



Міністерство освіти і науки України  
Харківський національний університет  
імені В. Н. Каразіна



## ВІДНОВЛЮВАЛЬНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ

Методичні вказівки  
до проведення Лабораторних та практичних занять  
для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня  
за спеціальністю G3 «Електрична інженерія»

*Електронний ресурс*



Харків – 2025

УДК 621.7(075.8)

В 42

**Рецензенти:**

**Н. С. Антоненко** – к. т. н., доцент, доцент кафедри автоматизації, метрології та енергоефективних технологій Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна;

**О. Ю. Єгорова** – к. т. н., доцент, доцент кафедри теплотехніки та енергоефективних технологій Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут».

*Затверджено до розміщення в мережі Інтернет рішенням Науково-методичної ради  
Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна  
(протокол № 10 від 21 травня 2025 року)*

**Відновлювальні** джерела енергії : методичні вказівки до проведення лабораторних та практичних занять для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за спеціальністю G3 «Електрична інженерія» [Електронний ресурс] / уклад. К. Ю. Бровко, С. М. Войтенко. – Харків : ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2025. – (PDF 98 с.)

Методичні вказівки до проведення лабораторних та практичних занять розроблено відповідно до програми дисципліни «Відновлювальні джерела енергії» як однієї з важливих у циклі підготовки здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за спеціальністю G3 «Електрична інженерія» освітньо-професійної програми «Електричні станції, мережі та системи». Видання містить завдання до практичних занять та лабораторних робіт.

**УДК 621.7(075.8)**

© Харківський національний університет  
імені В. Н. Каразіна, 2025

© Бровко К. Ю., Войтенко С. М., уклад., 2025

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
Лабораторно-практичне заняття №1 Визначення вольт-амперної характеристики фотогальванічної батареї.....	6
Лабораторно-практичне заняття №2 Моделювання послідовного та паралельного з'єднання сонячних батарей.....	13
Лабораторно-практичне заняття №3 Проектування фотоелектричної системи для житлового будинку.....	18
Лабораторно-практичне заняття №4 Аналіз економічної ефективності сонячних панелей в різних регіонах.....	22
Лабораторно-практичне заняття №5 Використання енергії сонця для отримання електричної енергії.....	27
Лабораторно-практичне заняття №6 Вивчення пристрою й принципу дії вакуумного трубчастого сонячного колектора.....	36
Лабораторно-практичне заняття №7 Розрахунок основних параметрів вітроенергоустановок.....	42
Лабораторно-практичне заняття №8 Характеристика вітру та повторюваність швидкостей вітру для заданого району.....	44
Лабораторно-практичне заняття №9 Проектування вітрової електростанції для сільської місцевості.....	53
Лабораторно-практичне заняття №10 Дослідження принципу роботи теплового насосу.....	58
Лабораторно-практичне заняття №11 Моделювання геотермальної енергосистеми для опалення будівель.....	69
Лабораторно-практичне заняття №12 Енергозбереження при виробництві енергії на ГЕС.....	75
Лабораторно-практичне заняття №13 Розрахунок енергії біомаси.....	78
Лабораторно-практичне заняття №14 Моделювання системи автономного енергозабезпечення з використанням гібридних джерел енергії.....	85
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	96

## ВСТУП

Відновлювальні джерела енергії є однією з провідних дисциплін сучасної технічної освіти, що досліджує принципи, закономірності та практичні аспекти використання природних ресурсів, здатних відновлюватися у процесі життєдіяльності біосфери. Сучасний етап розвитку цивілізації характеризується високим рівнем енергоспоживання та гострою необхідністю пошуку екологічно безпечних і сталих джерел енергії. В умовах зміни клімату, виснаження викопних ресурсів і зростання потреб людства у тепловій та електричній енергії саме відновлювані джерела стають основою майбутньої енергетики.

Знання у цій галузі дозволяють не лише досягнути фізичну сутність процесів перетворення сонячної, вітрової, гідро-, геотермальної та біоенергії, а й навчитися практично застосовувати їх для забезпечення потреб населення, промисловості та транспорту. Розуміння можливостей і обмежень таких систем формує у майбутніх фахівців системне бачення розвитку енергетики та допомагає знаходити баланс між економічними, екологічними та соціальними аспектами.

Методичні вказівки до практичних і лабораторних занять з дисципліни «Відновлювальні джерела енергії» створені з метою:

- закріпити теоретичні знання студентів про сутність, принципи та технології використання відновлюваних ресурсів;
- розвинути практичні навички роботи з розрахунками енергетичних процесів, дослідженням параметрів установок та моделюванням енергетичних систем;
- сприяти формуванню аналітичного мислення, технічної грамотності та екологічної свідомості;
- підготувати здобувачів вищої освіти до професійної діяльності у сфері енергетики, проектуванні, експлуатації й обслуговуванні сучасних енергетичних систем.

Здобувачі освіти, які вивчають цю дисципліну, повинні:

- засвоїти теоретичні основи перетворення енергії сонця, вітру, води, біомаси та геотермальних ресурсів у теплову й електричну енергію;
- навчитися аналізувати технічні характеристики різних установок відновлюваної енергетики, визначати їхні переваги та обмеження;
- оволодіти методами розрахунку енергетичної ефективності обладнання та систем, проводити порівняльний аналіз традиційних і відновлюваних джерел;
- отримати практичні навички роботи з програмними засобами моделювання енергетичних процесів;
- вміти оцінювати економічну доцільність використання відновлюваних технологій у різних сферах;
- сформувати екологічне мислення, розуміння принципів сталого розвитку та ролі відновлюваної енергетики в забезпеченні енергонезалежності держави.

Практичні та лабораторні заняття спрямовані на поступове формування у студентів компетентностей. На перших етапах вивчаються базові поняття та характеристики відновлюваних джерел, а також принципи побудови найпростіших енергетичних систем. Подальші роботи орієнтовані на виконання розрахунків енергетичної ефективності установок, аналіз їхньої надійності та оцінку економічної доцільності використання у різних умовах. Особливу увагу приділено питанням взаємодії відновлюваних джерел із навколишнім середовищем, оцінці їхнього впливу на екологію та формуванню принципів сталого розвитку.

Таким чином, вивчення дисципліни має інтегрований характер, адже поєднує фундаментальні знання з фізики, екології, економіки, інженерії та інформаційних технологій. Це дозволяє підготувати фахівців нового покоління, які зможуть працювати у сфері відновлюваної енергетики, брати участь у розробці сучасних технологій і прийнятті рішень на рівні підприємств та держави.

## **ЛАБОРАТОРНО-ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №1**

### **ВИЗНАЧЕННЯ ВОЛЬТ-АМПЕРНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ**

### **ФОТОГАЛЬВАНІЧНОЇ БАТАРЕЇ**

**Мета заняття:** Дослідження параметрів роботи фотогальванічної батареї шляхом побудови її вольт-амперної характеристики для оцінки її ефективності в умовах різних навантажень та інтенсивності освітлення

#### **Завдання заняття:**

1. Ознайомлення з конструкцією й принципом дії монокристалічної сонячної батареї
2. Проведення експерименту, обробка даних і побудова вольт-амперної характеристики
3. Складання звіту

#### **Короткі теоретичні відомості**

Сонце є основним джерелом енергії, що забезпечує існування життя на Землі. Для характеристики сонячного випромінювання використовуються наступні основні величини: Потік випромінювання - величина, що дорівнює енергії, яка переноситься електромагнітними хвилями за одну секунду через довільну поверхню. Одиниця виміру потоку випромінювання – Дж/с = Вт. Щільність потоку випромінювання (енергетична освітленість) – величина, що дорівнює відношенню потоку випромінювання до площі поверхні, що рівномірно опромінюється їм. Одиниця виміру щільності потоку випромінювання – Вт/м<sup>2</sup>. Світловий потік. Світловим потоком називається потік випромінювання, оцінюваний по його впливу на людське око.

Людське око неоднаково чутливе до потоків світла з різними довжинами хвиль. Звичайно при денному освітленні око найбільш чутливе до світла з довжиною хвилі 555 Нм. Тому однакові по потужності потоки випромінювання, але різні довжини хвиль викликають різні світлові відчуття у людини. Одиницею виміру світлового потоку з погляду сприйняття його

людським оком (яскравості) є люмен (Лм). Світловий потік в 1 лм білого світла рівний  $4,6 \cdot 10^3$  Вт (або  $1 \text{ Вт} = 217 \text{ Лм}$ ). Освітленість – величина, що дорівнює відношенню світлового потоку, що падає на поверхню, до площі цієї поверхні.

Освітленість виміряється в люксах (Лк).  $1 \text{ лк} = 1 \text{ Лм/м}^2$ . Для білого світла  $1 \text{ Лк} = 4,6 \cdot 10^3 \text{ Вт/м}^2$  (або  $1 \text{ Вт/м}^2 = 217 \text{ Лк}$ ). Прилади, призначені для виміру освітленості, називаються люксметрами. Сонячна електроенергетика – це напрямок енергетики, який займається перетворенням енергії сонячного випромінювання в електричну енергію. Існують два способи перетворення сонячної енергії: фототермічний і фотоелектричний. У першому теплоносій нагрівається в сонячному колекторі до високої температури й використовується для обертання турбогенератора який виробляє електроенергію або для гарячого водопостачання й опалення приміщень У другому – пряме перетворення сонячного випромінювання в електричний струм за допомогою напівпровідникових фотоелементів – сонячних батарей.

## **Порядок виконання роботи**

### **Етап 1**

Ознайомлення з конструкцією й принципом дії монокристалічної сонячної батареї. Сонячна батарея – це з'єднані між собою фотоелектричні перетворювачі (фотоелементи), які перетворюють сонячну енергію в постійний струм. Сонячні батареї будуються з модулів, зроблених на основі кристалів кремнію. Залежно від області застосування, сонячні модулі можуть мати різні конструктивні рішення й різні вихідні потужності. Застосовуються сонячні батареї для забезпечення автономною електроенергією. Тонкоплівкові сонячні батареї є найбільш дешевими у виробництві, не вимагають прямих сонячних променів, працюють при розсіяному випромінюванні й можуть установлюватися на стіни будинку. Це сонячні модулі, у яких напівпровідник осаджується тонким шаром (товщиною порядку одного мікрона) на тонку підкладку зі скла або сталі. У якості напівпровідника можуть виступати різні

матеріали, що володіють здатністю поглинати світло. Найбільше часто для цього використовується аморфний кремній (a-Si: H) або полікристалічні матеріали, такі як телурид кадмію (CdTe), мідно-індієвий (CIS) або мідно-галієвий діселенід (CIGS). Тонка плівка може бути краще, чим монокристали, в областях із мрячним кліматом або в тих виробництвах, де є постійна запиленість повітря, у таких ситуаціях цей спосіб виробництва енергії буде рентабельніше. В 95 % випадків тонкоплівкові панелі використовуються для систем, які генерують електроенергію безпосередньо в мережу («on-grid» системи). Для тонкоплівкових панелей необхідно використовувати високовольтні інвертори й контролери, які не стикуються з малопотужними побутовими системами. Через невеликий ККД (близько 10 %) ці панелі ефективно використовувати в системах потужністю від 10 кВт. Одним з істотних недоліків тонкоплівкових панелей можна вважати те, що вони вимагають більшої площі для установки (приблизно в 2 рази більше, чим треба було б для монокристаличних батарей). Розміри панелей 1400\*800\*3 мм, вага близько 20 кг, робоча напруга 55,7-60 В, робочий струм 0,9 А, максимальна напруга системи 1000 В. Вартість тонкоплівкових сонячних батарей коливається в межах 2,5 – 3\$ за 1 Вт потужності. Тонкоплівкові кремнієві сонячні батареї виробляються вже досить давно. Вони застосовуються в годинниках й калькуляторах. Аморфний кремній в них осаджується на тонку підкладку. Ефективність тонкоплівкових сонячних батарей на основі аморфного кремнію суттєво нижче, ніж у сонячних батарей на основі кристалічного кремнію, однак висока ефективність у цьому випадку не є критично важливою характеристикою й для побутових пристроїв типу годинників або калькуляторів тонкоплівкові батареї на основі аморфного кремнію є стандартом. Монокристаличні сонячні батареї сонячні батареї являють собою кремнієві пластини товщиною 250 -300 мкм. ККД монокристаличних сонячних батарей до 25 %. Батареї вставляються в алюмінієву рамку й закриваються захисним склом. Колір фотоелементів монокристаличних сонячних батарей чорний або темно-синій. Сонячні батареї

встановлюються на дахах будинків, на ліхтарях освітлення й звичайно використовуються для підзарядки акумуляторів, живлення сигналізації, на освітлення, живлення побутової техніки й ін. Схема підключення: сонячні панелі – контролер – акумулятори – інвертор – споживачі.

Контролер – це електронний пристрій, який забезпечує керування зарядом – розрядом сонячних батарей, захищає систему живлення від перевантажень і короткого замикання при зміні режимів споживання енергії. Акумулятори служать для накопичення енергії, а інвертор перетворює постійний струм акумулятора в змінний струм промислової частоти. Розміри монокристалічних сонячних батарей від 306\*216\*18 мм до 1950\* 992\*50 мм, вага від 0,8 до 24 кг, робоча напруга від 21,6 В до 59,5 В, робочий струм від 0,29 А до 7,98 А. Вартість полікристалічної сонячної батареї менше, ніж монокристалічної. ККД близько 20 %. Полікристалічні сонячні батареї мають яскраво синій колір. Область застосування: живлення побутової техніки, освітлення, живлення ноутбуків, мобільних телефонів і ін. Схема підключення така ж, як і в монокристалічних сонячних панелей. Недоліки сонячних батарей:

- низький ККД;
- зниження ефективності при забрудненні поверхні;
- зниження продуктивності фотоелементів при підвищенні температури, вимогливі до опору навантаження. Для усунення цього недоліку потрібно використовувати контролери керування;
- погіршення характеристик із часом;
- висока вартість.

Сонячна батарея працює в такий спосіб.

1. Фотони вдаряються о поверхню сонячної батареї й поглинаються її робочим матеріалом, наприклад, кремнієм.

2. Фотони, зіштовхуючись із атомами речовини вибивають із неї її рідні електрони. У результаті чого виникає різниця потенціалів. Вільні електрони починають рухатися усередині речовини, щоб погасити різницю потенціалів.

Виникає електричний струм. Тому що сонячна батарея - це напівпровідник, то електрони рухаються тільки в одному напрямку.

3. Одержуваний струм сонячна батарея перетворює у постійний і віддає його споживачеві або акумулятору.

## Етап 2

Проведення експерименту, обробка даних і побудова вольт-амперної характеристики.

Зібрати схему згідно з рисунком з урахуванням полярності приладів. Після перевірки викладачем правильності складання схеми здійснити підключення. Включити випромінювач (лампу). Зняти 12 точок для побудови вольт-амперної характеристики з урахуванням паспортних даних сонячної батареї.

Результати вимірів занести в таблицю 1.1:

<i>I A</i>						
<i>U B</i>						
<i>P Вт</i>						
<i>I A</i>						
<i>U B</i>						
<i>P Вт</i>						

Побудувати вольт-амперну характеристику  $U=f(I)$  та графік залежності потужності від падіння напруги  $P=f(U)$  в масштабі.

## Етап 3. Складання звіту

Звіт по даній лабораторній роботі повинен містити:

1. Найменування роботи і її ціль.
2. Схему рис. 1.
3. Побудовані вольт-амперні характеристики  $U=f(I)$  в одній системі координат і характеристику  $P=f(U)$ .
4. Зробити висновки по отриманим характеристикам



## Контрольні питання

1. Конструкція сонячної батареї.
2. Принцип дії сонячної батареї.
3. Які матеріали використовуються для виготовлення сонячної батареї.
4. Як впливає освітленість на вихідні характеристики сонячних батарей.
5. Область застосування сонячних батарей.
6. Які функції виконує контролер?
7. Для чого використовується інвертор?
8. Що таке вольт-амперна характеристика фотоелемента?
9. У чому відмінність вольт-амперної характеристики при затіненні сонячної батареї?

## **ЛАБОРАТОРНО-ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №2**

### **МОДЕЛЮВАННЯ ПОСЛІДОВНОГО ТА ПАРАЛЕЛЬНОГО З'ЄДНАННЯ СОНЯЧНИХ БАТАРЕЙ**

**Мета заняття:** вивчення можливості роботи при послідовному й паралельному з'єднанні сонячних батарей

#### **Завдання заняття:**

1. Вивчення способу приєднання сонячних батарей;
2. Проведення експерименту при послідовному з'єднанні сонячних батарей;
3. Проведення експерименту при паралельному з'єднанні сонячних батарей;
4. Порівняльний аналіз способів підключення й виводи за результатами виконання лабораторної роботи;
5. Складання звіту

#### **Короткі теоретичні відомості**

Фотоелектричні гнізда часто поєднують у послідовно-паралельні з'єднання, підвищуючи в такий спосіб вихідну потужність. Якщо кілька фотоелементів (або паралельних з'єднань декількох фотоелементів) з'єднуються в ланцюг послідовно, то їх вихідна напруга збільшується. При послідовному з'єднанні сонячних елементів (СЕ) усі елементи йдуть ланцюжком і з'єднуються із сусідніми протилежними полюсами (рис. 2.1).

Наприклад, щоб одержати на виході готову напругу 220 В достатньо з'єднати паралельно 10 сонячних елементів з вихідною напругою 24 В або 20 – з напругою 12 В. Однак у цього з'єднання є ряд недоліків:

- 1) нестабільне значення напруги при поганій освітленості;
- 2) слабка потужність усієї системи, яка рівняється потужності однієї батареї

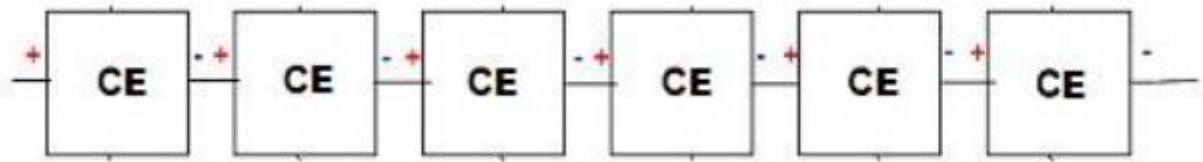


Рис. 2.1 – Послідовне з'єднання сонячних елементів

Якщо кілька фотоелементів (або послідовних з'єднань декількох фотоелементів) приєднують паралельно, то максимальна сила струму всіх з'єднаних у ланцюг гнізд еквівалентна добутку максимально досяжної сили струму одного гнізда або їх комбінації на кількість гнізд або їх комбінацій. При цьому в ідеальному випадку максимальна потужність послідовно-паралельного з'єднання 4 однакових гнізд еквівалентна добутку максимальної потужності кожного гнізда на кількість гнізд. Іншими словами, максимальна потужність ( $P_{\max}$ ) такого з'єднання еквівалентна добутку  $V_{\text{вих}}$  і  $I_{\max}$  усього з'єднання.

У дійсності потужність отриманої в такий спосіб сонячної батареї буде менше потужності суми потужностей складових її модулів на величину втрат на, так зване неузгодженість, тобто втрат, викликаних відмінністю характеристик однотипних модулів. Тому важливо ретельно підбирати модулі в сонячній батареї, щоб звести до мінімуму втрати потужності на неузгодженість. При паралельному з'єднанні всі елементи з'єднані паралельно однотипними полюсами (рис. 2.2). Хоча подібне з'єднання вимагає використання додаткового перетворювача напруги, воно дозволяє одержати значно більшу електричну потужність і стабільність у роботі.

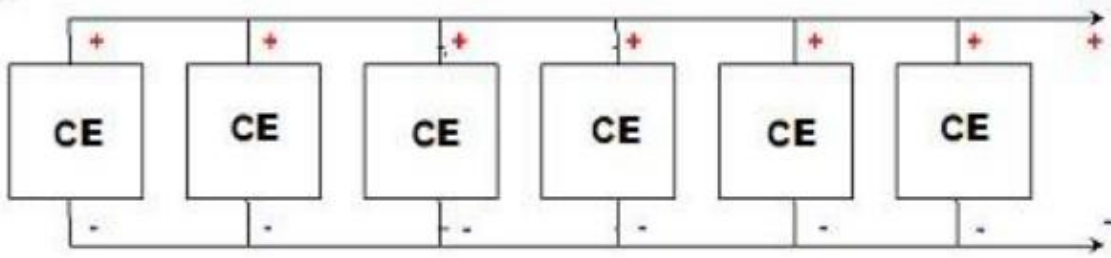


Рисунок 2.2 – Паралельне з'єднання сонячних елементів

### Порядок виконання роботи

#### Етап 1.

- Вивчення способу з'єднання сонячних батарей.
- Вивчення різних способів з'єднання сонячних батарей, використовуючи короткі теоретичні відомості й додаткову літературу.
- Визначення переваг та недоліків кожного з них, а також область застосування.

#### Етап 2. Проведення експерименту при послідовному з'єднанні сонячних батарей

2.1. Зібрати схему з послідовним з'єднанням батарей згідно з рис. 2.3.

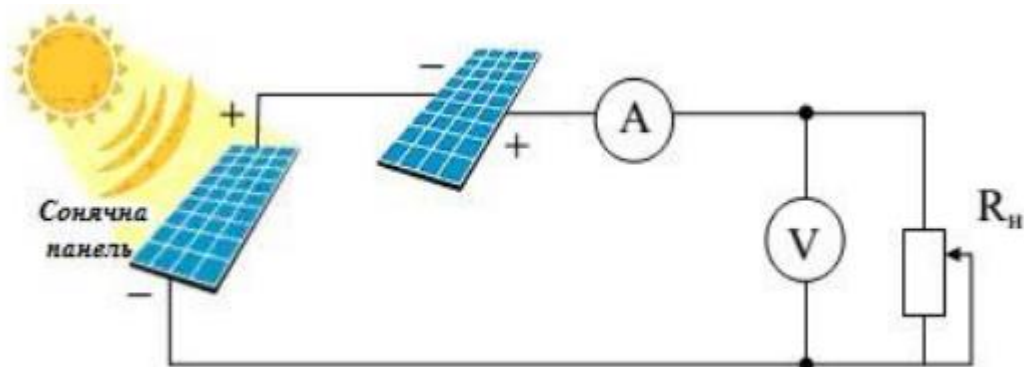


Рисунок 2.3 – Експериментальна схема

2.2. Зняти дані для побудови вольт-амперної характеристики при послідовному з'єднанні. Результати вимірів занести в таблицю:

$IA$						
$UB$						
$P Bm$						

### Етап 3. Проведення експерименту при паралельному з'єднанні сонячних батарей

3.1. Зібрати схему з паралельним з'єднанням батарей згідно з рис. 2.4.

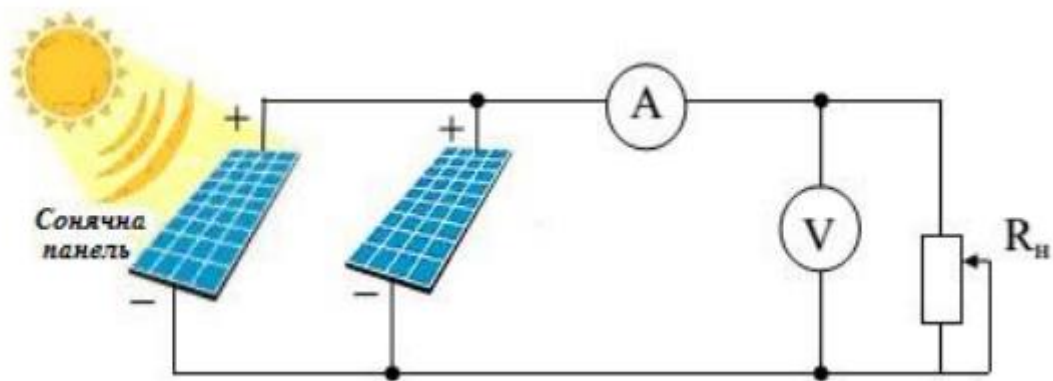


Рисунок 2.4 – Експериментальна схема

3.2. Зняти дані для побудови вольт-амперної характеристики при паралельному з'єднанні. Результати вимірів занести в таблицю:

$IA$						
$UB$						
$P Bm$						

**Етап 4.** Порівняльний аналіз способів підключення й виводи за результатами виконання практичного заняття

У загальній системі координат побудувати вольт-амперні характеристики при послідовному й паралельному з'єднанні й зробити виводи.

