

1 ЗАГАЛЬНІ АСПЕКТИ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

1.1 Енергія Сонця

Структура джерел енергії протягом останніх десятиліть істотно зміцнюється: зростає значення нафти, вугілля й газу, зменшується – деревини; певного значення набуває атомна енергія. Робляться спроби повнішого використання енергії вітру, морських припливів, сонячного тепла.

Проте досі найбільший внесок у загальний енергетичний фонд, використовуваний людиною, належить речовинам, нагромадженим внаслідок фотосинтетичного процесу. Із часом цей енергетичний фонд – вугілля, нафта – наближається до виснаження, і тільки Сонце залишається стабільним джерелом енергії. Фотосинтез – єдиний процес, здатний постійно відновлювати енергетичні ресурси планети. Тому є підстави вважати його основою відновлювальних джерел енергетичних засобів. Сонце випромінює таку кількість енергії, якої вистачило б на задоволення не лише сучасних, але й майбутніх потреб людства, коли б існувала можливість утилізувати повністю всю енергію, що досягає поверхні Землі [3].

У багатьох місцях земної кулі загальна енергія випромінювання становить $7\,208 \text{ Дж}\cdot\text{м}^2$ на рік ($2\,000 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2$ на рік). Кількість сонячної енергії, що надходить на Землю, у $10\,000$ разів перевищує сучасний рівень енергоспоживання [4].

Сонце є основним джерелом енергії, що забезпечує існування життя на Землі. Унаслідок реакцій ядерного синтезу в його активному ядрі досягаються температури до 10^7 К . При цьому поверхня Сонця має температуру близько $6\,000 \text{ К}$. Електромагнітним випромінюванням сонячна енергія передається в космічному просторі і досягає поверхні Землі, з потужністю близько $1,2\text{--}10^{11} \text{ Вт}$. Одержання такої енергії на протязі однієї години достатньо, щоб задовольнити енергетичні потреби всього населення Земної кулі протягом року. Максимальна щільність потоку сонячного випромінювання, що приходить на Землю, складає приблизно $1 \text{ кВт}/\text{м}^2$. Залежно від місця, часу доби і погоди потоки сонячної енергії змінюються від $3 \text{ МДж}/\text{м}^2$ до $30 \text{ МДж}/\text{м}^2$ у день (для різних населених районів).

Одній людині для створення комфортних умов життя, у середньому, потрібно приблизно 2 кВт на добу, або приблизно 170 МДж енергії. Якщо прийняти ефективність перетворення сонячної енергії в зручну для споживання форму 10% та потік сонячної енергії $17 \text{ МДж}/\text{м}^2$ у день, то необхідну для однієї людини енергію можна одержати з 100 м^2 площі земної поверхні. За середньої щільності населення в містах 500 чоловік на 1 км^2 , на одну людину припадає близько $2\,000 \text{ м}^2$ земної поверхні. Тобто, досить всього 5% цієї площі, щоб завдяки сонячній енергії, що знімається з неї, задовольнити енергетичні потреби людини [5].

Отримання електроенергії завдяки сонячній радіації можливе через непряме перетворення, наприклад, нагріванням води до пароподібного стану дзеркальними концентраторами з подальшою подачею пари в турбіну. Проте система непрацездатна у темну пору доби.

Найбільш оптимальним зараз є пряме перетворення сонячної енергії в електричну за рахунок використання фотоелектричного ефекту – фотоефекту. Хоча воно й потребує значних площ для розміщення фотоелементів і акумуляторів для запасання електричної енергії для темної пори доби.

1.2 Сонячна енергетика

Сонячна енергетика – використання сонячної енергії для отримання енергії в будь-якому зручному для її використання вигляді. Вона використовує поновлюване джерело енергії і в перспективі може стати екологічно чистою, тобто такою, що не виробляє шкідливих відходів.

На сьогодні сонячна енергетика широко застосовується у випадках, коли малодоступність інших джерел енергії в сукупності з достатньою кількістю сонячного випромінювання виправдовує її економічно [6].

На рисунку 1.1 наведено вигляд сонячної електростанції.



Рисунок 1.1 – Сонячна електростанція у Харківській області [7].

Сонце – джерело життя і жорстокий вбивця, що дає можливість народитися і вирости кожному живому організму на Землі вже протягом кількох мільярдів років. Всерйоз про технологічне «приручення» сонячного світла людина почала замислюватися тільки в минулому столітті.

У далекому 1839 р. Олександр Едмон Беккерель відкрив фотогальванічний ефект.

Через 44 роки Чарльзу Фрітцу вдалося сконструювати перший модуль з використанням сонячної енергії, а основою для нього став селен, покритий тонким шаром золота. Вчений встановив, що таке поєднання елементів дозволяє, хоч і в мінімальному обсязі (близько 1 %), перетворювати енергію сонця в електрику.

Саме 1883 р. прийнято вважати роком народження ери сонячної енергетики. Однак так думають не всі. У науковому світі існує думка, що «батьком» епохи сонячної енергії є не хто інший, як сам Альберт Ейнштейн. У 1921 році Ейнштейн був удостоєний Нобелівської премії за пояснення законів зовнішнього фотоефекту.

Протягом ста років галузь переживала то різкі, стимульовані вченими, інвестиціями приватних і державних структур, підйоми, то гіркі падіння. І в результаті суспільство забуло про «сонячні технології» на роки [8].

1.3 Переваги і недоліки сонячної енергетики

В отриманні сонячної енергії є як позитивні, так і негативні сторони. До переваг сонячної енергії потрібно зарахувати:

1. Відновлюваність.

Насамперед, сонячна енергія є поновлюваним джерелом енергії, на відміну від викопних видів палива – вугілля, нафти, газу.

2. Достатність.

Потенціал сонячної енергії величезний – поверхня Землі опромінюється 120 тис. тераваттами сонячного світла. А це у 10 тисяч разів перевищує теперішню загальносвітову потребу в ній.

3. Постійність.

Солярна енергія невичерпна і постійна. Тривалість існування Сонця оцінюється у 6,5 млрд років, а отже сонячну енергію неможливо перевитратити в процесі задоволення потреб людства в енергоносіях.

4. Доступність.

Сонячна енергія доступна в кожній точці світу.

5. Значний термін експлуатації.

Виробники сонячних панелей гарантують їхню працездатність протягом 30–50 років.

6. Екологічна чистота.

У світлі останніх тенденцій в боротьбі за екологічну чистоту Землі, сонячна енергетика є найбільш перспективною галуззю, що частково заміняє енергію, одержувану від невідновлюваних паливних ресурсів і, тим самим, виступає важливим етапом на шляху захисту клімату від глобального

потепління. Виробництво, транспортування, монтаж і використання сонячних електростанцій практично не супроводжується шкідливими викидами в атмосферу. Навіть якщо вони і присутні в незначній мірі, то в порівнянні з традиційними джерелами енергії, їхній вплив на навколишнє середовище можна вважати майже відсутнім.

7. Безшумність.

У системах на сонячному ресурсі немає ніяких рухомих вузлів, як, наприклад, в турбогенераторах. Вироблення електроенергії відбувається безшумно.

8. Економічність.

Використання сонячних батарей як автономного джерела енергії забезпечує власникам приватних будинків відчутну економію.

9. Низькі експлуатаційні витрати.

Обслуговування систем енергопостачання на сонячних батареях полягає у тому, що лише кілька разів на рік необхідно чистити сонячні елементи від забруднення.

10. Широкі межі застосування.

Це і вироблення електроенергії в регіонах, де відсутнє підключення до централізованої системи електропостачання, і опріснення води в Африці, і постачання енергією супутників на навколоразомній орбіті та ін.

11. Застосування інноваційних технологій.

Із кожним роком технології виробництва сонячних батарей стають все більш досконалішими. Сучасні досягнення у сфері нанотехнологій і квантової фізики дозволяють говорити про можливе збільшення у найближчий час потужності сонячних панелей у 3 рази.

Проте сонячна енергетика має і недоліки:

1. Висока вартість.

Сонячна енергія належить до розряду дорогого ресурсу. Через те, що, наприклад, облаштування будинку сонячними елементами обходиться чимало на початковому етапі, багато держав заохочують використання цього екологічно чистого джерела енергії видачею кредитів і оформленням так званого зеленого тарифу. Окупність сонячної енергетичної установки може сягати 15 років.

2. Мінливість.

Оскільки сонячне світло відсутнє в нічний час, а також у похмурі та дощові дні, сонячна енергія не може бути основним джерелом електроенергії. Проте, порівняно, наприклад, із вітрогенераторами, це все-таки більш стабільний варіант.

3. Висока вартість акумулювання енергії.

Акумуляторні батареї, що дозволяють накопичувати енергію і згладжувати нестабільність надходження сонячної енергії, наразі високо вартують.

4. Деяке забруднення навколишнього середовища.

Незважаючи на те, що в порівнянні з виробництвом і переробкою інших видів енергоресурсів сонячна енергія найбільш дружня до природного

середовища, деякі технологічні процеси виготовлення сонячних панелей супроводжуються викидом парникових газів, трифторида азоту і гексафториду сірки [9].

Сучасні технології виробництва акумуляторних батарей також достатньо енергозатратні. Через це, наприклад, викиди CO_2 при виробництві акумуляторної батареї для електромобіля на 11–28 % перевищує викиди дизельного автомобільного двигуна за пробіг, відповідний термін експлуатації батареї [10].

5. Застосування дорогих і рідкісних компонентів.

При виробництві сонячних панелей застосовують, наприклад, телурид кадмію (CdTe) або селенід міді-індію галію (CIGS), які є рідкісними і дорогими речовинами, що тягне за собою подорожчання системи альтернативного енергопостачання загалом.

6. Мала щільність потужності.

Одним із важливих параметрів джерела електроенергії є середня щільність потужності, яка вимірюється в $\text{Вт}/\text{м}^2$ і характеризує кількість енергії, яку можна отримати з одиниці площі енергоносія. Для сонячного випромінювання цей показник становить $170 \text{ Вт}/\text{м}^2$. Це більше, ніж у інших поновлюваних природних ресурсів, але нижче, ніж у нафти, газу, вугілля і в атомній енергетиці. Через це для вироблення електроенергії з сонячного тепла потрібна значна площа сонячних панелей. Кожен 1 МВт потужності сонячної електростанції потребує відведення щонайменше 1,5 га землі [9].

1.4 Перспективи сонячної енергетики в Україні

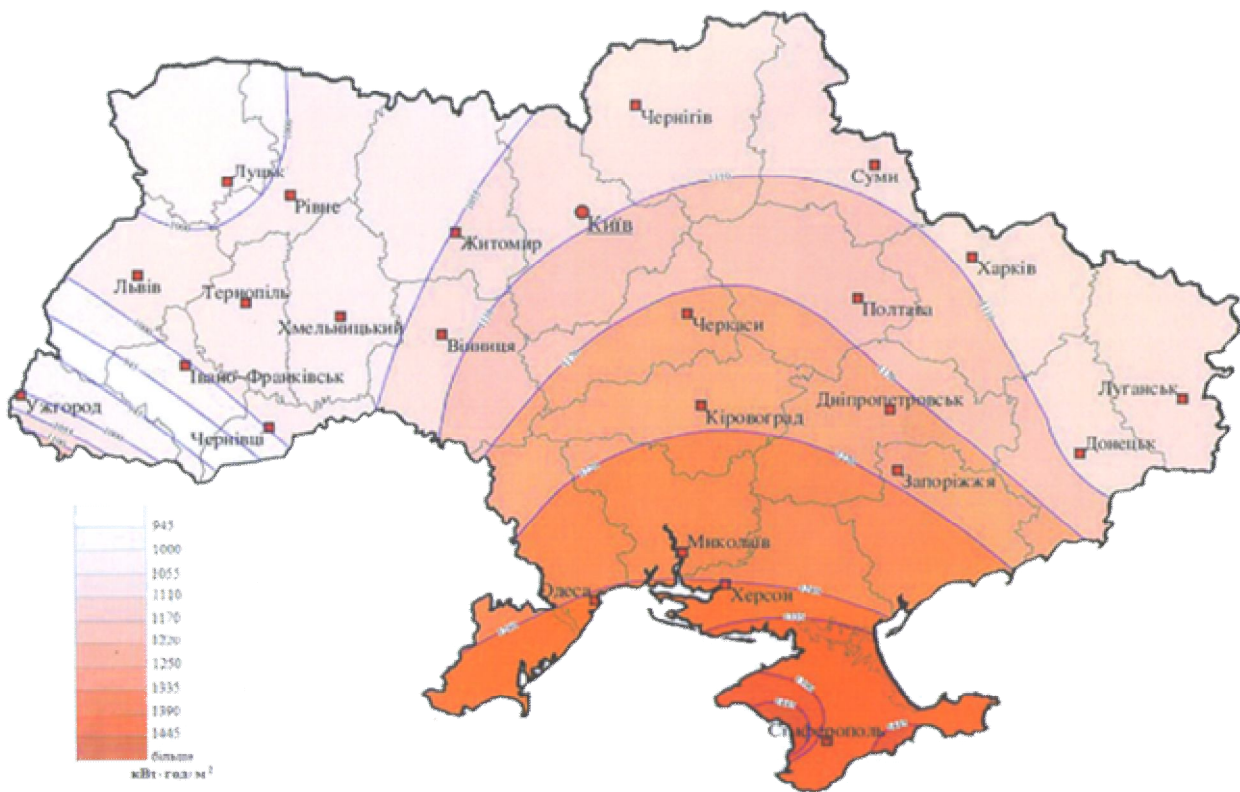
Сумарне річне надходження сонячної радіації на територію України оцінюється на рівні 720–1 012 кВт·год, що є еквівалентним 88,4 млрд тонн умовного палива.

Річний технічно-досяжний енергетичний потенціал сонячної енергії в Україні є еквівалентним 6 млн тонн умовного палива, а його використання дозволяє заощадити близько 5 млрд м^3 природного газу.

Карту середньорічних показників сонячного потенціалу України наведено на рисунку 1.2 [11].

Різниця в надходженні середньомісячної сумарної сонячної радіації за поступової зміни географічної широти по всій території України незначна, а різниця, яку слід враховувати при впровадженні геліотехнічного обладнання, спостерігається переважно між даними щодо надходження сумарної сонячної радіації в самих північних та самих південних регіонах України в літні місяці.

