

Міністерство освіти і науки України  
Національний технічний університет України  
"Київський політехнічний інститут"

**РОЗРАХУНОК СИСТЕМИ  
ЕЛЕКТРОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОБ'ЄКТА  
НА БАЗІ ФЕП**

**Методичні рекомендації**  
до виконання розрахункової роботи

**Київ-2015**



Міністерство освіти і науки  
Національний технічний університет України  
”Київський політехнічний інститут”

# **РОЗРАХУНОК ГЕЛІОСИСТЕМИ З ФОТОЕЛЕКТРИЧНИМИ ПЕРЕТВОРЮВАЧАМИ**

## **Методичні рекомендації**

до виконання розрахункової роботи  
для студентів спеціальності «Теплоенергетика»

Київ  
НТУУ «КПІ»  
2015

Розрахунок геліосистеми з фотоелектричними перетворювачами [Текст]: метод. рек. до викон. розрахункової роботи для студ. спеціальності 144 «Теплоенергетика» /Уклад: В.І Шкляр, В.В. Дубровська, – К.: НТУУ «КПІ», 2015. – 52 с.

Рекомендовано вченою радою  
Інституту енергозбереження та енергоменеджменту,  
НТУУ „КПІ”  
(Протокол № 5 від 30 листопада 2015 р.)

Навчальне електронне видання

**Розрахунок геліосистеми з  
фотоелектричними перетворювачами**

**Методичні рекомендації**  
до виконання розрахункової роботи  
для студентів спеціальності «Теплоенергетика»

Укладачі: В.І. Шкляр, канд. техн. наук, доц.  
В.В. Дубровська, канд. техн. наук, доц.

Відповідальний редактор В.О. Виноградов-Салтиков,  
канд. техн. наук, доц.

Рецензент Ковальчук А.М., канд. техн. наук, доц.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1 Мета розрахункової роботи.....	5
2 Завдання на розрахункову роботу.....	5
3 Порядок виконання та оформлення завдання.....	5
4 Методичні вказівки до виконання роботи .....	6
4.1 Розрахунок фотоелектричної системи.....	7
4.2 Вибір схеми електрозабезпечення об'єкту .....	7
4.3 Визначення енергоспоживання об'єкту .....	19
4.4 Вибір інвертора для системи електропостачання.....	22
4.5 Визначення необхідної місткості акумуляторної батареї і їх кількості.....	29
4.6 Визначення необхідної кількості сонячних батарей...	33
4.7 Фотоелектричні системи з резервним електро- генератором.....	36
5 Економічне обґрунтування геліосистеми з фотоелектричними перетворювачами.....	40
Контрольні питання.....	45
Список рекомендованої літератури.....	47
ДОДАТКИ.....	48

## Вступ

Для забезпечення життєдіяльності людини необхідна енергія. Її отримують при спалюванні органічного палива, використанні сили вітру, енергії Сонця і атома. До основних видів енергії можна віднести теплову та електричну енергії. Майже половина енергії виробляється на теплових електричних станціях, які працюють на викопному паливі.

Виробництво централізованої електричної енергії забезпечують тепло-електроцентралі або конденсаційні електростанції. Часткове електрозабезпечення будинку можливе з використанням сонячної (фотоелектричні перетворювачі) або вітрової (вітрові двигуни) енергії.

Фотоелектричне перетворення сонячної енергії в даний час є одним з пріоритетних напрямів використання сонячної енергії.

Методичні рекомендації до виконання розрахункової роботи з дисципліни «Комбіновані системи з поновлювальними джерелами енергії» призначені для студентів спеціальності «Енергетичний менеджмент» напряму підготовки «Теплоенергетика».

Методичні рекомендації можуть бути використані при виконанні дипломних проектів.

## **1 МЕТА РОЗРАХУНКОВОЇ РОБОТИ**

Мета роботи:

- закріпити теоретичні знання, отримані при вивченні дисципліни «Комбіновані системи з поновлювальними джерелами енергії»;
- оволодіти методикою розрахунку системи електрозабезпечення об'єкта на базі фотоелектричних перетворювачів (ФЕП);
- навчитися обирати необхідне обладнання;
- виконати економічне обґрунтування геліосистеми з фотоелектричними перетворювачами.

## **2 ЗАВДАННЯ НА РОЗРАХУНКОВУ РОБОТУ**

В розрахунковій роботі пропонується провести розрахунок комбінованої системи електрозабезпечення об'єкта на базі ФЕП.

Вихідні дані для розрахунку визначає викладач.

## **3 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ ТА ОФОРМЛЕННЯ ЗАВДАННЯ**

Розрахункова робота складається з наступних розділів:

1. Розрахунок системи автономного електрозабезпечення.
2. Вибір обладнання.
3. Економічне обґрунтування проекту.

#### 4. Висновки по роботі.

Пояснювальна записка до розрахункової роботи повинна бути виконана на аркушах А4 і супроводжуватись відповідними схемами, рисунками та поясненнями до них.

### 4 МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Для північних широт (вище 50-60 °) цілорічна експлуатація сонячних фотоелектричних систем (ФЕС) малоефективна. У таких районах можливе застосування ФЕС тільки для сезонного електропостачання або використовувати комбінування з іншими поновлюваними джерелами енергії.

Критерієм для визначення раціонального режиму роботи ФЕС (цілорічний або сезонний) можуть служити дані про сумарну сонячну радіацію на поверхню землі:

$$k_{\text{РАД}} = \frac{E_{\text{РІЧ}}}{E_{\text{МІС}}},$$

де  $E_{\text{РІЧ}}$  - середньорічна сумарна радіація на горизонтальну поверхню, кВт·год / м<sup>2</sup>;  $E_{\text{МІС}}$  - мінімальна середньомісячна сумарна радіація на горизонтальну поверхню, кВт·год / м<sup>2</sup>.

При значеннях  $k_{\text{РАД}} > 50$  можливо тільки сезонне застосування ФЕС.

## **4.1 Розрахунок фотоелектричної системи**

Послідовність виконання розрахункової роботи:

1. Для об'єкту, який розташований у певному місті скласти перелік споживачів електричної енергії, потужність і період їх використання та обсяги електроспоживання.

2. Визначити: інтенсивність надходження середньомісячної денної сумарної сонячної енергії для кожного місяця.

3. Розрахувати два варіанти електропостачання об'єкту:

а) автономна фотоелектрична система (ФЕС);

б) ФЕС з дублером (двигуном внутрішнього згоряння).

Під розрахунком ФЕС розуміють визначення: номінальної потужності модулів, їх кількості, схеми з'єднання; вибір типу і ємності і кількості акумуляторних батарей (АКБ); потужності інвертора; вартості системи.

## **4.2 Вибір схеми електрозабезпечення об'єкту**

Всі фотоелектричні системи можна поділити на два типи: автономні і з'єднані з електричною мережею (рис.1). Станції другого типу віддають надлишки енергії в мережу, яка слугує резервом в разі виникнення внутрішнього дефіциту енергії.

Автономна система в загальному випадку складається з на-

бору сонячних модулів, розміщених на опорній конструкції або на даху; акумуляторних батарей; контролера розряду - заряду акумуляторів; інвертора; з'єднуючих кабелів. Для зменшення кількості акумуляторів в автономній системі можуть використовувати додаткове джерело електричної енергії.

Основою будь-якої установки ФЕС завжди є фотоелектричний модуль (сонячна панель) - це комбінація електрично з'єднаних між собою ФЕП. Сонячна батарея - це електричне об'єднання фотоелектричних модулів (рис. 2).

**Фотоелектричний елемент** (фотоелемент) використовується для отримання електроенергії за рахунок перетворення сонячного випромінювання.

Фотоефект - це фізичний процес, завдяки якому сонячна панель перетворює сонячну радіацію в електрику. У напівпровідникових фотоелементах фотоефект виникає, коли фотон (світлова хвиля) потрапляє на елемент, що складається з двох матеріалів, які мають різний тип електричної провідності («дірковий» або «електронний»). Фотон, вибиває електрон з його комірки, створює вільний негативний заряд і «дірку».

Рівновага замикаючого шару, що утворився спочатку після розподілу зарядів і «дірок» (так званий «р-п» - перехід) порушується і в ланцюзі виникає електричний струм.

