки поміщаються під прес. Де спресовуються до вигляду таблетки

Отримані таблетки необхідно зважити, оскільки маса зразка вноситься в калориметр

Після зважування іде процес підготовки приладу до вимірювань. На провід запалювача зав'язується нитка (нитка є повіреною і входить до комплекту приладу), калорійність нитки становить – 50 Дж/г.)

На спеціальну підставку-бомбочку кладеться сталевая чашка і заправляється нитка

Отриманий зразок-таблетка поміщається в чашку і накриває собою краї нитки

Після попередніх маніпуляцій підставка-бомбочка закривається ковпаком і поміщається своїми електродами на підставку приладу

Після бомбочка закривається захисним кожухом. Прилад готовий до початку вимірювань

Процедура вимірювання полягає у наступному:

Вмикаємо калориметр, обираємо «Новий замір», вносимо масу зразка, після чого натискаємо на «Почати вимірювання»

Початкова температура системи фіксується за допомогою терморезисторного елемента.

Після активації реакції або процесу, що відбувається в зразку, відбувається зміна температури в калориметрі.

Терморезисторний елемент реєструє зміну температури і передає цю інформацію до електронної системи калориметра C1.

Калориметр обчислює кількість енергії, яка виділяється або поглинається під час процесу, використовуючи принцип збереження енергії.

Приблизний час очікування результатів – 7 хв.

Отримане значення калорійності буде в одиницях вимірювання Дж/г.

Рівень теоретично можливої теплотворної здатності сумішей ($K_{\text{суміш}}$) відходів та твердопаливних деревних пелет розраховувався за формулою:

$$K_{\text{суміш}} = \sum_{i=1}^n (K_i \times d_i), \quad (8.1)$$

де K_i – калорійність одного із компонентів суміші; d_i – відсоткове значення компоненту суміші

Дану формулу можна масштабувати і застосовувати для більш складніших сумішей. Формула не враховує вологість компонентів, оскільки лабораторний аналіз калориметром ІКА С1, передбачає використання висушених зразків.

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

2) За допомогою пресу (рис. 8.2) необхідно сформувати пресовану таблетку проби палива.



Рисунок 8.2 – Підготовка зразка для визначення теплоти згорання ТПВ

3) Зважуємо порожній тигель на вагах та за допомогою функції «TARE» обнуляємо покази ваг. Поміщаємо спресовану таблетку дослідного зразка зважуємо та отримані значення записуємо в таблиці 1.

4) Зважений та підготовлений тигель поміщаємо в калометричну бомбочку.

5) За допомогою пінцета зав'язуємо нитку на запальний елемент.

6) За допомогою медичного шприца відміряємо 1 мл. дистильованої та наповнюємо резервуар бомбочки.

7) Закриваємо бомбочку, поміщаємо в калориметр та замикаємо захисний ковпак калориметра.

8) Вмикаємо прилад та його охолоджуючу установку. Відкриваємо вентиль подачі кисню

9) За допомогою навігаційних кнопок приладу обираємо вікно «Новий замір», вписуємо масу проби палива та натискаємо «ОК»

10) Прилад почне етап перевірки, і якщо все зроблено правильно, в кінці отримаємо значення калорійності проби.

11) Отримані значення записуємо в таблицю 8.1.

Таблиця 8.1 - Результати вимірювання та розрахунків

№	Вид палива	Маса проби (г)			Середня маса проби (г)
1	2	3			4
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					

№	Калорійність (Дж/г)			Середня калорійність (Дж/г)
1	5			6
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				

ЗАПИТАННЯ ДО САМОКОНТРОЛЮ

8.1. Яким чином можна використати тверді побутові відходи як джерело енергії?

8.2. Що собою являють деревні пелети?

8.3. Які види деревини використовуються для виготовлення пелет?

8.4. Що таке калорійність? В яких одиницях вимірюється?

8.5. Навіщо визначають калорійність пелет?

8.6. З якою метою застосовуються калориметри?