Середньорічна кількість сумарної сонячної радіації, що надходить на 1 м^2 поверхні, знаходиться в межах від $1\,070 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2$ у північній частині України до $1\,400 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2$ в Автономній Республіці Крим. По всій території України спостерігається рівномірний розподіл у межах цього діапазону з поступовим збільшенням у напрямку південних широт [1].



Розподіл питомої сумарної сонячної радіації на території України протягом року
(Національний атлас України. – К.: ДНВП «Картографія», 2007)

Рисунок 1.2 – Карта середньорічних показників сонячного потенціалу України

В умовах нашого клімату сонячні системи, хоча і зі змінною ефективністю, можуть працювати впродовж усього року.

Контрольні запитання

1. Поясніть, чому Сонце є основним джерелом енергії, що забезпечує існування життя на Землі?
2. Що таке сонячна енергетика?
3. Чи можете Ви вказати, коли розпочалася ера сонячної енергетики?
4. Вкажіть переваги і недоліки сонячної енергетики.
5. На чому базуються перспективи сонячної енергетики в Україні?

2 ФІЗИЧНІ ОСНОВИ СОНЯЧНОЇ ФОТОЕНЕРГЕТИКИ

2.1 Загальні положення

Процес перетворення сонячного світла (електромагнітного випромінювання) в електрику відрізняється від інших способів отримання електрики. Фотоелектричний (фотовольтаїчний) метод отримання електрики є повністю статичним – відсутні механічні переміщення деталей конструкції. Його фізичною основою є фотоефект, за якого вільні носії електричного заряду утворюються в результаті взаємодії напівпровідника зі світлом та всередині матеріалу виникає електричне поле.

Існує три види фотоефекту:

1) зовнішній, за якого електрони вириваються з поверхні тіл під дією світла;

2) внутрішній, за якого відбувається зміна електропровідності напівпровідників і діелектриків під дією світла;

3) фотоефект замикаючого шару (фотоефект на р-п переході або вентильний фотоефект), за якого електрорушійна сила виникає на межі провідника і світлочутливого напівпровідника.

Для перетворення енергії світла в електрику практично може бути застосовано тільки фотоефект на р-п переході.

Вперше явище фотоефекту дослідив французький фізик Беккерель у 1839 р., отримавши потік електронів при освітленні сонячним світлом пластини оксиду міді. Винахід був широко впроваджений у життя після відкриття напівпровідників. Як світлочутлива зона фотоелементів використовуються селен (Se), кристалічний кремній (Si), аморфний кремній (SiGe) тощо.

Фотоефект утворюється, коли фотон (світловий промінь) падає на елемент із двох матеріалів із різним типом електричної провідності (діркової та електронної). Потрапивши в такий матеріал, фотон вибиває електрон з ковалентного зв'язку, утворюючи (генеруючи) два вільних заряди – від'ємний (власне, електрон) і позитивно заряджену дірку (незадіяний ковалентний зв'язок). У результаті рівновага р-п переходу порушується, і в колі виникає електричний струм. Спрощену конструкцію такого напівпровідникового приладу – фотоелемента – показано на рисунку 2.1 [12].

2.2 Фотоелемент на напівпровідниковому переході

Розглянемо процеси, що відбуваються в напівпровідниковому переході за його використання як фотоелемента (сонячного елемента) за його освітлення.

Отже, у фотоелементі під дією падаючого сонячного випромінювання відбувається просторовий перерозподіл зарядів і виникає е.р.с. Сьогодні переважна більшість фотоелементів є кремнієвими напівпровідниковими діодами [13].

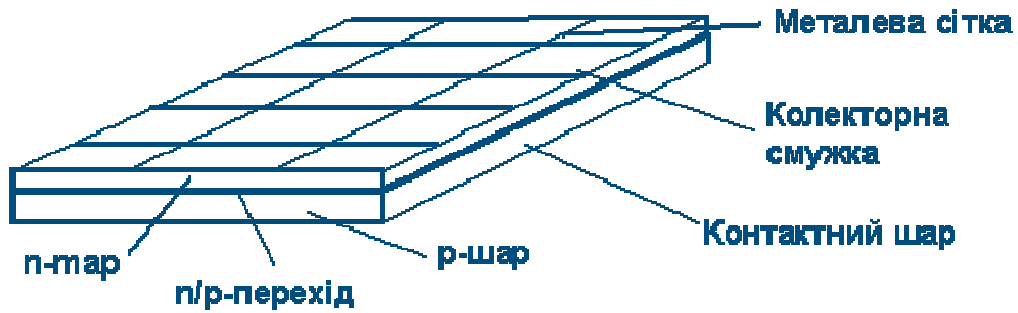


Рисунок 2.1 – Спрощена конструкція напівпровідникового фотоелемента

Схему вмикання напівпровідникового фотоелемента показано на рисунку 2.2.

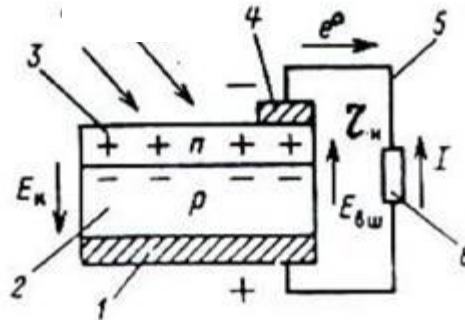


Рисунок 2.2 – Схема вмикання напівпровідникового фотоелемента

На металевий електрод (1) наноситься кристалічна кремнієва основа. Ця основа легована шляхом дифузії або іонного бомбардування в своїй нижній частині домішковими (акцепторними) атомами бору або алюмінію, а у верхній, більш тонкій частині – донорними атомами фосфору або миш'яку. У результаті цього легування утворюється шар (2) напівпровідника р-типу з основними носіями зарядів позитивного типу (дірками) і тонкий шар (3) напівпровідника n-типу з основними носіями зарядів негативного знаку (вільними електронами). На лицьову сторону кристала кремнію наноситься лицьовий контакт – електрод (4). До електродів (1) і (4) приєднуються провідники (5), що утворюють зовнішній ланцюг із навантаженням (6) (або іншими фотоелементами, що з'єднуються паралельно у батарею).

При потраплянні світла на фотоелемент в шарах (2) і (3) відбувається просторова поява неосновних носіїв зарядів зі знаками, протилежними знакам основних носіїв в n- і р- областях – (відповідно зі знаком «+» і «-»). Під впливом отриманого електростатичного притягання вільні основні носії зарядів обох знаків дифундують через кордон контакту областей (2) і (3) та утворюють поблизу неї р-n гетероперехід з напруженістю електричного поля E_k з

контактною різницею потенціалів $U_k = SE_k$ (де S – ширина прикордонного шару) і потенціальним енергетичним бар'єром $B_k = e - U_k$ для основних носіїв, що мають заряд електрона e . Напруженість наведеного електричного поля E_k перешкоджає дифузії електронів за межі прикордонного шару шириною S . Відповідно, контактна різниця потенціалів U_k може бути знайдена за формулою:

$$U_k = \frac{kT}{e^o} \ln\left(\frac{P_p}{P_n}\right) = \frac{kT}{e^o} \ln\left(\frac{n_n}{n_p}\right), \quad (2.1)$$

де k – постійна Больцмана; $k = (1,380\ 622 \pm 0,000\ 044)10^{-23}$ Дж /К;

$e^o = 1,602\ 189\ 2 \cdot 10^{-19}$ Кулонів – заряд електрона;

P_p і P_n – концентрація дірок і електронів в р- і n- областях.

При цьому n-область набуває негативного, а р-область позитивного заряду. Це еквівалентно прикладенню до р-n переходу зовнішнього електричного поля з напруженістю E_{en} , зустрічного з E_k . Поле напруженістю E_{en} є запираючим для неосновних і рушійним для основних носіїв зарядів. Динамічна рівновага потоку носіїв через р-n перехід веде до встановлення на електродах (1) і (4) різниці потенціалів U_0 – е.р.с. холостого ходу фотоелемента. Це явище в принципі може відбуватися і за відсутності потрапляння сонячного випромінення на фотоелемент. Якщо ж він опромінюється потоком фотонів (світлом), то фотони стикаються зі зв'язаними (валентними) електронами кристалу, що мають деякі енергетичні рівні E_p . Якщо енергія фотонів, що потрапляють на фотоелемент більша за E_p , то електрон кристалу покидає свій рівень і залишає «дірку» в кристалі. Пари електрон-дірка поділяються, р-n перехід і е.р.с. U_0 збільшується. Енергія фотона E_ϕ за формулою

$$E_\phi = hg, \quad (2.2)$$

де g, c^{-1} – частота хвилі опромінення,

h – постійна Планка (одна з основних фізики – вона відображає специфіку закономірностей в мікросвіті і відіграє фундаментальну роль в квантовій механіці; величина $h = (6,626\ 176 \pm 0,000\ 044) \cdot 10^{-34}$ Дж·с).

Якщо енергія фотонів менша за E_p , то наявність опромінення призводить тільки до нагрівання матеріалу фотоелемента. Крім того, для кожного напівпровідника існує і гранична енергія фотонів, коли подальше збільшення E_ϕ не спричиняє більше зростання віддачі фотоелемента. У цьому випадку надмірна енергія фотонів, що перевищує так звану смугу поглинання, також іде лише на нагрівання фотоелемента. Зазначена смуга поглинання залежить від основного матеріалу фотоелемента, кількості і товщини шарів напівпровідника, їхнього розташування стосовно до падаючого світла, легуючих матеріалів тощо.

Як приклад на рисунку 2.3 представлено залежність максимальної очікуваної ефективності у відсотках одношарових фотоелементів із різних

матеріалів (Ge – германій; Si – кремній; GaAs – арсенід галію; CdTe – кадмій-телур; CdS – кадмій-селен), а також її залежність від температури.

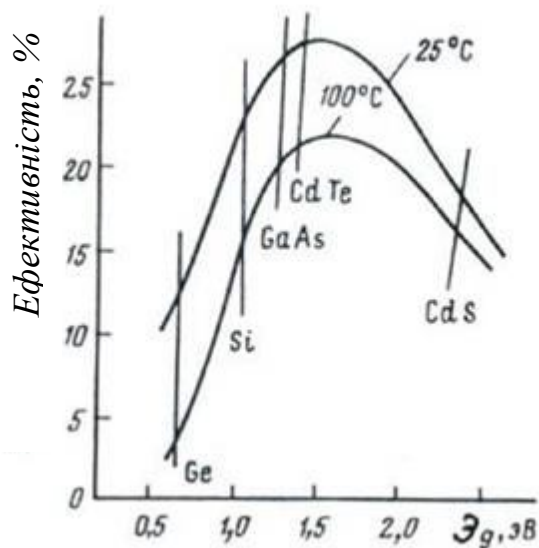


Рисунок 2.3 – Ефективність фотоелемента залежно від температури і матеріалу

Видно, що при підвищенні температури ефективність будь-якого фотоелемента знижується. Разом з тим із найбільш поширених сьогодні матеріалів фотоелементів найкращі термічні характеристики має арсенід галію. На цьому ж рисунку показано і граничні значення E_{ϕ} – забороненої зони для різних матеріалів напівпровідників.

Якщо в зовнішнє коло фотоелемента ввести деяке навантаження з опором r_n , то потече струм I , напрямком якого зустрічний руху електронів. Дірки ж переміщуються тільки в самому напівпровіднику.

Чим більша потужність опромінення, тим більший струм у зовнішньому ланцюгу. Однак його значення не може бути більшим за деяке граничне струму фотоелемента, який визначається переведенням усіх валентних електронів у вільний стан.

Загалом залежність струму фотоелемента I від його напруги U при заданому значенні потужності опромінення P (Вт/м²), називається вольтамперною характеристикою (ВАХ) фотоелемента. Типову ВАХ подано на рисунку 2.4. Для неї можна виділити дві характерні точки – точка холостого ходу (Х.Х.) (r_n ; $U_n = U_n^{max} = U_{XX}$; $I = 0$) і точка короткого замикання (К.З.), коли $r_n = 0$; $I = I^{max} = I_{КЗ}$; $U_n = 0$.

Очевидно, що корисна потужність фотоелемента буде дорівнювати добутку $U_n I$, або $N_{CE} = U_n I$ і в точках Х.Х. і К.З. вона дорівнює нулю і досягає максимуму за деяких проміжних значень U_n та I . Чим у більшому діапазоні зберігається постійним значення $U_n I$, тим вище якість фотоелемента [14, 15].

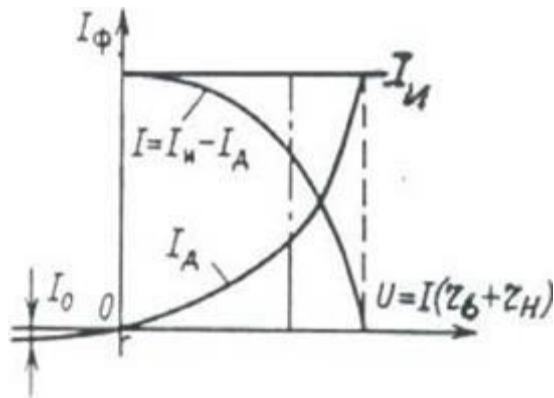


Рисунок 2.4 – ВАХ:
 $I_{н}(U)$ – джерела струму;
 $I_{д}(U)$ – діода;
 I – фотоелемента за $R=const$

Контрольні запитання

1. Поясніть, у чому полягає фотоелектричний метод отримання електрики?
2. Який вид фотоэффекту застосовується для перетворення енергії світла в електрику?
3. Поясніть, що являє собою напівпровідниковий фотоелемент?
4. Укажіть процеси, що відбуваються у напівпровідниковому фотоелементі за його опромінення.
5. Як ефективність фотоелемента залежить від температури?
6. Як визначається корисна потужність фотоелемента?

3 МАТЕРІАЛИ СОНЯЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ, ЇХНІ ВИДИ І КОНСТРУКЦІЯ

3.1 Умови ефективної роботи сонячних елементів

Безпосереднє перетворення сонячної енергії в електричну забезпечують пристрої, що називаються фотоперетворювачами. Перетворення сонячного світла в електроенергію відбувається в напівпровідникових сонячних елементах, виготовлених, наприклад, із кремнію. З'єднуючи ці елементи в батареї, можна будувати великі фотоелектричні електростанції.