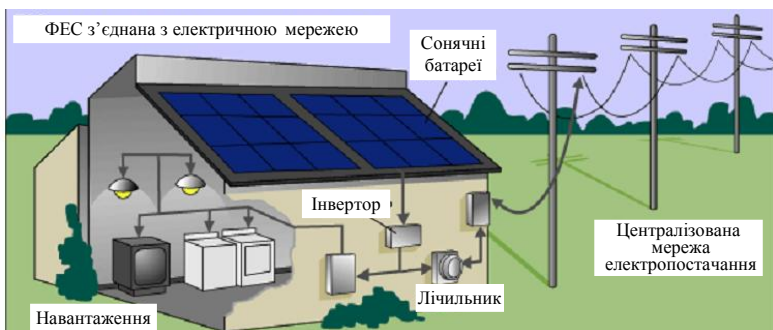
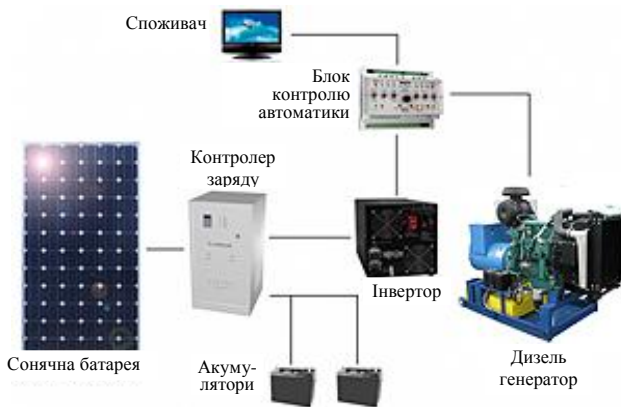
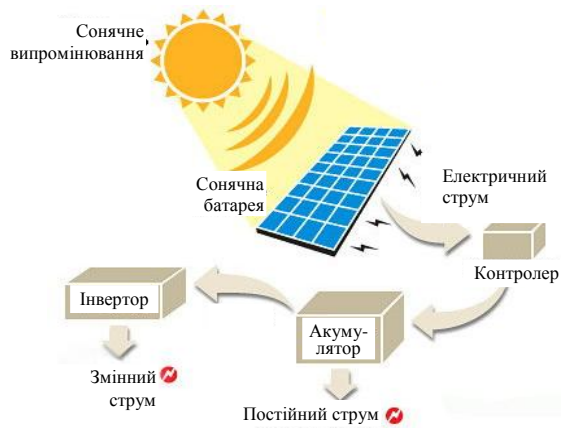


Рис. 1 Автономна, автономна з резервним дизель генератором і з'єднана з електричною мережею фотоелектричні системи.

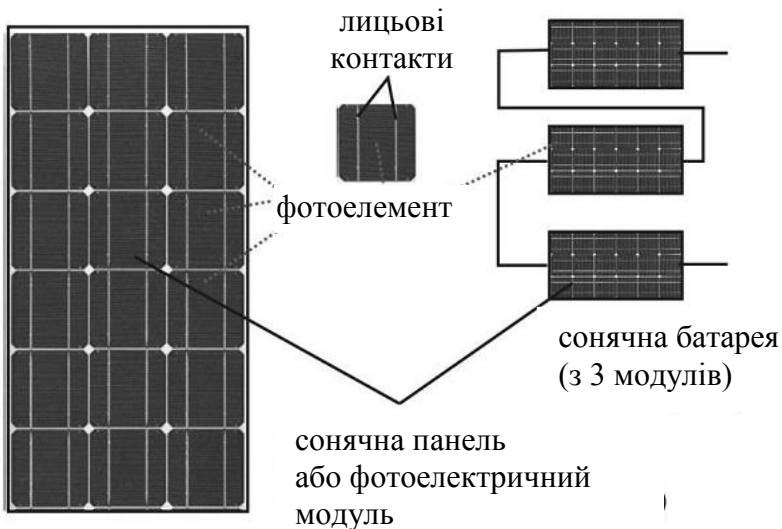


Рис.2 Фотоелемент, сонячна панель і сонячна батарея.

Основні типи ФЕП (рис.3): монокристалічні кремнієві (ККД до 17,5%); полікристалічні кремнієві (ККД до 15%); елементи з аморфного кремнію (ККД до 6%); тонкоплівкові з гідрогенізованого аморфного кремнію та інших напівпровідникових матеріалів (телуриду / сульфїду кадмію, арсенїду галїю і т.п.).

Монокристалічні кремнієві пластини мають більш високий ККД у порівнянні з іншими видами ФЕП, проте витрати на виробництво таких елементів істотно більші, що в свою чергу позначається на роздрібній ціні сонячних модулів. За рахунок більш високого ККД знижується площа сонячних панелей, це має значення при обмеженому просторі для розміщення сонячної установки.




		
монокристалічні кремнієві елементи	полікристалічні кремнієві елементи	елементи з аморфного кремнію

Рис. 3 Основні типи ФЕП

Виробництво полікристалічних кремнієвих елементів навпроти вимагає менших витрат, відповідно кінцева ціна сонячних панелей на основі цього виду кремнієвих пластин для споживача набагато вигідніше ніж з монокристалічних пластин. Вони здатні краще збирати енергію сонячного випромінювання в похмуру погоду, тим самим підвищуючи енергоефективність всієї системи.

Елементи з аморфного кремнію менш схильні до дії високих температур, тому енергоефективність в дуже спекотні дні не знижується на відміну від полі- та монокристалів. Краща здатність перетворювати сонячне випромінювання в електроенергію в умовах недостатньої освітленості або значної хмарності навіть порівняно з полікристалічними перетворювачами.

Недоліки:

- низький ККД, близько 6%, тому якщо нема проблеми з площею розміщення сонячних батарей, то є сенс розглянути даний вид перетворювачів;

- невеликий термін служби через швидку деградацію елемента.

Ефективність перетворення сонячної енергії в електричну залежить від електрофізичних характеристик, неоднорідності напівпровідникової структури, оптичних властивостей ФЕП та інтенсивності сонячної радіації.

Коефіцієнт корисної дії (ККД) промислових ФЕП знаходиться в межах від 10 до 20% при середніх нормах надходження сонячного випромінювання. Вони можуть виробляти в день 1 - 2 кВт·год електроенергії з 1 м<sup>2</sup> робочої поверхні.

Найпростішим фотоелектричним модулем є ланцюжок з послідовно з'єднаних фотоелементів. При об'єднанні їх паралельно, отримуємо так зване послідовно-паралельне з'єднання.

Кількість фотоелементів і їх з'єднань залежить від необхідної потужності сонячного модуля і його електричних характеристик (рис. 4).

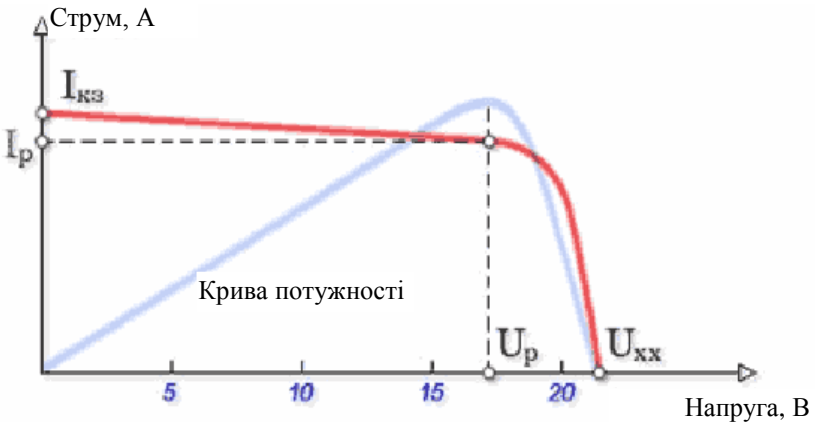


Рис. 4 Вольт-амперна характеристика ФЕП.

Електричні характеристики сонячної батареї представляються, як і окремого сонячного елемента, у вигляді вольт-амперної кривої за стандартними умовами (рис. 5).

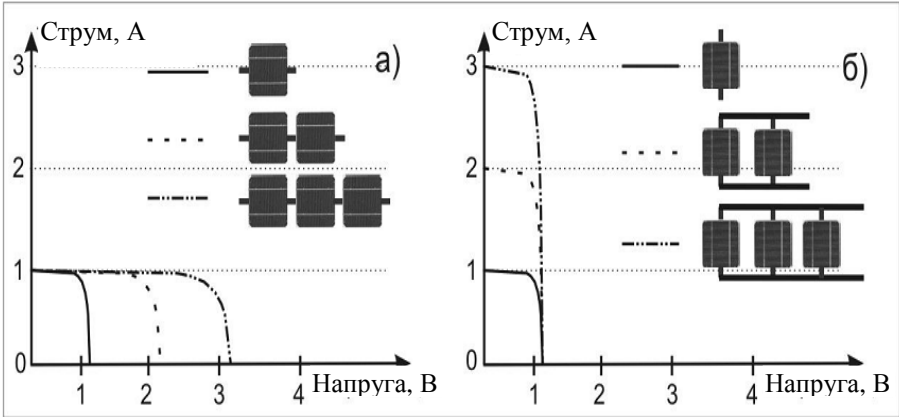


Рис. 5 ВАХ для:

- а) одного і послідовно з'єднаних 2, 3 ідентичних фотоелементів;
- б) одного і паралельно з'єднаних 2, 3 ідентичних фотоелементів.