## Етап 5. Складання звіту

Звіт по даному практичному заняттю повинен містити:

1. Найменування роботи і її ціль.
2. Схеми рис. 2.3 і рис. 2.4
3. ВАХ сонячних батарей при послідовному й паралельному з'єднанні.
4. Висновки.

### Контрольні питання

1. Що таке сонячна радіація і як її використовують на Землі?
2. Принцип роботи сонячної батареї.
3. У чому відмінність послідовного з'єднання сонячних батарей від паралельного?
4. З якою метою застосовується та або інша схема з'єднання?
5. Переваги та недоліки послідовного з'єднання сонячних елементів.
6. Переваги та недоліки паралельного з'єднання сонячних елементів

#### Паралельне з'єднання

U, Вольт	I, mA	P, Вт
0.8	851,39	
1.7	813,39	
2.2	755,94	
4.5	120,63	
5.8	67,5	
6.9	22,05	

#### Послідовне з'єднання

U, Вольт	I, mA	P, Вт
8.8	220,96	1.87
13.7	213,59	3.02
16.2	205,91	3.59
19.5	170,63	2.33
19.8	79,5	0.98
19.9	6,05	0.51

## ЛАБОРАТОРНО-ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №3 ПРОЕКТУВАННЯ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ЖИТЛОВОГО БУДИНКУ

### Мета заняття:

Навчити студентів основам проектування фотоелектричних систем для забезпечення електричної енергії в умовах житлового будинку.

### Завдання:

1. Ознайомлення з принципами роботи фотоелектричних систем.
2. Розрахунок потужності фотоелектричної системи.
3. Проектування та вибір компонентів системи для конкретного будинку.
4. Створення базового проекту фотоелектричної системи.

### 1. Ознайомлення з принципами роботи фотоелектричних систем.

Фотоелектрична система (ФЕС) складається з панелей, які перетворюють сонячну енергію на електричний струм, інвертора для перетворення постійного струму в змінний і акумуляторів для зберігання енергії. Сонячні панелі – основний елемент, що перетворює сонячну енергію в електричну.

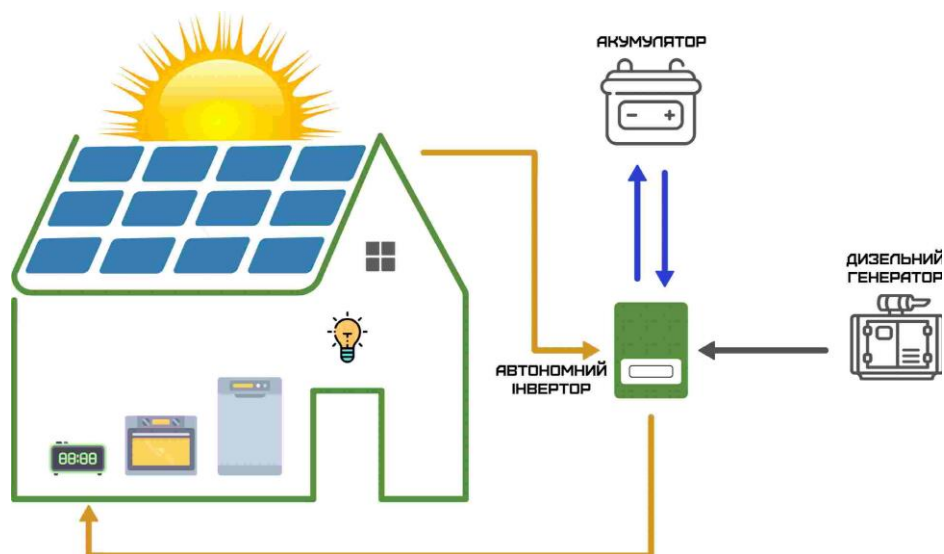


Рис. 3.1 – Принцип роботи фотоелектричних систем

Інвертор – забезпечує перетворення постійного струму в змінний, який може бути використаний у побутових пристроях.

Акумулятори – зберігають енергію для використання в нічний час або в похмурі дні.

## 2. Розрахунок потужності фотоелектричної системи.

Для прикладу візьмемо м. Харків та 30 кВт споживання електроенергії за один день (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 – Споживання електроенергії за один день

Крок	Опис	Значення
1. Сонячна радіація для Харкова	Середнє значення сонячної радіації в Харкові	3,5 кВт/м <sup>2</sup> ·день
2. Потрібна енергія на день	Необхідне споживання енергії для будинку	30 кВт·год
3. Розрахунок площі панелей	Площа панелей, необхідна для забезпечення 30 кВт·год енергії на день	$\frac{30}{3,5} = 8,57$
4. Площа однієї панелі	Площа однієї сонячної панелі	1,134 м × 2,382 м = 2,7 м <sup>2</sup>
5. Кількість панелей для покриття необхідної площі	Кількість панелей, необхідних для покриття площі 8,57 м <sup>2</sup>	$\frac{8,57}{2,7} = 3,17$
6. Потужність однієї панелі з урахуванням ефективності	Потужність однієї панелі з урахуванням коефіцієнта ефективності (85%)	610 Вт × 0,85 = 518,5 Вт
7. Кількість панелей для досягнення необхідної потужності	Кількість панелей для забезпечення 30 кВт·год за день	$\frac{30000}{518,5} = 58$

**Висновок:** Для забезпечення 30 кВт енергії на день в Харкові з використанням сонячних панелей потужністю 610 Вт і врахуванням ефективності 85%, вам необхідно встановити **58 панелей**.

### 3. Проектування та вибір компонентів системи для конкретного будинку.

Ось розрахунок проектування та вибору компонентів системи для конкретного будинку в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Розрахунок проектування та вибору компонентів

Крок	Опис	Значення
1. Визначення потреби в енергії для будинку	Щоденна потреба в енергії для забезпечення всіх споживачів	30 кВт·год на день
2. Вибір сонячних панелей	Вибір сонячних панелей для генерування необхідної потужності	Панелі потужністю 610 Вт, розміри 2382x1134x30 мм
3. Розрахунок кількості панелей для забезпечення енергії	Кількість панелей для досягнення 30 кВт·год енергії на день	58 панелей (з урахуванням ефективності 85%)
4. Вибір інвертора	Потрібен інвертор для перетворення постійного струму в змінний	Інвертор потужністю 30-35 кВт
5. Вибір акумуляторних батарей (за потребою)	Якщо планується використання акумуляторів для зберігання енергії, вибір відповідної кількості батарей	Акумулятори для зберігання 30 кВт·год енергії (наприклад, літій-іонні батареї)
6. Вибір кабелів і розподільних щитів	Підбір кабелів для підключення панелей до інвертора і системи, а також щитів для керування енергоспоживанням	Кабелі з відповідним перерізом для високої потужності, розподільні щити для захисту
7. Вибір кріплень і монтажу	Кріплення для панелей (покрівельне або наземне) залежно від виду установки	Монтаж на даху або наземні конструкції для панелей
8. Вибір системи моніторингу	Вибір системи для моніторингу роботи сонячної системи	Система моніторингу для контролю продуктивності панелей і інвертора
9. Оцінка вартості компонувальних елементів	Орієнтовна вартість всіх компонентів сонячної системи	Вартість панелей, інвертора, акумуляторів, кріплень і монтажу
10. Розрахунок загальної потужності і резерву	Врахування резерву для збереження енергетичної безпеки в періоди поганої погоди	Резервна потужність у межах 10-15% від загальної потужності

#### 4. Створення базового проекту фотоелектричної системи.

Крок	Опис	Значення
1. Оцінка доступного простору для розміщення панелей	Визначення площі даху чи земельної ділянки для розміщення сонячних панелей	Загальна площа для панелей — 58 панелей × 2,7 м <sup>2</sup> = 156,6 м <sup>2</sup>
2. Вибір типу монтажу	Визначення способу монтажу панелей: на даху чи на землі	Дахове або наземне кріплення, залежно від місця установки
3. Створення схеми підключення панелей до інвертора	Розробка схеми підключення сонячних панелей до інвертора для перетворення постійного струму в змінний	Панелі з'єднуються паралельно або послідовно в залежності від напруги і потужності системи
4. Розрахунок кабелів і проводки	Визначення кабелів для підключення компонентів системи, вибір типу кабелів і їх перерізу	Кабелі з відповідним перерізом для забезпечення безпеки та ефективності
5. Підключення інвертора	Підключення інвертора до системи для перетворення постійного струму в змінний	Інвертор потужністю 30-35 кВт, що відповідає розрахунковій потужності
6. Розміщення акумуляторів (за потребою)	Визначення місця для акумуляторів для зберігання енергії в разі відсутності сонця	Літій-іонні батареї для зберігання 30 кВт·год енергії, в залежності від місця для розміщення
7. Створення системи моніторингу	Встановлення системи моніторингу для відстеження роботи фотоелектричної системи	Моніторинг продуктивності панелей, інвертора та акумуляторів (за потребою)
8. Розробка схеми захисту	Визначення захисту системи від перевантаження і короткого замикання	Встановлення автоматичних вимикачів, захисту від перенапруги та інших елементів для безпеки
9. Розрахунок загальної потужності системи	Підрахунок загальної потужності фотоелектричної системи з урахуванням резерву	Загальна потужність — 30 кВт на день (з можливим резервом 10-15%)
10. Оцінка вартості проекту	Визначення вартості компонентів та монтажу системи	Вартість панелей, інвертора, акумуляторів, кабелів, кріплень та монтажу

## **ЛАБОРАТОРНО-ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №4**

### **АНАЛІЗ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ В РІЗНИХ РЕГІОНАХ**

**Мета заняття:** Навчити студентів самостійно оцінювати економічну доцільність встановлення сонячних панелей у різних кліматичних зонах, використовуючи реальні дані про інсоляцію, тарифи на електроенергію, вартість обладнання та окупність інвестицій.

#### **Завдання заняття:**

1. Зібрати вихідні дані про середньорічну інсоляцію, вартість сонячних панелей, тарифи на електроенергію та середню кількість спожитої електроенергії у заданих регіонах (наприклад, Харків, Львів, Одеса, Ужгород).
2. Розрахувати очікувану генерацію енергії для кожного регіону з урахуванням площі панелей, їх ККД та кліматичних умов.
3. Оцінити економічну вигоду:
  - 3.1 Розрахувати приблизну річну економію на електроенергії.
  - 3.2 Обчислити термін окупності сонячної установки.
  - 3.3 Визначити прибуток протягом експлуатаційного терміну.
4. Порівняти регіони за показниками ефективності та зробити висновки, в якому з них встановлення сонячних панелей є найбільш виправданим.



Рис. 4.1 – Рівень інсоляції в Україні

$$E [\text{кВт} \cdot \text{год}] = \frac{I \left[ \frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{м}^2} \right] \times K_o \times V_{\text{мод}} [\text{кВт}] \times K_{\text{втрат}}}{U_{\text{випр}} \left[ \frac{\text{кВт}}{\text{м}^2} \right]} \quad (4.1)$$

$I$  – інтенсивність сонячного випромінювання, що потрапляє на поверхню Землі в горизонтальній площині. Значення можна вибрати, скориставшись картою інтенсивності сонячної радіації за рік:

$K_o$  – поправочний коефіцієнт перерахунку сумарного потоку сонячної енергії з горизонтальної площини на похилу поверхню сонячних панелей в залежності від орієнтації відносно півдня. Дані показані на Рис. 4.2;

$V_{\text{мод}}$  – номінальна потужність сонячної панелі чи ланцюга сонячних модулів. Вказується у паспортних даних, кВт;

$K_{\text{втрат}}$  – коефіцієнт, що враховує втрати сонячної панелі при перетворенні та передачі електроенергії;

$U_{\text{випр}}$  – інтенсивність сонячної радіації, при якій фотоелектричні панелі тестуються (умови STC), тобто  $1000 \text{ Вт/м}^2$ .

	-90	-85	-80	-75	-70	-65	-60	-55	-50	-45	-40	-35	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0
0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
5	1,00	1,00	1,00	1,01	1,01	1,01	1,02	1,02	1,02	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,04	1,04	1,04
10	0,99	1,00	1,01	1,01	1,02	1,02	1,03	1,04	1,04	1,05	1,05	1,05	1,06	1,06	1,06	1,06	1,07	1,07	1,07
15	0,98	0,99	1,00	1,01	1,02	1,03	1,04	1,05	1,05	1,06	1,07	1,07	1,08	1,08	1,09	1,09	1,09	1,09	1,10
20	0,97	0,98	1,00	1,01	1,02	1,03	1,04	1,05	1,06	1,07	1,08	1,09	1,09	1,10	1,10	1,11	1,11	1,11	1,01
25	0,96	0,97	0,99	1,00	1,02	1,03	1,05	1,06	1,07	1,08	1,09	1,10	1,10	1,11	1,12	1,12	1,12	1,12	1,12
30	0,94	0,96	0,98	1,00	1,01	1,03	1,04	1,06	1,07	1,08	1,09	1,10	1,11	1,12	1,12	1,13	1,13	1,13	1,13
35	0,93	0,95	0,97	0,99	1,00	1,02	1,04	1,05	1,07	1,08	1,09	1,10	1,11	1,12	1,12	1,13	1,13	1,13	1,08
40	0,91	0,93	0,95	0,97	0,99	1,01	1,03	1,04	1,06	1,07	1,09	1,10	1,10	1,11	1,12	1,12	1,13	1,13	1,13
45	0,88	0,91	0,93	0,96	0,98	1,00	1,01	1,03	1,05	1,06	1,07	1,09	1,10	1,10	1,11	1,11	1,12	1,12	1,12
50	0,87	0,89	0,92	0,94	0,96	0,98	1,00	1,01	1,03	1,04	1,06	1,07	1,08	1,09	1,09	1,10	1,10	1,10	1,11
55	0,85	0,87	0,89	0,92	0,94	0,96	0,97	0,99	1,01	1,02	1,04	1,05	1,06	1,07	1,07	1,08	1,08	1,08	1,08
60	0,82	0,85	0,87	0,89	0,91	0,93	0,95	1,00	0,98	1,00	1,01	1,02	1,03	1,04	1,05	1,05	1,05	1,06	1,06
65	0,80	0,82	0,84	0,86	0,88	0,90	0,92	0,94	0,95	0,97	0,98	0,99	1,00	1,01	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02
70	0,77	0,79	0,81	0,83	0,85	0,87	0,89	0,91	0,92	0,93	0,95	0,96	0,97	0,97	0,98	0,98	0,99	0,99	0,99
75	0,74	0,76	0,78	0,80	0,82	0,84	0,86	0,87	0,89	0,90	0,91	0,92	0,93	0,93	0,94	0,94	0,94	0,95	0,95
80	0,71	0,73	0,75	0,77	0,79	0,80	0,82	0,83	0,85	0,86	0,87	0,88	0,89	0,89	0,89	0,90	0,90	0,90	0,90
85	0,67	0,69	0,71	0,73	0,75	0,77	0,78	0,79	0,81	0,82	0,83	0,83	0,84	0,84	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
90	0,64	0,66	0,68	0,69	0,71	0,72	0,74	0,75	0,76	0,77	0,78	0,79	0,97	0,79	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80

Рис. 4.2 – Таблиця поправочних коефіцієнтів відхилення від південного напрямку

### Втрати енергії в сонячній електростанції

Під час роботи сонячної електростанції частина енергії втрачається на різних етапах перетворення світла в електрику. Зокрема:

- на проводах втрачається близько 1%;
- інвертор перетворює постійний струм у змінний зі втратою 2–5%;
- при нагріванні фотоелементів ефективність знижується ще на 2–5%;
- у хмарні дні чи вранці/увечері панелі втрачають 1–3% енергії;
- пил, листя або тінь можуть зменшити виробіток ще на 1–3%, а при невдалому розташуванні панелей — і більше;
- шунтуючі діоди додають приблизно 0,5% втрат.

Якщо система зібрана вдало, втрати не перевищують 10%. Але через неякісні компоненти чи поганий монтаж втрати можуть зрости до 20–30%.

### Приклад розрахунку

Для прикладу здійснимо спрощений розрахунок сонячної фотоелектричної станції з наступними параметрами:

Загальна номінальна потужність сонячних панелей – 30 кВт;

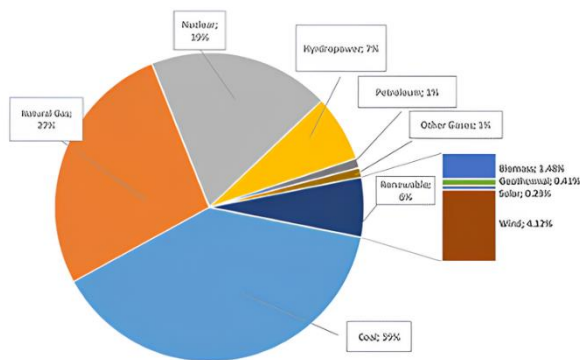
Регіон – Харків;

Кут нахилу покрівлі 35° та відхилення від південного напрямку 15°;

Загальні втрати приймаємо 10%.

$$E = \frac{I \times K_o \times V_{\text{мод}} \times K_{\text{втрат}}}{U_{\text{випр}}} = \frac{1272 \times 1,13 \times 30 \times 0,9}{1000} = 38808 [\text{кВт} \cdot \text{год}/\text{рік}]$$

## Sources of Electrical Energy



**Electrical 4 U**

Рис. 4.3 – Порівняння вироблення енергії за допомогою сонячних батарей з традиційними джерелами енергії

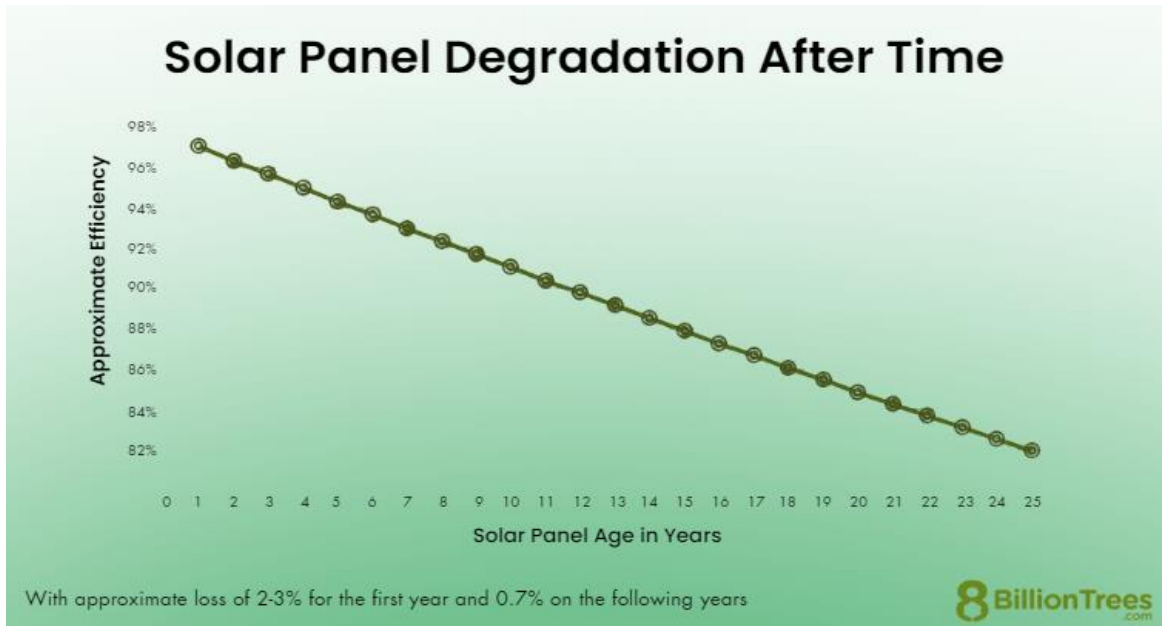


Рис. 4.4 – Графік зменшення ККД панелей з роками

## ЛАБОРАТОРНО-ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №5

### ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГІЇ СОНЦЯ ДЛЯ ОТРИМАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

Сонячна енергія перетворюється на електричну енергію за допомогою сонячних фотоелектричних установок, дія яких ґрунтується на явищі фотоефекту. Сонячні елементи (СЕ) або фотоелементи служать для просторового перетворення зарядів та створення ЕРС у напівпровідниковому переході. Сучасні фотоелементи практично повністю ґрунтуються на кремнії.

Найбільш поширені кристалічні фотоелементи. Вони зазвичай мають синій колір із відблиском. Аморфні та некристалічні мають гладкий вигляд і залежно від кута зору змінюють колір. Монокристалічний кремній має кращі характеристики, ніж полікристалічний, але дорожчий за нього. Аморфний кремній має значно гірші характеристики і застосовується в основному в невеликих несилкових приладах (годинник, калькулятор).

Потужність сонячних елементів, як правило, невелика, і становить середньому 0,7–0,75 Вт. Для більшої потужності СЕ з'єднують між собою послідовно, утворюючи сонячні модулі (СМ), які далі можуть збиратися в сонячну батарею (СБ). Необхідно враховувати, що при послідовному з'єднанні елементів неминучі втрати потужності. Коефіцієнт  $\eta_{\text{ДР}}$ , що враховує ці втрати, приймається в розрахунках рівним 0,95–0,99. Коефіцієнт, що визначає втрати енергії при передачі її споживачеві (втрати в інверторі, зарядному пристрої та ін) становить  $\eta_{\text{ДЕ}} = 0,9$ .

Форма сонячних елементів може бути прямокутною, квадратною, а також псевдоквадратною або псевдокруглою. Форма визначає коефіцієнт заповнення майданчика сонячного модуля. Для прямокутних, квадратних та псевдоквадратних СЕ цей коефіцієнт дорівнює  $K_{\text{зап}} = 0,95–0,99$ ; для круглих  $K_{\text{зап}} = 0,85$ .

ККД перетворення сонячних променів в електричну енергію залежить від матеріалу сонячного елемента, його багаточисловості та температури

навколишнього середовища. Для одношарових кремнієвих монокристалічних СЕ  $\eta_k$  становить 10-15%, для полікристалічних СЕ  $\eta_k=8-12\%$ , для аморфного кремнію  $\eta_k=6-8\%$ . Температура довкілля визначається періодом року. Для умов Харківської області вона становить: для березня та жовтня  $+5\text{ }^\circ\text{C}$ , для квітня, вересня  $+10\text{ }^\circ\text{C}$ , травня  $+15\text{ }^\circ\text{C}$ , червня, липня, серпня  $+20\text{ }^\circ\text{C}$ .

Потужність СЕ може бути визначена із вольт-амперної характеристики (ВАХ). ВАХ сонячного елемента, (модуля, батареї) – це залежність між струмом навантаження і напругою на клеммах сонячного фотоелектричного елемента при постійних значеннях температури сонячних елементів та інтенсивності сонячного випромінювання (рис.5.1).

Стандартні умови випробувань сонячного елемента, модуля, батареї STC (Standard test conditions for solar cell, module, array) – це умови випробувань, регламентовані за щільністю потоку сонячної енергії  $R=1000\text{ Вт/м}^2$  та температури фотоелектричних сонячних елементів  $(25\pm 2)\text{ }^\circ\text{C}$ .