Ефективну роботу сонячних елементів забезпечує дотримання низки умов:

- оптичний коефіцієнт поглинання активного шару напівпровідника має бути достатньо великим, щоб забезпечити поглинання значної частини енергії сонячного світла в межах товщини шару;

- електрони і дірки, що генеруються за опромінення, мають ефективно збиратися на контактних електродах з обох сторін активного шару;

- сонячний елемент повинен мати значний потенціальний енергетичний бар'єр у р-п переході;

- опір, увімкнений послідовно з сонячним елементом (виключаючи опір навантаження), має бути малим, щоб зменшити втрати потужності в процесі роботи;

- структура тонкої плівки має бути однорідною по всій активній області сонячного елемента, щоб виключити закорочування і вплив шунтуючих опорів на характеристики елемента [16].

3.2 Види сонячних елементів

За матеріалом і технологією виробництва сонячні елементи можна поділити на такі види:

1) кремнієві:

- монокристалічні;

- полікристалічні;

- аморфні;

2) плівкові:

- на основі телуриду кадмію;

- на основі селеніду міді-індію;

- полімерні.

3.3 Кремнієві монокристалічні сонячні елементи

Для виробництва монокристалічних кремнієвих сонячних елементів використовують очищений кремній. Після того як очищений монокристал твердне, його поділяють на супер тонкі пластини, товщиною до 300 мкм.

Вигляд монокристалічного кремнієвого сонячного елемента наведено на рисунку 3.1.

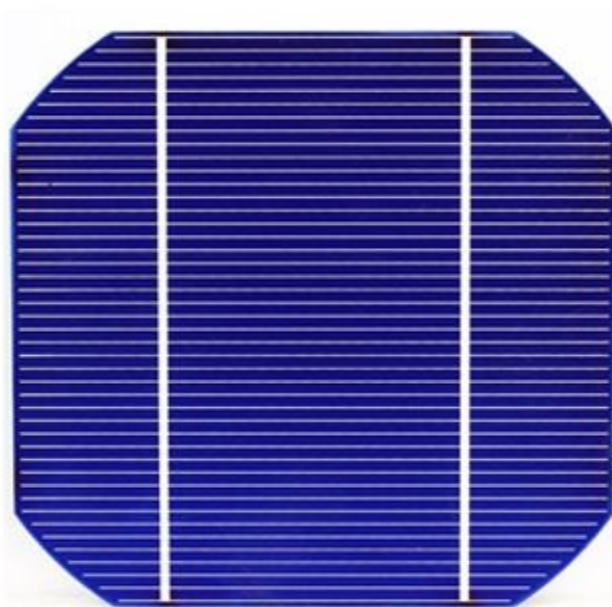


Рисунок 3.1 – Монокристалічний кремнієвий сонячний елемент [17]

Готові пластини з'єднують тонкою сіткою з електродів у батареї. Сонячні панелі з таких елементів мають вигляд силіконових стільників, або осередків, з'єднаних в одну структуру. Такі батареї мають високий коефіцієнт корисної дії (ККД) – до 20 %. Процес їхнього виготовлення технологічно складний і дорогий [18].

Середня площа, що її займає система у 1 кВт на базі монокристалічних панелей, становить 7 м². Сфери застосування найрізноманітніші, від міні котеджів і туристичних комплектів до мегаватних станцій. Найчастіше застосовується в проектах зі встановленою потужністю до 10 кВт.

Традиційно монокристалічні модулі вставлені в алюмінієву рамку і закриті протиударним склом. Колір монокристалічних фото-елементів темно-синій або чорний [19]. Вигляд такої панелі показано на рисунку 3.2.



Рисунок 3.2 – Панель із монокристалічних кремнієвих сонячних елементів [20]

3.4 Кремнієві полікристалічні сонячні елементи

Полікристалічні сонячні елементи виробляються на основі полікристалічного кремнію, отриманого методом повільного охолодження – спрямованої кристалізації і розпиляного на пластини. Середня площа, займана системою в 1 кВт на базі полікристалічних панелей становить 8,3 м² [19].

Коштує цей вид панелей значно дешевше, ніж попередній. Водночас для виготовлення потрібно менше енергії, а це ще раз благотворно діє на ціну. Але ККД таких батарей нижче – до 18 %. Це пов'язане з утвореннями всередині полікристала, які знижують ефективність.

Вигляд полікристалічного кремнієвого сонячного елемента наведено на рисунку 3.3, а панелі – на рисунку 3.4.

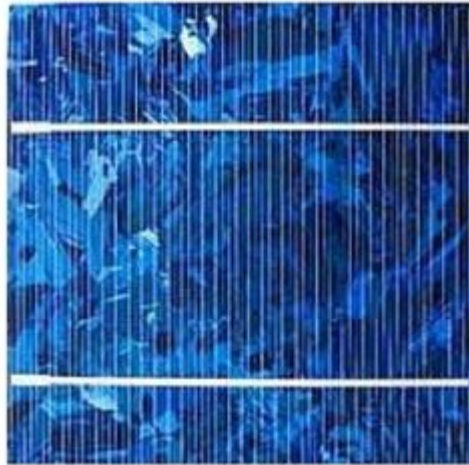


Рисунок 3.3 – Полікристалічний кремнієвий сонячний елемент [21]



Рисунок 3.4 – Панель з полікристалічних кремнієвих сонячних елементів [22]

3.5 Сонячні елементи з аморфного кремнію

Цей вид сонячних елементів можна віднести як до кремнієвих (матеріал виготовлення – кремній), так і до плівкових, оскільки виготовлені вони за принципом виробництва плівкових батарей, але все ж відмінності є.

Тут використовуються не кристали кремнію, а так званий силан (кремневодень). Його наносять на підкладку всередині батарей. ККД таких сонячних батарей набагато нижчий від розглянутих вище і складає 5–12 % (теоретичний поріг – 16 %).

Проте є і переваги, серед яких:

- набагато краще оптичне поглинання (у 20 разів);
- краща робота за відсутності прямого сонячного опромінення (коли похмуро);
- еластичність панелей.

Вигляд сонячного елемента і панелі з аморфного кремнію наведено на рисунках 3.5 і 3.6 відповідно.

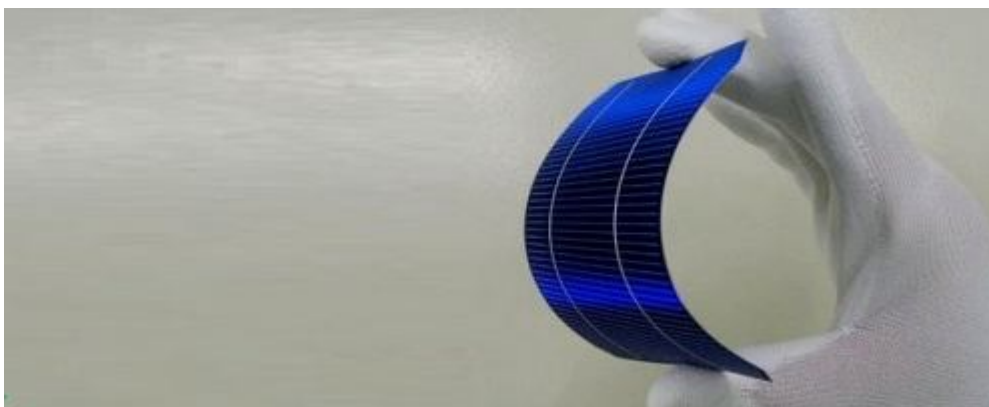


Рисунок 3.5 – Сонячний елемент з аморфного кремнію [23]

Бувають також поєднання моно- і полікристалічних панелей з аморфними. Таке поєднання дозволяє з'єднати переваги двох різних типів. Наприклад, батареї краще працюють, коли сонця недостатньо для звичайних кристалічних батарей [18].

3.6 Плівкові сонячні елементи на основі телуриду кадмію

Плівкові панелі є наступним кроком у розвитку джерел живлення на сонячній енергії. Крок, який продиктований насамперед необхідністю зниження цін на виробництво батарей і прагненням до підвищення їхньої енергоефективності.



Рисунок 3.6 – Сонячна панель з аморфного кремнію [24]

Кадмій – це матеріал, що має високий рівень світлопоглинання. Як матеріал для сонячних батарей космічної галузі був відкритий в 70-х роках минулого століття. На сьогоднішній день він застосовується вже не тільки в космосі, а й активно використовується в сонячних панелях звичайного, домашнього користування.

Найголовнішою проблемою у використанні кадмію є його отруйність. Однак дослідження говорять про те, що рівень забруднення, що йде в атмосферу, занадто малий, щоб завдавати шкоди здоров'ю людини.

Незважаючи на низький ККД близько 10 %, вартість одиниці потужності в таких батареях менша, ніж у аналогів [18].

3.7 Плівкові сонячні елементи на основі селеніду міді-індію

У таких сонячних елементах використовують селенід, мідь, індій. Деякі з компаній замінюють невелику кількість елементів індію галієм. Причиною такого підходу є застосування його у виробництві плоских моніторів. Галій має схожі властивості, однак ККД панелі менший.

Сонячна батарея на основі селеніду міді-індію здатна перетворити 15–20 % падаючого на неї сонячного випромінювання в електричну енергію. За ККД цей вид мало відстає від монокристалічної кремнієвої батареї. Основним недоліком цього виду панелей є велика вартість, що зумовлена використанням міді та індію [25].

3.8 Плівкові полімерні сонячні панелі

Полімерні сонячні батареї – новітні установки створенні для перетворення світлової енергії в електричну. На відміну від традиційних варіантів панелей вони не використовують в своєму складі кремнію, а створені на основі спеціальної плівки, полімерів і електродів з алюмінію.

Особливості полімерної сонячної батареї:

1) дешевизна: ціна на полімерні сонячні батареї приблизно в два рази менша, ніж на кристалічні варіанти;

2) зручність: полімерні сонячні панелі можна легко гнути, різати ножом чи клеїти на будь-які поверхні, що дозволяє використовувати такі установки в будь-яких похідних умовах, підвищити їхню мобільність і навіть заряджати пристрої на ходу;

3) екологічне виробництво: виготовлення полімерних панелей повністю безпечно для навколишнього середовища – за дослідженнями вчених, викиди від виготовлення таких установок на 3/4 менше, ніж від кремнієвих варіантів;

4) не надто високий коефіцієнт корисної дії: поки що максимум, чого вдалося досягти вченим – лише 5–6 %. Це менше, ніж у кремнієвих аналогів, але прогрес не стоїть на місці і полімерні сонячні батареї постійно розвиваються, що дозволяє стверджувати про створення в найближчому майбутньому моделей потужніших за кремнієві аналоги.

Вигляд полімерних сонячних панелей наведено на рисунку 3.7.



Рисунок 3.7 – Полімерні сонячні панелі [27]

3.9 Тонкоплівкові фотовольтажні модулі

Тонкоплівкові фотовольтажні модулі фірми ThinFilmTechnology є найпродуктивнішими сонячними батареями з доступних в Україні. Їхній ККД близький до 25 %.

Виготовляються вони за передовою американською технологією всього на декількох заводах у світі.

Одною з головних переваг цих панелей є вироблення енергії за розсіяного сонячного світла і в похмуру погоду. Обмеженням є площа, яку вони займають, оскільки 1 кВт встановленої потужності займе 18,3 м².

Значною перевагою також є те, що ці панелі працюють при 3,6 А і 70 В відповідно. Тоді як традиційні сонячні фотомодулі використовують значення струму 8 А і напруги 30 В.

Отже, ці модулі має сенс встановлювати на об'єктах, де сумарна встановлена потужність повинна перевищувати 10 кВт. Фактична продуктивність 10 кВт системи в годину становить 2,5 кВт електричної енергії. Тому основним призначенням цих модулів є генерація енергії в промислових обсягах.

Цей фактор впливає також на те, що вони нагріваються приблизно в чотири рази менше.

Також панелі довговічні, не мають металевих частин – важать в 2 рази менше, ніж традиційні фотомодулі.

Вигляд тонкоплівкового сонячного елемента наведено на рисунку 3.8.

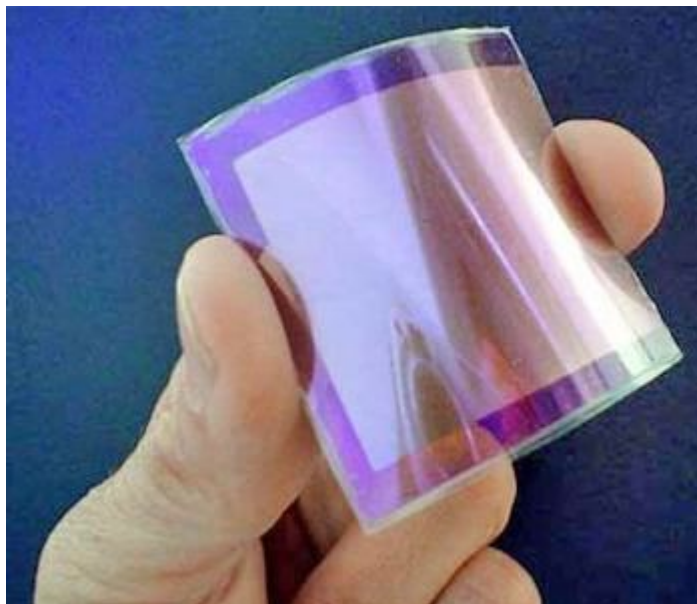


Рисунок 3.8 – Тонкоплівковий фотовольтажний модуль [28]

Побудова сонячних станцій на базі тонкоплівкових фотовольтажних модулів дозволяє досягти максимального ефекту за мінімальних інвестицій. Продуктивність станції, побудованої на основі ThinFilmTechnology,

збільшується на 30 % порівняно з монокристалічними панелями і на 50 % порівняно з полікристалічними [19] .

3.10 Арсенід-галієві фотовольтажні модулі

Фотоелектричні перетворювачі на основі сполуки миш'яку з галієм (GaAs), як відомо, мають більш високий теоретичний ККД, ніж кремнієві. Це забезпечується за рахунок більш високого рівня поглинання сонячного випромінювання.

Такі перетворювачі мають значно меншу порівняно з кремнієм товщину. Принципово досить мати товщину 5–6 мкм для отримання ККД порядку не менше 20 %, тоді як товщина кремнієвих елементів не може бути меншою за 50–100 мкм без помітного зниження їхнього ККД. Це дозволяє розраховувати на створення легких плівкових фотоперетворювачів, для виробництва яких потрібно порівняно мало вихідного матеріалу.