Потужність фотоелектричного модуля в хмарний день знижується в порівнянні з сонячним тільки через зменшення сонячної енергії, яка падає на приймальну поверхню ФЕП. Зазвичай, при невеликій хмарності, сонячна панель може видавати до 80% своєї максимальної потужності. У похмуру погоду ця величина знижується до 30% (рис. 6).

Для сонячних панелей значної площі, що складаються з великої кількості послідовно-паралельно з'єднаних ФЕП, слід враховувати тінювий ефект, що виникає при частковому затемненні

панелі.

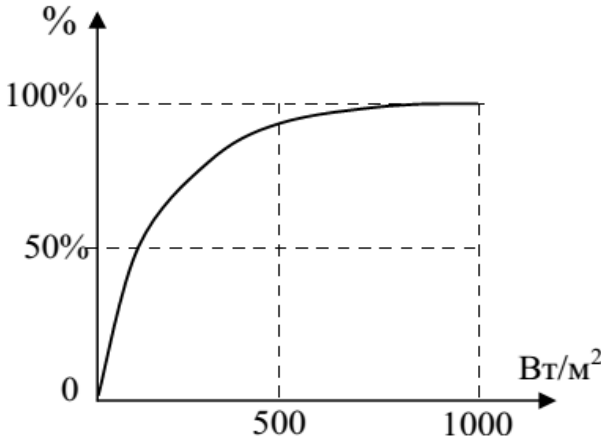


Рис. 6 Залежність ефективності ФЕП від інтенсивності сонячного випромінювання.

Якщо ФЕП в послідовному ланцюзі повністю затінений, то він з джерела потужності перетворюється на споживача. Через послідовні зв'язки з освітленими ФЕП в ланцюзі протікає струм, розігріваючий затінений ФЕП потужністю втрат, що виділяються на її внутрішньому опорі.

Таким чином, відбувається зниження електричної потужності, яка знімається з панелі.

Для мінімізації негативного впливу тіньового ефекту на енергетику сонячної панелі послідовний ланцюг фотоелектричних модулів ділять за допомогою обхідних діодів на кілька коротких ділянок.

Якщо споживачеві необхідно мати змінну напругу, то до цього комплексу додається **інвертор-перетворювач** постійної на-

пруги в змінну (рис.7). Інвертор використовується для живлення окремих споживачів змінного струму, а також для приєднання сонячних панелей до електричних мереж. Потужність інверторів варіюється від декількох ват до сотень кіловат.



а)



б)

Рис. 7 Інвертор (а) та контролер заряду (б).

**Акумулятор** (акумуляторна батарея) є компонентом, який дозволяє накопичувати електричну енергію. Акумулятор особливо необхідний для установок, які не підключені до мереж.

Як компонент домашньої сонячної енергетичної установки, акумулятор виконує три завдання:

- покриває пікове навантаження, яке не можуть покрити самі фотоелектричні модулі (резервний запас);
- дає енергію в нічний час (короткочасне зберігання);
- компенсує періоди поганої погоди або занадто високого енергоспоживання (середньострокове зберігання).

Акумулятори мають меншу довговічність роботи, ніж сонячні панелі, тому вони в процесі експлуатації повинні кілька разів замінюватися.

Автомобільні акумулятори не застосовуються для фотовольтаїки, тому що вони розраховані на коротку розрядку великої потужності. В автомобілі вони використовуються, щоб завести машину, і відразу ж починають перезаряджатися від машинного генератора. У фотоелектричних системах використовуються батареї, які б витримували численні цикли щодо рівномірних розрядів і зарядів.

При виборі акумуляторів для фотовольтаїки одним з параметрів є ємність акумуляторної батареї. Традиційна ємність акумуляторних батарей - 100 А·год, тобто батарея може видавати до повного розряду 1 А протягом 100 годин, або 2 А протягом 50 годин. Якщо взяти дві акумуляторні батареї 100 А·год і 12 В, то при послідовному з'єднанні вони дадуть 100 А·год та 24 В, а при паралельному 200 А·год і 12 В.

При використанні акумуляторних батарей необхідно також стежити за правильним зарядом і розрядом. Не можна розряджати батарею на всі 100%, особливо це небезпечно для кислотно-свинцевих акумуляторів, які можуть втратити напругу. Максимальну частку (у відсотках) від повного заряду акумулятора, на яку його можна розряджати, називають допустимою глибиною розряду. Більшість акумуляторних батарей, що використовуються для ФЕС, мають допустиму глибину розряду від 50% до 80%. Термін служби акумуляторної батареї при її експлуатації безпосередньо залежить від глибини розряду. Наприклад, якщо при щоденній

експлуатації акумуляторної батареї допускати розрядку до 50%, то вона може прослужити в два рази більше часу, порівняно з розрядкою до 80%.

У ФЕС знайшли застосування наступні типи акумуляторів: кислотно-свинцеві та лужні батареї.

Одним з найбільш поширених типів акумуляторів для невеликих ФЕС є кислотно-свинцевий, який накопичує енергію, шляхом перетворення електричної енергії в хімічну. При споживанні енергії відбувається зворотний процес, де хімічна енергія перетворюється в електричну. Хімічна енергія запасується на двох електродах, позитивному і негативному, між якими виникає різниця потенціалів.

До недоліків можна віднести необхідність регулярного поповнення електроліту водою та вимоги до розміщення акумуляторної батареї. Вони повинні бути розміщені в добре провітрюваному місці для уникнення критичної концентрації кисню і водню. Крім цього, найменше випаровування електроліту може викликати корозію на електроприладах, тому в житловому приміщенні не рекомендується тримати акумулятори з рідким електролітом.

До лужних батарей відносяться такі батареї як нікель-кадмієві та нікель-металеві, які, так само, як і кислотні, мають негативний і позитивний електроди, розміщені в електроліті. Електроди являють собою нікелевий і кадмієвий або нікелевий і залізний елементи, занурені в гідроксид калію. Перевага таких батарей:

їх незначна залежність від температури, тому такі батареї можуть використовуватися при холодних температурах.

Альтернативою для акумуляторів, які можуть бути розміщені в житлових приміщеннях, є гелієві акумулятори. У традиційних гелієвих акумуляторах загушення електроліту відбувається за рахунок додавання силікатного гелю. Основними перевагами гелієвих акумуляторів є те, що вони навіть при руйнуванні не "протікають", не потребують догляду - поповнення електроліту водою. Однак, вартість гелієвих батарей перевищує вартість кислотно-свинцевих батарей з рідким електролітом, вони більш чутливі до перезарядки і мають меншу тривалість роботи.

Необхідно стежити за роботою кислотно-лужних акумуляторів за допомогою **контролера розряду** (рис.7б) - заряду для запобігання від перезарядження або повного розряду. Даний регулятор відстежує напругу батареї, яка починає підвищуватися при заряді або знижуватися при розряді.

При перезарядці батареї спостерігається надмірна втрата електроліту, що зменшує довговічність батареї і робить частішим догляд за батареєю (поповнення електроліту). Одночасно, при глибокому розряді батареї, скорочується її довговічність. Тому рекомендовано мати контролер розряду - заряду з вимикачем низької напруги, щоб уникнути повного розряду.

### 4.3 Визначення енергоспоживання об'єкту

Більшість електроустановок споживають змінний струм (Alternating current, AC) 220 В і 50 Гц. Але є споживачі постійного струму (Direct Current, DC), які можуть живитися безпосередньо від сонячної батареї. Початкова вартість приладів постійного струму зазвичай вище ніж таких же приладів змінного струму (бо вони випускаються не в такій масовій кількості).

Значна частина електроспоживачів може бути переведена на живлення зі змінного струму на постійний струм з метою зменшення втрат в інверторі, блоці живлення самого споживача і зменшення необхідної потужності інвертора. Наприклад, велика частина електронного обладнання (комп'ютери, телевізори тощо) вимагає стабілізованого постійного струму низької напруги, і для електрозабезпечення від мережі 220 В використовує свій блок живлення. При надходженні електроенергії змінної напруги у 220 В з інвертора маємо подвійне перетворення DC / AC / DC з відповідними втратами. З іншого боку, зміна схеми живлення таких приладів може вимагати істотних додаткових капіталовкладень, а загальне енергоспоживання таких приладів, як правило, невелике. Електронагрівальні прилади і лампи розжарювання цілком можуть живитися від постійного струму, однак для потужних нагрівачів при низькій напрузі потрібні провідники великого перерізу.