На ВАХ сонячного елемента можна виділити дві характерні точки:

1. Точка холостого ходу, коли напруга максимальна, що дорівнює напрузі холостого ходу ( $U=U_{\max}=U_{\text{х.х.}}$ ). У цьому випадку струм дорівнює  $I=0$ ;
2. Крапка короткого замикання ( $U=0$ ;  $I=I_{\max}=I_{\text{к.з.}}$ ).

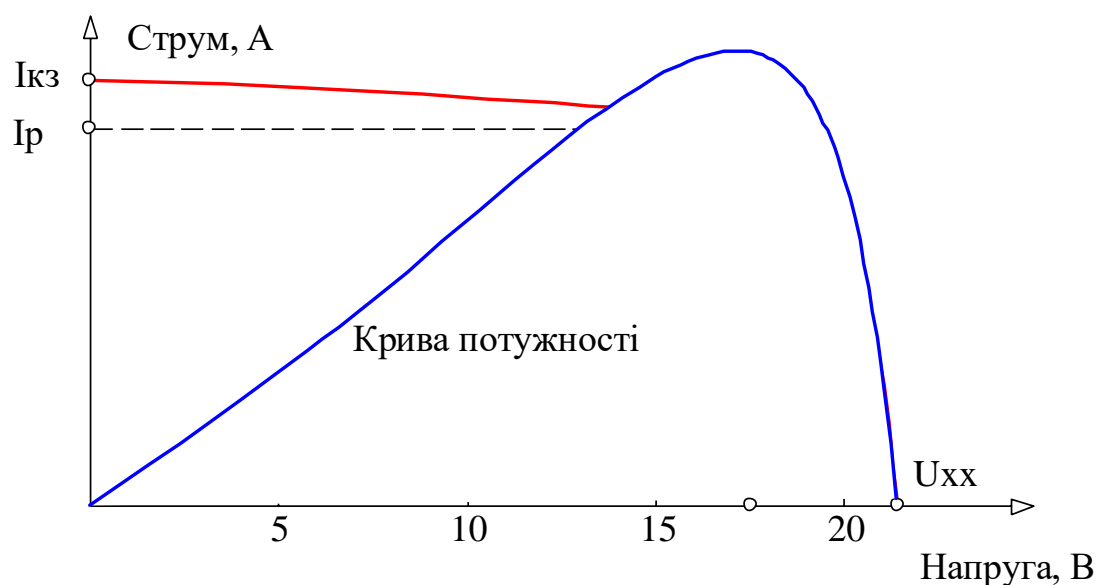


Рис. 5.1 – Вольт-амперна характеристика сонячного фотоелемента

**Завдання 5.1.** Визначити характеристики СМ типу PSM4-150 на кремнієвих монокристалічних сонячних елементах та розрахувати його ККД залежно від потужності. Розрахувати вироблення електроенергії сонячною батареєю, що складається з  $m$  модулів на майданчику, розташованому під кутом  $\beta$  до горизонту в заданий період. Визначити відсоток валового потенціалу сонячної радіації, який використовується сонячним модулем на  $1 \text{ м}^2$  цього модуля. Зробити висновки щодо доцільності використання СМ для отримання електричної енергії. Дані до розрахунку взяти з табл. 1.4 та 1.5.

### Методика розрахунку.

1. ККД одного сонячного модуля визначається:

$$\eta = \frac{P}{P_{\text{кор}}}, \quad (5.1)$$

де  $P$  – потужність, що визначається за ВАХ сонячного модуля (рис. 5.2).

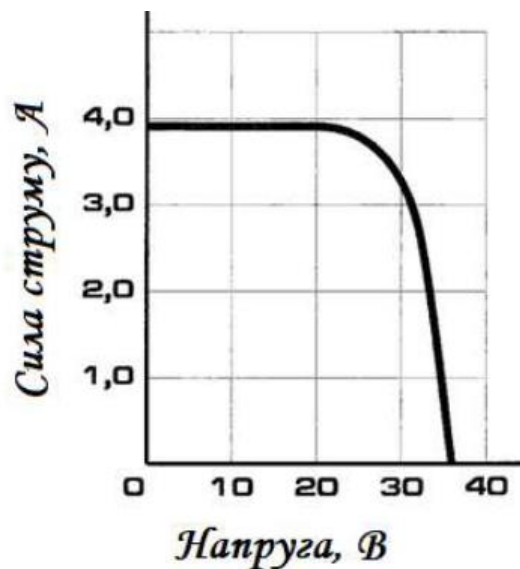


Рис. 5.2 – Вольт-амперна характеристика (ВАХ) PSM4-150 при рівні освітленості  $800 \text{ Вт/м}^2$

Для зручності розрахунків СМ дані ВАХ рекомендується внести до таблиці А відзначивши точки холостого ходу та короткого замикання.

Корисна потужність  $P_{кор}$  визначається:

$$P_{кор} = R \cdot F_{CM} \quad (5.2)$$

де  $R$  – рівень освітленості, Вт/м<sup>2</sup> (рис. 5.2);

$F_{CM}$  – площа сонячного модуля, що визначається за виразом:

$$F_{CM} = F_{CE} \cdot n \cdot K_{зан}, \text{ м}^2 \quad (5.3)$$

де  $F_{CE}$  – площа одного сонячного елемента, м<sup>2</sup>;

$n$  – кількість сонячних елементів у модулі;

$K_{зан}$  – коефіцієнт заповнення сонячними елементами площі сонячного модуля.

Значення  $F_{CE}$ ,  $n$  і  $K_{зан}$  взяти з табл. 5.1. Результати розрахунку кожної точки характеристики рекомендується занести в таблицю А. За даними таблиці, побудувати залежність  $\eta=f(P)$ . Визначити максимальне значення ККД за відповідного значення потужності.

Таблиця 5.1 – Характеристика фотоелектричного модуля PSM4-150 на основі монокристалічного кремнію

Характеристика	Значення
Загальна площа модуля у корпусі	1,28 м <sup>2</sup>
Маса, кг	19
Лицьова поверхня	скло марки М1 (4мм)
Рама	фарбований алюміній
Сонячні елементи	ФЕП 125/150
Кількість елементів	72
Форма елемента	псевдоквадрат
Розміри елемента	125x125 мм

Таблиця 5.А – Результати розрахунку основних енергетичних характеристик СМ.

I, А									
U, В									
P, Вт									
η, %									

Вироблення електричної енергії сонячним модулем в  $i$ -му місяці визначається:

$$E_{\text{вир}} = E_{\text{вал}} \cdot F_{\text{СМ}} \cdot m \cdot \eta_K \cdot K_t \cdot \eta_{\Delta P}^m \cdot \eta_{\Delta E}^m, \text{ кВт} \cdot \text{год} \quad (5.4)$$

де  $E_{\text{вал}}$  – валовий питомий прихід сонячної радіації на аналізований майданчик, кВт·год/м<sup>2</sup> (табл. 5.2);

$m$  – кількість модулів у сонячній батареї;

$\eta_K$  – ККД кремнієвого сонячного елемента (береться максимальне значення за ВАХ СМ);

$K_t$  – коефіцієнт, що враховує вплив сонячної температури модуля з його ККД;

$\eta_{\Delta P}^m, \eta_{\Delta E}^m$  – відповідно втрати потужності, що визначаються послідовним з'єднанням елементів та передачею енергії до споживача.

Таблиця 5.2 – Валовий питомий прихід сонячної радіації на сонячну поверхню модуля в кВт·год/(м<sup>2</sup>·міс.) для різних кутів нахилу майданчика  $\beta$  до горизонту

Місяць	$E_{вал}$ кВт·год/(м <sup>2</sup> ·міс.)				
	$\beta = 0^\circ$	$\beta = 28^\circ$	$\beta = 43^\circ$	$\beta = 58^\circ$	$\beta = 90^\circ$
I	55,6	86,49	105,98	114,6	104,1
II	72,2	96,6	114,35	116,3	97,8
III	121,4	144,4	159,2	150,6	111,6
IV	138,8	145,5	149,69	129,1	76,8
V	172	171,7	163,35	128,2	66,7
VI	193,8	191,7	174,05	137,6	63,7
VII	201,7	191,7	181,32	145,2	65,2
VIII	171,5	174,8	178,03	147,5	80,3
IX	137,7	155,7	164,3	154,3	106,3
X	97,9	125,2	146,17	147,8	119,0
XI	53	75,3	92,8	97,9	85,8
XII	48,9	75,3	100,1	107,9	99,9

Коефіцієнт, що враховує вплив температури сонячного модуля з його ККД визначається з виразу:

$$K_t = 1 - [\alpha(T - T_0)] \quad (5.5)$$

де  $T$  – температура довкілля для заданого місяця, °К;  $T=25$  °С – стандартна температура сонячного елемента;  $\alpha$  – градієнт зміни ККД СЕ від зміни температури.

Для кремнієвих сонячних елементів він визначається:

$$\alpha = \frac{\eta_K}{120}, \quad (5.6)$$

де  $\eta_K$  – ККД сонячного елемента для розрахункових умов (береться максимальне значення).

Вироблення електричної енергії розраховується протягом місяців, зазначених у завданні.

2. Відсоток використання валового потенціалу визначається ставленням отриманого вироблення електричної енергії сонячним модулем на  $1\text{ м}^2$  модуля до валового питомого приходу сонячної радіації для кожного місяця.

$$B_{\text{вик}} = \frac{E_i}{E_{\text{вал.і}}} \cdot 100\%.$$

### Приклад розрахунку

#### Вихідні дані:

Розрахунковий місяць: липень;

Температура навколишнього середовища,  $T = +20\text{ }^\circ\text{C}$ ;

Кут нахилу сонячної батареї до горизонту,  $\beta = 58^\circ$ ;

Кількість модулів,  $m = 3$ .

1. Розбиваємо ВАХ на кілька точок, включаючи точки х.х та к.з. Для кожної точки значення струму визначаємо відповідне значення напруги. Дані заносимо до таблиці А. За цими даними визначається потужність сонячного модуля. Так, для струму  $I = 1,5\text{ А}$ , напруга дорівнює  $U = 34\text{ В}$ . Тоді потужність у цій точці характеристики:

$$P = UI = 34 \cdot 1,5 = 51\text{ Вт}$$

Аналогічно визначаються всі інші значення потужності. Дані заносяться до таблиці 5.А.

2. Площа сонячного модуля:

$$F_{CM} = F_{CE} \cdot n \cdot K_{зан} = 0,0156 \cdot 72 \cdot 0,97 = 1,09 \text{ м}^2$$

3. Корисна потужність:

$$P_{кор} = R \cdot F_{CM} = 800 \cdot 1,09 = 872 \text{ Вт}$$

4. ККД. сонячного модуля для потужності  $P=51$  Вт:

$$\eta = \frac{P}{P_{кор}} = \frac{51}{872} = 0,058$$

Для решти точок розрахунок аналогічний.

5. За даними таблиці А будемо залежність  $\eta=f(P)$  та визначаємо максимальне значення коефіцієнта корисної дії. Для нашого випадку він дорівнює 11,3%.

6. Градієнт зміни ККД СЕ від зміни температури:

$$\alpha = \frac{\eta_k}{120} = \frac{11,3}{120} = 0,094$$

7. Коефіцієнт, що враховує вплив температури СМ на його ККД:

$$K_t = 1 - [\alpha(T - T_0)] = 1 - [0,094(293 - 298)] = 1,47$$

8. Вироблення електричної енергії сонячною батареєю у липні:

$$\begin{aligned}
 E_{\text{вир}} &= E_{\text{вал}} \cdot F_{\text{СМ}} \cdot m \cdot \eta_K \cdot K_t \cdot \eta_{\Delta P}^m \cdot \eta_{\Delta E}^m = \\
 &= 145,2 \cdot 1,09 \cdot 3 \cdot 0,113 \cdot 1,47 \cdot 0,97 \cdot 0,9 = 68,8 \text{ кВт} \cdot \text{год}
 \end{aligned}$$

9. Використання валового потенціалу на 1 м<sup>2</sup> модуля для липня складає:

$$B_7 = \frac{E_7}{E_{\text{вал.7}}} \cdot 100\% = \frac{68,8}{145,2} \cdot 100\% = 47\%.$$

Тобто ефективність використання енергії сонця для отримання електричної енергії за допомогою сонячних батарей із трьох модулів у липні місяці становить менше 50 %.

## **ЛАБОРАТОРНО-ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №6**

### **ВИВЧЕННЯ ПРИСТРОЮ Й ПРИНЦИПУ ДІЇ ВАКУУМНОГО ТРУБЧАСТОГО СОНЯЧНОГО КОЛЕКТОРА**

**Мета заняття:** вивчення конструкції й принципу дії сонячного колектора з «сухою» і «микрою» трубкою

#### **Завдання заняття:**

1. Вивчення конструкції сонячного колектора з «сухою» і «микрою» трубкою.
2. Дослідження температурних залежностей у сонячних колекторах із «сухою» і «микрою» трубкою.
3. Складання звіту.

#### **Короткі теоретичні відомості**

Сонячні колектори - це спеціальні теплообмінники, на яких енергія сонячного випромінювання перетворюється в теплову енергію. Теплоносієм для передачі енергії від сонячного колектора або сонячної батареї, зібраної із групи колекторів, може служити незамерзаюча рідина, вода або повітря.

Залежно від робочої температури колектори можна поділити на 3 групи:

- низькотемпературні: температура теплоносія до 100°C. Як правило, це звичайні плоскі колектори;
- середньотемпературні: температура теплоносія 30-165°C. Це вакуумні колектори із трубкою «heat pipe»;
- високотемпературні: температура теплоносія 20-300°C. Вакуумні колектори з рефлекторами й концентраторами.

#### Плоский сонячний колектор.

Зовні схожий на товсте чорне скло. Конструктивно колектор збирається на алюмінієвій рамі. На дні колектора розміщений теплоізолятор (звичайно

скловата) для збереження поглиненого тепла. Поверх скловати розташовані мідні трубки, припаяні до вищележачого шару абсорбуючого покриття. Зверху конструкція щільно закрита загартованим склом з високим коефіцієнтом пропускання сонячного світла.

Верхнє скло має високу пропускну здатність для сонячного світла (коефіцієнт пропускання 95 %). Абсорбуюче покриття під променями сонця нагрівається й починає випромінювати тепло, спектр якого на 95 % склом не пропускається. Таким чином, поглинена енергія не розсіюється в просторі, а передається мідним трубкам, по яких циркулює теплоносіє.

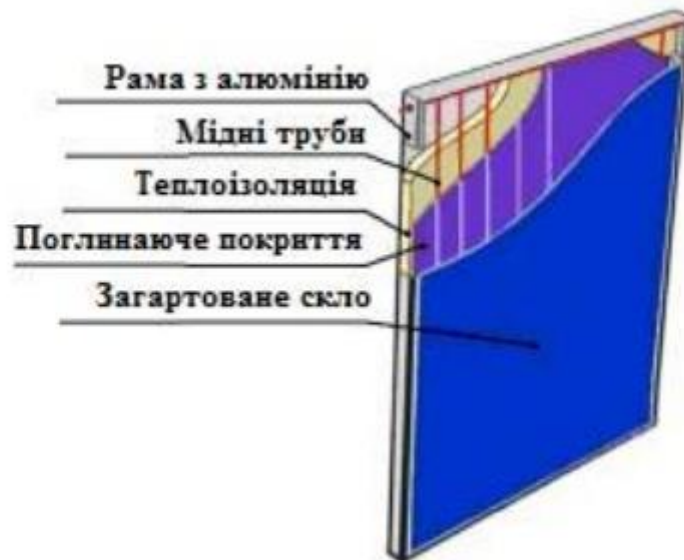


Рис. 6.1 – Зовнішній вигляд колектора

Плоскі колектори можуть бути як всесезонними, так і сезонними. Усе залежить від типу системи (відкрита - закрита) і типу теплоносія (вода або антифриз). Конструкція плоских сонячних колекторів використовує пряме або розсіяне сонячне випромінювання й не передбачає його концентрації. Вони характеризуються простотою конструкції й низькою ціною. Вакуумні сонячні колектори. Мають найбільшу ефективність. Конструктивно колектор складається з рами й вакуумних трубок. Вакуумна теплова трубка зроблена з

міцного борсилікатного скла. Складається із двох скляних трубок, між якими створений вакуум для запобігання тепловтрат. Зовнішня трубка повністю прозора, а на внутрішню нанесене спеціальне поглинаюче покриття. Для підтримки високого ступеня вакууму в трубці нанесений шар барієвого газобирача. Він поглинає виділювані при експлуатації різні види газів, а також показує справність трубки. При розгерметизації, шар барію міняє колір зі срібlistого на білий. Усередині вакуумної трубки знаходиться запаяна мідна трубка, усередині якої теплоносій під низьким тиском. Передача тепла від абсорбенту здійснюється за допомогою теплопровідних ребер. Кінець мідної трубки (конденсатор теплової трубки) має розширення, яке міститься в теплообмінник з рідиною (корпус колектора). Рідина – вода або антифриз.



Рис. 6.2 – Будова сонячного колектора

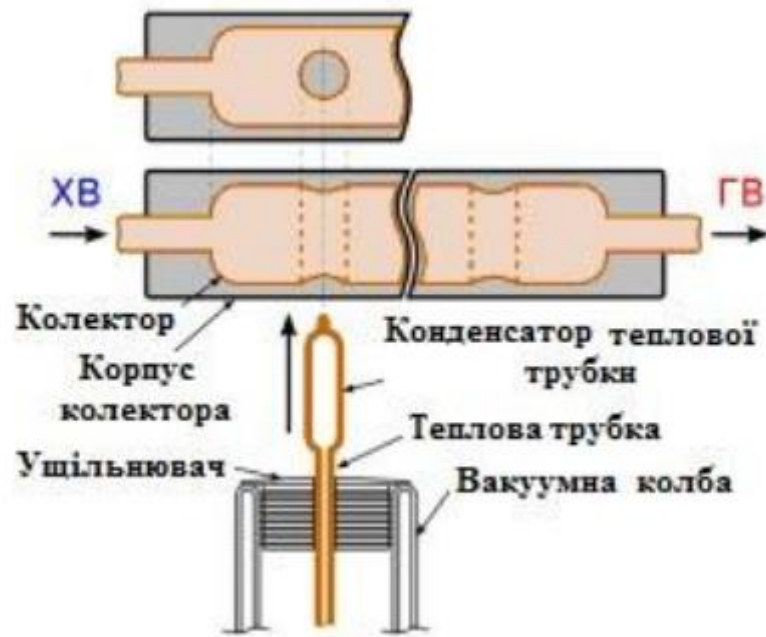


Рис. 6.3 – Конструкція сонячного колектора

При попаданні сонячних променів відбувається наступне: абсорбент нагрівається й передає тепло по ребрах мідній трубці. Рідина усередині мідної трубки закипає, пара піднімається нагору до конденсатора теплової трубки. У конденсаторі пар віддає енергію холодним стінкам мідної трубки, конденсується, охолоджується й стікає назад у гарячу область мідної трубки. Стінки трубки конденсатора нагріваються й віддають тепло рідині, що протікає через колектор. Далі процес повторюється.



Рис. 6.4 – Принцип дії сонячного колектора типу "мокра трубка"

Конструктивно складаються з рами, на якій монтуються вакуумні трубки й бак для гарячої води. Вакуумна "мокра" трубка має більш просту конструкцію. Вона складається із зовнішньої й внутрішньої скляної трубок, між якими створений вакуум. Внутрішня трубка покрита шаром абсорбенту. Теплопередача від шару абсорбенту здійснюється водою, якою ці трубки заповнені. Гаряча вода із трубок піднімається в бак, а холодна з бака опускається в трубки для нагрівання.



Рис. 6.5 – Загальний вигляд

### Порядок виконання роботи

**Етап 1.** Вивчення конструкції сонячного колектора з «сухою» і «мхрою» трубкою.

Використовуючи короткі теоретичні відомості й додаткову літературу вивчити конструкцію й принцип дії сонячного колектора з «сухою» і «мхрою» трубкою.

**Етап 2.** Дослідження температурних залежностей у сонячних колекторах з «сухою» і «мхрою» трубкою

2.1. Для сонячного колектора з «мхрою» трубкою виміряти температуру теплоносія (води)  $t_{т(0)}$  у приміщенні. Для сонячного колектора з «сухою» трубкою виміряти температуру нагрівального елемента  $t_{н.с(0)}$  у приміщенні.

2.2. Акуратно взяти вакуумну трубку й наповнити її до половини

теплоносієм (водою). Взяти пірометр, зошит для записів, підготовлену для експерименту вакуумну трубку й вийти на вулицю.

2.3. Зробити 6 вимірів температури теплоносія й нагрівального елемента для відповідних вакуумних колекторів через кожні 5 хвилин. Результати вимірів занести в таблицю:

$t_T, ^\circ\text{C}$	$t_{T(0)}$						
$t_{н.е}, ^\circ\text{C}$	$t_{н.е(0)}$						
час $T, \text{с}$	0	5	10	15	20	25	30

2.4. За результатами вимірів побудувати температурні залежності й зробити висновки.

### Етап 3. Складання звіту.

Звіт по даній роботі повинен містити:

1. Найменування роботи і її ціль.
2. Короткий опис пристрою й принципу роботи сонячного колектора з «сухою» і «микрою» трубкою.
3. Результати дослідження температурних залежностей.
4. Висновки.

### Контрольні питання

1. Які типи сонячних колекторів Ви знаєте? Їхня конструкція, призначення, достоїнства й недоліки.
2. Конструкція плоского сонячного колектора.
3. Конструкція вакуумного сонячного колектора.
4. У чому відмінність вакуумного трубчастого сонячного колектора від плоского вакуумного сонячного колектора?
5. Який тип енергоносія використовується в геліосистемах?

## ЛАБОРАТОРНО-ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №7

### РОЗРАХУНОК ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ ВІТРОЕНЕРГОУСТАНОВОК

**Мета:** Навчитися розраховувати основні параметри вітроенергетичних установок для оцінки їх ефективності та можливостей використання в реальних умовах.

#### **Завдання:**

1. Визначити площу вітроколеса та оцінити її вплив на продуктивність установки.
2. Розрахувати потужність, яку може забезпечити вітроустановка, залежно від швидкості вітру.
3. Визначити частоту обертання та обертальний момент вітродвигуна для подальшого вибору генератора.
4. Розрахувати коефіцієнт тихохідності та кутову швидкість для оптимізації конструкції.

#### **Вихідні дані**

**Дано:**  $\rho = 1,2 \text{ кг/м}^3$ .

#### **Визначити:**

- площу вітроколеса;
- потужність яку може забезпечити вітроустановка;
- коефіцієнт тихохідності;
- частоту обертання;
- обертальний момент вітродвигуна.

#### **Розв`язок:**

1. Площа вітроколеса:  $S = \frac{\pi R^2}{2}$  ;
2. Коефіцієнт тихохідності:  $z \approx \frac{4\pi}{n}$  ;

3. Кутова частота вітроколеса:  $\omega = \frac{V_0 \cdot z}{R}$  ;

4. Потужність вітроустановки:  $P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot V_0^3$  ;

5. Частота обертання:  $f = \frac{z \cdot V_0}{2 \cdot \pi \cdot R}$  ;

6. Максимально можливий момент обертання вітроколеса:

$$T_{\max} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot V_0^2 ;$$

7. Розрахунковий момент:  $T = 1,2 \cdot T_{\max}$  ;

### **Вихідні дані**

Варіанти	Радіус вітроколеса, $R$ , м	Швидкість вітру, $V_0$ , м/с	Кількість лопастей, $n$ , шт
1	1	6	2
2	2	7	3
3	3	8	4
4	4	9	5
5	5	10	6
6	6	11	7
7	7	12	8
8	8	13	9
9	9	14	10
10	10	15	2
11	11	14	3
12	12	13	4
13	13	12	5
14	14	11	6
15	15	10	7
16	1	9	8
17	2	8	9
18	3	7	10
19	4	6	2
20	5	7	3
21	6	8	4
22	7	9	5
23	8	10	6
24	9	11	7

## ЛАБОРАТОРНО-ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №8

### ХАРАКТЕРИСТИКА ВІТРУ ТА ПОВТОРЮВАНІСТЬ ШВИДКОСТЕЙ ВІТРУ ДЛЯ ЗАДАНОГО РАЙОНУ

Вітер – це переміщення повітряних мас щодо поверхні землі внаслідок нерівномірного нагрівання та перерозподілу атмосферного тиску. Основними характеристиками вітру є його напрямок та середня швидкість за певний період часу.