Експериментальні залежності ККД від температури говорять про те, що підвищення температури останніх до 150–180 °С не призводить до істотного зниження їхнього ККД і оптимальної питомої потужності. У той же час для кремнієвих елементів підвищення температури вище 60–70 °С є майже критичним – їхній ККД падає вдвічі.

Проте, на відміну від кремнію, галій є вельми дефіцитним матеріалом, що обмежує можливості виробництва фотоелектричних перетворювачів на основі GaAs в кількостях, необхідних для широкого впровадження. Широко їх застосовують у космічній галузі де, зрозуміло, ефективність і маса устаткування мають вирішальне значення.

3.11 Приклад конструкції сонячної панелі

Розглянемо детальніше конструкцію сонячної панелі.

У п. 2.2 ми вже знайомились із загальною теоретичною інформацією про будову і принцип дії напівпровідникового фотоелемента.

Отже, у найпростішому випадку він є р-п переходом, що опромінюється сонячним світлом і до якого підімкнене навантаження, як показано на рисунку 3.9 (див. також рис. 2.1 та 2.2).

З рисунку 3.10 можна бачити, що верхній шар р-п переходу, який має надлишок електронів, з'єднаний з металевими пластинами, що виконують роль позитивного електрода, пропускаючи світло і додаючи елементу додаткову жорсткість. Нижній шар у конструкції сонячної батареї має нестачу електронів, до нього приклеєна суцільна металева пластина, що виконує функцію негативного електрода. Якщо до електродів «+» і «-» підключити навантаження, то потече слабкий постійний струм.

Для отримання високої напруги використовується кілька напівпровідникових елементів, що з'єднуються послідовно один з одним. Наприклад, якщо послідовно з'єднати 10 елементів, то вийде сонячна батарея з вихідною напругою 5 В. Проте, на жаль, вихідний струм такої батареї буде

мізерним і складе 0,1–1 міліампер. Для збільшення вихідного струму сонячні елементи з'єднують паралельно. Отже, щоб отримати сонячну батарею з вихідною напругою в 5 В із вихідним струмом 1 А, необхідно застосувати 10 000 фотоелементів [31].

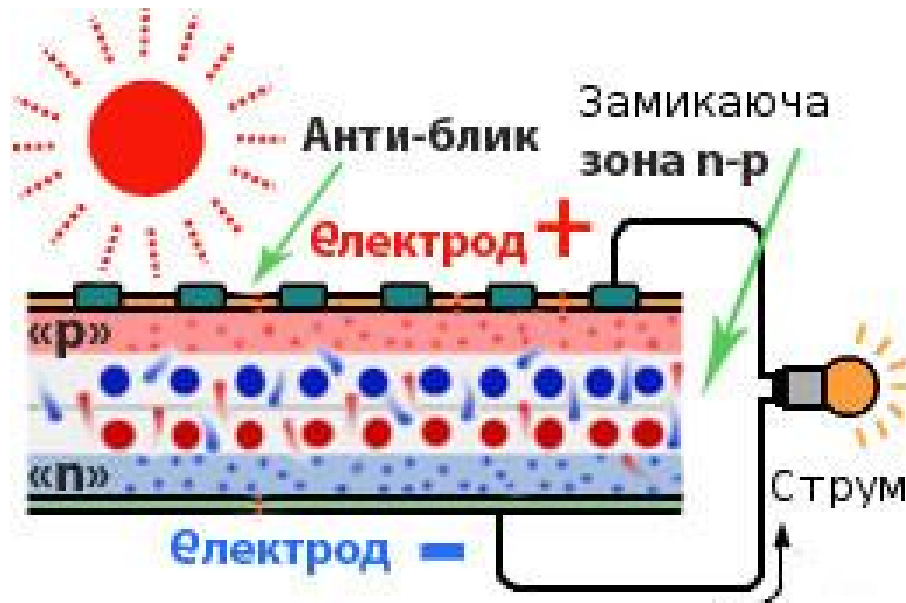


Рисунок 3.9 – Напівпровідниковій фотоелемент [29]

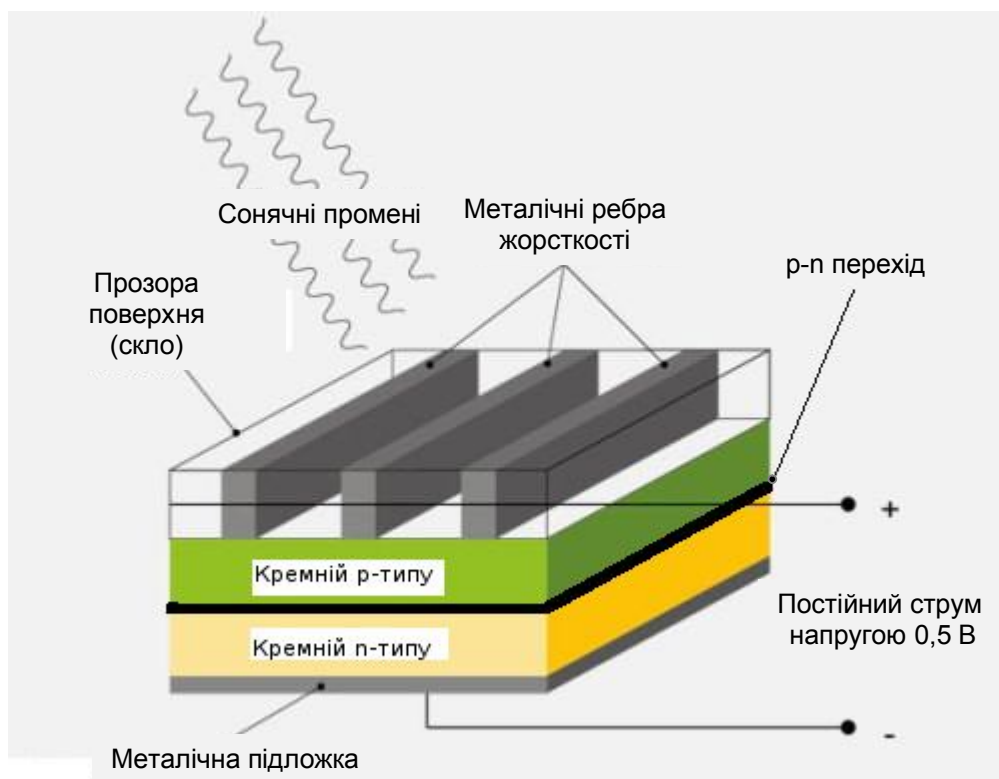


Рисунок 3.10 – Схематична конструкція фотоелемента [30]

Конструкцію сонячних панелей показано на рисунках 3.11 і 3.12 відповідно.

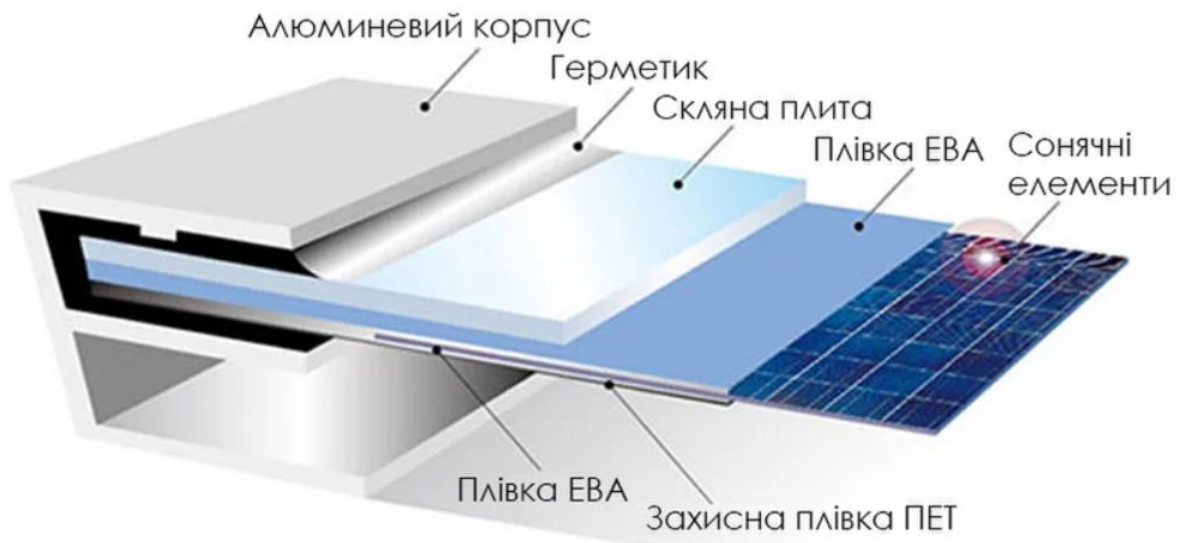


Рисунок 3.11 – Конструкція жорсткої сонячної панелі [32]



Рисунок 3.12 – Конструкція гнучкої сонячної панелі [33]

Зверніть увагу, плівка EVA (етиленвінілацетат) – це поліолефін, який отримують завдяки сополімеризації етилену і мономера вінілацетату. Прозорий, гнучкий і легкий матеріал, що має амортизаційні якості та високу еластичність, відмінну адгезію до різноманітних матеріалів. Плівка EVA застосовується для різних цілей, а одною з ключових є герметизація елементів сонячних панелей, їхній захист від атмосферного впливу і можливої корозії [34].

Призначення інших елементів конструкції зрозуміле.

На завершення слід зазначити, що прогрес не стоїть на місці, у всьому світі ведуться масштабні дослідження у цій галузі, що дозволяє стверджувати про створення в найближчому майбутньому все потужніших моделей сонячних батарей.

Контрольні запитання

- 1. Вкажіть умови ефективної роботи сонячних елементів.*
- 2. Назвіть види сонячних елементів.*
- 3. Як побудовано кремнієві монокристалічні сонячні елементи?*
- 4. Чим будова полікристалічних кремнієвих сонячних елементів відрізняється від будови монокристалічних?*
- 5. Як влаштовані і які мають переваги сонячні елементи з аморфного кремнію?*
- 6. Порівняйте властивості плівкових сонячних елементів на основі телуриду кадмію та на основі селеніду міді-індію.*
- 7. Наведіть властивості плівкових полімерних сонячних панелей.*
- 8. Вкажіть особливості тонкоплівкових фотовольтажних модулів.*
- 9. У чому причина обмеження можливості виробництва фотоелектричних перетворювачів на основі GaAs?*
- 10. Поясніть конструкцію сонячного елемента і сонячної панелі.*

5 ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ

Потужність потоку сонячного випромінювання на відстані 150 млн км від Сонця (у геосфері Землі), без обліку втрат в атмосфері Землі, складає близько $850\text{--}1\,450\text{ Вт/м}^2$, залежно від географічного розташування. У той же час інтенсивність (відношення оптичної потужності на визначену площу) сонячного випромінювання в Європі в дуже хмарну погоду навіть вдень може бути менше 900 Вт/м^2 . За допомогою широко розповсюджених кристалічних сонячних модулів можна перетворити цю енергію в електрику з ефективністю 14–17 %. Електроенергетичні можливості таких фотоелектричних перетворювачів (ФЕП) знаходяться в межах $110\text{--}170\text{ Вт/м}^2$, при оптичній інтенсивності 1 кВт/м^2 .

Згідно з принципом перетворення світлової енергії сонячного випромінювання ФЕП на базі внутрішнього фотоефекту у напівпровідникових матеріалах на базі кремнію (Si) або на основі гетероструктур типу A_3B_5 , A_3B_6 , (наприклад AlGaAs-GaAs) з домішками індію (In), арсеніду (As) та (Ga) та їхніх твердих розчинів SiP, GeIn, GaAsP, InGaAs, InGaAsP. Фотоелементи промислових сонячних батарей мають ефективну робочу площу S_{ef} від $1,2\text{ м}^2$ до $1,9\text{ м}^2$, яка пропорційна відсотку отриманої енергії. Одним з основних показників є ефективність і компактність геометричних розмірів сонячних панелей.

Електричну схему модуля ФЕП наведено на рисунку 5.1.

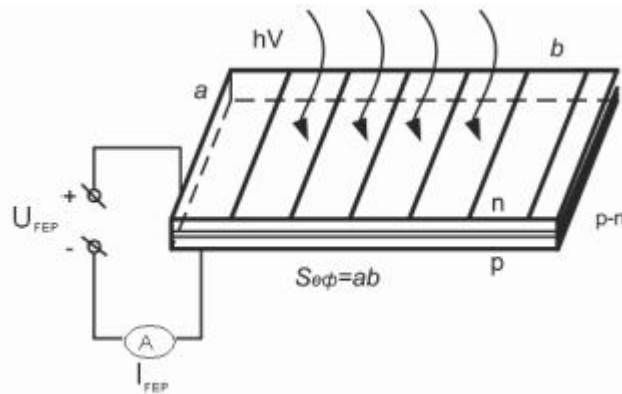


Рисунок 5.1 – Електрична схема модуля ФЕП

Вихідна потужність модуля ФЕП буде пропорційна інтенсивності оптичної потужності Сонця $I_{opt} = P_{opt}/S$, Вт/м^2 , значенню коефіцієнта корисної дії перетворення η , коефіцієнта поглинання k , ефективній площі S_{ef} , а також косинусу кута падіння α , тобто:

$$P_{FEP} = I_{FEP}U_{FEP} = \eta K_t k I_{opt} S_{ef} \cos\alpha, \quad (5.1)$$

де I_{FEP} , U_{FEP} – робочі струм та напруга фотоелектричного модуля;

η – коефіцієнт корисної дії перетворення;
 I_{opt} – інтенсивність оптичного випромінювання;
 k – коефіцієнт поглинання, $k = 0,8-0,98$;
 S_{ef} – ефективна площа поверхні модуля;
 α – кут падіння світлових променів, $0-90^\circ$;
 K_t – температурний коефіцієнт, $K_t = 0,5-0,7$.

Для більш ефективного перетворення кут падіння випромінювання на активну поверхню α повинен максимально наближатися до 90° , що відповідає умові максимального перетворення при $\cos 90^\circ = 1$. Формула (5.1) набуде вигляду:

$$P_{FEP} = \eta K_t k I_{opt} S_{ef}. \quad (5.2)$$

Ефективність та ККД у ФЕП, що не стежать за Сонцем (в яких не передбачене автоматичне наведення на Сонце) помітно змінюється протягом доби і може зменшуватись на 30–40 % від максимального значення, на відміну від трекерних сонячних систем, що шляхом повороту та радіального переміщення ФЕП забезпечують умову $\alpha = 90^\circ$, оскільки за відмінного від 90° кута падіння косинус кута в (5.1) змінюється від 0,3 до 1 та викликає відповідне зменшення ефективної вихідної потужності P_{FEP} .