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ І РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Титко Р., Калініченко В. Відновлювальні джерела енергії (досвід Польщі для України): навч. посіб. Варшава-Краків-Полтава: OWG, 2010. 533 с. URL: <https://www.twirpx.com/file/379874/>.
2. Відновлювані джерела енергії / за заг. ред. С.О. Кудрі. Київ: Інститут відновлюваної енергетики НАНУ, 2020. 392 с. URL: https://www.ive.org.ua/wp-content/uploads/Monografia_final_21.12.2020.pdf.
3. Філіпович Ю.Ю. Енергоресурси та гідрологічні основи гідроенергетики: навч. посіб. Рівне: НУВГП, 2013. 196 с. URL: <http://surl.li/oiqmc>.
4. Олійник М. Й., Лисяк В. Г., Дудурич О. Б. Енергоощадність та альтернативні джерела енергії: навч. посіб. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2020. 184 с.
5. Огляд сучасного стану сталих технологій для енергетичної утилізації твердих побутових відходів / В. Чупа та ін. Ecological safety and balanced use of resources. 2021. № 1(23). С. 115–123. URL: [https://doi.org/10.31471/2415-3184-2021-1\(23\)-115-123](https://doi.org/10.31471/2415-3184-2021-1(23)-115-123)
6. Чупа В. М., Адаменко Я. О., Чупа К. О. Дослідження термічного потенціалу різноманітних сумішей твердих побутових відходів до твердопаливних пелет. Ecological safety and balanced use of resources. 2023. № 2(26). С. 149–154. URL: [https://doi.org/10.31471/2415-3184-2022-2\(26\)-149-154](https://doi.org/10.31471/2415-3184-2022-2(26)-149-154)
7. Чупа В. М., Адаменко Я. О. Дослідження рівня зольності та вмісту хімічних елементів в золі різних видів твердих побутових відходів та твердопаливних пелет. Ecological Safety and Balanced Use of Resources. 2023. № 1(27). С. 92–98. URL: [https://doi.org/10.31471/2415-3184-2023-1\(27\)-92-98](https://doi.org/10.31471/2415-3184-2023-1(27)-92-98)
8. Chupa, V., & Zhovtulia, L. (2023). Study of emissions into the atmosphere of pellets and solid waste. Environmental safety and balanced resource use, (2(28)). URL: <https://doi.org/10.69628/esbur/2.2023.50>
9. Statistical analysis of the productivity of phytocoenoses of energy cultures due to implementation of wastewater sediment on aluvisols of Ukraine / V. Chupa et al. Journal of ecological engineering. 2023. Vol. 24, no. 9. P. 192–201. URL: <https://doi.org/10.12911/22998993/169161>
10. Comparative assessment of the content of heavy metals in the ash of solid fuel pellets and different types of sorted and unsorted solid domestic waste / V. Chupa et al. Ecological engineering & environmental technology. 2024. No. 25(5). URL: <https://doi.org/10.12912/27197050/184236>
11. leXsolar-Hydropower Ready-to-go. Teacher's manual. Retrieved from: <https://lexsolar.com/products/id-1219.html>.
12. Біоенергетика. Біомаса як джерело енергії [електронний ресурс]. – режим доступу: <https://lektsii.org/10-27762.html>.
13. BioEnergy Ready-to-go. Teacher's manual. Retrieved from: <https://lexsolar.com/products/id-1710.html>.
14. Analyzing the thermodynamic cycle of the heat pump using the Mollier diagram. Retrieved from: https://www.ld-didactic.de/literatur/hb/e/p2/p2633_e.pdf.
15. leXsolar-Hydropower Ready-to-go. Teacher's manual. URL: <https://lexsolar.com/products/id-1219.html>.
16. Ващишак, І. Р. Гідроенергетика, біоенергетика та низькопотенційні джерела енергії: лаб. практикум. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2023. 124 с. URL:

[https://search.library.nung.edu.ua/DocDescription?doc_id=475124.](https://search.library.nung.edu.ua/DocDescription?doc_id=475124)