Енергетичні та аерологічні характеристики вітрової енергії для конкретного регіону відображені у вітроенергетичному кадастрі.

Енергетичними характеристиками вітру є валовий, технічний та економічний ресурси чи потенціали вітру.

Розрахунок залежності потужності, що розвивається ВЕУ від швидкості вітру, проводиться за середніми значеннями швидкостей по градаціях, починаючи від мінімальної.

Дані за середньорічною швидкістю вітру отримані шляхом її вимірювання на стандартній висоті 10 м. Якщо в розрахунках висота вежі ВЕУ відрізняється від стандартної, необхідно провести перерахунок потужності з урахуванням поправного коефіцієнта за висотою  $K_H$ . Якщо вежа знаходиться в межах 8-10 м, перерахунку потужності не потрібно.

**Завдання 8.1.** Визначити кількість енергії, яку може виробити вітроенергетична установка протягом року з урахуванням повторюваності швидкостей вітру за градаціями у заданому районі Харківської області. Дані до розрахунку представлені в табл. 8.1., повторюваність швидкостей вітру – в табл. 8.2.

Таблиця 8.1 – Вихідні дані для розрахунку задачі

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Населений пункт	Чугуїв	Солоницівка	Мерефа	Люботин	Харків	Золочів	Нова Водолага	Зміїв	Богодухів	Ізюм
Тип ВЕУ	УВЕ-40	ЛМВ- 250	ВЕУ-1	ЛМВ- 500	ВЕТЕН- 0,16	Веселка- 001	УВЕ- 300/24- 2,2	ВЕУ-02	УВЕ- 500	ВЕС-1
Номинальна потужність, $P_H$ , кВт	0,07	0,25	1,0	0,5	0,16	1,0	0,55	0,2	0,5	1,0
Мінімальна швидкість обертання, $v_{min}$ , м/с	3,0	3,0	3,0	3,0	3,5	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
Робоча швидкість обертання, $v_p$ , м/с	6,5	8,0	7,0	7,0	7,0	8,0	8,0	8,0	12,0	7,0
Максимальна швидкість обертання, $v_{max}$ , м/с	25,0	30,0	40,0	30,0	25,0	25,0	25,0	40,0	25,0	40,0
Число лопатей	3	3	1	2	3	3	3	1	3	3
Діаметр вітроколеса, $D$ , м	1,5	1,7	3,0	3,0	1,6	2,2	2,2	1,6	2,2	3,6
Висота щогли $h$ , м	4	9	10	8	4,5	4,3	4,3	6	4,5	8

Таблиця 8.2 – Емпірична повторюваність швидкостей вітру

Місяць	Градації швидкостей вітру, м/с								
	0 - 1	2 - 3	4 - 5	6 - 7	8 - 9	10 - 11	12 – 13	14 - 15	Більше 16
<b>Чугуїв</b>									
Січень	0,3	0,32	0,23	0,08	0,05	0,01	0,01	0	0
Лютий	0,3	0,33	0,22	0,09	0,04	0,01	0,01	0	0
Березень	0,27	0,29	0,25	0,12	0,05	0,01	0,01	0	0
Квітень	0,28	0,3	0,22	0,1	0,08	0,02	0,01	0	0
Травень	0,27	0,29	0,23	0,1	0,08	0,02	0,01	0	0
Червень	0,27	0,31	0,22	0,1	0,08	0,02	0	0	0
Липня	0,27	0,29	0,24	0,1	0,07	0,02	0,01	0	0
Серпень	0,28	0,29	0,22	0,1	0,08	0,02	0,01	0	0
Вересень	0,28	0,3	0,24	0,1	0,05	0,02	0,01	0	0
Жовтень	0,27	0,29	0,24	0,1	0,07	0,02	0,01	0	0
Листопад	0,28	0,3	0,23	0,09	0,06	0,02	0,01	0	0
Грудень	0,29	0,31	0,23		0,06	0,01	0,01	0	0
<b>Рік</b>	<b>0,39</b>	<b>0,34</b>	<b>0,19</b>	<b>0,05</b>	<b>0,01</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>Солоницівка</b>									
Січень	0,04	0,06	0,07	0,08	0,09	0,16	0,13	0,01	0,27
Лютий	0,07	0,08	0,09	0,1	0,18	0,12	0,1	0,07	0,19
Березень	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,15	0,14	0,07	0,14
Квітень	0,06	0,09	0,1	0,13	0,12	0,17	0,12	0,06	0,15
Травень	0,08	0,13	0,17	0,18	0,15	0,14	0,07	0,04	0,04
Червень	0,08	0,1	0,18	0,17	0,14	0,17	0,09	0,04	0,03
Липня	0,11	0,16	0,19	0,19	0,15	0,13	0,05	0,02	0
Серпень	0,08	0,16	0,16	0,17	0,16	0,12	0,07	0,03	0,02
Вересень	0,06	0,11	0,11	0,18	0,17	0,15	0,1	0,04	0,05
Жовтень	0,06	0,1	0,1	0,16	0,14	0,16	0,12	0,06	0,08
Листопад	0,04	0,08	0,08	0,11	0,1	0,15	0,18	0,07	0,18
Грудень	0,04	0,07	0,07	0,1	0,09	0,15	0,14	0,07	0,29
<b>Рік</b>	<b>0,07</b>	<b>0,09</b>	<b>0,13</b>	<b>0,14</b>	<b>0,13</b>	<b>0,15</b>	<b>0,11</b>	<b>0,06</b>	<b>0,12</b>

## Продовження таблиці 8.2

<b>Мерефа</b>									
Січень	0,19	0,34	0,27	0,13	0,06	0,01	0	0	0
Лютий	0,19	0,39	0,25	0,11	0,05	0,01	0	0	0
Березень	0,19	0,47	0,22	0,08	0,03	0,01	0	0	0
Квітень	0,14	0,34	0,29	0,16	0,06	0,01	0	0	0
Травень	0,14	0,38	0,27	0,13	0,05	0,02	0,01	0	0
Червень	0,19	0,41	0,25	0,1	0,04	0,01	0	0	0
Липня	0,24	0,46	0,21	0,07	0,02	0	0	0	0
Серпень	0,23	0,47	0,2	0,07	0,02	0,01	0	0	0
Вересень	0,2	0,39	0,26	0,11	0,03	0,01	0	0	0
Жовтень	0,16	0,38	0,27	0,14	0,04	0,01	0	0	0
Листопад	0,15	0,37	0,28	0,12	0,05	0,03	0	0	0
Грудень	0,18	0,36	0,28	0,13	0,04	0,01	0	0	0
<b>Рік</b>	<b>0,18</b>	<b>0,4</b>	<b>0,25</b>	<b>0,11</b>	<b>0,04</b>	<b>0,02</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>Люботин</b>									
Січень	0,46	0,25	0,15	0,08	0,04	0,01	0,005	0,005	0
Лютий	0,48	0,26	0,15	0,06	0,03	0,01	0,005	0,004	0,001
Березень	0,45	0,29	0,15	0,06	0,04	0,01	0	0	0
Квітень	0,35	0,29	0,19	0,08	0,06	0,02	0,01	0	0
Травень	0,31	0,32	0,19	0,1	0,05	0,02	0,01	0	0
Червень	0,35	0,34	0,19	0,08	0,04	0	0	0	0
Липень	0,42	0,34	0,16	0,05	0,03	0	0	0	0
Серпень	0,43	0,33	0,17	0,05	0,02	0	0	0	0
Вересень	0,41	0,29	0,17	0,07	0,04	0,02	0	0	0
Жовтень	0,35	0,3	0,18	0,09	0,05	0,02	0,01	0	0
Листопад	0,39	0,29	0,17	0,08	0,04	0,02	0,01	0	0
Грудень	0,51	0,25	0,13	0,06	0,03	0,01	0,01	0	0
<b>Рік</b>	<b>0,41</b>	<b>0,3</b>	<b>0,16</b>	<b>0,072</b>	<b>0,04</b>	<b>0,012</b>	<b>0,005</b>	<b>0,001</b>	<b>0</b>

Продовження таблиці 8.2

<b>Харків</b>									
Січень	0,53	0,24	0,17	0,04	0,01	0,01	0	0	0
Лютий	0,55	0,22	0,16	0,04	0,02	0,01	0	0	0
Березень	0,49	0,29	0,16	0,05	0,01	0	0	0	0
Квітень	0,39	0,28	0,21	0,09	0,02	0,01	0	0	0
Травень	0,4	0,3	0,2	0,07	0,02	0,01	0	0	0
Червень	0,41	0,3	0,2	0,07	0,02	0	0	0	0
Липня	0,44	0,32	0,19	0,04	0,01	0	0	0	0
Серпень	0,46	0,3	0,18	0,05	0,01	0	0	0	0
Вересень	0,48	0,27	0,2	0,04	0,01	0	0	0	0
Жовтень	0,42	0,28	0,2	0,07	0,02	0,01	0	0	0
Листопад	0,49	0,28	0,16	0,05	0,02	0	0	0	0
Грудень	0,62	0,22	0,11	0,04	0,01	0	0	0	0
<b>Рік</b>	<b>0,47</b>	<b>0,28</b>	<b>0,18</b>	<b>0,05</b>	<b>0,014</b>	<b>0,005</b>	<b>0,001</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>Золочів</b>									
Січень	0,24	0,28	0,21	0,13	0,07	0,04	0,02	0,01	0
Лютий	0,24	0,32	0,23	0,1	0,05	0,03	0,02	0,01	0
Березень	0,24	0,4	0,23	0,07	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01
Квітень	0,22	0,29	0,26	0,13	0,06	0,02	0,01	0,01	0
Травень	0,18	0,29	0,27	0,14	0,07	0,03	0,01	0,1	0
Червень	0,16	0,33	0,27	0,13	0,06	0,03	0,01	0,01	0
Липня	0,21	0,41	0,25	0,09	0,03	0,01	0	0	0
Серпень	0,21	0,37	0,26	0,1	0,05	0,01	0	0	0
Вересень	0,18	0,34	0,26	0,13	0,05	0,03	0,01	0	0
Жовтень	0,18	0,35	0,26	0,12	0,06	0,03	0	0	0
Листопад	0,15	0,34	0,3	0,12	0,04	0,03	0,01	0	0,01
Грудень	0,15	0,34	0,3	0,12	0,04	0,03	0,01	0	0,01
<b>Рік</b>	<b>0,2</b>	<b>0,34</b>	<b>0,26</b>	<b>0,12</b>	<b>0,05</b>	<b>0,03</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

## Продовження таблиці 8.2

<b>Нова Водолага</b>									
Січень	0,43	0,12	0,14	0,1	0,09	0,07	0,03	0,01	0,01
Лютий	0,4	0,15	0,14	0,1	0,08	0,08	0,03	0,01	0,01
Березень	0,32	0,16	0,19	0,13	0,07	0,08	0,03	0,02	0
Квітень	0,25	0,16	0,22	0,11	0,1	0,1	0,04	0,02	0
Травень	0,2	0,18	0,24	0,14	0,1	0,1	0,03	0,01	0
Червень	0,24	0,2	0,25	0,13	0,1	0,06	0,02	0	0
Липень	0,27	0,21	0,23	0,13	0,07	0,07	0,02	0	0
Серпень	0,29	0,22	0,24	0,11	0,06	0,05	0,02	0,01	0
Вересень	0,29	0,18	0,23	0,12	0,08	0,08	0,02	0	0
Жовтень	0,23	0,15	0,22	0,13	0,1	0,11	0,04	0,02	0
Листопад	0,25	0,16	0,19	0,11	0,1	0,11	0,06	0,01	0,01
Грудень	0,43	0,13	0,15	0,09	0,07	0,08	0,03	0,02	0
<b>Рік</b>	<b>0,3</b>	<b>0,17</b>	<b>0,2</b>	<b>0,12</b>	<b>0,09</b>	<b>0,08</b>	<b>0,03</b>	<b>0,01</b>	<b>0</b>
<b>Зміїв</b>									
Січень	0,27	0,29	0,17	0,12	0,07	0,05	0,02	0,01	0
Лютий	0,24	0,31	0,21	0,12	0,07	0,03	0,02	0	0
Березень	0,24	0,3	0,23	0,12	0,06	0,03	0,02	0	0
Квітень	0,18	0,29	0,24	0,15	0,08	0,03	0,02	0,01	0
Травень	0,18	0,3	0,24	0,15	0,08	0,04	0,01	0	0
Червень	0,23	0,33	0,23	0,12	0,06	0,02	0,01	0	0
Липень	0,25	0,36	0,23	0,1	0,04	0,02	0	0	0
Серпень	0,26	0,4	0,19	0,1	0,03	0,01	0,01	0	0
Вересень	0,23	0,34	0,23	0,11	0,07	0,02	0	0	0
Жовтень	0,17	0,3	0,22	0,15	0,1	0,04	0,02	0	0
Листопад	0,21	0,26	0,22	0,16	0,09	0,04	0,02	0	0
Грудень	0,29	0,28	0,22	0,11	0,05	0,03	0,01	0,07	0,03
<b>Рік</b>	<b>0,23</b>	<b>0,31</b>	<b>0,22</b>	<b>0,13</b>	<b>0,07</b>	<b>0,03</b>	<b>0,01</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

<b>Богодухів</b>									
Січень	0,42	0,21	0,16	0,1	0,06	0,02	0,02	0,01	0
Лютий	0,38	0,23	0,14	0,1	0,08	0,05	0,02	0	0
Березень	0,44	0,25	0,15	0,1	0,03	0,02	0,01	0	0
Квітень	0,36	0,26	0,17	0,1	0,08	0,02	0,01	0	0
Травень	0,34	0,27	0,17	0,1	0,09	0,02	0,01	0	0
Червень	0,32	0,27	0,21	0,1	0,05	0,03	0,01	0,01	0
Липень	0,37	0,31	0,19	0,1	0,03	0	0	0	0
Серпень	0,38	0,31	0,18	0,08	0,04	0,01	0	0	0
Вересень	0,33	0,29	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01	0	0
Жовтень	0,36	0,28	0,2	0,1	0,03	0,02	0,01	0	0
Листопад	0,37	0,25	0,16	0,1	0,08	0,03	0,01	0	0
Грудень	0,35	0,25	0,18	0,1	0,09	0,02	0,01	0	0
<b>Рік</b>	<b>0,37</b>	<b>0,27</b>	<b>0,18</b>	<b>0,1</b>	<b>0,06</b>	<b>0,02</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>Ізюм</b>									
Січень	0,47	0,31	0,14	0,05	0,02	0,01	0	0	0
Лютий	0,43	0,29	0,17	0,07	0,03	0,01	0	0	0
Березень	0,47	0,33	0,13	0,04	0,03	0	0	0	0
Квітень	0,43	0,34	0,17	0,04	0,02	0	0	0	0
Травень	0,49	0,33	0,13	0,04	0,01	0	0	0	0
Червень	0,56	0,29	0,1	0,04	0,01	0	0	0	0
Липень	0,61	0,28	0,08	0,03	0	0	0	0	0
Серпень	0,62	0,31	0,06	0,01	0	0	0	0	0
Вересень	0,57	0,3	0,11	0,02	0	0	0	0	0
Жовтень	0,51	0,35	0,1	0,03	0,01	0	0	0	0
Листопад	0,44	0,34	0,15	0,05	0,02	0	0	0	0
Грудень	0,47	0,32	0,14	0,05	0,01	0,01	0	0	0
<b>Рік</b>	<b>0,66</b>	<b>0,18</b>	<b>0,06</b>	<b>0,06</b>	<b>0,04</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

### Методика розрахунку

1. Розраховується кількість енергії, яка може бути вироблена вітроустановкою для кожного місяця з питомою площею, що омітається, з урахуванням повторюваності швидкостей для заданого району:

$$W_{y\delta}^M = \beta T \left( \sum_{v_{\min}}^{v_p} v_i^3 \cdot t^* + v_p^3 \sum_{v_p}^{v_{\max}} t^* \right), \frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{м}^2} \quad (8.1)$$

де  $\beta = 2 \cdot 10^{-4}$  – коефіцієнт, що враховує характеристики вітру;

$T$  – число годин роботи ВЕУ на місяці, год;

$U_i$  – середня швидкість у градації, м/с;

$U_p$  – робоча швидкість обертання вітроустановки, м/с;

$U_{\max}$  – максимальна швидкість обертання вітроустановки, м/с;

$U_{\min}$  – мінімальна швидкість обертання вітроустановки, м/с

$t^*$  – повторюваність швидкості вітру для цієї градації.

2. Визначається повна енергія, що виробляється для кожного місяця

$$W_{BEV}^M = \frac{W_{y\partial}^M (\pi D^2)}{4}, \text{ кВт} \cdot \text{год} \quad (8.2)$$

3. Визначається повна енергія, що виробляється вітроустановкою протягом року:

$$W_{BEV}^{\Gamma} = \sum_{i=1}^n W_{BEV}^M, \text{ кВт} \cdot \text{год} \quad (8.3)$$

4. Побудувати залежність виробленої вітроустановкою потужності від

$$W_{BEV}^{\Gamma} = f(m - \epsilon)$$

Визначити максимум вироблення енергії.

### Приклад розрахунку

Вихідні дані:

Район–місто: с. Кам’яна Яруга;

Тип ВЕУ – ЛМВ-500;

Номинальна потужність,  $P_{BEV} = 0,5$  кВт;

Мінімальна швидкість обертання  $v_{\min} = 3 \text{ м/с}$ ;

Робоча швидкість обертання  $v_p = 7,0 \text{ м/с}$ ;

Максимальна швидкість обертання  $v_{\max} = 30 \text{ м/с}$ ;

Діаметр вітроколеса,  $D = 3 \text{ м}$ .

1. Кількість енергії з питомої площі, яку може виробити ВЕУ в січні в районі с. Кам'яна Яруга з урахуванням повторюваності вітру в цьому районі:

$$W_{y\partial}^M = \beta T \left( \sum_{v_{\min}}^{v_p} v_i^3 \cdot t^* + v_p^3 \sum_{v_p}^{v_{\max}} t^* \right) =$$

$$= 2 \cdot 10^{-4} \cdot 31 \cdot 24 \left[ \left( 3^3 \cdot 0,31 + 4,5^3 \cdot 0,14 + 6,5^3 \cdot 0,05 \right) + \right. \\ \left. + 7^3 (0,05 + 0,02 + 0,01 + 0 + 0 + 0) \right] = 9,2 \text{ кВт} \cdot \text{год/м}^2$$

Для інших місяців розрахунок ведеться аналогічно.

2. Повна енергія, що виробляється ВЕУ у січні:

$$W_{BEU}^M = \frac{W_{y\partial}^M (\pi D^2)}{4} = 9,2 \cdot \frac{3,14 \cdot 3^3}{4} = 65,13 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Для інших місяців розрахунок аналогічний. Повна енергія, яка може бути вироблена ВЕУ за рік у районі с. Кам'яна Яруга визначається сумою енергій кожного місяця.

## ЛАБОРАТОРНО-ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №9 ПРОЕКТУВАННЯ ВІТРОВОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ ДЛЯ СІЛЬСЬКОЇ МІСЦЕВОСТІ

**Мета заняття:** Показати студентам, як спроектувати вітрову електростанцію для сільської місцевості, зокрема навчити їх розраховувати потужність, вибрати місце для турбін і створювати план їхнього розташування.

### **Завдання:**

1. Порахувати, скільки потужності потрібно для забезпечення енергоспоживання в сільській місцевості.
2. Визначити місце для встановлення турбін, враховуючи середню швидкість вітру і кліматичні умови.
3. Підібрати тип турбін і порахувати, скільки їх потрібно.
4. Розробити план розташування турбін і необхідних інфраструктурних елементів.

### **Завдання 9.1. Визначення енергетичних потреб**

1. Оцінка споживання енергії. Першим кроком є складання списку всіх енергоспоживачів у господарстві (освітлення, побутова техніка, опалення, водопостачання тощо). Потрібно визначити потужність кожного пристрою та час, протягом якого він працює кожного дня.

Приклад:

- Лампочки (LED, 5 Вт) – працюють 5 годин на день
- Холодильник (150 Вт) – працює 8 годин на день
- Телевізор (100 Вт) – працює 4 години на день

Підключені пристрої (мобільні телефони, комп'ютери) – сумарна потужність 200 Вт, працюють по 2 години на день

Розрахунок споживання:

- Лампочки:  $5 \text{ Вт} \times 5 \text{ год} = 25 \text{ Вт}\cdot\text{год}$

- Холодильник:  $150 \text{ Вт} \times 8 \text{ год} = 1200 \text{ Вт}\cdot\text{год}$
- Телевізор:  $100 \text{ Вт} \times 4 \text{ год} = 400 \text{ Вт}\cdot\text{год}$

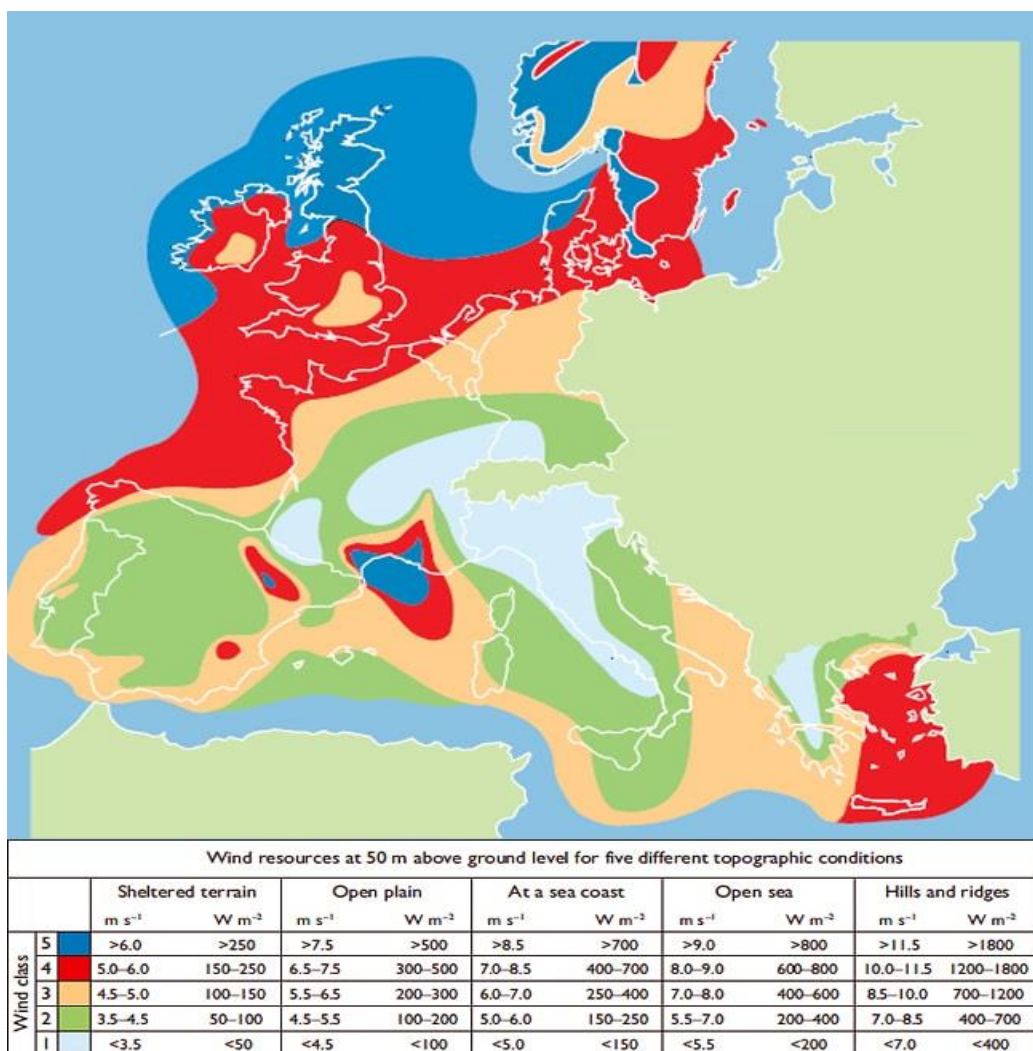
Підключення пристроїв:  $200 \text{ Вт} \times 2 \text{ год} = 400 \text{ Вт}\cdot\text{год}$

Загальне споживання енергії на день:

$25 \text{ Вт}\cdot\text{год} + 1200 \text{ Вт}\cdot\text{год} + 400 \text{ Вт}\cdot\text{год} + 400 \text{ Вт}\cdot\text{год} = 2025 \text{ Вт}\cdot\text{год}/\text{день}$ .