Ефективність перетворення сонячної енергії в значній мірі зменшується через відносно велике значення відбивання від поверхні ФЕП. Кількість поглиненого випромінювання буде визначатись різницею між падаючим і кількістю пропущеного і відбитого

$$k_{pogl} P_{pogl} = P_{opt} - k_{vidb} P_{opt} - k_{prop} P_{opt}, \quad (5.3)$$

де k_{pogl} , k_{vidb} , k_{prop} – коефіцієнти поглинання, пропускання і відбивання.

Відомою умовою з теорії взаємодії оптичного випромінювання з речовиною є

$$k_{pogl} + k_{vidb} + k_{prop} = 1. \quad (5.4)$$

Найбільше значення коефіцієнта поглинання для ФЕП визначає умову його максимальної ефективності, що відповідає більш «чорним» за темним кольором матеріалом активної поверхні ФЕП (наприклад монокристали Si).

Через особливості будови фотоелектричних перетворювачів виникають зниження ефективності сонячних панелей зі зростанням температури, тому сучасні методики визначення робочих особливості параметрів ФЕП враховують температурний коефіцієнт K_t , що змінюється залежно від пори року (взимку ближче до 0,7, а влітку наближається до 0,5).

Фактор часткового затемнення панелі викликає падіння вихідної напруги через втрати в неосвітленій області, яка відіграє роль паразитного навантаження. Від цього недоліку можна позбутися шляхом установки схеми «бай-пас» (схеми комутації з входу на вихід комірки за допомогою діодів

Шотки) на кожен фотоелемент панелі, що активно використовується промисловими виробниками в якісних сонячних панелях.

Аналізуючи робочі вольт-амперні характеристики більшості фотоелектричних панелей, можна побачити, що для досягнення найбільшої ефективності енергетичного виходу необхідно робити правильний підбір опору навантаження. Для цього фотоелектричні панелі не підключають прямо до навантаження, а використовують контролер керування фотоелектричними системами, що забезпечує оптимальний режим роботи панелей, як показано на структурній схемі вироблення електричної енергії за допомогою модулів сонячних ФЕП.

Ефективність перетворення також залежить від електрофізичних характеристик неоднорідної напівпровідникової структури, а також оптичних властивостей ФЕП, серед яких найважливішу роль відіграє фотопровідність, яка визначена явищами внутрішнього фотоефекта в напівпровідниках.

Основні втрати енергії у ФЕП можна поділити на такі фактори:

- 1) відбивання оптичного випромінювання від поверхні перетворювача;
- 2) проходження частини випромінювання через ФЕП без поглинання;
- 3) розсіювання на теплових коливаннях напівпровідникової ґратки надлишкової енергії фотонів (зростання температури);
- 4) не повне освітлення активної площі, що передбачає роботу на додатково створене власне навантаження та відповідно появу додаткового внутрішнього опору перетворювача;
- 5) конструктивними та фізико-хімічними особливостями структури напівпровідника.

Для зменшення усіх видів втрат енергії у сонячних ФЕП розробляються й успішно застосовуються різні заходи:

- 1) використання напівпровідників з оптимальною для сонячного випромінювання шириною забороненої зони, орієнтованих на ширший спектр випромінювання;
- 2) технологічне покращення і адаптація властивостей напівпровідникової структури шляхом її оптимального легування і створення вбудованих електричних полів;
- 3) перехід від гомогенних до гетерогенних напівпровідникових структур;
- 4) оптимізація конструктивних параметрів ФЕП (глибини залягання р-п переходу, товщини базового шару, частоти розподілу контактної сітки провідників тощо);
- 5) застосування оптичних просвітлювальних покриттів;
- 6) застосування примусового охолодження активного шару ФЕП (зменшення значення K_t);
- 6) створення каскадних ФЕП із змішаною схемою увімкнення.

Фотоелектричні перетворювачі, що застосовуються у енергетичних сонячних модулях, повинні відповідати низці вимог, передусім високому ККД перетворення оптичного випромінювання в електрику у діапазоні світлового спектра 0,3–10 мкм.

Параметри, що відповідають всьому комплексу вимог до перспективних технологій фотоелектричних перетворювачів та сонячних батарей на їхній основі можуть бути отримані лише у разі створення багатоперехідних каскадних гетероструктурних ФЕП на основі напівпровідникових структур групи A^5B^5 , до яких належать монокристали кремнію Si та арсенід галію GaAs. Збільшення кількості р-n переходів у каскадних ФЕП дозволяє розширити область фотоактивного поглинання випромінювання та зменшити втрати енергії. Каскадний ФЕП, що складається з 4–5 р-n переходів має досяжний в лабораторних умовах ККД близько 40 %, на відміну від ККД 1–17 % для одноперехідних гетероструктурних ФЕП. За характерної для ФЭП робочої температури близько 300–350 К (30–80 °С), їхній граничний теоретично можливий ККД сягає 35 %.

Інсталяція монокремнієвих ФЕП прямокутної форми повинна враховувати напрям (Схід – Захід) руху Сонця. Тоді нормаль панелі повинна орієнтувати чітко на південь (саме з півдня світловий потік є максимальним, пройшовши атмосферу під прямим кутом із мінімальними втратами).

ККД ФЕП (ефективність перетворення) світлової енергії в електричну емпірично визначається за формулою:

$$\eta = \frac{P_{elect}}{P_{optik}} \cdot \gamma \cdot 100 \% \approx \frac{I_r U_r}{\Phi \cdot S \cdot \sin \varphi} \cdot \gamma \cdot 100 \% , \quad (5.5)$$

де I_r , U_r – робочі електричні струм та напруга;

Φ – світловий потік;

S – площа активної поверхні;

φ – кут падіння променів;

γ – коефіцієнт квантової ефективності та провідності;

P_{elect} , P_{optik} – електрична та оптична потужності.

ККД фотоелемента збільшується зі зростанням світлового потоку Φ і фото-електрорушійної сили U_r . Однак за великих значень світлового потоку Φ зі зростанням концентрації вільних носіїв зростає кількість їхніх рекомбінацій (злиття пар електрон-дірка у структурі напівпровідника). Крім того, у результаті збільшення температури модуля при великих Φ збільшується струм I , що також є причиною зниження ККД.

Істотного підвищення ККД (до 15 %) ФЭП і сонячних батарей на їхній основі вдається реалізувати шляхом створення фотоелектричних перетворювачів із двосторонньою чутливістю (два активних шари з різних боків пластини) або шляхом застосування люмінесцентно перевипромінювальних структур у поєднанні з попереднім розкладанням світлового спектра на дві або більше спектральних областей за допомогою багат шарових плівкових світлоподільників на дифракційних ґратках з наступним перетворенням кожної ділянки спектра окремим ФЭП [35].

Контрольні запитання

- 1. Поясніть, як визначається вихідна потужність модуля фотоелектричного перетворювача?*
- 2. Як ефективність перетворення випромінювання в електрику залежить від кута падіння випромінювання?*
- 3. Вкажіть фактори, що впливають на зниження ККД фотоелектричного перетворювача.*
- 4. Вкажіть заходи, вживані для зменшення втрат енергії у сонячних фотоелектричних перетворювачах.*

6 ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ ФОТОЕНЕРГЕТИКИ

6.1 Типові схеми сонячної електростанції

Сонячна електростанція – це інженерна споруда, що використовується для перетворення сонячної радіації (випромінювання) в електричну енергію.

Такі електростанції бувають двох видів: фотоелектричні, що безпосередньо перетворюють сонячну енергію в електроенергію за допомогою фотоелектричного модулю, та термодинамічні, що перетворюють сонячну енергію в теплову, а потім в електричну. Зрозуміло, що ми розглядаємо фотоелектричні сонячні станції.

Узагальнену структурну схему фотоелектричної сонячної електростанції наведено на рисунку 6.1.

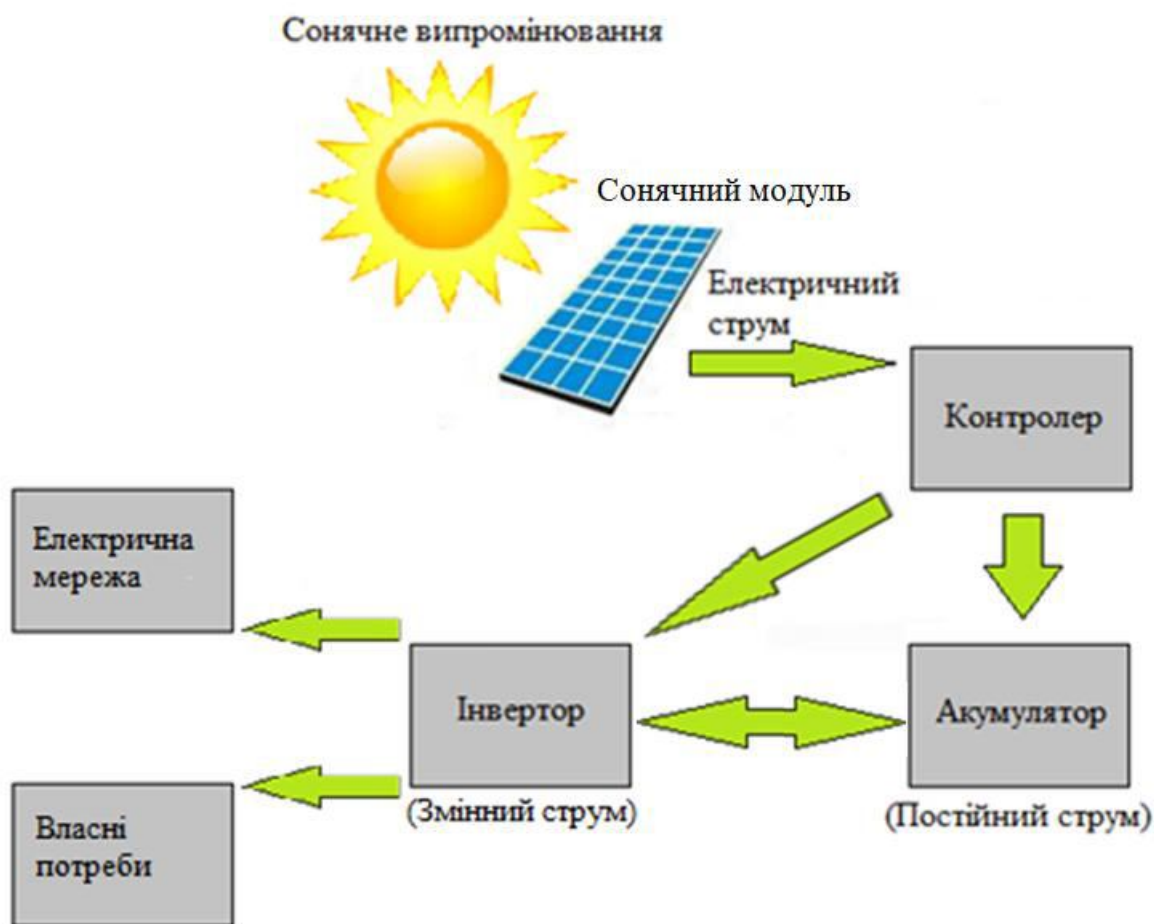


Рисунок 6.1 – Узагальнена структурна схема фотоелектричної сонячної електростанції [36]

Сонячне випромінювання потрапляє на сонячний модуль, сонячні панелі якого перетворюють його в електричний струм постійної напруги.

Контролер регулює напругу і струм, що надходять від сонячного модуля та накопичуються в акумуляторі та подається до інвертора.

Акумулятор (акумуляторна батарея) накопичує електричну енергію для забезпечення живлення навантаження за відсутності сонячного опромінення. Акумулятор може бути відсутнім у складі сонячної електростанції.

Інвертор перетворює електричний струм постійної напруги в електричний струм змінної напруги, що використовується на власні потреби (живить навантаження), або надходить до електричної мережі (надлишки від власних потреб).

Існують три основні схеми підключення сонячних електростанцій:

- 1) автономна схема (off-grid);
- 2) підключення до мережі (on-grid);
- 3) схема резервного живлення.

Автономна схема, наведена на рисунку 6.2, використовується для живлення споживачів, де немає централізованого електропостачання.

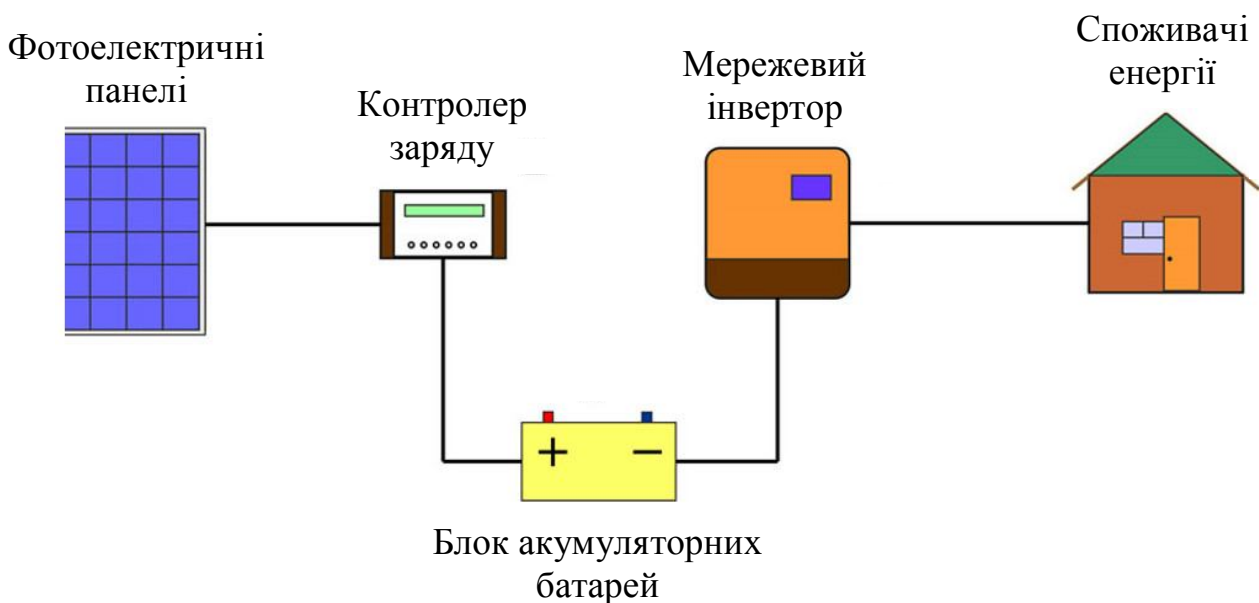


Рисунок 6.2 – Автономна схема підключення сонячної електростанції (off-grid) [37]

В установках цього типу вироблена електроенергія накопичується в акумуляторі та використовується потім у темний час доби або в період слабкої дії сонячного випромінювання. Необхідно, щоб енергія сонячного випромінювання забезпечувала одночасне живлення електроенергією навантажень та заряду акумулятора.