Велике значення має також графік (режим) роботи споживачів та їх оптимізація з точки зору зміщення (зсуву) графіків роботи відносно один одного, з метою зменшення максимально можливої миттєвої сумарної споживаної потужності. Наприклад, не слід допускати можливості одночасної роботи потужних, але рідко використовуваних електронагрівальних приладів, таких як праска та електрочайник, це суттєво знизить вимоги до потужності інвертора і перерізу провідників.

Визначення електричного навантаження проводять окремо для змінного та постійного струму за наступною методикою:

1. Обирають електричні прилади і обладнання для оснащення свого об'єкту.
2. Визначають, яке навантаження змінного струму може бути переведено на постійний струм.
3. Заносять в таблицю 1 усе навантаження змінного струму з вказівкою його номінальної потужності і числа годин роботи за добу та розраховують сумарну споживану енергію змінного струму за добу  $W_{AC}$ .

Значення потужностей деяких приладів наведені в таблиці Д 2.

4. Розраховують кількість енергії постійного струму  $W_{TP}$  за рівнянням:

$$W_{TP} = \frac{W_{AC}}{\eta_{ИНВ}},$$

де  $\eta_{\text{ІНВ}}$  коефіцієнт корисної дії інвертора.

Таблиця 1

Навантаження змінного струму.

№	Споживачі	Потужність, Вт	Годин за добу	Навантаження $\frac{\text{Вт} \cdot \text{год}}{\text{доба}}$
1				
2				
Всього $W_{\text{AC}}$				

5. Підраховують навантаження постійного струму  $W_{\text{DC}}$  і заносять результат в табл.2.

Таблиця 2

Навантаження постійного струму.

№	Споживачі	Потужність, Вт	Годин за добу	Навантаження $\text{Вт} \cdot \text{год}/\text{доба}$
1				
2				
Всього $W_{\text{DC}}$				

Приймаємо напругу в системі постійного струму  $U_{\text{DC}}$ , яка повинна відповідати вхідній напрузі інвертора  $U_{\text{ІНВ}}$ . Системи, що виробляють та споживають менше 1 - 1,5 кВт·год за добу, краще всього поєднуються з напругою в 12 В. Системи, що виробляють 1-3 кВт·год за добу, зазвичай використовують напругу 24 В. Системи, що виробляють понад 3 кВт·год за добу - 48 В.

6. Необхідна сумарна добова енергія постійного струму  $W_{DC}^{\Sigma}$ :

$$W_{DC}^{\Sigma} = W_{TP} + W_{DC}.$$

7. Число Ампер-годин за добу, яке потрібне для покриття навантаження змінного струму, визначається за формулою:

$$q_{AC} = \frac{W_{TP}}{U_{ИНВ}},$$

де  $U_{ИНВ}$  - напруга інвертора, В.

8. Число Ампер-годин за добу, потрібне для покриття навантаження постійного струму, визначається за формулою:

$$q_{DC} = \frac{W_{DC}}{U_{DC}}.$$

9. Сумарна необхідна місткість акумуляторної батареї, тобто кількість А·год, споживаних за добу:

$$q_{ДОБ} = \frac{W_{DC}^{\Sigma}}{U_{DC}} = q_{AC} + q_{DC}.$$

#### **4.4 Вибір інвертора для системи електропостачання**

При виборі інвертора слід керуватися наступними принципами: простота і надійність конструкції, простота в експлуатації, невисока вартість разом з такими характеристиками, як висока точність підтримки частоти і значення вихідної напруги, висока переважувальна здатність, синусоїдальна форма вихідної на-

пруги. Крім того, потрібно однофазну вихідну напругу і досить високу потужність інвертора, для забезпечення загального навантаження на інвертор  $P_p$ , кВт.

Інвертор приймається більшої потужності ніж розрахункова активна  $P_p$ . Це обумовлено необхідністю мати запас по потужності для забезпечення пускових струмів деякого устаткування (наприклад: холодильник, електродвигун, велика частина радіотехніки), а також тим, що активна вихідна потужність інвертора буде дещо нижча повної.

Інверторний силовий блок перетворить постійний струм в однофазний змінний синусоїдальний струм з постійною амплітудою і стабільною частотою.

В інвертора може бути байпас.

При підключенні системи до мережі у разі перебоїв або відсутності електричної енергії підключається вмиль сонячна або акумуляторна батарея, без перерви в живленні споживача. Якщо досягається рівень низького розряду батарей, інвертор автоматично вимикається, своєчасно видаючи попередження про відключення.

Автоматичне перемикання навантаження на байпас або будь-яке інше доступне введення відбувається у разі виходу інвертора за встановлений діапазон.

Щоб правильно вибрати інвертор 12 – 220 В необхідно знати, яке навантаження може бути включено одночасно і характер

цього навантаження (активне або реактивне). Сумарна потужність навантаження визначить номінальна потужність інвертор.

При оцінці потужності навантаження необхідно враховувати повну потужність. Повна потужність (вимірюється у вольт-амперах, ВА) - це вся потужність, споживана електроприладом. Вона складається з активної потужності (вимірюється в Ватах, Вт) і реактивної потужності (вимірюється у вольт-амперах).

Активні навантаження це такі навантаження, у яких вся споживана електроенергія переходить в теплоту. Сюди можна віднести лампи розжарювання, праску, електричну плиту, обігрівач та інше.

Реактивні навантаження - фактично це все інше. Сюди можна віднести люмінесцентні лампи, прилади з електродвигунами (холодильник), трансформатори, блоки живлення сучасної побутової техніки.

Розрахунок активного навантаження вкрай простий - 1 кВт дорівнює 1 кВА.

Реактивні навантаження використовують не всю передану їм енергію. Вони частково запасують її з наступною віддачею в електричний ланцюг. Відповідно для них повна потужність  $P$ , необхідна для роботи, більше ніж активна потужність  $P_a$ . Вона розраховується за формулою:

$$P = P_a / \cos\phi.$$

Це дуже важливо, оскільки номінальна потужність інвертора

вказується в ВА або Вт, а номінальна потужність електроприладів часто вказана в Вт (тільки активна складова). Не враховуючи приріст потужності, розрахунок буде проведений помилково і обраний інвертор буде недостатньої номінальної потужності.

Величина  $\cos\phi$ , в деяких випадках, вказана в документації на прилад. Якщо величина  $\cos\phi$  не зазначена ні на приладі, ні в документації на нього, даний коефіцієнт приймається рівним 0,7.

При розрахунку необхідно врахувати пускові струми. Електродвигун у момент його запуску споживає електроенергію в кілька разів більше, ніж в сталому режимі роботи. Ця величина називається кратністю пускового струму. Залежно від типу електродвигуна, наявності або відсутності пристроїв плавного запуску він варіюється від 3 до 7. У момент запуску електричних приладів з електродвигунами (насоси, електричні дрилі, холодильники) споживану потужність навантаження необхідно помножити як мінімум в 3-5 разів. Тривалість пускових струмів зазвичай становить від 0,25 до 0,5 с.

Для визначення кількості енергії, яка потрібна від системи, необхідно визначити пікову миттєву потужність, а також розрахувати дві величини очікуваного добового енергоспоживання - його максимальне і середнє значення.

Пікова миттєва потужність визначається сумарною потужністю всіх енергоспоживачів, які можуть бути включені одночасно, тобто найгіршим випадком з точки зору навантаження на мережу.

Однак це не означає, що необхідно просто підсумувати потужність всіх електроприладів в будинку. Деякі з них принципово не будуть працювати одночасно (скажімо, снігоприбирач і газонокосарка використовуються в різні сезони, також як одна людина не зможе працювати відразу і перфоратором, і болгаркою). Більшість інших електроприладів теж включається по черзі. Більш того, не дуже складно перед включенням потужного електроприладу (скажімо, праски) переконатися в тому, що електрочайник в даний момент вимкнений - це дозволить не витратитися на надлишок потужності, який в реальності виявиться затребуваним лише пару разів за рік на декілька хвилин. Зате мають бути враховані всі потужні споживачі, які автоматично включаються (наприклад, електричні теплі підлоги або підігрів води в бойлері) і споживачі, що працюють в тривалому режимі (освітлення, комп'ютер, телевізор) - вірогідність їх одночасної роботи висока. В результаті вимоги до максимальної миттєвої потужності знижуються у багато разів, і замість десятків кіловат, необхідних при одночасному включенні всієї наявної електротехніки, звичайно цілком достатньо 3 - 6 кВт, що при мережевій напрузі 220 В відповідає запобіжнику-автомату на 16-32 А.