## Завдання 8.2. Вибір джерела енергії

1. Вітрогенератори: Вітрогенератори мають різну потужність залежно від швидкості вітру.



Індекс вітру протягом року

Оцінити їх ефективність можна за допомогою середньорічного індексу

вітру для вашого регіону. У сільській місцевості вітрогенератори можуть працювати значно ефективніше, ніж в міських умовах, завдяки відсутності вітрових перешкод (будівлі, дерева).

**Приклад:**

Вітрогенератор потужністю 500 Вт працює ефективно при швидкості вітру 4 м/с. Якщо середній вітер у вашому регіоні становить 4 м/с, можна очікувати близько 12 Вт·год/день.

Сонячні панелі: Потужність сонячних панелей залежить від рівня сонячної радіації в вашій місцевості. У літні місяці панелі забезпечують більше енергії, а в зимові – менше. Крім того, сонячні панелі повинні бути орієнтовані на південь і мати оптимальний нахил для максимальної ефективності.

**Приклад:** У вашій місцевості середньорічна сонячна радіація становить 4,5 кВт·год/м<sup>2</sup> на день (дані для південних регіонів). Якщо площа ваших панелей 10 м<sup>2</sup>, то за день можна отримати 45 кВт·год.

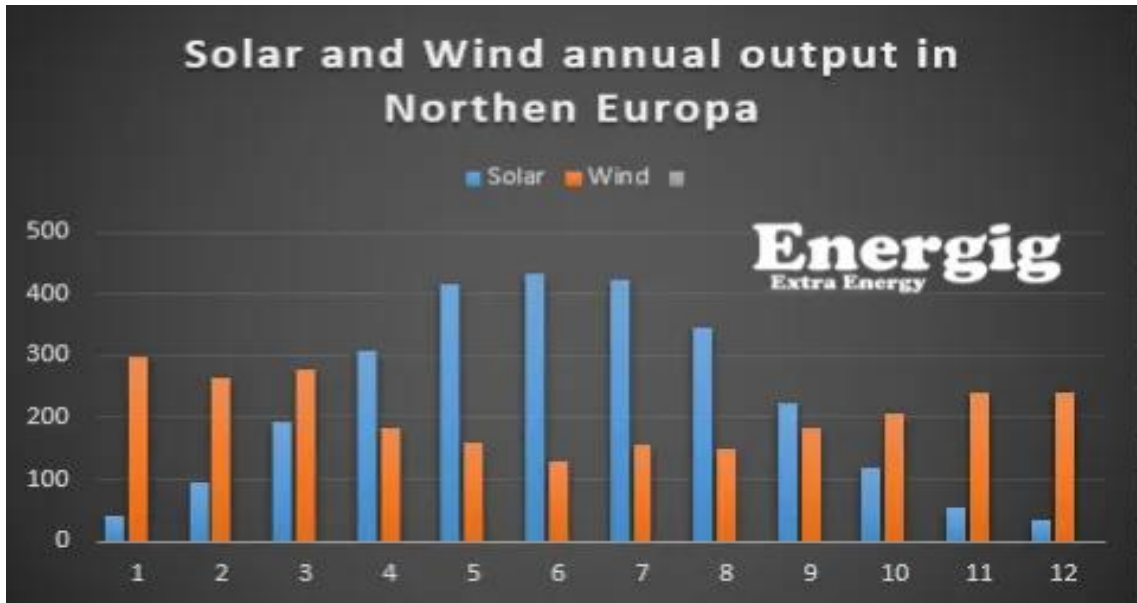
**Завдання 8.3. Визначення оптимальної комбінації**

1. Літні умови: Влітку сонячні панелі будуть забезпечувати основне джерело енергії. Якщо на день потрібно 2025 Вт·год, і у вас є сонячна система потужністю 2,5 кВт, то вона може виробляти 12 000 Вт·год/день в оптимальних умовах. Це значно перевищує ваші потреби, тому надлишок енергії можна зберігати в акумуляторах.

2. Зимові умови: Зимою сонячні панелі можуть виробляти значно менше енергії, тому варто зосередитися на використанні вітрогенератора. Якщо середня швидкість вітру у вашій місцевості становить 5 м/с, вітрогенератор потужністю 1000 Вт може виробляти 24 Вт·год/день.

3. Комбінація джерел енергії: Враховуючи сезонні зміни в доступності енергії, доцільно поєднувати сонячні панелі та вітрогенератори. Для цього

потрібно зробити два розрахунки: один для літа, інший для зими. Влітку сонячні панелі будуть забезпечувати більшу частину енергії, а взимку вітрогенератор стане основним джерелом енергії.



Потужність розподілена протягом року

#### Завдання 8.4. Оцінка необхідного розміру акумулятора

1. Розрахунок батареї для резервного живлення: Для забезпечення безперебійного живлення в періоди низької енергії (ніч, похмури дні) необхідно мати акумулятор, що зможе зберігати енергію на 3-5 діб. Це дозволить мати резерв на випадок, якщо не буде достатньо сонячної або вітрової енергії.

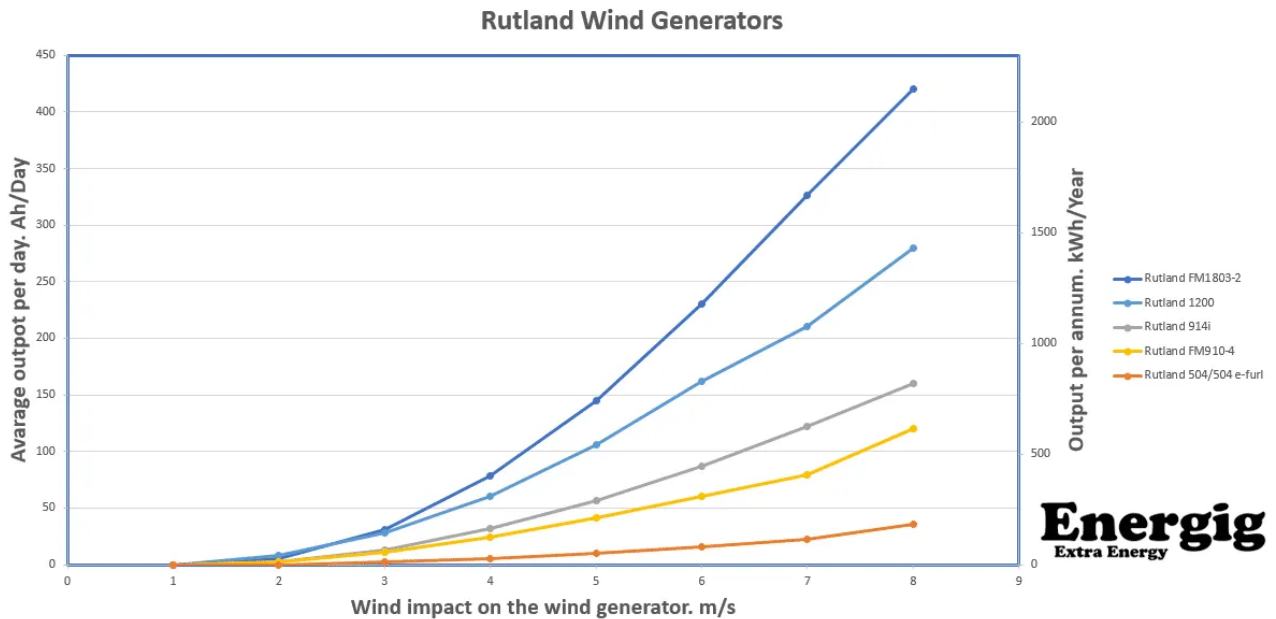
**Приклад:** Якщо ваші добові потреби становлять 2025 Вт·год, то для 5 днів вам необхідно акумулятор місткістю 10125 Вт·год або 10,125 кВт·год.

#### Завдання 8.5. Оцінка ефективності комбінованої системи

1. Літні умови: Сонячні панелі дають більше енергії, ніж потрібно. Надлишок енергії зберігається в акумуляторах або може бути переданий в мережу (якщо є така можливість). Вітрогенератор не має значної ролі влітку, але може використовуватись у випадках похмурих або безвітряних днів.

2. Зимові умови: Вітрогенератор виробляє більше енергії, ніж сонячні

панелі через більший вітер і меншу кількість сонячних днів.



Наведений вище графік показаний для 12-вольтових вітрових турбін.

Добова продукція (Ah/день) повинна бути поділена на 2 на 24-вольтну установку та на 4 на 48-вольтну установку.

Якщо немає достатньо енергії від вітрогенератора або сонячних панелей, акумулятори повинні забезпечити необхідний резерв.

**Висновок:** Для сільських місцевостей оптимальним є комбіноване використання сонячних панелей та вітрогенераторів. У літні місяці сонячні панелі забезпечують основне джерело енергії, в той час як зимою перевага віддається вітрогенераторам. Важливо також враховувати резервну батарею для забезпечення стабільного енергопостачання в разі низької вироблення енергії.

## ЛАБОРАТОРНО-ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №10

### ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИНЦИПУ РОБОТИ ТЕПЛООВОГО НАСОСУ

**Мета заняття:** вивчити цикли роботи й визначити енергетичну ефективність теплового насоса.

#### 1. Короткі теоретичні відомості

##### *Термоелектричний спосіб нагрівання*

В основі цього способу лежать ефекти Зеебека, Пельтьє, Томсона. Уперше явище термоелектрики було відкрито й одержало назву на початку 1820 р. у дослідях Зеебека.

##### *Ефект Зеебека*

Два матеріали були нагріті до різних температур  $T_2 - T_1$  (мідь і сурма) у місці спаю, на кінцях була виявлена ЕРС, яку Зеебек назвав термоЕРС.

$E = e[T_2 - T_1]$ , де  $E$  – термоЕРС, мкВ;  $e$  – коефіцієнт Зеебека, залежить від структури матеріалу й від різниці температур,  $\frac{\text{мкВ}}{\text{К}}$ .

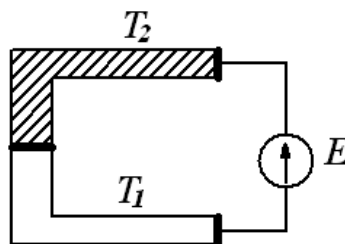


Рис. 10.1 – Схематичне зображення принципу ефекта Зеебека

##### *Пояснення ефекту Зеебека*

Електрони різних провідних матеріалів мають різний середній запас енергії. При нагріванні двох провідних матеріалів до різних температур у результаті теплового руху електрони переміщуються від більш низьких

температур до більш високих і створюють на вільних кінцях надлишок електронів – з'являється термоЕРС.

#### *Застосування ефекту Зеебека:*

- вимірювальна техніка;
- область енергетики термоенергетика, у цій області розроблені джерела електроенергії, що використовують ефект Зеебека, а застосовуються в якості джерела тепла природні ресурси (сонячна енергія, тепло реакторів, теплі води) Уперше використовувалося в космосі, добре застосовувати там, де потрібно управляти дистанційно. ККД 7%, якщо вдасться підвищити ККД до 15 %, то ця область застосування може стати провідною.

#### *Ефект Пельтьє*

При подачі постійного електричного струму відбувається або виділення, або поглинання тепла, залежно від напрямку електричного струму.

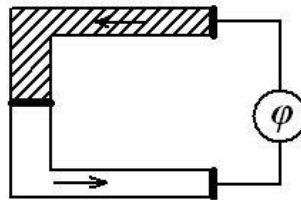


Рис. 10.2 – Схематичне зображення принципу ефекта Пельтьє

$Q_n = \Pi It$ , де  $\Pi$  – коефіцієнт Пельтьє, залежить від структури матеріалу,  $\frac{мкВ}{С}$   
 $I$  – величина струму, що проходить,  $A$ ;  $t$  – час проходження,  $с$ .

#### *Пояснення ефекту Пельтьє:*

При проходженні електричного поля через спай різних провідних матеріалів у силу того, що електрони мають різний запас енергії, вони або віддають цю енергію, або поглинають її. При цьому спостерігається або поглинання, або виділення тепла.  $\Pi = eT$ , де  $T$  – температура спаю;  $e$  –

коефіцієнт Зеебека.

### Застосування ефекту Пельтьє:

У термоелектричних теплових насосах, які можуть бути як джерелами тепла, так і джерелами холоду.

### Ефект Томсона

Через провідник, кінці якого перебувають у різних теплових режимах, пропускається постійний електричний струм і залежно від напрямку струму має місце або виділення, або поглинання тепла з поверхні провідника.

$$Q_T = TI(T_2 - T_1)t$$

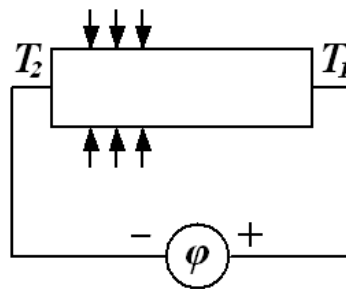


Рис. 10.3. Схематичне зображення принципу ефекта Томсона

Усі три ефекти взаємно оборотні, вони можуть бути присутні у короткозамкненому елементі.

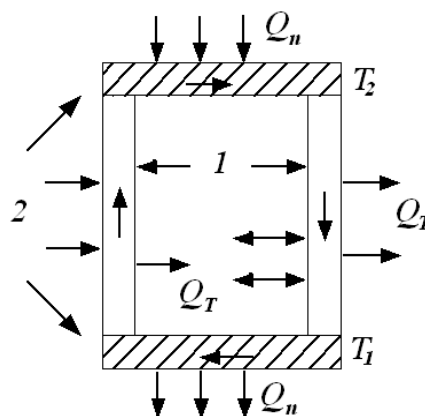


Рис. 10.4 – 1 – провідники; 2 – їхні спаї

Якщо провідники нагріти в місцях спаїв до різних температур  $T_1$  і  $T_2$ , то згідно ефекту Зеебека по ланцюгу буде протікати електричний струм. Факт протікання електричного струму обумовлює прояв ефекту Пельтьє. Нагрівання до різних температур проявляється ефектом Томсона. У процесі відкриття ефекту термоелектрики був створений термоелектричний ряд залежно від величини термоЕРС. На основі цих рядів були створені напівпровідникові матеріали.

Термоелектричні ефекти найбільшим образом проявляються в напівпровідниках. Для напівпровідників властиво змінювати свої електрофізичні характеристики залежно від прикладеного до них фактора, що обурює (температури, постійного струму) у мільйони разів інтенсивніше, ніж для провідних матеріалів.

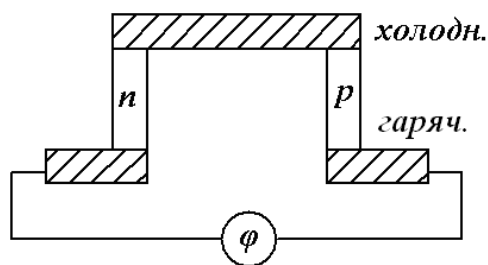


Рис. 10.5 – Термоелектричний тепловий насос

### *Термоелектричний тепловий насос*

Ефект Пельтьє знаходить своє застосування в роботі термоелектричного теплового насоса, призначеного для одержання тепла й холоду.

#### *Загальні положення:*

Тепловий насос – це пристрій, призначений для передачі тепла низького потенціалу з холодного середовища в нагріте середовище за рахунок споживання різних видів енергії (механічної, електричної, хімічної), при цьому тепло, що надходить у більш нагріте середовище характеризується більш високим потенціалом у порівнянні з холодним середовищем, тому теплові насоси можна

назвати підвищувальними термотрансформаторами за аналогією з електричним трансформатором.

Прикладом використання теплового насоса, у якому в якості додаткової енергії застосована механічна енергія, може служити звичайна компресійна холодильна установка.

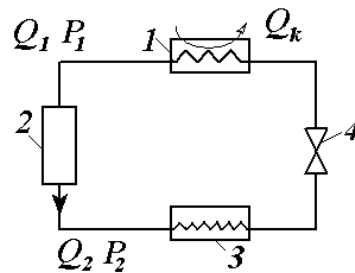


Рис.10.6 – Компресійна холодильна установка: 1 – випарник; 2 – компресор; 3 – конденсатор; 4 – дросельний опір

Компресійна холодильна установка являє собою замкнену систему. У цій замкненій системі знаходиться рідина з низькою температурою кипіння (хладон, аміак). Температура кипіння дорівнює  $-22\dots44\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Якщо у випарнику відбувається відбір тепла й температура теплоносія хладона перевищує температуру його кипіння, то хладон перетворюється в пару, що характеризується параметрами  $Q_1$  та  $P_1$ . За допомогою компресора 2 даному пристрою повідомляється додаткова механічна енергія, що дозволяє підвищити параметри парів хладона на вході в конденсатор 3 в 2,5 разів. У конденсаторі проводиться відбір тепла від парів хладона, яке витрачається на підігрів більш нагрітого середовища в порівнянні із середовищем, що забезпечує підведення тепла у випарник. У результаті охолодження парів хладона в конденсаторі вони скраплюються й через опір 4 (врівноважуючий тиск між випарником і конденсатором) знову вертаються у випарник. Таким чином, відбувається утилізація тепла, яке звичайно в холодильних установках не використовується - використовується в опаленні житлових будинків.

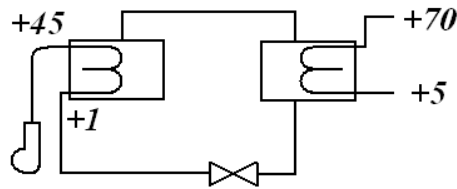


Рис. 10.7

Рівняння теплового балансу насоса  $Q_{оп} = Q_{хол} + Q_{екв}$ ,  $кДж/час$ , де  $Q_{оп}$  – кількість тепла, що надходить у більш нагріте середовище;  $Q_{хол}$  – кількість тепла, що відбирається від менш нагрітого середовища;  $Q_{екв}$  – тепловий еквівалент витраченої енергії.

Розділимо рівняння теплового балансу насоса на  $Q_{екв}$ :

$$\frac{Q_{оп}}{Q_{екв}} = \frac{Q_{хол}}{Q_{екв}} + 1$$

де  $\frac{Q_{оп}}{Q_{екв}} = \eta_{оп}$  – опалювальний коефіцієнт, тобто коефіцієнт перетворення

витраченої енергії  $Q_{екв}$  в корисну теплову  $Q_{оп}$ ;  $\frac{Q_{хол}}{Q_{екв}} = \eta_{хол}$  – холодильний

коефіцієнт.  $\eta_{оп} = \eta_{хол} + 1$

У теплових насосах коефіцієнт перетворення теплової енергії більше 1:  $\eta_{оп} = 2 \dots 5$ , тобто із 1  $кДж$  виходить 5  $кДж$ . Якщо не враховувати втрат, то

$$\eta_{оп} = \frac{T_{гар}}{T_{гар} - T_{хол}}$$

де  $T_{гар}$  – температура гарячого середовища,  $К$ ;

$T_{хол}$  – температура холодного середовища,  $К$ .

Чим менше різниця двох середовищ, тим вище  $\eta_{оп}$ .

У термоелектричних теплових насосах у якості додаткового джерела енергії використовується електроенергія (джерело постійного струму).

*Додаткова умова:* в основі роботи насоса лежить використання ефекту Пельтьє. Термоелектричний тепловий насос являє собою батарею термоелементів, складених з напівпровідників різної провідності:  $p(+)$  – дірочна

провідність і  $n(-)$  – електронна провідність.

Напівпровідникові елементи поєднуються спаями таким чином, щоб одержати два канали: поглинання тепла з холодного середовища й виділення тепла в більш нагріте середовище.

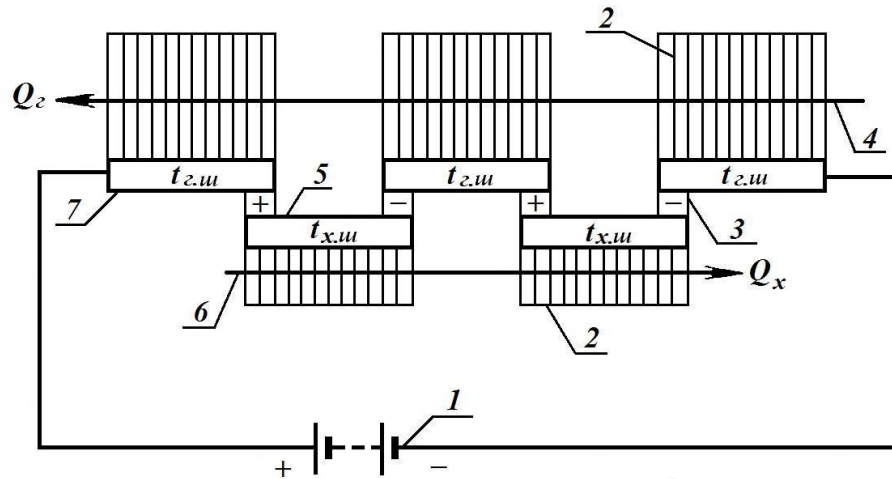


Рис. 10.8 – Термоелектричний тепловий насос: 1 – джерело живлення; 2 – радіатори холодного й гарячого каналів, по яких можна пропустити повітря або воду, використовуючи даний насос для підтримки мікроклімату; 3 – напівпровідниковий елемент; 4 – гарячий канал; 5 – холодні шари (відбувається відбір тепла з менш нагрітого середовища); 6 – холодний канал; 7 – гарячі шари (виділення тепла в середовище більш нагріте)

## 2. Опис установки

Агрегат теплового насоса показаний на рис. 10.1. Він являє собою замкнену герметичну систему, що складається з мотор-компресора 1, двох теплообмінників 8, фільтра-осушувача 6, оглядового скла 5, манометрів 3, вентилів 7, трубопроводів 4, а також містить у собі пускову й захисну автоматичну апаратуру 2. Мотор-компресор хладоновий, призначений для здійснення термодинамічного циклу з метою передачі тепла на більш високий температурний рівень.

Теплообмінники гладкотрубні з конвективним теплообміном поміщені в ємності з водою. Стенд може працювати в діапазоні вимірюваних температур (-55...+125) °С.

Схема парокомпресійного теплового насоса показана на рис. 10.11. У

насосі використовується теплота випару й конденсації хладагенту R134a.