У додатку А, як приклад, наведено параметри одного з акумуляторів, призначеного для роботи в складі сонячних електростанцій.

Схема on-grid, показана на рисунку 6.3, забезпечує не тільки живлення навантажень, й продаж надлишку електроенергії в централізовану електромережу за «зеленим» тарифом.

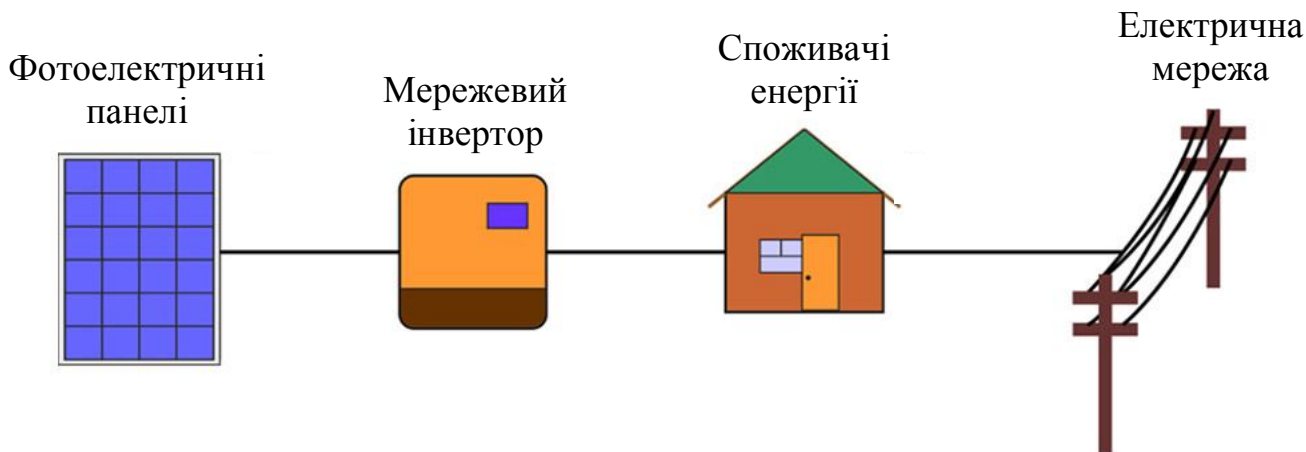


Рисунок 6.3 – Схема підключення сонячної електростанції до мережі (on-grid) [38]

Цей вид сонячної системи не потребує накопичення енергії в акумуляторі: весь струм відразу передається (продається) в мережу згідно «зеленого» тарифу, а навантаження живляться від централізованої мережі. Кількість відданої в мережу електроенергії і спожитої з мережі обліковується окремими лічильниками.

Оформлення «зеленого» тарифу для домашніх господарств має два обмеження: сонячні батареї мають бути розміщені на даху або інших частинах будівель (не на землі), а загальна потужність не повинна перевищувати 30 кВт.

Схема резервного живлення, показана на рисунку 6.4, використовується у випадку вірогідності ненадійної роботи мережі централізованого електропостачання – відхилення якості енергії від стандартної та можливого відключення. До інвертора підключаються всі джерела електроенергії – централізована мережа, фотоелектричні панелі, іноді і резервний електрогенератор (дизельна електростанція або бензогенератор). Найчастіше основним джерелом електроенергії в такій схемі виступають фотоелектричні панелі.

У разі відключення мережі або недостатнього рівня мережевої напруги навантаження живиться від фотоелектричної установки або акумулятора. Резервні сонячні електростанції слугують для електропостачання найбільш важливих навантажень – освітлення, персональні комп'ютери, засоби зв'язку та ін. [39].

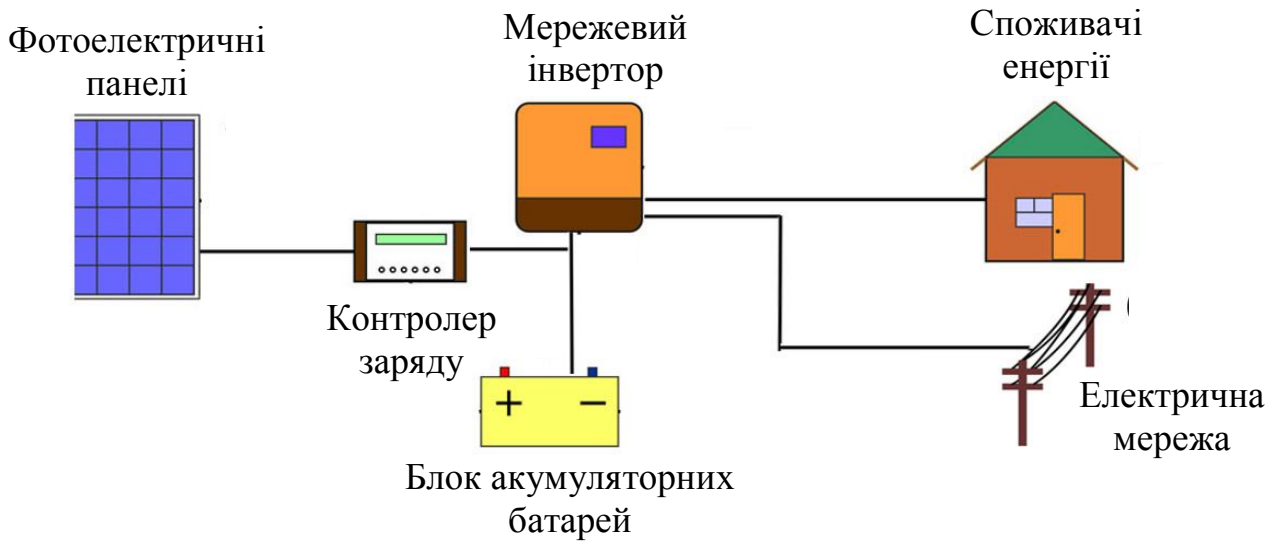


Рисунок 6.4 – Схема резервного живлення [40]

Окрім безперебійного електроживлення така схема забезпечує і експорт надлишку виробленої електроенергії в мережу (продаж за «зеленим» тарифом), якщо сонячна електростанція виробляє більше електроенергії, ніж необхідно для живлення навантаження на даний час, а акумуляторні батареї повністю заряджені [41].

6.2 Вибір базової напруги

Потужність є добутком напруги і струму. Отже, чим більша напруга, тим меншим є струм. Чим менший струм, тим менше навантаження на електронні прилади і меншим є перетин провідників, що веде до більш надійної роботи системи і зменшення втрат електричної енергії.

Сонячні модулі виробляються потужністю від 6 Вт до 185 Вт з вихідною напругою 12 і 24 вольта.

Мережеві інвертори можуть бути 12-, 24-, 48- або 96-вольтовими.

За побудови автономної системи енергопостачання для побутових потреб прийнятним є значення напруги 24 В. При цьому 12-вольтові сонячні модулі потрібно з'єднувати попарно послідовно, а нарощувати ємність акумуляторної батареї паралельним з'єднанням необхідної кількості акумуляторів.

Це також дозволяє уникнути послідовного з'єднання акумуляторів (для отримання підвищених напруг), за якого можливе розбалансування складових батареї через нерівномірність розряду, а, отже, вимагає додаткового контролю за роботою акумулятора.

За потужності більше 5 000 Вт перевагу надають напрузі 48 В.

6.3 Особливості вибору сонячних панелей

При виборі типу сонячних панелей потрібно враховувати:

- 1) значення номінальної напруги панелей;
- 2) геометричні розміри сонячних панелей;
- 3) тип фотоелементів.

Виходячи з зазначеного у п. 6.2, найчастіше перевага надається панелям з напругою 24 В.

Послідовно з кожною панеллю вмикають захисні діоди, що запобігають виникненню зворотного струму за нерівномірного освітлення.

На вибір панелей певних геометричних розмірів впливають розміри об'єкта, на якому вони будуть встановлені. Загальною рекомендацією є застосування панелей з максимально можливою площею за однакової питомої віддачі. Це забезпечує максимально ефективне використання площі та зменшує кількість з'єднань, що збільшує надійність системи.

У розділі 3 розглянуто типи сонячних елементів з яких будуються сонячні панелі. Вони мають, насамперед, різні ККД, що впливає на геометричні розміри. Крім того, одні з них мають жорстку конструкцію, а інші еластичні. По-різному вони працюють за недостатнього освітлення. Різна у них вартість.

Якщо, наприклад, порівняти панелі кремнієві монокристалічні, полікристалічні та з аморфного кремнію, то виявиться:

1) у монокристалічних панелей за розсіяного освітлення вироблення електрики різко зменшується;

2) ККД полікристалічної батареї на 15–20 % менший за ККД монокристалічної, але за недостатнього освітлення її продуктивність знижується незначно;

3) батарея з аморфного кремнію дешевша полікристалічної, але термін її експлуатації в 2–3 рази менший.

Отже, при виборі панелей за типом фотоелементів слід керуватись конкретною ситуацією, забезпечуючи мінімальну собівартість виробленого вата електричної енергії, та враховуючи інші можливі вимоги до конструкції системи, умов її роботи.

У додатках Б, В і Г можна ознайомитися з параметрами подібних за потужністю моно- і полікристалічної кремнієвих панелей та батареї з аморфного кремнію.

6.4 Контролер заряду для сонячних панелей

Контролер заряду для сонячних панелей є електронним пристроєм, що забезпечує автоматичний заряд акумуляторної батареї стабільним струмом та нормування напруги, яка виробляється фотоелементами, відповідно до напруги, потрібної для накопичення енергії акумулятором з урахуванням його стану. У випадках, коли, наприклад, акумулятор повністю зарядився, контролер знизить напругу для уникнення перезарядки.

Контролер заряду, приклад зовнішнього вигляду якого показано на рисунку 6.5, є невід’ємним елементом сонячної електростанції, від якого залежить не тільки працездатність системи, але й ефективність перетворення сонячного світла в електроенергію. Існує декілька типів контролерів заряду, що використовуються для сонячних батарей, це так звані ШІМ- та МРРТ-контролери.



Рисунок 6.5 – Зовнішній вигляд контролера заряду АКБ

ШІМ-контролери в активній стадії процесу заряду використовують так звану широтно-імпульсну модуляцію (ШІМ) струму заряду (PWM – power wide modulation). Такі контролери підтримують функцію температурної компенсації струму заряду акумуляторної батареї за допомогою зовнішніх датчиків для оптимального режиму заряду батарей. Батарея заряджається до 100 %.

Процес заряду акумуляторної батареї ШІМ-контролером розбивається на чотири стадії, проілюстровані на рисунку 6.6.

Перша стадія полягає у заряді батареї максимальним струмом. На цій стадії акумуляторна батарея отримує максимальний струм, який здатні видати сонячні модулі, а напруга на батареї плавно зростає.

Друга стадія полягає у ШІМ-заряді. Коли напруга на батареї досягає певного рівня, контролер починає підтримувати постійне значення напруги, зменшуючи зарядний струм за допомогою ШІМ-технології. Така дія дозволяє запобігти перегріву і газоутворенню в акумуляторах, а також провести повний

заряд. Струм поступово зменшується відповідно до заряду акумуляторної батареї.

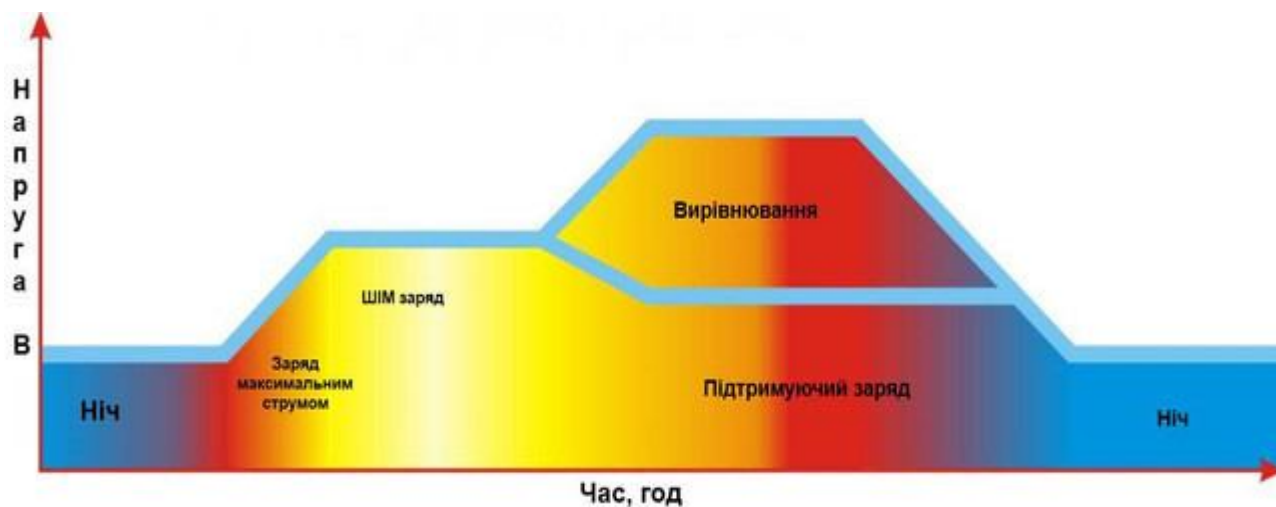


Рисунок 6.6 – Ілюстрація роботи акумуляторної батареї сонячної електростанції

Третя стадія має назву вирівнювання (так звана еквалізація) за якої більшість батарей з рідким електролітом покращують свою роботу при періодичному заряді-розряді, водночас вирівнюються напруги на різних банках батареї і відбувається очищення пластин та перемішування електроліту. Еквалізація в деяких ШІМ-контролерах є опціональною, або ручною функцією.