Визначити очікуване добове енергоспоживання складніше. Воно залежить від того, в якому режимі планується використовувати створювану систему електропостачання.

Для розрахунку навантаження побутових приладів будинку

складають графік навантаження по зонам доби (табл.3).

Таблиця 3

Найменування електроприладів	Потужність приладів	Ранок (6:00-10:00)	День (10:00-17:00)	Вечір (17:00-23:00)	Ніч (23:00-6:00)
Телевізор	300	300	0	600	0
Комп'ютер	400	0	0	400	0
Посудомийка	1500	1500	0	1500	0
Пральна машина	500	0	0	500	0
Електроплита	1500	1500	0	1500	0
Мікрохвильова піч	1500	1500	0	0	0
Пилосос	1300	0	0	1300	0
Лампочка	100	600	100	1000	0
Електрочайник	2000	2000	0	2000	0
Праска	1800	0	0	1800	0
Кавоварка	1200	300	0	0	0
Фен	200	0	0	200	0
Обігрівач підлоги	300	300	300	300	0
Система підігріву будинку	300	300	300	300	300
<b>Всього по періодам доби:</b>		<b>8320</b>	<b>720</b>	<b>11400</b>	<b>320</b>
<b>Всього за добу:</b>		<b>20760</b>			

В наведеному прикладі «пік» споживання енергії складає близько 12 кВт, коли протягом 1-2 годин працюють практично всі прилади. Однак, в реалії така ситуація мало ймовірна, оскільки зазвичай ми вмикаємо на 5 хвилин електрочайник, на 30 хвилин – праску тощо.

Інвертори можуть працювати також в режимі перевантаження, величина якого залежить від часу перевантаження, наприклад

більшість моделей інверторів протягом 5-30 хвилин можуть віддавати потужність в 1,2-1,3 рази більше номінальної, і протягом декількох секунд - потужність в 1,5-2 рази перевищує номінальну.

Інвертор повинен витримувати перевантаження не менше сумарної потужності постійного навантаження і найбільшого з пускових.

Існує два варіанта розрахунку необхідної потужності інвертора:

1) Щоб розрахувати споживану потужність ( $P_{IHB}$ ) системи з інвертором (для змінного струму), потрібно внести поправку (помножити середнє споживання на коефіцієнт максимуму - відношення максимальної потужності змінного струму (яку повинен забезпечити інвертор) до середньодобової потужності споживання споживачів змінного струму об'єкта  $K_{max}=8$ ). Щоб врахувати втрати в інверторі необхідно отриману потужність споживачів помножити на 1,25.

Потужність розраховують за рівнянням:

$$P_{IHB} = \frac{1,25 \cdot K_{max} \cdot W_{AC}}{24}$$

При цьому варіанті розрахунку потужності не вистачить для довготривалого живлення навіть одного потужного споживача, так як використовується добове значення споживаної енергії.

2) Підраховуємо максимальну сумарну потужність одночасно працюючих (протягом більше 5 хвилин) АС споживачів, на-

приклад (мікрохвильова піч АБО електрочайник АБО праска) + (все інше) - (пилосос) - (половина ламп). Тоді з урахуванням запасу бажаний інвертор з номінальною потужністю не менше 3-3,5 кВт.

Тут показаний набір споживачів, яким «дозволено» працювати одночасно в кожен проміжок часу. Щоб не завищувати надмірно максимальну допустиму потужність (і вартість) системи, краще обмежити користувача в одночасному підключенні ВСІХ споживачів, наприклад в цьому прикладі, не дозволяється підключати одночасно два (і більше) потужних споживачів (звідси умова АБО), ну і пилосос (хоч і менш потужний) теж рідко використовується. Більше половини ламп, наявних в будинку, в кожен момент часу не повинно горіти. Таким чином, вибір максимальної допустимої потужності - це компроміс між вартістю системи і комфортом для споживача.

#### **4.5 Визначення необхідної місткості акумуляторної батареї і їх кількості**

Орієнтуючись на режим експлуатації ФЕС визначити максимальне число послідовних «днів без сонця»  $N_{БС}$  з табл. 4 (тобто коли сонячної енергії недостатньо для заряду акумуляторної батареї і відповідно для роботи навантаження через негоду або хмарність). При цілорічній експлуатації фотоелектричної системи з ду-

блером, у тому числі при роботі із загальною енергомережею, для зменшення витрат можна обрати мінімально можливу кількість днів без сонця - 1. Це обумовлюється заряджанням від резервного джерела у будь-який час. Також можливо прийняти за цей параметр вибрану кількість днів, впродовж яких акумуляторні батареї живитиме навантаження самостійно без заряджання.

Таблиця 4

Кількість днів без сонця, обумовлена погодними умовами.

Широта місцевості	Період		
	Літні місяці	Осінні і весняні місяці	Зимові місяці
30	2-4	3-4	4-6
40	2-4	4-6	6-10
50	2-4	6-8	10-15
60	3-5	8-12	15-25
70	3-5	12-14	20-35

Якщо система застосовується для замиського будинку, що відвідується тільки у вихідні дні, потрібна велика місткість батарей, тому що вони можуть заряджатися впродовж усього тижня, а віддавати енергію тільки у вихідні дні.

Сумарна місткість акумуляторів, що враховує кількість днів без сонця  $N_{bc}$  :

$$Q_N = Q_{ДОБ} \cdot N_{bc} \cdot$$

Задати величину глибини допустимого розряду акумуляторної батареї. При цьому необхідно врахувати, що чим більше гли-

бина розряду, тим швидше батареї вийдуть з ладу. Рекомендується значення глибини розряду 20% - 50%, відповідно коефіцієнт використання  $\gamma$  складе від 0,2 до 0,5. Ні за яких обставин розряд батареї не повинен перевищувати 80%.

Заряд акумуляторної батареї з урахуванням глибини розряду:

$$q_{\gamma} = \frac{q_N}{\gamma}.$$

Вибираємо температурний коефіцієнт  $\alpha$  з табл. 5, який враховує зменшення місткості акумуляторної батареї при зниженні температури в приміщенні, де вона встановлена. Звичайно це середня температура в зимовий час.

Таблиця 5

Температурний коефіцієнт для акумуляторної батареї.

Температура в градусах		Коефіцієнт
$^{\circ}\text{C}$	F	
26,7	80	1,00
21,2	70	1,04
15,6	60	1,11
10,0	50	1,19
4,4	40	1,30
-1,1	30	1,40
-6,7	20	1,59

Загальна необхідна місткість акумуляторних батарей :

$$q_{\text{АКБ}} = q_{\gamma} \cdot \alpha.$$

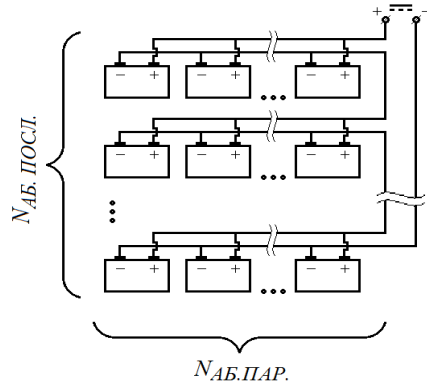
Вибираємо тип акумуляторної батареї для ФЕС (краще свинцево-кислотні акумулятори). Виписати для нього номінальну місткість  $Q_{НОМ}$  і номінальну напругу  $U_{НОМ}$ .

Кількість батарей з'єднаних паралельно (рис.7), визначають із залежності:

$$N_{ПАР}^{АКБ} = \frac{Q_{АКБ}}{Q_{НОМ}}.$$

Отримане значення округлюють до більшого цілого.

Рис.7 Схема з'єднання акумуляторних батарей



Кількість послідовно сполучених батарей визначають із залежності та округлюють до більшого цілого:

$$N_{ПОС}^{АКБ} = \frac{U_{ИНВ}}{U_{НОМ}}.$$

Загальна кількість акумуляторних батарей складе:

$$N^{АКБ} = N_{ПАР}^{АКБ} \cdot N_{ПОСЛ}^{АКБ}.$$

## 4.6 Визначення необхідної кількості сонячних батарей

Сонячні елементи генерують електричний струм прямо пропорційно інтенсивності сонячного випромінювання. У ясну погоду кремнієві елементи виробляють електричний струм приблизно 0,5 В і 0,25 мА на  $1 \text{ см}^2$  або 12 – 13 мкВт /  $\text{см}^2$ .