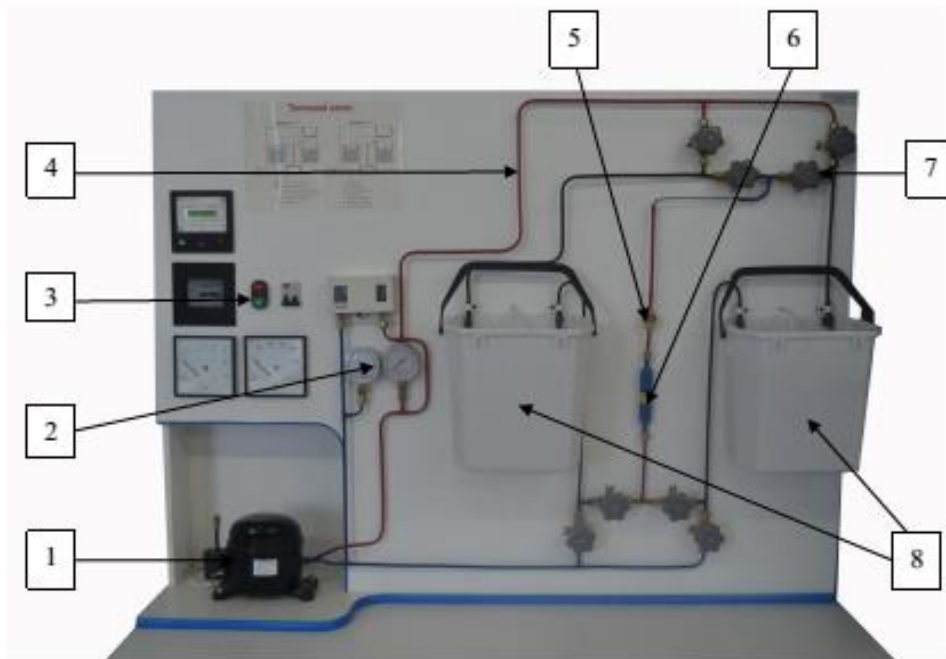


Рис. 10.9 – Загальний вид стенда «Тепловий насос»: 1 – мотор-компресор; 2 – манометри; 3 – пульт керування й захисту; 4 – трубопроводи; 5 - оглядове скло; 6 - фільтр-осушувач; 7 - вентилі; 8 - теплообмінники



Рис. 10.10 – Блок керування й захисту стенда

При більш високому тиску температура конденсації (кипіння) підвищується, і хладагент конденсується при більш високій температурі, чим випаровується. Тому тепловий насос дозволяє передати теплоту від холодного теплоносія до гарячого.

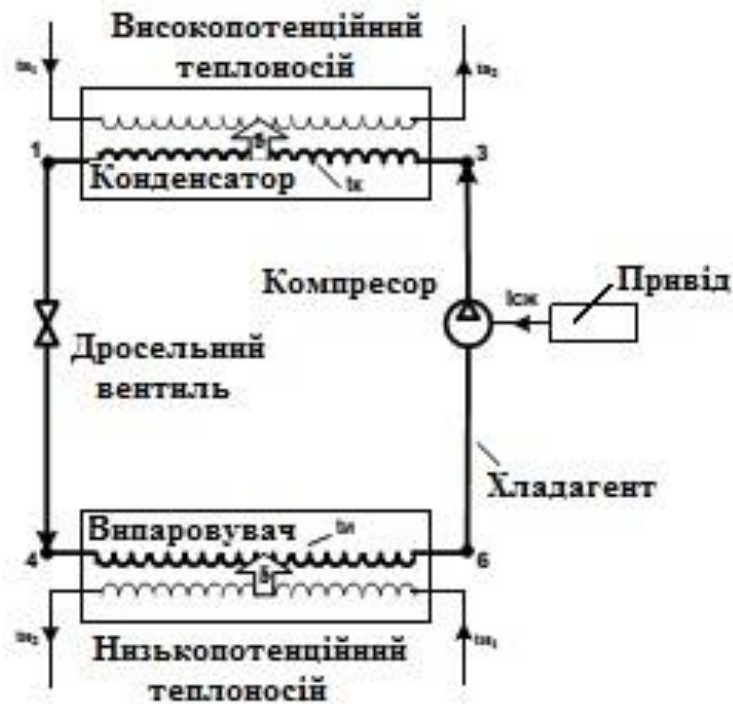


Рис. 10.11 – Схема парокомпресійного теплового насоса

У роботі використовуються два варіанти включення напрямку руху хладагенту, що задаються вентилями (рис. 10.12).

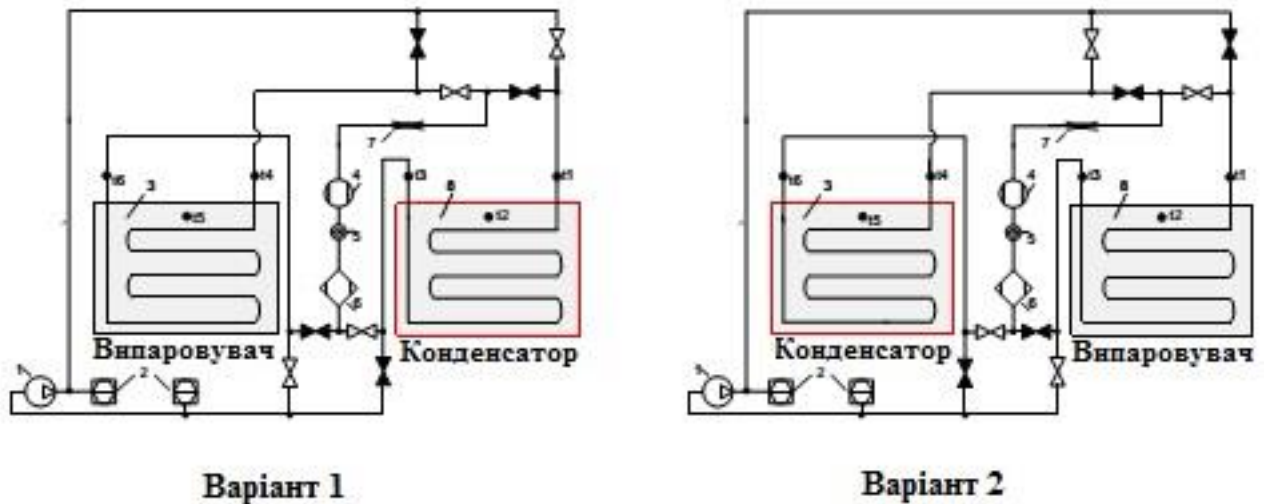


Рис. 10.12 – Гідропневматична схема стенда «Тепловий насос»

Залежно від напрямку руху хладагенту, що задається вентилями 7, один з теплообмінників може бути або конденсатором, або випаровувачем. Фільтр-осушувач 6 здійснює очищення хладагенту від механічних домішок і вологи, а оглядові стекла дозволяють візуально контролювати агрегатний стан фреону й наявність або відсутність у ньому вологи.

Манометри 3 високого й низького тиску дозволяють вимірювати тиск у двох точках гідропневматичної системи стенда.

Усі електричні прилади й деталі холодильного агрегату закріплені на лицьовій стороні стійки, або усередині неї. Електродвигун компресора однофазний двополюсний асинхронний. Керування пусковою обмоткою здійснює пускове реле, з'єднане в один блок із захисним реле й установлене на кожусі компресора.

### 3. Порядок виконання роботи

1. Включити стенд у мережу, підняти до клацання вгору важілець автомата захисного відключення 13.
2. Відкрити вентилі відповідно до першого варіанта руху хладагенту за схемою рис. 10.11.
3. За допомогою кнопки «ПУСК» запустити компресор.

4. Нажати вимикач вимірника температури. Через 2...3 с самотестування на крайньому лівому знакомісці індикатора з'являється цифра «1» (номер каналу, підключеного до індикації), а в правій частині індикатора - значення вимірюваної величини.

5. Записати значення температур  $t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6$  низькопотенційного й високопотенційного теплоносія на вході й виході в тепловий насос. Виміри проводити протягом 60 хвилин з інтервалом в 5 хвилин.

6. Дані вимірів занести в табл. 10.12.

7. Не міняючи воду в посудинах, закрити вентилі варіанта 1, відключити стенд.

8. Побудувати залежність  $t^\circ = f(T)$ , оформити звіт по виконаній роботі.

Таблиця 10.1 – Залежність  $t^\circ = f(T)$ , варіант 1

Час, хв.	$t_1, ^\circ\text{C}$	$t_2, ^\circ\text{C}$	$t_3, ^\circ\text{C}$	$t_4, ^\circ\text{C}$	$t_5, ^\circ\text{C}$	$t_6, ^\circ\text{C}$
0						
5	-					
10	-					
15	-					
...	-					
60	-					

#### 4. Зміст звіту

1. Назва, ціль роботи.
2. Схема дослідження теплового насоса 1.
3. Таблиця з дослідними даними.
4. Залежність  $t^\circ = f(T)$ , виводи по роботі.

## **ЛАБОРАТОРНО-ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №11**

### **МОДЕЛЮВАННЯ ГЕОТЕРМАЛЬНОЇ ЕНЕРГОСИСТЕМИ ДЛЯ ОПАЛЕННЯ БУДІВЕЛЬ**

**Мета заняття:** Навчитися моделювати геотермальну енергосистему для забезпечення опалення будівлі з урахуванням теплових потреб та параметрів ґрунту.

#### **Завдання:**

1. Визначити, який тип геотермального теплообмінника (горизонтальний, вертикальний або у водоймі) краще підходить для конкретної ділянки.
2. За заданою площею будівлі обрати відповідну потужність геотермального теплового насоса.
3. Намалювати схему простої геотермальної системи для опалення будинку.

#### **Теоретичні відомості**

На відміну від повітря, температура в надрах Землі змінюється дуже незначно протягом року й майже не залежить від географічного положення. Вже на глибині кількох метрів температура ґрунту стабільна й коливається в межах від 10 до 21 °С (50–70 °F) залежно від регіону. Чим глибше ми копаємо, тим вища температура: вона підвищується приблизно на 20–40 °С на кожен кілометр і сягає до 5000 °С у ядрі планети.

Усвідомлення того, що ми живемо на кулі, яка обертається в космосі з розпеченим центром, може викликати тривожні думки. Проте важливо знати, що енергію, накопичену під час формування Землі, вже сьогодні використовують у деяких країнах для сталого та ефективного виробництва електроенергії.

Крім того, стабільну температуру на невеликій глибині можна застосовувати для регулювання мікроклімату в будівлях – як у спекотному, так і в холодному кліматі. Геотермальні джерела – яскравий приклад того, як людство може ефективно використовувати різницю температур у надрах Землі.

## Як працюють геотермальні теплові насоси

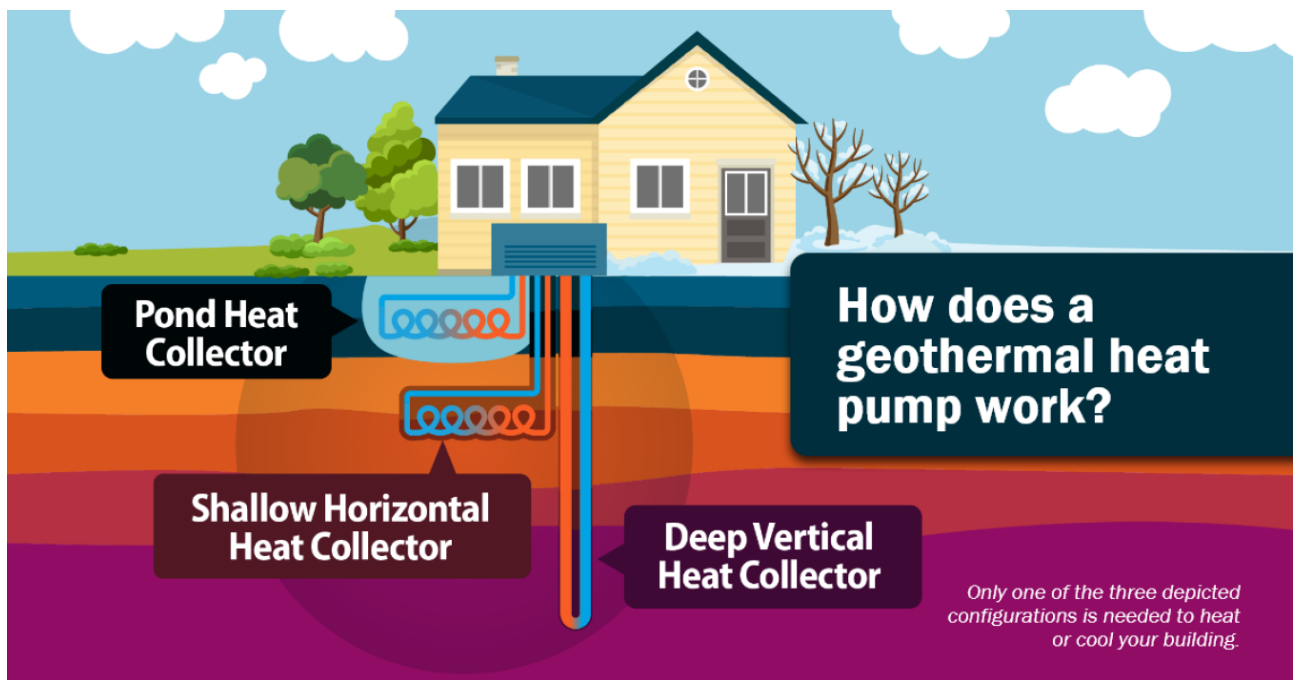
Геотермальний тепловий насос переносить тепло з одного місця в інше за допомогою теплообмінника.

У літній період він забирає надлишкове тепло з будівлі та відводить його в землю, забезпечуючи охолодження.

Взимку ж навпаки – насос отримує тепло з ґрунту та передає його в будинок для обігріву.

Встановлення геотермального теплового насоса може стати одним із найефективніших і найдешевших варіантів для опалення й охолодження житла. Така система особливо вигідна при будівництві нового будинку або під час капітального ремонту, наприклад, при заміні старої системи опалення та кондиціонування.

### Як працює геотермальний тепловий насос



Ця схема, яка показує три можливі типи геотермальних теплових колекторів, які використовуються для обігріву або охолодження будівлі:

### **Pond Heat Collector (Прудовий колектор):**

Геотермальні труби розміщуються в ставку або іншій водоймі. Використовується температура води для передачі тепла системі.

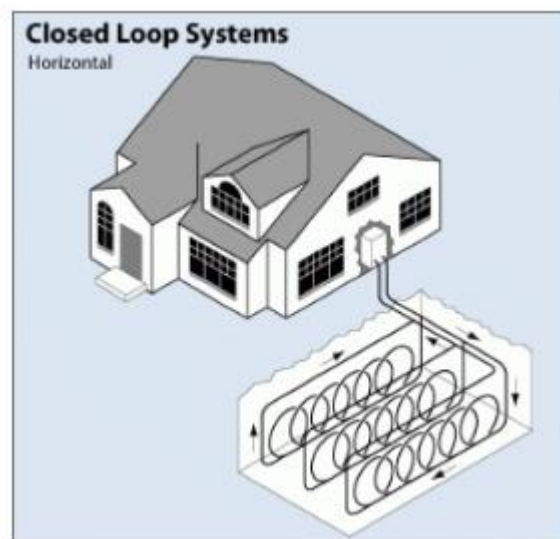
### **Shallow Horizontal Heat Collector (Горизонтальний колектор):**

Труби розміщуються на невеликій глибині горизонтально під землею. Застосовується в місцевостях з достатньою площею земельної ділянки.

### **Deep Vertical Heat Collector (Вертикальний колектор):**

Труби буряться глибоко вертикально в землю. Підходить для ділянок з обмеженою площею, але де можливо буріння.

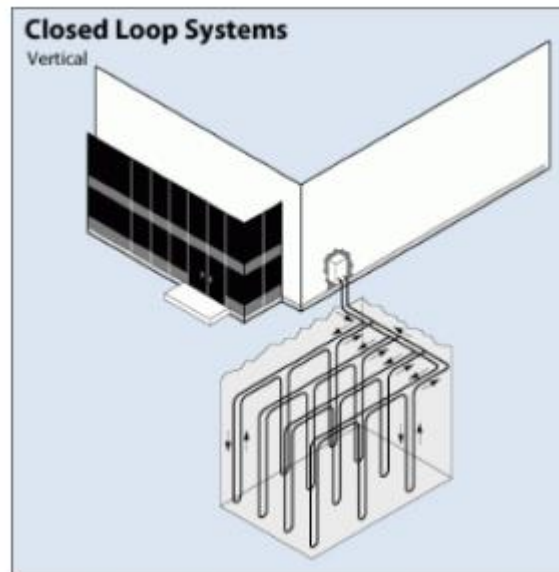
*Використовується лише одна з конфігурацій* для роботи системи. Тепло від землі передається в будівлю через тепловий насос, який може як нагрівати, так і охолоджувати приміщення.



### **Горизонтальна система**

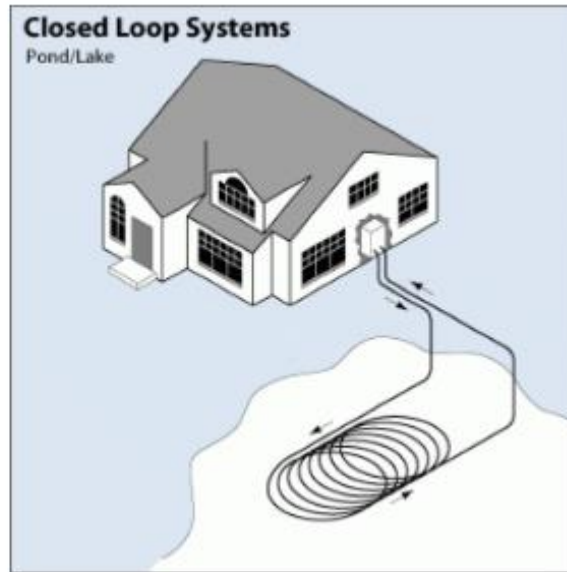
Зазвичай використовуються дві труби: одна закопується на глибину

близько 1,8 метра, інша — на 1,2 метра. Також можливе укладання обох труб паралельно на глибині приблизно 1,5 метра в траншеї шириною 0,6 метра. Глибина траншей повинна бути не меншою за 1,2 метра. Такий варіант зазвичай є найекономічнішим для приватних будинків, особливо під час нового будівництва, коли є достатньо вільної ділянки.



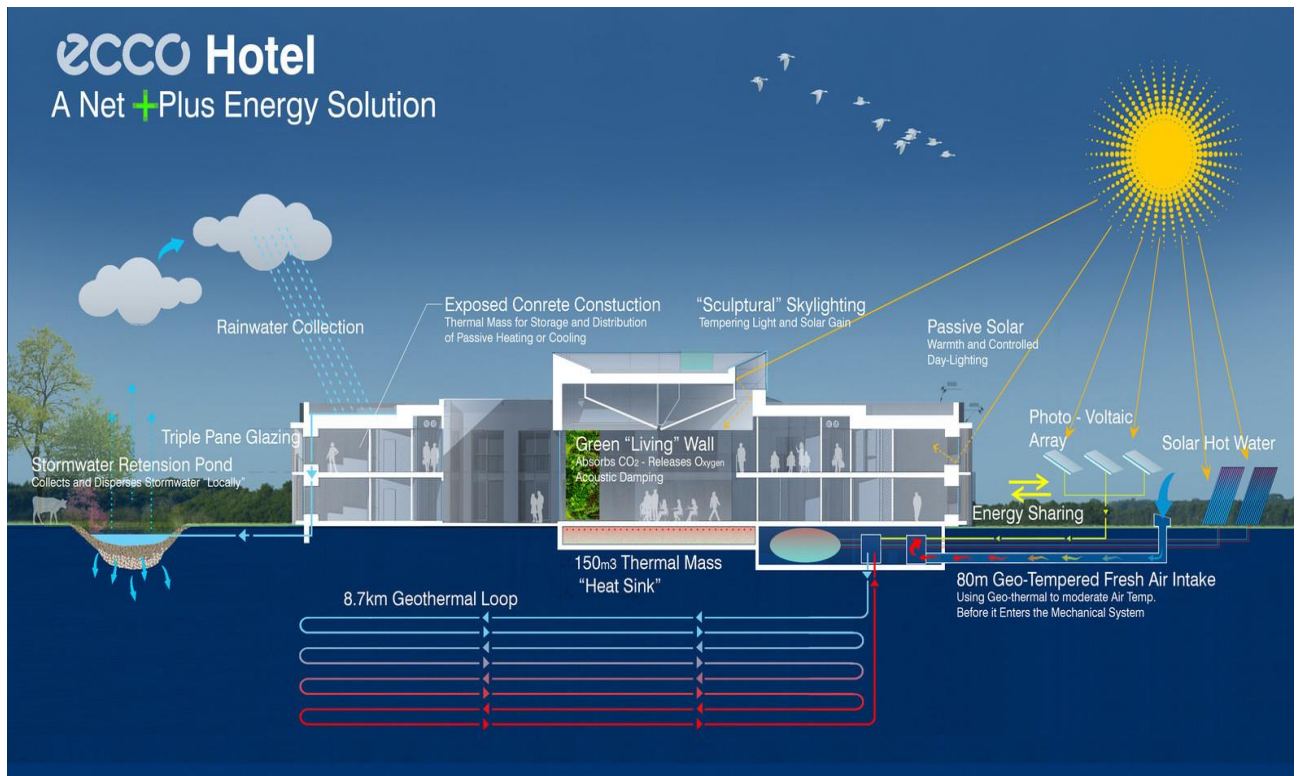
### **Вертикальна система**

Свердяться отвори діаметром близько 10 см, розташовані на відстані 6 метрів один від одного, глибиною від 30 до 120 метрів. У кожен отвір вставляються дві труби, які з'єднуються внизу U-подібним з'єднанням, утворюючи замкнуту петлю. Такий тип системи зазвичай застосовується для великих будівель, шкіл або інших об'єктів, де неможливо розмістити горизонтальні петлі через обмежену площу.



### Водоймище (ставок/озеро)

Якщо на ділянці є водойма, яка відповідає вимогам щодо об'єму, глибини та якості води, теплова енергія обмінюється безпосередньо з водою, а не з ґрунтом. Труба подачі прокладається під землею від будівлі до водойми, де укладається у вигляді спіралі. У холодному кліматі ці труби розміщують на глибині щонайменше 2,5 метра, щоб уникнути замерзання.



Це приклад високотехнологічного будинку/готелю, який генерує більше енергії, ніж споживає: **8.7 км геотермальний контур** – довгі труби під землею обмінюються теплом із ґрунтом. **150м<sup>3</sup> теплова маса ("heat sink")** – накопичує тепло або холод для подальшого використання. **Stormwater Retention Pond** – ставок для збору дощової води, яка використовується повторно. **Rainwater Collection** – система збору дощової води для внутрішніх потреб. **Triple Pane Glazing** – енергоефективне скління. **Green Living Wall** – "зелена" стіна абсорбує CO<sub>2</sub>, випускає кисень, поліпшує акустику. **Photo-voltaic Array** – сонячні панелі для генерації електроенергії. **Solar Hot Water** – сонячні колектори для підігріву води. **Geo-tempered Fresh Air Intake** – попередньо охолоджене або підігріте повітря перед подачею в систему вентиляції.

## ЛАБОРАТОРНО-ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №12

### ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ ЕНЕРГІЇ НА ГЕС

**Мета заняття:** вивчити методику розрахунку потужності гідроелектростанції згідно енергетичному потенціалу річки.

Рівень води в річках змінний. Вони стікають у Світовий океан, і рівень води в верхів'ях річок вище, ніж в низов'ях. Якщо деякий перетин річки (створ) перегородити греблею, то напір (перепад рівнів) зосередиться в створі греблі. Статистичний тиск  $H$  - це різниця відміток рівнів верхнього і нижнього б'єфів:

$$H = H_g - H_n . \quad (12.1)$$

Відповідно потужність потоку  $N$ , що скидається з верхнього б'єфу в нижній, дорівнює:

$$N = cgQH \quad (12.2)$$

де  $c$  – щільність води ( $1000 \text{ кг / м}^3$ );

$g$  – прискорення вільного падіння ( $\text{м / с}^2$ );

$cg$  – питома вага води, що дорівнює  $9,81 \text{ кН / м}^3$ ;

$Q$  – витрата води ( $\text{м}^3 / \text{с}$ ).