Четверта стадія – це стадія підтримання заряду: коли батарея повністю заряджена, зарядна напруга зменшується для запобігання подальшому нагріву або газоутворенню в батареї. Батарея підтримується в зарядженому стані (stand by).

Таким чином, використання ШІМ-контролерів дозволяє оптимально заряджати акумуляторні батареї, відповідно до вимог виробників батарей.

МРРТ-контролери є останнім поколінням контролерів заряду із найкращою технологією перетворення енергії, що генерується від фотомодулів. Аббревіатура МРРТ у перекладі з англійської Maximum power point tracker – стеження за точкою максимальної потужності (ТММ). Ці контролери самі вибирають оптимальне співвідношення напруги і струму, отриманих від фотомодулів. Такі контролери знімають більш високу напругу з сонячних батарей і конвертують її в оптимальну напругу для заряду батареї. Отже, МРРТ-контролери перетворюють зайву напругу в корисний струм, наприклад, у сонячний день, а у хмарний день навпаки. Коли напруга на фотомодулі є нижчою напруги заряду батареї, контролер автоматично піднімає напругу зменшуючи при цьому зарядний струм і акумулятор заряджається (лише не так інтенсивно). Тому застосування МРРТ-контролерів дозволяє отримувати від сонячних батарей на 15–30 % більше електроенергії порівняно з іншими контролерами.

Якщо розглянути стандартну вольт-амперну характеристику фотоелектричного модуля, наведену на рисунку 6.7, то можна відзначити, що вироблена електроенергія може бути збільшена, якщо контролер заряду відстежуватиме точку максимальної потужності фотомодуля.

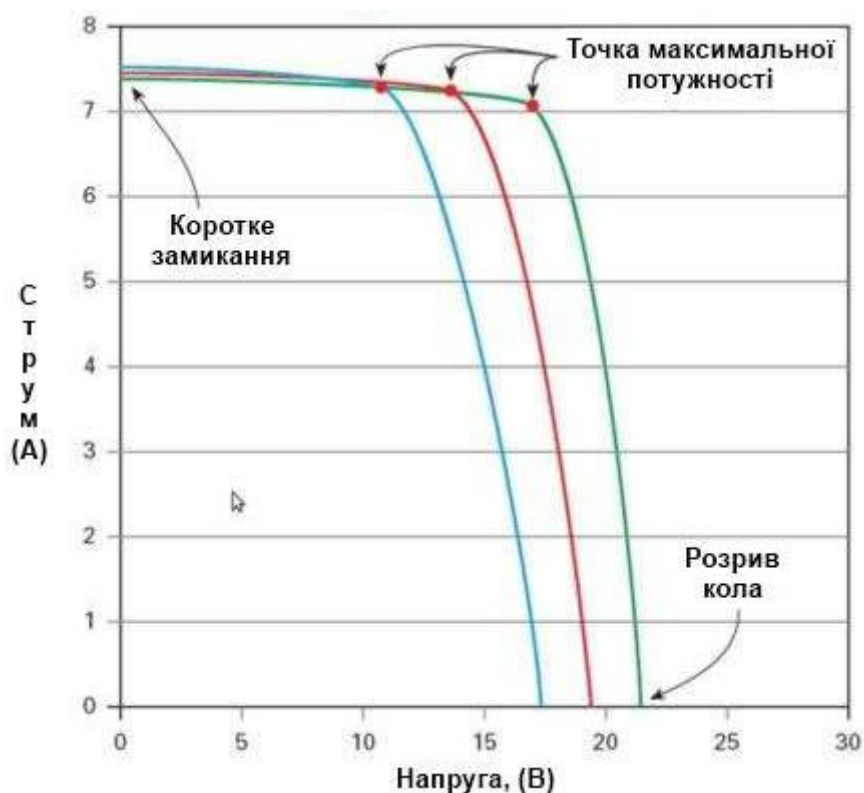


Рисунок 6.7 – Стандартна вольт-амперна характеристика фотоелектричного модуля

MPPT-контролер увесь час стежить за струмом і напругою на фотомодулях, перемножує їхнє значення і визначає струм-напругу, за яких потужність сонячної батареї є максимальною. Процесор аналізує стадії заряду, у яких знаходиться акумулятор (наповнення, насичення, вирівнювання, підтримка) і на підставі цього регулює струм, що подається безпосередньо на батарею. Точка максимальної потужності може обчислюватися різними способами. Контролер зазвичай послідовно знижує напругу від точки холостого ходу до напруги на акумуляторі. Точка максимальної потужності буде знаходитися десь у проміжку між цими значеннями.

Положення точки максимальної потужності залежить від певної низки чинників: освітленості, температури модуля, різномірності використовуваних модулів тощо.

Контролер час від часу намагається злегка «відійти» від знайденої точки в обидва боки, і якщо потужність при цьому збільшується, то він переходить на роботу в цій точці. За допомогою постійного перетворення напруги контролер підтримує різні напруги на вході і виході.

Кількість додатково отриманої енергії, яку видають МРРТ-контролери, складно оцінити. Основними чинниками, що впливають на додаткове вироблення, є температура і рівень зарядженості акумуляторної батареї. Найбільша добавка буде помітною за низьких температур модуля і розрядженій батареї.

З наведеного на рисунку 6.8 графіку видно, як може змінюватися напруга в точці максимальної потужності за різних температур модуля. Чим більше нагрітий сонячний модуль, тим нижча його напруга та відповідно, вироблювана енергія.

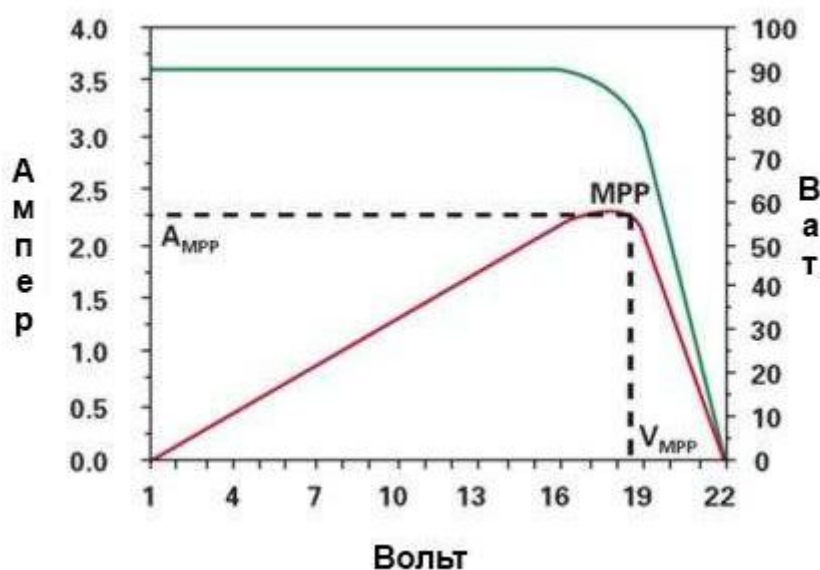


Рисунок 6.8 – ВАХ фотоелектричного модуля

Через це зазвичай при використанні МРРТ-контролерів сонячні модулі збирають на більш високу напругу. Основна маса контролерів відстежує точку максимальної потужності в досить широких межах. Таке рішення дозволяє збільшувати вироблення енергії сонячною батареєю за низької освітленості. Проте, не варто робити занадто велику різницю між вхідною і вихідною напругою, оскільки це призводить до зниження ККД контролера.

Основні переваги контролерів МРРТ:

- відсутність втрат при заряді АКБ;
- оптимальна робота при затіненні частини площі сонячних панелей;
- підвищена віддача за слабкої освітленості і за хмарної погоди;
- можливість використання більш високої вхідної напруги від фотомодулів;
- зменшення перетину кабелів;
- збільшення дистанції від панелей до контролера [42].

Номінальний струм контролера необхідно вибрати з запасом на 20–25 % від найбільшого струму акумулятора для урахування можливого зростання ККД панелей.

Зазначимо, що контролери часто поставляються разом з інвертором.

У додатках Д і Е можна ознайомитися з параметрами подібних за потужністю ШІМ- і МРРТ-контролерів заряду.

6.4 Вибір інвертора

6.4.1 Види інверторів сонячних електростанцій

Відповідно до типу схеми сонячної електростанції можливі такі типи інверторів:

- інвертори для автономних систем;
- інвертори для мережевого використання;
- гібридні.

Автономні інвертори використовуються в повністю самостійних робочих комплексах. Автономний інвертор працює тільки спільно з сонячними панелями в комплекті з акумуляторними батареями. У перебігу світлового дня вироблена сонячними панелями енергія через контролер заряду надходить в акумуляторні батареї і накопичується в них. Інвертор перетворює постійну напругу акумуляторів, наприклад 24 В, у змінну напругу 220 В і передає на навантаження. В автономних інверторах із вбудованим контролером заряду накопичення в акумуляторах енергії і її передача на навантаження здійснюється трохи інакше: енергія, що надходить із сонячних панелей в інвертор-контролер, насамперед живить навантаження, а її надлишок накопичується в акумуляторах. Існують інвертори, у яких можна виставляти пріоритети зарядки і навантаження.

Мережевий інвертор працює тільки спільно з мережею змінного струму без використання акумуляторних батарей. Вироблена сонячними панелями енергія через інвертор відразу надходить у мережу. Функція заряджання або живлення від акумуляторів не передбачена.

Гібридний інвертор поєднує в собі обидві можливі схеми підімкнення. Він працює з сонячними панелями й акумуляторними батареями, але він так само може бути підімкнений до мережі 220 В для живлення від неї навантаження і заряджання акумуляторних батарей. Можливий вибір режимів і пріоритетів заряджання або навантаження. Наприклад, можна налаштувати інвертор так, що спочатку енергія з сонячних батарей буде живити електроприлади. Енергія, що залишилася, буде заряджати акумулятори. Водночас, якщо енергії від сонячних батарей недостатньо для навантаження, вона буде добиратися із мережі змінного струму або спочатку з акумуляторів, а вже потім із мережі.

Інвертори також можна розділити на трансформаторні (низькочастотні) і безтрансформаторні (високочастотні).

Головною відмінністю перших є наявність трансформатора на виході інвертора, призначеного для підвищення напруги до мережевого значення (220/380 В). У безтрансформаторних пристроях функції трансформатора виконує електроніка.

Решта відмінностей двох технологій:

- безтрансформаторна архітектура дозволяє домогтися ефективності в 98 % порівняно з 80–92 % трансформаторної;

- власне споживання безтрансформаторних інверторів значно менше, ніж у трансформаторних;
- безтрансформаторні інвертори більш уразливі до поломок, оскільки електронні блоки менш надійні, ніж пасивний трансформатор;
- трансформаторні пристрої підтримують більш високий струм заряду, що збільшує швидкість зарядження батарей і їхню кількість;
- трансформаторні пристрої мають більшу масу і розміри порівняно з безтрансформаторними;
- безтрансформаторні інвертори мають більш низьку вартість порівняно з трансформаторними.

Багато сучасних інверторів також мають додаткові функції.

Вимірювання: на дисплеї відображаються напруги і струми, частота і потужність.

Можливість автоматичного запуску і зупинки резервного генератора (наприклад дизельного) залежно від напруги батареї. Часто ця функція реалізована у вигляді опції як окремий блок до інвертора. Високоякісні інвертори можуть заряджати акумулятори від мережі тільки в певний час, або запускати генератор тільки в денний час, щоб не створювати шуми вночі.

Робота паралельно з мережею: мережеві інвертори безпосередньо постачають енергію від сонячних батарей в мережу, і не потребують спеціальних акумуляторів. Це істотно зменшує вартість системи, а також дозволяє зменшити рахунки за електроенергію.

Вбудований зарядний пристрій: такі інвертори можуть використовувати енергію від мережі або генератора для зарядження акумуляторної батареї. Одночасно вони можуть передавати енергію від цих джерел безпосередньо в навантаження. Високоякісні інвертори можуть задавати або динамічно змінювати зарядний струм для уникнення перевантаження генератора. Вони також мають багатостадійні зарядні пристрої, що забезпечують безпечний повний заряд акумуляторної батареї, необхідний для збільшення терміну їхнього використання.

Паралельне з'єднання: деякі інвертори можуть бути з'єднані паралельно для збільшення потужності [43].

6.4.2 Форма вихідної напруги інвертора

За формою вихідної напруги вирізняють два види інверторів.

У «NV-M» інвертора вихідна напруга має форму модифікованої синусоїди – ступінчасту або прямокутну, як показано на рисунку 6.9.

Квазісинусоїда підходить не для всіх споживачів. Проте, незважаючи на це, вона припустима для їхньої переважної більшості, особливо, якщо в пристрої є випрямляч і вхідна змінна напруга знову перетвориться в постійну (живлення різної побутової техніки: комп'ютерів, аудіо- та відеотехніки, освітлювальних приладів). У додатку Ж наведено дані інвертора з вихідною напругою ступінчастої форми.

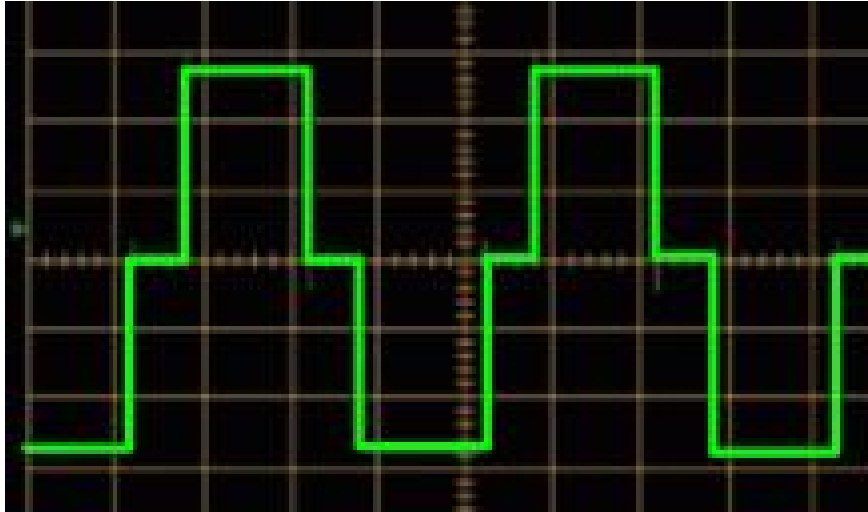


Рисунок 6.9 – Модифікована синусоїда (квазісинусоїда) [44]

Квазісинус є також джерелом радіоперешкод. А ще він призводить до втрати потужності асинхронних і синхронних двигунів, збільшує їхнє нагрівання. Від модифікованої синусоїди не працює більшість котлів опалення.