У яскравий сонячний день елементи нагріваються до 60 - 70°C втрачаючи 0,07 - 0,09 В кожен, що є основною причиною зниження ККД сонячних елементів, призводячи до падіння напруги, що генерується елементом.

Для визначення надходження сонячної радіації на поверхню ФЕПа необхідно:

1. У відповідності до варіанту завдання за таблицею Д2 знаходимо річне надходження сонячної енергії на горизонтальну поверхню у заданому місті.
2. Випишуємо значення середньомісячної денної сумарної сонячної енергії  $E_x$  по місяцях і помножуємо їх на кількість днів в місяці та заносимо до таблиці б.
3. Отримані значення підсумовуємо.

Кількість піко годин  $Nd_{пк}$ , год/день, тобто, умовний час, протягом якого сонце світить як би з інтенсивністю 1000 Вт /  $\text{м}^2$  визначається з рівняння:

$$Nd_{шк} = \frac{E_x}{1 \frac{\kappa B m}{m^2}}$$

Таблиця 6

Надходження сонячної радіації

Назва місяця	Число робочих днів в місяці	Середньомісячна денна сумарна сонячна енергія	Середньомісячна сумарна сонячна енергія	
		МДж/(м <sup>2</sup> день)	МДж/м <sup>2</sup>	кВт·год/(м <sup>2</sup> день)
Січень	31			
Лютий	28			
Березень	31			
Квітень	30			
Травень	31			
Червень	30			
Липень	31			
Серпень	31			
Вересень	30			
Жовтень	31			
Листопад	30			
Грудень	31			
		Всього		

Якщо електропостачання повністю повинне забезпечуватися за рахунок сонячних батарей, то підрахунок повинен проводитися за місяцем з найменшим надходженням сонячної радіації. Недоліком в цьому випадку буде велике число необхідних сонячних батарей і незрівнянно великі витрати внаслідок дуже малого значення пікових сонце-годин. Для потужних систем установка сонячних

батареї стає економічно недоцільною. Тому за наявності резервного джерела живлення рекомендується проводити розрахунок по середньорічному значенню пікових сонце-годин. Це дозволить скоротити витрати на фотоелектричну систему. У теплу пору року енергія, що виробляється, може передаватися в загальну мережу, а в холодну відповідно забиратися з мережі або від резервного джерела живлення.

Обираємо тип сонячної батареї та виписуємо її характеристики: номінальну потужність (при  $1000 \text{ Вт/м}^2$ )  $P_{\text{НОМ}}^{\text{СБ}}$ , напругу холостого ходу  $U_{\text{ХХ}}^{\text{ФЕП}}$ , напругу  $U_{\text{НОМ}}^{\text{ФЕП}}$  та струм  $I_{\text{НОМ}}^{\text{ФЕП}}$ , номінальній потужності.

Значення струму, який повинні генерувати сонячні батареї визначають з рівняння:

$$I_{\text{ФЕП}} = \frac{\zeta \cdot q_{\text{ДОБ}}}{N d_{\text{ПСК}}},$$

де  $\zeta=1,2$  коефіцієнт для обліку втрат на заряд-розряд акумуляторної батареї.

Число модулів, сполучених паралельно, визначають з рівняння та округлюють до більшого цілого значення:

$$N_{\text{ПАР}}^{\text{ФЕП}} = \frac{I_{\text{ФЕП}}}{I_{\text{мФЕП}}}.$$

Число модулів, сполучених послідовно, визначають з рівняння та округлюють до більшого цілого значення:

$$N_{\text{ПОСЛ}}^{\text{ФЕП}} = \frac{U_{\text{ИНВ}}}{U_{\text{НОМ}}^{\text{ФЕП}}}.$$

Загальна кількість необхідних фотоелектричних модулів :

$$N^{\text{ФЕП}} = N_{\text{ПАР}}^{\text{ФЕП}} \cdot N_{\text{ПОСЛ}}^{\text{ФЕП}}.$$

Площа сонячних батарей :

$$S^{\text{СБ}} = N^{\text{ФЕП}} \cdot S^{\text{ФЕП}},$$

де  $S^{\text{ФЕП}}$  - площа одного ФЕПа.

Схема паралельно-последовного з'єднання сонячних модулів повністю аналогічна схемі з'єднання акумуляторних батарей.

#### 4.7 Фотоелектричні системи з резервним електрогенератором

При спільній роботі фотоелектричної системи та інших генераторів електроенергії (рис.1) можна задовольняти більш різноманітний попит на електрику з великою зручністю і при менших витратах, ніж окремо. Коли електрику потрібна безперервно або коли її необхідно більше, ніж може виробити одна тільки ФЕС, її може доповнити додатковим електрогенератором. У денні години фотоелектричні модулі задовольняють денну потребу в енергії і заряджають акумулятор. Коли акумулятор розряджається, дизель-генератор (або бензиновий, або газовий) включається і працює до тих пір, поки батареї не підзарядитися. У деяких системах генератор поповнює нестачу енергії, коли споживання електрики перевищує загальну потужність фотомодулів і акумуляторів. Системи,

в яких використовуються різнотипні електрогенератори, об'єднують в собі переваги кожного з них. Двигун-генератор виробляє електрику в будь-який час доби. Таким чином, він являє собою резервне джерело живлення для дублювання фотоелектричних модулів, що залежать від погоди. З іншого боку, фотоелектричний модуль працює безшумно, не вимагає догляду і не викидає в атмосферу забруднюючі речовини. Комбіноване використання фотоелементів і генераторів здатне знизити початкову вартість системи. Якщо резервної установки немає, фотоелектричні модулі та акумулятори повинні бути досить великими, щоб забезпечувати живлення вночі.

Однак, використання двигуна-генератора в якості резерву означає, що для забезпечення потреби в електриці потрібна менша кількість фотоелектричних модулів і батарей. Присутність генератора робить проект системи більш складним, але керувати нею все одно достатньо легко. Насправді сучасне електронне управління інверторів дозволяє цим системам працювати в автоматичному режимі. Інвертори можна запрограмувати на автоматичне перемикання або на генератор, або на підзарядку батарей, або комбінацію цих функцій. Крім двигуна-генератора, можна використовувати електрику від вітроустановки, малої ГЕС або від іншого джерела, формуючи, таким чином, гібридну електростанцію необхідного розміру.

Оптимально використовувати електростанцію в діапазоні 40-

80% від її номінальної потужності. Не варто вибирати станцію на «межі» її потужності, так само як і не варто закладати занадто великий «запас».

Враховуючи велику різноманітність електростанцій, широкий ціновий діапазон дизельних електростанцій і бензогенераторів представлених на ринку, перед вибором електростанції необхідно визначитися з її призначенням - резервна або основна, місцем розташування (приміщення або вулиця), наявності системи автозапуску електростанції при відсутності енергопостачання.

Щоб визначити, яку номінальну і максимальну потужність повинна мати ваша електростанція, необхідно визначити сумарну потужність споживачів електричної енергії, які будуть або можуть експлуатуватися одночасно. Практичний досвід використання електростанцій говорить про те, що для роботи двох - трьох лампочок, холодильника, телевізора на вашійдачній ділянці цілком достатньо потужності в 2 кіловати, при використанні додаткової побутової техніки до 6 кіловат, власникові замиського котеджу - 10-20 кіловат. Зазвичай це однофазні електростанції.

Якщо електростанція необхідна як аварійне джерело на невеликі проміжки часу в період відсутності електроенергії, то доцільно обирати бензинову електростанцію (бензогенератор). Якщо для постійної безперебійної роботи - дизельну електростанції (дизельгенератор), незважаючи на його більш високу початкову вартість. Однак, витрати на паливо і технічне обслуговування бензо-

генератора вищі, ніж у дизельгенератора. Крім того, дизельній електростанції шкідливо працювати на холостих обертах.

При купівлі мініелектростанції з бензиновим двигуном основну увагу слід звернути на його ресурс. Двигуни з алюмінієвим блоком циліндра і бічним розташуванням клапанів характеризуються невисокою вартістю, але і ресурс їх невеликий - порядку 500 годин. Двигуни з чавунною гільзою циліндра і бічним розташуванням клапанів ресурс - 1500 годин.