Повна енергія води, що скидається

$$E = N t \quad (12.3)$$

де  $t$  – час, с.

Запропонована схема розрахунку енергетичного потенціалу річки, потужності і вироблення енергії ГЕС в деякому створі з витратою  $Q$  і напором  $H$  досить проста. Реальні розрахунки дещо складніше, так як:

– не весь тиск річки вдається використовувати для отримання електричної енергії, частина напору втрачається при русі води від водозабору до турбіни;

– частина енергії втрачається в гідроагрегат, турбіна і генератор мають свій ККД (коефіцієнт корисної дії);

– не всю витрату річки вдається пропустити через турбіни, в період великої проточності (високих паводків і повеней) частину води не вдається утримати і пропустити через турбіни, оскільки ємність водосховища обмежена, і частину води доводиться скидати вхолосту.

З урахуванням вищесказаного більш точна формула підрахунку потужності всіх встановлених на ГЕС гідроагрегатів має вигляд:

$$N = cgQ_a H \eta_g \eta_t m \quad (12.4)$$

де  $\eta_g \eta_t$  – коефіцієнти корисної дії генератора та турбіни відповідно;  $Q_a$  – розхід води, яка проходить через одну турбіну (агрегат);  $m$  – кількість гідроагрегатів.

Якщо про розрахунок за формулами (12.2), (12.3) час вимірювати в секундах (с), масу – в кілограмах (кг), об'єм – в метрах кубічних (м<sup>3</sup>), то потужність отримуємо в ватах, а вироблення енергії – в кіловат-часах (1 кВт·ч =  $3,6 \cdot 10^6$  Дж).

### Завдання для самостійного рішення

**Завдання 1.** Визначити енергію падаючої води для ГЕС, якщо позначки верхнього і нижнього б'єфів складають 240 і 145 метрів відповідно, а обсяг скидання води за рік -  $80 \text{ км}^3$ .

**Завдання 2.** Визначити енергію падаючої води для ГЕС, якщо статистичний напір становить 65 метрів, а обсяг скидання води за рік -  $54 \text{ км}^3$ .

**Завдання 3.** Потужність потоку води, що скидається з верхнього б'єфу, становить  $1,47 * 10^5 \text{ кВт}$  при обсязі води, що скидається за рік  $80 \text{ км}^3$ . Визначити статичний напір, необхідний для створення заданої потужності потоку води.

**Завдання 4.** Визначити витрату води, що проходить через станцію, якщо відмітка верхнього б'єфу складає 148 м, відмітка нижнього б'єфу - 83 м. Потужність потоку води  $950 * 10^5 \text{ кВт}$ .

**Завдання 5.** Визначити потужність працює ГЕС в одиницю часу, якщо витрата води, що проходить через одну турбіну за рік, становить  $6,5 \text{ км}^3$ , число гідроагрегатів, що працюють на станції, 12, ККД гідрогенератора і турбіни становлять 0,99 і 0,98 відповідно, а статистичний напір 50 м.

**Завдання 6.** У багатоводний рік обсяг скинутої води за рік склав  $132 \text{ км}^3$ , при тому що  $115 \text{ км}^3$  пройшло через гідроагрегати, а решта вода була скинута «вхолосту». Визначити енергію скинутої води «вхолосту», якщо водозлив здійснювався два місяці.

## ЛАБОРАТОРНО-ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №13

### РОЗРАХУНОК ЕНЕРГІЇ БІОМАСИ

Біомаса як похідна енергії Сонця в хімічній формі є одним з найбільш популярних і універсальних ресурсів на Землі. При розгляді енергетичного потенціалу до біомаси відносять всі форми матеріалів рослинного походження, які можуть бути використані для одержання енергії: деревину, трав'яні та зернові культури, відходи лісового господарства та тваринництва тощо. Теплотворна здатність сухої біомаси становить близько 14 МДж/кг. У момент утворення (збирання врожаю) біомаса містить велику кількість води, від 8 до 20% у пшеничній соломі, 30 – 60 % у деревині, до 75 – 90 % у гною сільськогосподарських тварин та 95 % у водному гіацинті. У процесі переробки біомаси за рахунок бродіння виділяється біогаз, який є цінним, екологічно чистим паливом. Вихід біогазу залежить від вмісту сухої речовини та виду використовуваної сировини. З тони гною великої рогатої худоби виходить 40 – 50 м<sup>3</sup> біологічного газу із вмістом метану 60 %. Енергія, укладена в 1 біогазу еквівалентна 0,6 природного газу, 0,74 нафти та 0,66 л дизельного палива. У розрахунках використовують поняття сухої речовини (СР). Вода, що міститься в біомасі, не дає газу. Виробництво біогазу відбувається за допомогою спеціальних пристроїв – біогазових установок (БГУ). Основними компонентами БГУ є: метантенк (реактор), газгольдер, система завантаження, система вивантаження, змішувальна ємність та випускний газопровід.

Розрізняють 3 рівня бродіння: низький (до 20 °С) – психрофільне бродіння; середній (32–34 °С) – мезофільне бродіння та високий (52–55 °С) – термофільне бродіння. Чим вище температура, тим краще йде процес бродіння, проте значно зростають витрати на підігрів.

**Завдання 13.1.** Розрахувати обсяг біогазової установки для фермерського господарства та вихід біогазу при зброджуванні гною від тварин. Процес бродіння – мезофільний, завантаження біомаси – із приміщення з температурою

$t_{НС} = 15 \text{ }^\circ\text{C}$ . Визначити потенційний запас енергії біогазу та кількість теплоти для підтримки процесу бродіння біомаси у метантенку. Визначити, який обсяг природного газу, нафти та дизельного палива може замінити отриманий обсяг біогазу. Вихідні дані для розрахунку за варіантами взяти у табл. 13.1.

Таблиця 13.1 – Вихідні дані для вирішення задачі 13.1.

№ варіанту	0		1		2		3		4	
Вид тварин	корови	бики	свині	корови	телята	свині	бики	телята	корови	телята
Кількість голів, $n$	30	10	30	20	40	25	10	20	20	15
№ варіанту	5		6		7		8		9	
Вид тварин	бики	свині	кури	свині	бики	корови	кури	бики	гуси	свині
Кількість голів, $n$	20	30	150	50	20	20	250	10	50	50

### Методика розрахунку

1. Визначається вихід гною від кожного виду тварин з урахуванням підстилки:

$$K_{Pi} = 1,5 \cdot M_{доб_i} \cdot n, \quad \frac{\text{кг}}{\text{сут}}, \quad (13.1)$$

де 1,5 – коефіцієнт, що враховує наявність підстилки;  $M_{доб_i}$  – добовий вихід гною залежно від виду тварин, кг/добу (табл. 13.2);  $n$  – кількість голів.

Таблиця 13.2 – Вихідні дані для розрахунку біогазових установок

Вид тварин	Вологість гною, $W$ , о.	Рекомен. обсяг завант. тр. кг/м <sup>3</sup>	Частка СОВ у сухій речовині гною, $P$	Добовий вихід гною на добу на одну голову, $M_{\text{доб}}$ ,	Трив. бродіння, $T$ , добу	Частка виходу біогазу, тБ
Бики	0,85 – 0,9	4,5	0,77 -	40	18	0,4
Корови	0,85 – 0,9	6,0	0,77 -	40	17	0,4
Свині	0,88 – 0,92	3,0	0,77 -	2,0	12	0,5
Телята	0,86 – 0,9	5,0	0,77 -	10	16	0,48
Кури	0,73 – 0,76	1,5	0,76 -	0,2	30	0,55
Гуси	0,72 - 0,75	2,0	0,75 -	0,58	40	0,56
Качки	0,72 - 0,75	1,7	0,75 -	0,42	40	0,55

2. Визначається сумарна частка сухої речовини (СР) у гною. Для кожного виду тварин вона дорівнює:

$$M_{CB_i} = K_{Pi} (1 - W), \text{ кг/доб}, \quad (13.2)$$

де  $W$  – вологість гною (табл. 1.2).

3. Визначається обсяг метантенка БГУ при використанні гною відповідного виду тварин на добу:

$$V_M = \frac{M_{CB\Sigma}}{m_p}, \text{ м}^3 / \text{добу} \quad (13.3)$$

де  $m_p$  – рекомендований обсяг завантаження СР на м<sup>3</sup> метантенка, кг/ м<sup>3</sup>

(з табл. 2.2 береться більше значення для заданого виду тварин).

4. Частка сухої органічної речовини (COP) у гною для кожного виду тварин:

$$M_{COP_i} = M_{CP_i} \cdot P, \text{ кг / добу} \quad (13.4)$$

де  $P$  – частка COP у сухій речовині гною (табл. 13.2).

5. Вихід біогазу при повному розкладанні сухої органічної речовини:

$$V_{Pi} = m_H \cdot M_{COP_i}, \text{ м}^3 \quad (13.5)$$

де  $m_H$  – вихід біогазу з 1 кг COP у гною, приймається рівним 0,315–0,415 /кг.

6. Сумарний вихід біогазу при зброджуванні біомаси для цього обсягу метантенка визначається:

$$V_B = \sum (V_{Pi} \cdot m_{B_i}), \text{ м}^3 \quad (13.6)$$

де  $m_{B_i}$  – частка виходу біогазу відхідного матеріалу при даній тривалості метанового бродіння (табл. 13.2).

7. Визначається обсяг метантенка при повному завантаженні:

$$V_{П.з} = \frac{K_{П\Sigma} \cdot T}{\rho_H}, \text{ м}^3 \quad (13.7)$$

де  $K_{П\Sigma}$  – сумарне значення для всіх видів тварин;  $T$  – тривалість бродіння, доб (береться найбільше з видів тварин);  $\rho_H$  – питома щільність маси, що зброджується. Тобто, вологість гною зазвичай близька до 90%, приймають рівною = 1000 кг/м<sup>3</sup>.

8. Перевіряється відповідність обсягу метантенка його повному завантаженню:

– якщо  $V_{П.з} < V_M$ , отже, частина метантенка використовуватися не буде, що економічно не вигідно.

– при  $V_{П.з} = V_M$  може виникнути проблема через забивання каналу збору біогазу піною.

Рекомендоване співвідношення  $V_{П.з}/V_M = 0,7 \dots 0,9$ .

9. Потенційний запас енергії біогазу, що виробляється протягом доби:

$$V_E = V_B \cdot C_B, \text{ МДж} \quad (13.8)$$

де  $C_B = 22 \text{ МДж/м}^3$  – теплотворна здатність біогазу.

10. Визначається кількість теплоти для підтримання режиму бродіння біомаси:

$$Q = K_{П\Sigma} \cdot C(t_B - t_s) \frac{1}{\eta}, \text{ МДж/добу} \quad (13.9)$$

де  $K_{П\Sigma}$  – сумарний вихід гною від усіх видів тварин, кг/добу;  $C$  – середня теплоємність завантаженої біомаси, приймається рівною  $4,18 \cdot 10^{-3}$ , МДж/кг · К;  $t_B$  – температура процесу бродіння, °К;  $t_s$  – температура маси, що завантажується, приймається рівною температурі навколишнього середовища, °К,  $\eta$  – ККД процесу, у розрахунках приймається рівним 0,7.

Визначити, який обсяг природного газу, нафти та дизельного палива може замінити отриманий обсяг біогазу.

### Приклад розрахунку

Вихідні дані:

Вид тварин: корови – 20 гол.; свині – 10 гол.

1. Вихід гною з урахуванням підстилки:

– для корів:

$$K_{П_1} = 1,5 \cdot M_{\text{доб}_1} \cdot n = 1,5 \cdot 40 \cdot 20 = 1200 \frac{\text{КГ}}{\text{СУТ}},$$

– для свиней:

$$K_{П_2} = 1,5 \cdot M_{\text{доб}_2} \cdot n = 1,5 \cdot 2 \cdot 10 = 30 \frac{\text{КГ}}{\text{СУТ}},$$

## 2. Сумарна частка сухої речовини

– у гною корів:

$$M_{\text{СВ}_1} = K_{П_1} (1 - W) = 1200(1 - 0,87) = 156 \text{ КГ/доб},$$

– у гною свиней:

$$M_{\text{СВ}_2} = K_{П_2} (1 - W) = 30(1 - 0,9) = 3 \text{ КГ/доб},$$

## 3. Об'єм метантенка БГУ для двох видів тварин:

$$V_M = \frac{M_{\text{СВ}\Sigma}}{m_p} = \frac{159}{6} = 26,5 \text{ м}^3 / \text{добу}$$

## 4. Частка СОР у гною

– для корів:

$$M_{\text{СОР}_1} = M_{\text{СР}_1} \cdot P = 156 \cdot 0,8 = 124,8 \text{ КГ / добу}$$

– для свиней:

$$M_{\text{СОР}_2} = M_{\text{СР}_2} \cdot P = 3 \cdot 0,8 = 2,4 \text{ КГ / добу}$$

## 5. Вихід біогазу при повному розкладанні сухої органічної речовини

– для корів:

$$V_{П_1} = m_H \cdot M_{\text{СОР}_1} = 0,365 \cdot 124,8 = 45,55 \text{ м}^3$$

– для свиней:

$$V_{П_2} = m_H \cdot M_{\text{СОР}_2} = 0,365 \cdot 2,4 = 0,87 \text{ м}^3$$

## 6. Сумарний вихід біогазу при зброджуванні:

$$V_B = \sum (V_{П_i} \cdot m_{B_i}) = 45,55 \cdot 0,4 + 0,87 \cdot 0,5 = 18,65 \text{ м}^3$$

## 7. Об'єм метантенка при повному завантаженні:

$$V_{П.з} = \frac{K_{П\Sigma} \cdot T}{\rho_H} = \frac{(1200 + 30) \cdot 17}{1000} = 20,9 \text{ м}^3$$

$$\frac{V_{П.з}}{V_M} = \frac{20,9}{26,5} = 0,79$$

8. Співвідношення, що відповідає рекомендованому завантаженню метантенка.

9. Потенційний запас енергії біогазу, що виробляється протягом доби:

$$V_E = V_{Б\Sigma} \cdot C_B = 18,65 \cdot 22 = 410,3 \text{ МДж}$$

10. Кількість теплоти для підтримки режиму бродіння біомаси:

$$Q = K_{П\Sigma} \cdot C(t_B - t_3) \frac{1}{\eta} = 1230 \cdot 4,18 \cdot 10^{-3} (305 - 288) \cdot 1,4 = 122,4 \text{ МДж/добу}$$

11. Еквівалент отриманого обсягу біогазу іншим видам палива:

$$V_B = 18,65 \text{ м}^3 \approx 11,2 \text{ м}^3 \text{ – природного газу;}$$

$$V_B = 18,65 \text{ м}^3 \approx 13,8 \text{ м}^3 \text{ – нафти;}$$

$$V_B = 18,65 \text{ м}^3 \approx 12,3 \text{ л – дизельного палива.}$$

## **ЛАБОРАТОРНО-ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №14**

### **МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ АВТОНОМНОГО**

### **ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ГІБРИДНИХ ДЖЕРЕЛ**

### **ЕНЕРГІЇ**

**Мета заняття:** Розробити модель автономної енергетичної системи з використанням гібридних джерел енергії для забезпечення сталого електропостачання в умовах віддаленого району.

**Завдання:**

1. Розрахувати добове споживання електричної енергії для заданого приватного будинку
2. Встановити необхідну потужність джерел відновлюваної енергії

#### **Теоретичні відомості**

Автономна система енергозабезпечення, побудована на основі гібридних джерел, – це інженерне рішення, яке відповідає конкретній потребі: забезпечити безперервне живлення об'єкта там, де централізованої мережі немає або вона нестабільна. У її основі – поєднання сонячної та вітрової генерації, що працюють на відновлюваних ресурсах, із резервним дизельним генератором, який активується лише за умови тривалого дефіциту енергії.

Щоб система працювала надійно, перший крок – точно знати, скільки енергії потрібно будинку впродовж доби. Це не умовна цифра, а конкретна сума споживання всіх пристроїв – від холодильника до системи опалення. Добовий обсяг споживання задає масштаб всієї системи: він визначає, скільки потрібно генерувати і скільки накопичувати. При розрахунку варто враховувати не лише середні значення, а й сезонні піки – наприклад, зростання навантаження взимку або падіння генерації в похмурі дні.

Джерела енергії – сонячні панелі та вітрогенератори – оцінюються з урахуванням кліматичних характеристик місцевості: кількості сонячних днів, середньої швидкості вітру, тривалості світлового дня. Їхня потужність має бути

достатньою, щоб у сприятливих умовах не лише забезпечити поточне споживання, а й зарядити акумулятори на періоди без генерації. Це вимагає запасу за потужністю, особливо якщо планується автономна робота без участі генератора.

Акумулятори – це буфер, який утримує систему від зриву в моменти, коли сонце і вітер не працюють. Розрахунок їх кількості виходячи з реального добового споживання і тривалості автономії. Також важливо врахувати глибину розряду батарей – більшість типів не можна розряджати повністю без втрати ресурсу.

Додавати до системи дизельний генератор чи ні – не риторичне питання. У деяких випадках без нього система або стане надто дорогою через великий обсяг акумуляторів, або не впорається в пікові періоди. Генератор дозволяє скоротити обсяг накопичення, але додає витрати на паливо, потребує регулярного обслуговування і створює шум. Його присутність – це рішення, яке ухвалюється на основі конкретного сценарію використання.

Побудова такої системи – це не набір компонентів за каталогом, а точне проектування, яке враховує режим споживання, клімат, графік навантажень і технічні обмеження кожного елемента. Саме тому в цьому процесі важлива не лише математика, а й критичне розуміння того, як система працює в динаміці, не в ідеальних, а в реальних умовах.

## **1. Розрахувати добове споживання електричної енергії для заданого приватного будинку**

### **Приклад розрахунку**

*Вихідні дані для кожного варіанта та інша додаткова інформація наведена наприкінці.*

*м. Харків*

*Потужність сонячних батарей 400 Вт*

Площа опльованого приміщення 25 м<sup>2</sup>

Прилад	Споживання електроенергії
Світлодіодні лампи	7 шт × 10 Вт × 4 год/день = 0.28 кВт·год
Прожектор	Є, 50 Вт × 2 год/день = 0.10 кВт·год
Пральна машина	Клас В, ≈1.9 кВт·год × 3/7 ≈ 0.81 кВт·год
Холодильник	Клас А+++ , 0.41 кВт·год/день
Індукційна плита	2 кВт × 1 год/день = 2.00 кВт·год
Телевізор	100 Вт × 3 год/день = 0.30 кВт·год
Бойлер	1.5 кВт × 2 год/день = 3.00 кВт·год
Насосна станція	800 Вт × 1 год/день = 0.80 кВт·год
Мікрохвильова піч	1000 Вт × 1 год/день = 1.00 кВт·год
Ноутбук	45 Вт × 5 год/день = 0.225 кВт·год
Тепла підлога	25 м <sup>2</sup> × 25 Вт/м <sup>2</sup> × 5 год = 3.13 кВт·год
Інші дрібні споживачі	120 Вт × 2 год = 0.24 кВт·год

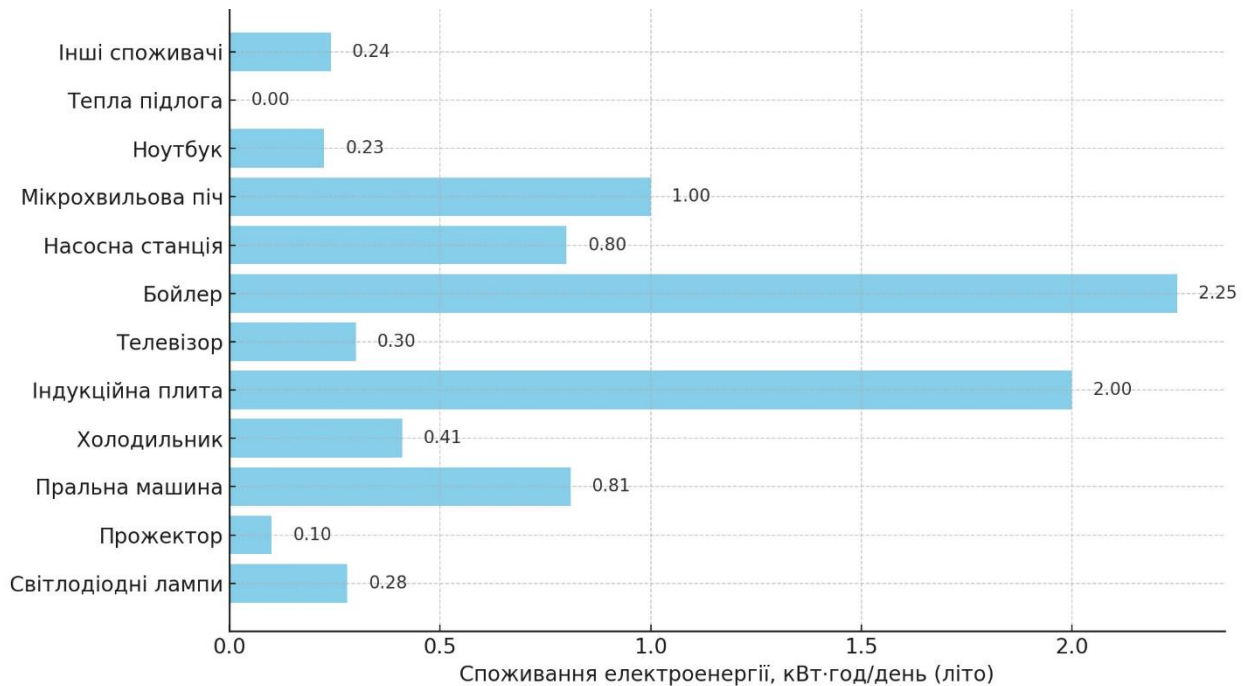
Графік експлуатації пристроїв упродовж доби

Пристрій	Час роботи
Світлодіодна лампа	Взимку — 6 годин, влітку — 4 години
Прожектор	3 години на день
Пральна машина	2 години на одне прання, в середньому 3 рази на тиждень
Тепла підлога	Взимку — 8 годин, восени/весною — 4 години
Ноутбук	6 годин на день
Мікрохвильова піч	1 година на день
Насосна станція	1 година на день
Бойлер	3 години при максимальній потужності
Телевізор	4 години на день
Індукційна плита	1,5 години на день
Холодильник	Постійно, але з перервами