Електрогенератори бувають синхронні і асинхронні. Синхронні генератори - менш точні, але, тим не менш, вони придатні для аварійного електроживлення офісів, холодильних установок, обладнання заміських будинків, дач, будівельних об'єктів. Вони без проблем справляються з енергопостачанням електроінструментів і електродвигунів з реактивним навантаженням до 65% від свого номіналу. Асинхронні генератори забезпечують підтримку напруги в мережі з високою точністю, тому дозволяють підключати до них апаратуру, чутливу до перепадів напруги (наприклад, електронні пристрої). Подібні генератори дозволяють підключати до них електроінструменти і електродвигуни з реактивною потужністю до 30% від номіналу.

При експлуатації електростанції усередині приміщень і в населених дачних селищах необхідно купувати станцію в шумоізолюючому кожусі.

Блок контролю і автоматики з програмованою системою ав-

тозапуску дає можливість бути повністю незалежним при відключенні основної живильної мережі разі повної відсутності людей у будинку.

## **5 ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ГЕЛІОСИСТЕМИ З ФОТОЕЛЕКТРИЧНИМИ ПЕРЕТВОРЮВАЧАМИ**

Важливим фактором економічного аналізу є термін експлуатації фотоелектричної системи. Терміни служби різних компонентів сонячного енергопостачання підраховані на основі досвіду, накопиченого за останні роки:

- термін служби фотоелектричних панелей без помітного зниження ККД оцінюється в 20 - 25 років;
- каркаси і кріплення з алюмінію і нержавіючої сталі (використовуються в більшості фотоелектричних систем) - термін служби не нижче фотоелектричних модулів;
- середній термін служби акумулятора складає від 4 до 10..12 років в залежності від характеру циклу заряд / розряд;
- контролери заряду акумуляторів розраховані щонайменше на 10 - 15 років безремонтної експлуатації;
- інвертори зазвичай слугують не менше 10 - 15 років. Багато виробників дають гарантійний термін експлуатації 5 років.

Відповідно до попереднього розрахунку знаходимо устатку-

вання, необхідне для роботи енергосистеми, використовуючи Інтернет, прайс листи виробників обладнання або таблиці додатку Д 3-6.

### Розрахунок капітальних витрат.

За початковими даними, виходячи з розрахованої потужності системи і необхідної кількості устаткування, а також оцінки будівельно-монтажних витрат, складаємо табл. 7, в яку вносимо необхідні капітальні витрати.

Таблиця 7

Капітальні вкладення в перший рік роботи проекту

Найменування	Кількість	Вартість одиниці	Загальна вартість
...	...	...	...
...	...	...	...
		Разом:	...

Капітальні вкладення здійснюються один раз під час впровадження проекту, а також щороку для підтримки його працездатності (капітальний ремонт, поточний ремонт).

Капітальні вкладення в перший рік роботи проекту визначаємо за формулою:

$$K_1 = \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_i,$$

де  $C_i$  - вартість одиниці  $i$ -го устаткування;

$N_i$  - кількість  $i$ -го устаткування.

Розрахунок ведемо для кожного  $i$ -го рядка табл. 7

Капітальні вкладення в подальші роки роботи проекту для здійснення планових ремонтів визначаємо за формулами:

$$K_{fn} = K_1 \cdot k_n,$$

$$K_{fc} = K_1 \cdot k_c,$$

де  $k_n = 0,01$  для поточного ремонту;

$k_c = 0,05$  для капітального ремонту.

Капітальний ремонт проводимо кожен десятий рік роботи проекту. Поточний ремонт - щороку.

### **Розрахунок виробничих витрат.**

Для розрахунку виробничих витрат оцінюємо кількість обслуговуючого персоналу і його заробітну плату. Крім того, виходячи з даних попереднього розрахунку, визначаємо вартість енергії, отриманої з енергомережі в холодну пору року (при наявності під'єднання до мережі). Дані представляємо в табличній формі (табл. 8).

### **Розрахунок виробничих доходів і заміщення мережевої електроенергії.**

Для розрахунку доходів і заміщення мережевої електроенергії, визначаємо вартість виробленої електроенергії, включаючи ту енергію, яка була віддана в мережу. Дані зводимо в табл. 9.

Таблиця 8

## Виробничі витрати за перший рік роботи системи

Купівля електроенергії з мережі	Кількість електроенергії, кВт·год	Вартість 1 кВт·год, грн	Вартість електроенергії, грн
Зарплата персоналу	Кількість, чоловік	Середня заробітна плата 1 людини, грн	Фонд оплати праці, грн
		Разом:	

Таблиця 9

## Виробничі доходи за перший рік роботи системи

Продаж електроенергії в мережу	Кількість електроенергії, кВт·год	Вартість 1 кВт·год, грн	Вартість електроенергії, грн
Вироблена електроенергія	Кількість електроенергії, кВт·год	Вартість 1 кВт·год, грн	Вартість електроенергії, грн
		Разом:	

Річну кількість електроенергії, виробленої ФЕС визначають з рівняння, кВт/год:

$$W = (W_{AC} + W_{DC})n,$$

де  $n$  – кількість днів роботи ФЕС за рік.

## **Розрахунок терміну окупності системи без дисконтування фінансових потоків.**

Термін окупності системи без урахування капітальних ремонтів кожні десять років роботи :

$$T_1 = \frac{K_1}{P_i - C_i - K_i},$$

де  $K_1$  - капітальні витрати в перший рік роботи системи;

$K_i$  - капітальні витрати в подальші роки роботи системи;

$C_i$  - витрати виробництва за перший рік роботи;

$P_i$  - доходи від виробництва електроенергії за перший рік роботи.

Термін окупності з урахуванням капітальних ремонтів:

$$T_2 = \frac{K_1 + K_{fc} \cdot N_{fc}}{P_i - C_i - K_i},$$

де  $N_{fc} = T_1/10$ . Відкидаємо дробову частину, щоб визначити кількість капітальних ремонтів, проведених за термін експлуатації системи.

## Контрольні питання

1. Що таке сонячна радіація і як її використовують на Землі?
2. Дати визначення поняттю «Потужність сонячного випромінювання».
3. Що таке фотоэффект?
4. Принцип дії сонячної батареї.
5. Розкажіть як зроблений кремнієвий фотоелемент.
6. Поясніть принцип дії фотоелементу.
7. Конструкція сонячної батареї.
8. Область застосування сонячних батарей.
9. Що таке фотоелемент, фотоелектричний модуль і батарея?
10. Які типи фотоелектричних модулів Ви знаєте?
11. Які матеріали використовуються для виготовлення сонячної батареї.
12. Назвіть електричні характеристики фотоелементу, орієнтовні ціни на обладнання.
13. Перерахуйте технічні вимоги до фотоелементів.
14. Як впливає освітленість на вихідні характеристики сонячних батарей?
15. Назвіть і охарактеризуйте діючі сонячні електростанції.
16. Що таке вольт-амперна характеристика фотоелементу? Намалюйте ВАХ сонячного елемента і відобразіть основні

показники.

17. Який максимальний теоретичний ККД можна досягти для напівпровідникових фотоелектричних перетворювачів?
18. В чому різниця вольт-амперної характеристики при затіненні сонячної батареї?
19. Що являє собою фотоелектрична система?
20. Перерахуйте компоненти фотоелектричної станції. Який склад необхідного устаткування для ФЭС?
21. За якими параметрами обирається потужність фотоелектричних модулів?
22. В чому різниця послідовного з'єднання сонячних батарей від паралельного?
23. З якою метою застосовується та чи інша схема з'єднання ?
24. Переваги і недоліки послідовного з'єднання сонячних елементів.
25. Переваги і недоліки паралельного з'єднання сонячних елементів.
26. Для чого потрібен регулятор заряду?
27. Які функції виконує контролер?
28. Для чого використовується інвертор?
29. Які види акумуляторів використовуються для фотоелектричної станції?
30. Як розрахувати і вибрати місткість акумуляторної батареї?
31. Від чого залежить вартість фотоелектричної системи?

## Список рекомендованої літератури

1. Соловей О.І., Лега Ю.Г., Розен В.П., Ситник О.О., Чернявський А.В., Курбака Г.В. Нетрадиційні та поновлювальні джерела енергії / Навчальний посібник. – Ч.: ЧДТУ, 2007. – 483 с.
2. Безручко К.В., Губин С.В. Автономные наземные энергетические установки на возобновляемых источниках энергии. Харьков: Нац. Аэрокосм. Ун-т «Харьк. Авиаци. Ин-т», 2007.-310с.
3. Дюдюк Д.Л., Мазепа С.С., Гнатишин Я.М. Нетрадиційна енергія: основи теорії та задачі. Навчальний посібник. Л. «Магнолія 2006», 2008.-188 с.
4. <http://www.solarhome.ru/pv/pvsizing.htm>.
5. KVAZAR // [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.kvazar.com>.

## ДОДАТКИ

Таблиця Д.1

Потужності споживачів.

№	Споживачі	Потужність, Вт
1	Мікрохвильова піч	850 – 1500
2	Чайник	1200 – 1500
3	Гостер	800 -1500
4	Кавоварка	150 – 3000
5	Телевізор	17 – 300
6	Комп'ютер	150 – 300
7	Кондиціонер	800 – 2500
8	Праска	800 – 2400
9	Електроплита	1200 – 4000
10	Музичний центр	100
11	DVD- плеєр	35 – 60
12	Обігрівач	1500 – 6000
13	Холодильник*	230 – 550
14	Посудомийна машина*	2000 – 2500
15	Кавомолка*	140 – 220
16	Блендер*	220 – 700
17	Кухонний комбайн*	500 – 800
18	Пилосос*	700 – 2000
19	Фен*	1200 – 1800
20	Пральна машина*	700 – 2000
21	Принтер*	100 – 650
22	Копіювальний пристрій*	2000 – 5000
23	Факс*	130
24	Насос*	250-500
25	Кухонна витяжка*	100 – 150
26	Вентилятор*	10 – 60
28	Електросушарка*	400 – 2000
29	Бритва*	10 – 15
30	Дриль*	600 – 1000

Таблиця Д.2

Населений пункт	Широта	Довгота	Середньомісячна денна сумарна сонячна енергія, МДж / (м <sup>2</sup> · день).												Середнє значення
			I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Вінниця	49,2	28,49	3,9	6,8	10,6	14,1	18,7	19,1	18,6	16,9	11,6	7,1	4	3,2	11,2
Дніпро	48,4	35,13	4,4	7,2	10,7	14,6	20	20,1	20,5	18,3	13,2	8,2	4,3	3,5	12,06
Донецьк	48	37,82	4,5	7,3	10,6	14,8	20,1	20,6	21	18,7	13,8	8,5	4,5	3,6	12,31
Житомир	50,3	28,67	3,6	6,6	10,3	14	18,6	18,7	18,1	16,8	11	6,7	3,7	3	10,94
Запоріжжя	47,9	35,16	4,4	7,6	10,5	15,1	20,2	20,6	21,2	18,7	13,9	8,8	4,5	3,4	12,38
Івано-Франківськ	48,9	24,71	4,3	7	10,2	13,3	16,3	17,1	17,1	15,8	11	7,2	4,3	3,4	10,58
Київ	50,4	30,54	3,9	6,7	10,6	14,3	18,9	18,8	18,9	16,8	11,2	7	3,7	3,1	11,16
Кіровоград	48,5	32,25	4,3	7	10,7	14,7	19,7	19,8	20,1	17,7	12,9	8,1	4,1	3,5	11,88
Луганськ	48,6	39,35	4,4	7,4	11	14,6	19,7	20,1	20,3	18	13	8	4,5	3,4	12,02
Луцьк	50,8	25,35	3,7	6,4	10,2	14,1	18,2	18,3	17,8	16,4	10,8	6,6	3,8	2,8	10,76
Львів	49,8	24,01	3,9	6,7	10,3	13,9	17,4	18	17,8	16,2	11,1	6,9	3,9	3,1	10,76
Миколаїв	47	32,02	4,7	7,7	11,1	15,7	20,5	20,7	21,6	19	14,4	9,3	4,9	3,7	12,78

Продовження таблиці Д2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Одеса	46,5	30,73	4,5	7,6	11,1	15,8	20,3	21,1	21,7	19,2	14,2	9,1	4,9	3,7	12,74
Полтава	49,6	34,54	4,3	7,1	11	14,4	19,4	19,6	19,8	17,5	12,3	7,6	4,1	3,3	11,7
Рівне	50,6	26,3	3,6	6,5	10,2	13,9	18,3	18,6	17,9	16,5	10,9	6,7	3,7	2,9	10,8
Севастополь	44,6	33,5	4,4	7,3	11,6	17,4	22,6	25,4	26,1	22,5	16,5	10	5,5	3,6	14,5
Сімферополь	45	34,1	4,6	7,4	11	15,5	19,6	21	22,3	19,2	14,7	9,6	5,6	3,9	12,9
Суми	50,5	35	4,1	7	11	14,3	19	19,2	19,4	16,8	11,5	7,1	4	3,1	11,4
Тернопіль	49,6	25,6	3,9	6,7	10,3	13,9	17,4	18	17,8	16,2	11,1	6,9	3,9	3,1	10,8
Ужгород	48,6	22,3	3,9	6,7	10,3	13,9	17,4	18	17,8	16,2	11,1	6,9	3,9	3,1	10,8
Харків	50	36,3	4,3	7,3	11	14,1	19,4	19,7	20	17,6	12,6	7,6	4,3	3,2	11,7
Херсон	46,7	32,7	4,7	7,7	11,1	15,7	20,5	20,7	21,6	19	14,4	9,3	4,9	3,7	12,8
Хмельницький	49,4	26,8	5,7	8,6	12	15,7	19,8	21,9	22,2	19,9	15,2	9,8	5,9	4,5	13,4
Черкаси	49,6	23,9	3,9	6,6	10,2	13,6	16,8	17,4	17,4	16	10,8	6,7	3,8	3	10,5
Чернігів	51,5	31,3	3,6	6,5	10,5	14,3	18,6	18,7	18,4	16,3	10,8	6,7	3,5	2,7	10,9
Чернівці	48,3	25,9	4,3	7	10,2	13,3	16,3	17,1	17,1	15,8	11	7,2	4,3	3,4	10,6
Ялта	44,3	34,2	4,6	7,4	11	15,5	19,6	21	22,3	19,2	14,7	9,6	5,6	3,9	12,9

Таблиця Д 3

## Вартість фотоперетворювачів.

Найменування	Номінальна потужність, Вт	Напруга при $P_{max}$ , В	Струм при $P_{max}$ , А	Вартість, грн
KV - 10	10	18	0,7	Від 700
KV - 25	25	18	1,4	Від 1400
KV - 80	80	17,5	4,57	Від 3840
KV - 85	85	17,65	4,82	Від 4080
KV - 90	90	18	5	Від 4320
KV - 175	175	35,5	4,93	Від 7770
KV - 180	180	36	5	Від 7992
KV - 185	185	36,1	5,14	Від 8214

Таблиця Д 4

## Приблизна вартість акумуляторів

Найменування	Напруга, В	Місткість, Ач	Вартість, грн
DJM 1275	12	75	1375
DJM 12100	12	100	1725
DJM 12120	12	120	2125
DJM 12150	12	150	2700
DJM 12200	12	200	3300
Haze HZB 2230	12	230	4625

Таблиця Д 5

## Приблизна вартість інверторів

Найменування	Номінальна потужність, Вт	Вхідна напруга, В	Вартість, грн
Powersine PS1000 - 12	1000	12	7087,5
Powersine PS1600 - 12	1600	12	10025
Simin SIM - 1500P	1500	12/24	3612,5
Simin SIM - 2000P	2000	12/24	4866,25
Simin SIM - 3000PC	3000	12/24	8223,75

## Розцінки на будівельно-монтажні роботи

Вид робіт, що проводяться	Вартість послуги, грн
Демонтаж устаткування	820
Затягування кабелю в п/з трубу	16,40
Монтаж, інсталяція акумуляторної батареї до 120 А·год	150
більше 120А·год	225
Монтаж, інсталяція інвертора більше 2кВт	1500
Монтаж, інсталяція інвертора до 2кВт	900
Монтаж, інсталяція контролера заряду	150 – 750
Монтаж, інсталяція сонячного фотоелектричного модуля більше 100Вт	450
Монтаж, інсталяція сонячного фотоелектричного модуля до 100Вт	300
Монтаж, інсталяція стабілізатора більше 10кВт	900
Монтаж, інсталяція стабілізатора до 10кВт	600
Монтаж, підключення модуля синхронізації	1000
Перекомутація автоматів	32
Підключення генератора до системи безперебійного живлення з ручним запуском	820
Підключення генератора з автоматичним режимом роботи	1640
Прокладення кабелів хомутами (висота до 3 м)	32,80
Прокладення короба перерізом 40-100 мм на висоті до 3 м	24,60
Прохід через бетон/стіну завтовшки до 550мм діаметром до 18мм	328
Прохід через цегляну стіну завтовшки до 550мм діаметром до 18мм	164
Складання, монтаж, інсталяція устаткування - облаштувань автоматики і захисту	820
Укладання кабелю в траншеї	16,40