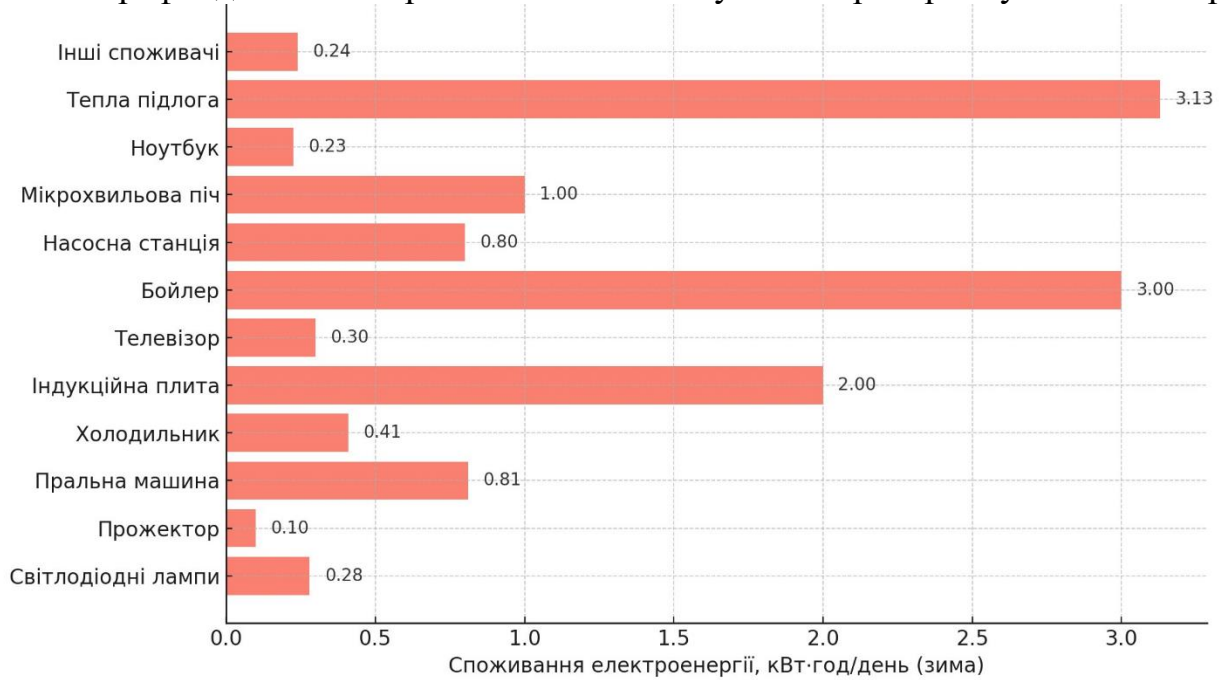
## Споживана потужність побутових пристроїв

Пристрій	Потужність
Світлодіодна лампа	10 Вт кожна лампа
Прожектор	30 Вт
Пральна машина	Залежить від класу енергоефективності
Тепла підлога(як додатковий засіб опалення)	Залежить від пори року: – Взимку: 25 Вт/м <sup>2</sup> ·год – Осінь/весна: 15 Вт/м <sup>2</sup> ·год
Ноутбук	В залежності від варіанту
Мікрохвильова піч	800 Вт
Насосна станція	900 Вт
Бойлер	1,5 кВт
Телевізор	80 Вт
Індукційна плита	2 кВт
Холодильник	Залежить від класу енергоефективності
Інші дрібні споживачі	До 120 Вт

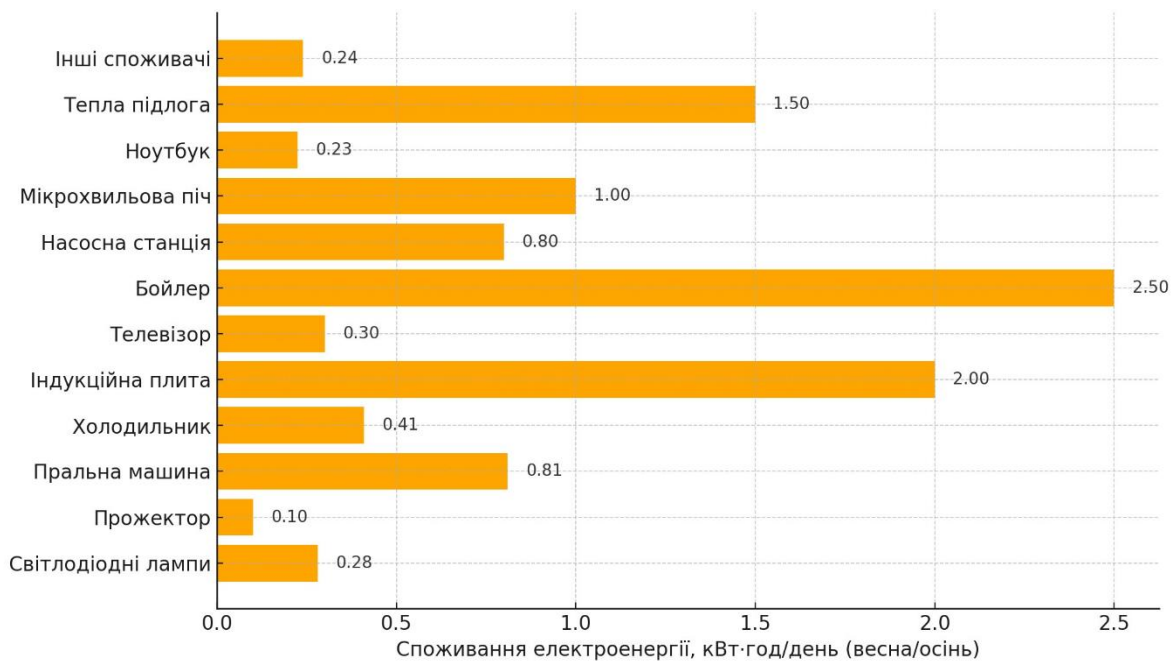
Графік денного енергоспоживання побутових пристроїв у літній період



Графік денного енергоспоживання побутових пристроїв у зимовий період



Графік денного енергоспоживання побутових пристроїв у весняно/осінній період



### Загальне добове споживання влітку

Добове споживання:

9.4 кВт·год

Місячне (червень, липень, серпень)

Пора року	Добове споживання (кВт·год)	Місячне споживання (кВт·год)	Сезонне (3 міс) (кВт·год)
Зима	12.38	371.4	1 114.2
Весна	10.18	305.4	916.2*
Літо	9.455	283.7	851.1
Осінь	10.18	305.4	916.2*

$$9.4 \times 30 = 283.6 \text{ кВт}\cdot\text{год}$$

Сезонне (3 міс.):

$$283.6 \times 3 = 850 \text{ кВт}\cdot\text{год}$$

### Загальне добове споживання взимку

Добове споживання:

$$12.38 \text{ кВт}\cdot\text{год}$$

Місячне (грудень, січень, лютий):

$$12.38 \times 30 = 371.4 \text{ кВт}\cdot\text{год}$$

Зимове (3 міс.):

$$371.4 \times 3 = 1\,114.2 \text{ кВт}\cdot\text{год}$$

### Загальне добове споживання навесні/восени:

Добове споживання:

$$10.18 \text{ кВт}\cdot\text{год}$$

Місячне (березень, квітень, травень, вересень, жовтень, листопад):

$$10.18 \times 30 = 305 \text{ кВт}\cdot\text{год}$$

Сезонне (2х3=6):

$$305 \times 6 = 1832 \text{ кВт}\cdot\text{год}$$

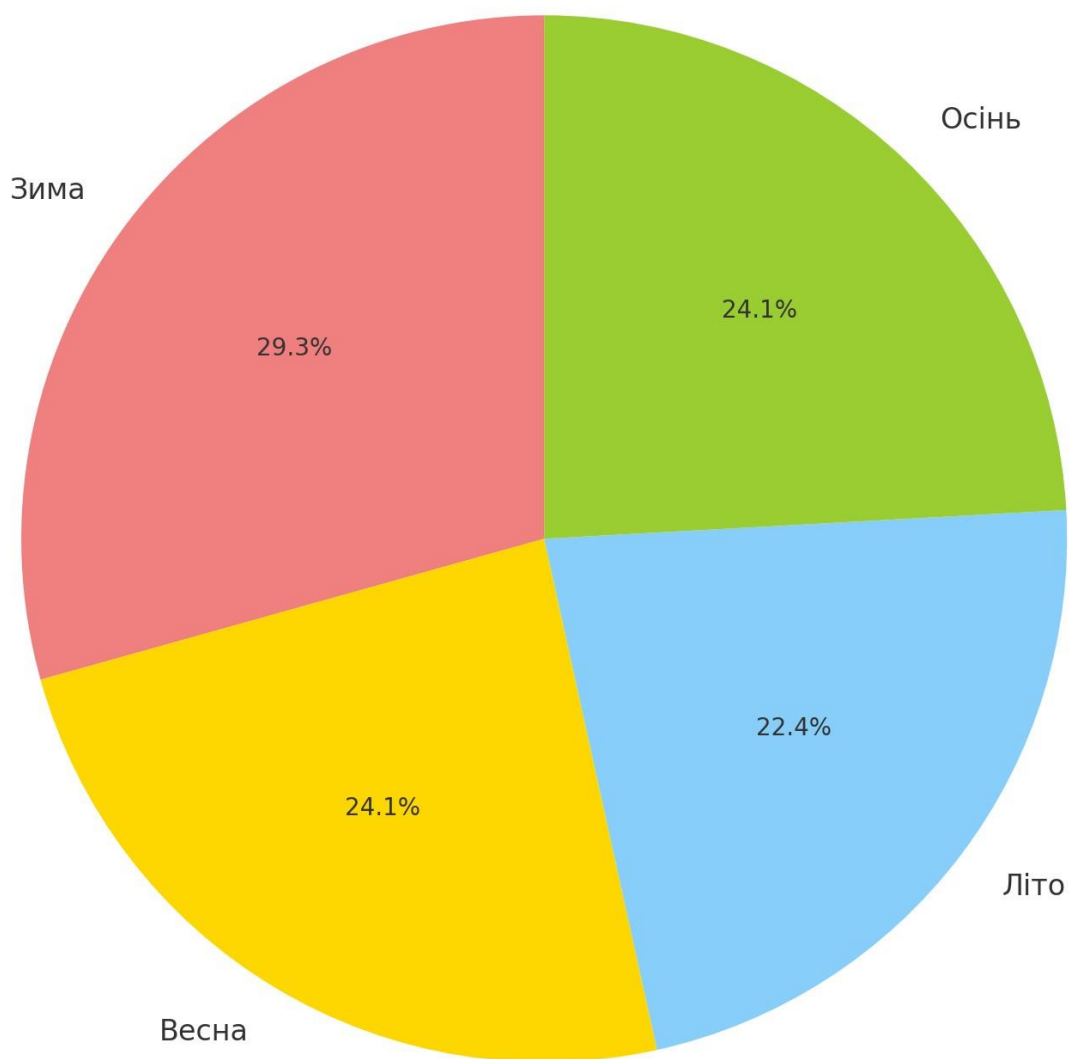
### Порівняльна таблиця добового, місячного та сезонного споживання електроенергії

*\*Весна та осінь мають однакове добове споживання, тому їхні значення збігаються.*

## Річне споживання електроенергії

Сезон	Споживання (кВт·год)
Зима	1 114.2
Весна	916.2
Літо	851.1
Осінь	916.2
<b>Разом за рік</b>	<b>3 797.7 кВт·год</b>

Розподіл річного споживання електроенергії (3797.7 кВт·год)



*Кругова діаграма розподілу **річного споживання електроенергії** по сезонах. Найбільше енергії витрачається взимку (~29%), найменше — влітку (~22%).*

## 2. Встановити необхідну потужність джерел відновлюваної енергії

Максимальне добове споживання електроенергії

$$E = 12,38 \text{ кВт}$$

Мінімальна генерація з 1 кВт СЕС взимку\*

$$G = 1,5 \text{ кВт} \frac{\text{год}}{\text{день}} \text{ на } 1 \text{ кВт СЕС}$$

Необхідна потужність сонячної станції

$$P = \frac{E}{G} = \frac{12,38}{1,5} = 8,25 \text{ кВт}$$

Кількість панелей (з округленням)

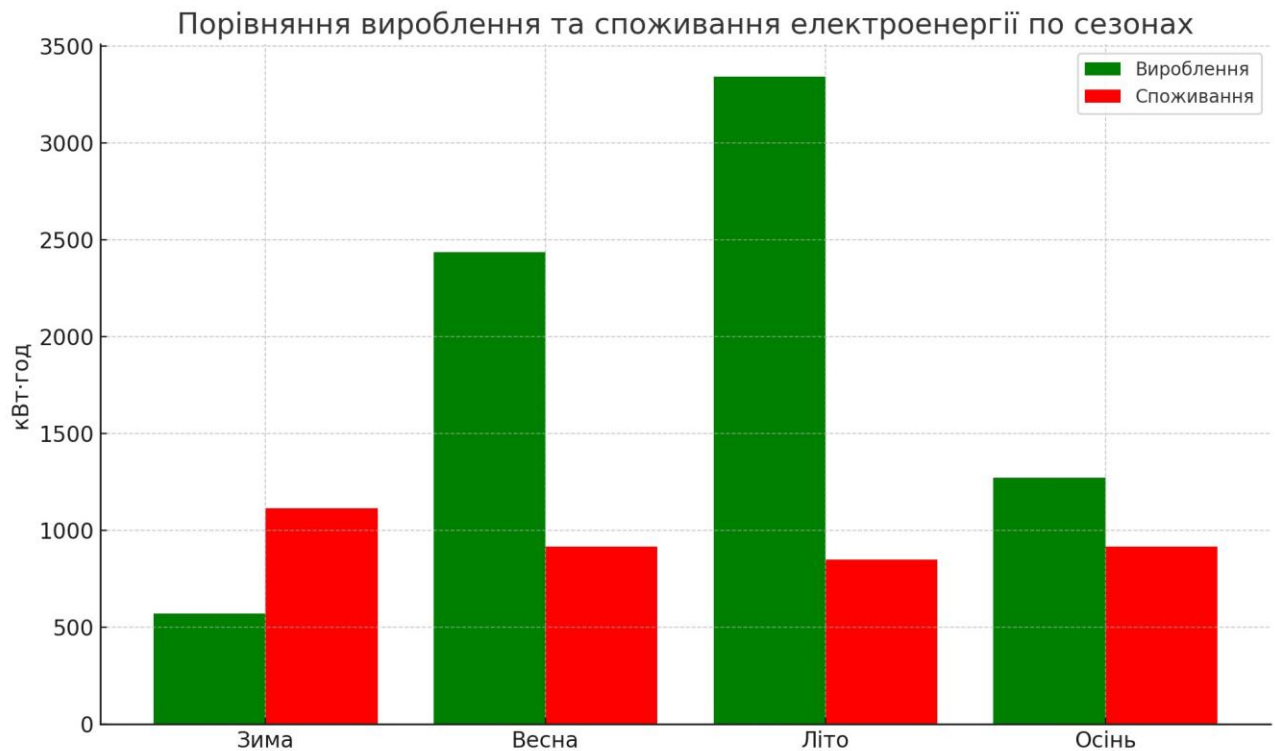
$$N = \frac{P}{P_{\text{панелі}}} = \frac{8,25}{0,4} = 20,6 = 21 \text{ шт}$$

Реальна кількість панелей з урахуванням втрат буде дорівнювати - 24 шт.

*\*Що таке "ефективні сонячні години"?*

У реальності протягом дня сонце світить з різною інтенсивністю: вранці та ввечері — слабше, опівдні — найсильніше. І тому це не реальна кількість годин, коли світить сонце, а **еквівалентна кількість годин**, протягом яких СЕС могла б працювати на повну потужність (1000 Вт/м<sup>2</sup> освітлення).

Треба враховувати, що це мінімальний показник по кількості сонячних батарей. Без запасу, а у похмурі дні генерація буде ще нижчою. Також слід зважати на ККД інвертора (втрати 5–10%), необхідність запасу енергії в акумуляторах (якщо система автономна), можливі втрати через забруднення, обледеніння, невдалий кут нахилу тощо.



### Висновок

Взимку сонячних днів менше, а інтенсивність сонця нижча, тож станція генерує значно менше електроенергії. Якщо розраховувати систему без запасу, це може призвести до нестачі енергії саме тоді, коли вона найбільше потрібна.

Тому практичною рекомендацією є збільшити кількість панелей на 10–15% від розрахункової потужності, що відповідає 24-26 панелям. Це дозволяє частково компенсувати сезонне падіння виробітку і забезпечити більш стабільне живлення в зимовий період

Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Прилади									
Світлодіодна лампа, кількість, шт	5	6	5	5	6	7	6	5	6
Прожектор	+	-	-	+	-	+	+	-	-
Пральна машина, клас енергоефективності	A	B	A	A+	C	C	A++	B	A+++

Холодильник, клас енергоефективності	A+	A++	A+	A	A+++	A+++	B	A++	C
Індукційна плита	1 кВт/год								
Телевізор	60	75	70	95	85	90	65	80	75
Бойлер	1 кВт/год								
Насосна станція	1 кВт/год								
Мікрохвильова піч	800 Вт/год								
Ноутбук	35	50	55	55	30	35	60	45	50
Тепла підлога взимку осінь/весна	$\frac{25 \text{ Вт на м}^2}{15 \text{ Вт на м}^2}$								
Площа, яка опалюється в м <sup>2</sup>	30	42	35	39	45	32	38	40	34
Інші дрібні споживачі(смартфон, настільна лампа, тощо) до 25 Вт кожен	До 120 Вт/год								

### Споживання пральних машинок та холодильників

Клас енергоспоживання пральних машин та холодильників	Споживання енергії, кВт-год/кг
A+++	менше 0,13
A++	0,13–0,15
A+	0,15–0,17
A	0,17–0,19
B	0,19–0,23
C	0,23–0,27
D*	0,27–0,31
E*	0,31–0,35
F*	0,35–0,39
G*	більше 0,39

*\*Занадто неефективні E, F і G ліквідовані для більшості категорій великих електроприладів через непотрібність.*

## Графік експлуатації пристроїв упродовж доби

Пристрій	Час роботи
Світлодіодна лампа	Взимку — 6 годин, влітку — 4 години
Прожектор	3 години на день
Пральна машина	2 години на одне прання, в середньому 3 рази на тиждень
Тепла підлога	Взимку — 8 годин, восени/весною — 4 години
Ноутбук	6 годин на день
Мікрохвильова піч	1 година на день
Насосна станція	1 година на день
Бойлер	3 години при максимальній потужності
Телевізор	4 години на день
Індукційна плита	1,5 години на день
Холодильник	Постійно, але з перервами

Посилання калькулятора для розрахунку інсоляції в залежності від місця знаходження сонячної станції

[Solar Insolation Calculator | Fabhabs](#)

## Споживана потужність побутових пристроїв

Пристрій	Потужність
Світлодіодна лампа	10 Вт кожна лампа
Прожектор	30 Вт
Пральна машина	Залежить від класу енергоефективності
Тепла підлога(як додатковий засіб опалення)	Залежить від пори року: – Взимку: 25 Вт/м <sup>2</sup> ·год – Осінь/весна: 15 Вт/м <sup>2</sup> ·год
Ноутбук	В залежності від варіанту
Мікрохвильова піч	800 Вт
Насосна станція	900 Вт
Бойлер	1,5 кВт
Телевізор	80 Вт
Індукційна плита	2 кВт
Холодильник	Залежить від класу енергоефективності
Інші дрібні споживачі	До 120 Вт

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Кудря С.О., Рєпкін О.О., Яценко Л.В., Ткаленко М.Д., Шинкаренко Л.Я., Пепелов О.В. Напрями розвитку водневої енергетики та водневої економіки в Україні / Матеріали XX-ої міжнародної науковопрактичної конференції “Відновлювана енергетика та енергоефективність XXI століття”, м. Київ, 15-16 травня 2019 р., С. 58-65.
2. Гладир, А. І., Ноженко, В. Ю., & Якимець, С. М. (2024). Лабораторний практикум із вивчення обладнання альтернативних джерел енергії. Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. Вип. 1(144), 215-223.
3. Комплексне використання відновлюваних джерел енергії: Курс лекцій [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: М.П. Кузнецов, О.А. Мельник – Електронні текстові дані (1 файл: 7,93 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 304 с.
4. Відновлювані джерела енергії / За ред. С.О. Кудрі. – Київ: Інститут відновлюваної енергетики НАНУ, 2020. – 392 с.
5. Череп, О., Осмаковська, К., Лищенко, О. (2023). Доцільність використання енергоефективних технологій та відновлювальних джерел енергії. *Modeling the Development of the Economic Systems*, (2), 203-207.
6. Москальчук Н. М. Вітрова енергетика – особливості оцінки впливу на навколишнє середовище // Екологічна безпека та збалансоване ресурсовикористання : науково-технічний журнал. 2016. № 1(13). С. 130–135.
7. Арсеньєв В.М. Теплові насоси: основи теорії і розрахунку: навчальний посібник / В.М. Арсеньєв, С.С. Мелейчук. – Суми: Сумський державний університет, 2018. – 364 с
8. Величко С.А. Енергетика навколишнього середовища України (з електронними картами). Навчально-методичний посібник для магістрантів. – Харків: Харківський національний університет імені В.Н.Каразіна. - 2003. - 52с.– 2006. – 280 с.
9. Лежнюк П.Д. Відновлювані джерела енергії в розподільних електричних мережах: монографія / П.Д. Лежнюк, О.А. Ковальчук, О.В. Нікіторович, В.В. Кулик - Вінниця: ВНТУ, 2014. – 204 с.
10. Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії / Кудря С. О. – Підручник. – Київ: Національний технічний університет України («КПІ»), 2012.– 495с.
11. Вишневська І. Біогаз: міфи та реальність. Аграрний тиждень. Україна. – 2016. – № 4. – С. 16–18.

12. Бацала Я. В. Удосконалення засобів контролю параметрів електроенергії відновлювальних джерел енергії / Я. В. Бацала, І. В. Гладь, О. І. Кіянюк // Нафтогазова енергетика. – 2015. – № 1(23). – С. 52-60.

13. Ковальов І.О. Альтернативні джерела енергії України [Текст] : навч. посіб. / І.О.Ковальов, О.В. Ратушний. – Суми: Вид-во СумДУ, 2015. – 201с.

14. Про схвалення Енергетичної стратегії України на період до 2050 року. Розпорядженням КМУ від 21.04.2023. № 373-р. URL: <https://www.kmu.gov.ua/npas/pro-skhvallenia-enerhetychnoi-stratehii-ukrainy-na-period-do-2050-roku-373r-210423>

15. Україна та європейський зелений курс. URL: <https://dixigroup.org/analytic/ukra%D1%97na-ta-%D1%94vropejskij-zelenij-kurs-5/>

16. Про внесення змін до деяких законів України щодо відновлення та «зеленої» трансформації енергетичної системи України: Закон України від 30.06.2023 № 3220-IX. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3220-20>

17. Про запровадження гарантій походження електричної енергії, виробленої з відновлюваних джерел енергії. Постанова КМУ від 27.02.2024. № 227. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/227-2024-%D0%BF#Text>

18. Бюджетний кодекс України від 08.07.2010 № 2456-VI. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2456-17#Text>

19. Безус В. Біоенергетичні кластери: рецепт сталого розвитку міст. Економічна правда. URL: <https://www.epravda.com.ua/columns/2023/01/25/696334/>

20. Миколюк О.А. Формування кластерних структур в умовах становлення енергетичної незалежності. Економічний аналіз. 2017. Том 27. № 3. С. 56-61.

21. Про альтернативні джерела енергії: Закон України від 20.02.2003 № 555-IV. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/555-15#Text>

22. Кузьміна М. Правове регулювання створення та функціонування енергетичних кооперативів. Підприємництво, господарство і право. 2019. № 9. С. 40-44.

23. Про схвалення Стратегії розвитку індустріальних парків на 2023-2030 роки. Розпорядження КМУ від 24.02.2023 № 176-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/176-2023-%D1%80#Text>

Електронне навчальне видання комбінованого використання  
Можна використовувати в локальному та мережному режимі

**Бровко Костянтин Юрійович**  
**Войтенко Сергій Миколайович**

## **ВІДНОВЛЮВАЛЬНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ**

Методичні вказівки  
до проведення Лабораторних та практичних занять  
для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня  
за спеціальністю G3 «Електрична інженерія»

В авторській редакції

Підписано до розміщення 21.05.2025. Гарнітура Times New Roman.  
Ум. друк. арк. 5,65. Обсяг 3,390 Мб. Зам. № 389/25.

Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна,  
61022, м. Харків, майдан Свободи, 4.  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 3367 від 13.01.2009  
Видавництво ХНУ імені В. Н. Каразіна