«NV-P» сонячні інвертори мають на виході синусоїдну форму напруги, показану на рисунку 6.10.

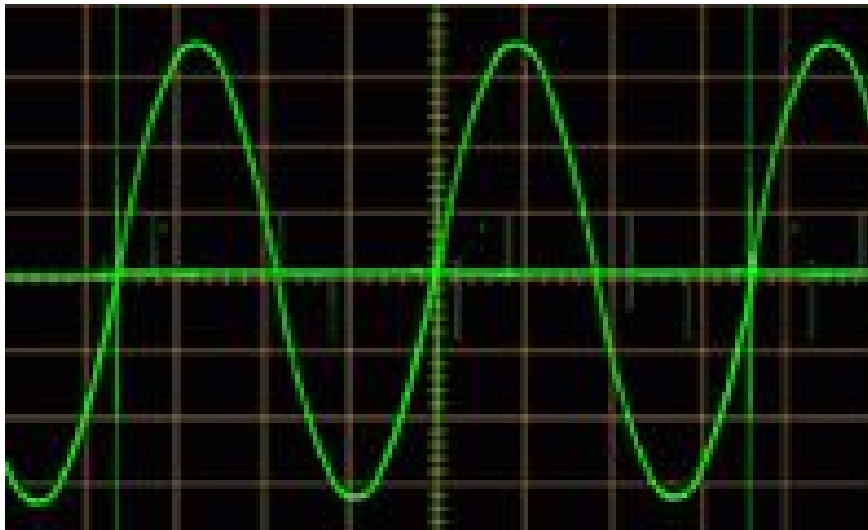


Рисунок 6.10 – Синусоїдна форма напруги [45]

Форма вихідної напруги у вигляді «чистої синусоїди» забезпечує повну сумісність із будь-яким електрообладнанням.

6.4.3 Вплив відхилень напруги на різне електрообладнання

У разі перевищення напруги на 10 % термін експлуатації ламп розжарювання знижується у 5 разів, а за зниження на 10 % світловий потік зменшується в 1,5 рази. Люмінесцентні лампи за зниження напруги на 15 % взагалі не світять.

За зниження напруги на 10 % термін експлуатації електродвигунів може знизитися вдвічі. Електродвигуни починають перегріватися, що може спричинити перегорання обмоток. За зниженої напруги електродвигун починає сильніше гудіти, робочий процес збільшується в часі до двох разів. Перевищення номінального значення напруги веде до зниження ККД двигуна.

При зниженій напрузі значно погіршується робота технологічних установок через збільшення тривалості технологічного процесу, відповідно збільшення споживання електроенергії.

У комп'ютерів та іншому електронному обладнанні, побутовій техніці можуть виникати збої в роботі, що призводять до втрати даних, короткочасних відключень. Вимірювальна та медична техніка особливо вразлива перед коливаннями напруги.

Сучасна техніка часто містить пристрої, що відключають її у разі зниження або підвищення напруги до небезпечних значень, для запобігання виходу з ладу. У разі багаторазових стрибків чи зникнення напруги, навантаження автоматично відключиться від мережі до моменту їхнього припинення.

Щоб захистити електрообладнання від вказаних вище проблем доцільно встановлювати стабілізатори напруги [46].

6.4.4 Автономні інвертори напруги

Автономні інвертори (off-grid) напруги, призначені для сонячних електричних станцій, самі задають параметри живлення для автономних, тобто незалежних від зовнішньої мережі сонячних систем.

Вони широко використовуються у складі автономних систем електропостачання в промислових і соціальних структурах, наприклад:

- для освітлення вулиць і автомагістралей;
- як джерела резервного живлення важливих об'єктів;
- як мобільні енергетичні системи;
- при створенні і вивченні Smart Grid (інтелектуальних мереж) [47].

Приклад автономного інвертора наведено у додатку И.

6.4.5 Мережеві інвертори

Мережевий (on-grid) інвертор є пристроєм, що перетворює напругу постійного струму (DC) від сонячних панелей в напругу змінного струму (AC), і передає її безпосередньо в мережу 220 В або 380 В, тим самим знижуючи споживання електроенергії від енергомереж.

Приклад подібного мережевого інвертора наведено у додатку К.

Мережеві інвертори є синхронними перетворювачами, бо мають синхронізацію вихідних напруги та струму зі стаціонарною мережею з належними значеннями частоти і фази. Перетворення зазвичай здійснюється за допомогою PWM – широтно-імпульсної модуляції.

Інвертори мережевого типу не мають можливості під'єднання до них акумуляторних батарей. Вони також не зможуть працювати, у разі зникнення напруги мережі, наприклад, через аварію. Зроблено це для того, щоб убезпечити від ураження електричним струмом персонал, який буде займатися відновленням ліній електропередач.

У разі необхідності живлення електроприймачів за аварійного відімкнення електроенергії, його потрібно забезпечити від сонячних панелей, а отже потрібен мережевий інвертор із резервуванням.

Основні характеристики мережевих інверторів:

- номінальна вихідна потужність – потужність, що отримується від певного інвертора;

- вихідна напруга – показник, що визначає, до якої мережі за напругою може бути підімкнений інвертор. Для невеликих інверторів побутового призначення вихідна напруга зазвичай становить 240 В. Інвертори промислового призначення розраховані на 208, 240, 277, 400 або 480 В, крім того, їх можна під'єднувати до 3-фазної мережі;

- максимальна ефективність – найвища ефективність перетворення енергії, яку може забезпечити інвертор. Максимальний ККД більшості мережевих інверторів становить понад 94 %, у деяких – до 97 %;

- зважена ефективність – середня ефективність інвертора. Цей показник краще характеризує ефективність роботи інвертора. Він є важливим, оскільки інвертори, здатні перетворювати енергію за різних вихідних напруг змінного струму, мають різну ефективність за кожного значення напруги;

- максимальний вхідний струм – максимальне значення постійного струму, що його виробляє сонячна панель. Якщо сонячна панель вироблятиме струм, що перевищує це значення, інвертор його не використовуватиме;

- максимальний вихідний струм – максимальне значення безперервного змінного струму, що його виробляє інвертор. Цей показник використовують для визначення мінімального (номінального) значення перевантаження за струмом пристроїв захисту (наприклад, вимикачів або запобіжників);

- діапазон відстеження напруги максимальної потужності – діапазон напруги постійного струму, у якому буде працювати точка максимальної потужності мережевого інвертора;

- мінімальна вхідна напруга – мінімальна напруга, необхідна для вмикання інвертора та його роботи. Цей показник особливо важливий для сонячних систем, тому що розробник системи має бути впевнений, що для створення цієї напруги в кожному ланцюжку послідовно з'єднано достатню кількість сонячних модулів;

- ступінь захисту IP – характеризує ступінь захисту корпусу від проникнення зовнішніх твердих предметів і води.

Можна виділити декілька видів використання мережевих інверторів.

За отримання технічних умов на підімкнення блок-станції до мережі та підписання договору з місцевою енергопостачальною організацією на постачання електроенергії, можливий продаж електроенергії за підвищеним коефіцієнтом. Матимемо комерційну електростанцію.

За будовою така станція складається з сонячних батарей, одного або більше мережевих інверторів (без резервування) та вузла обліку.

Для станцій невеликої потужності генерація буде відбуватися в мережу 380 В. Якщо потрібна велика потужність, то кілька таких блоків встановлюються паралельно. Залежно від потужності станція через підвищувальний трансформатор може бути підімкнена до мереж 6–10 кВ. На поточний момент окупність такої станції становить близько 5–7 років. Станції великої потужності (від 1 МВт) у разі використання китайських комплектуючих можна окупити за 3 роки.

У разі завдання економії електроенергії така система містить усі ті самі сонячні батареї і мережеві інвертори (без резервування), але генерує енергію для «внутрішніх» потреб, тому вузол обліку тут не обов'язковий. Станція під'єднана до внутрішньої мережі підприємства (або приватного господарства) і генерує енергію безпосередньо в навантаження. Отже, завдяки додатковому джерелу генерації знижується споживання від мережі. Таке рішення актуальне для підприємств із постійним високим денним споживанням. Так само воно дозволяє компенсувати піки споживаної потужності.

В автономних мережах великої потужності немає можливості використовувати великий масив сонячних панелей для заряджання акумуляторів. Так само навантаження розподіляється по значній території. Зважаючи на це логічно і генеруючу потужність розподілити по території за доступними площами. Таке стало можливим за використання двонапрямлених інверторів (інвертор – зарядний пристрій), що можуть не тільки перетворювати постійний струм з акумуляторних батарей у змінний, але і направляти надлишки енергії з мережі в акумулятори, а також регулювати потужність джерел генерації, підімкнених на стороні змінного струму. Такими джерелами електроенергії можуть бути не тільки сонячні батареї, але й вітрогенератори або гідротурбіни з мережевими інверторами. Головною вимогою є наявність у такого мережевого інвертора окремого режиму роботи в автономних мережах. Ці мережі називають автономними «розумними» мережами, або, як вже зазначалось у п 6.4.4, Smart Grid (інтелектуальними мережами) [48].

6.4.6 Гібридні інвертори

Гібридні (hybrid) інвертори є поєднанням автономного та мережевого інвертора. Вони можуть працювати з акумуляторними батареями та передавати надлишки електроенергії в загальну мережу. Сонячна електростанція з гібридним інвертором забезпечує споживачів електричною енергією, накопиченою в акумуляторних батареях, а надлишки електроенергії віддає в загальну мережу за «зеленим тарифом».

Гібридні інвертори зазвичай мають велику кількість налаштувань для оптимізації роботи сонячної системи. Отже, це найгнучкіший тип інверторів, який здатний працювати як мережевий інвертор для «зеленого тарифу», а після відключення живитиме ваш будинок енергією від акумуляторних батарей [49].

Приклад гібридного інвертора наведено у додатку Л.

Приклади внутрішньої конструкції інверторів різної потужності наведено на рисунку 6.11.

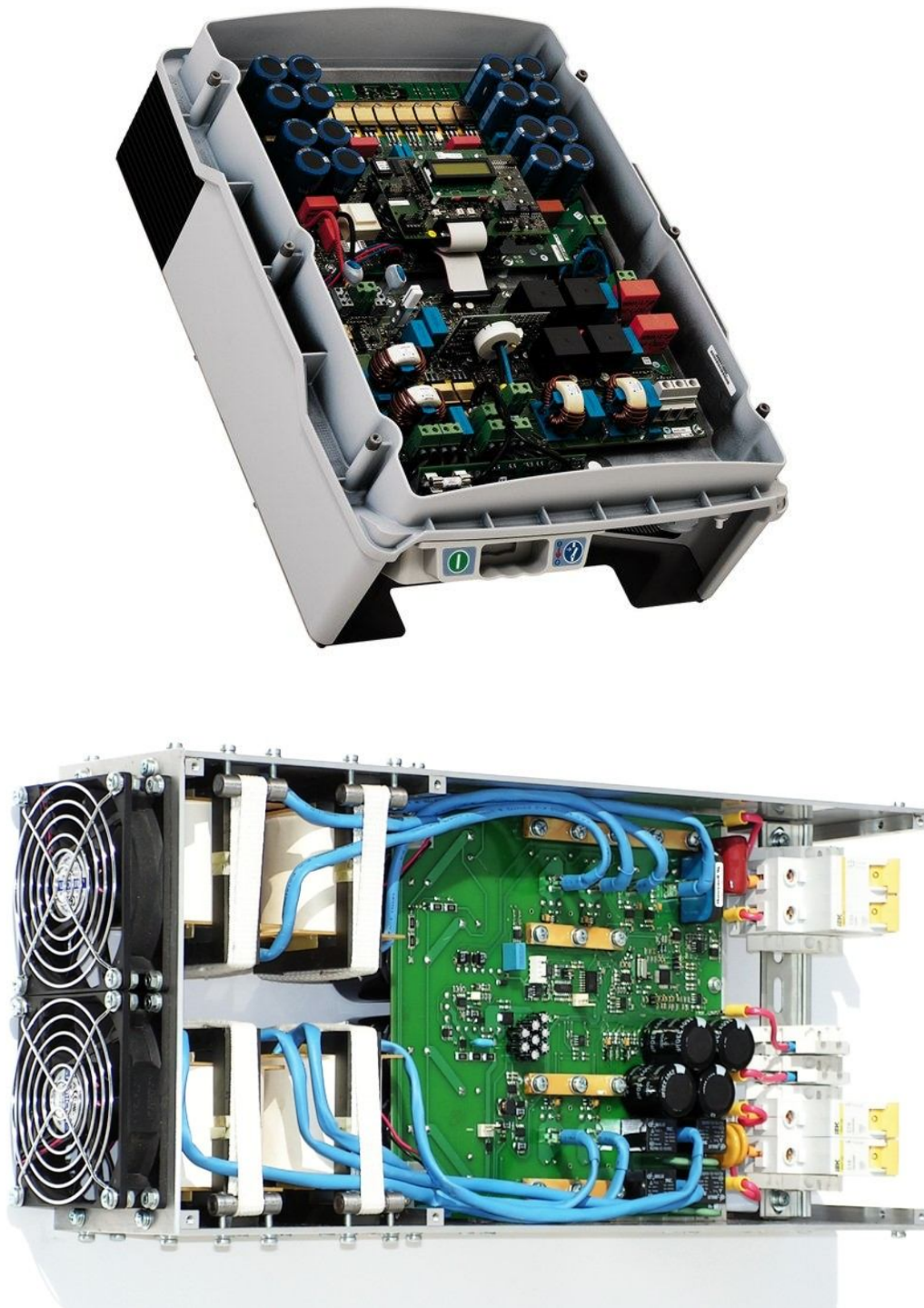


Рисунок 6.11 – Приклади конструкції інверторів сонячної електростанції [50, 51]

6.4.7 Орієнтовний вибір інвертора за потужністю

У питанні вибору потужності інвертора дуже багато нюансів.

У загальному випадку діє правило: підсумовується все плановане навантаження за потужністю і помножується на два.

Наприклад, загальне навантаження складає:

4 лампи по 60 Вт + пральна машина 800 Вт + ноутбук 80 Вт + холодильник 100 Вт + телевізор 50 Вт.

Здавалося б, максимальне споживання становить $240 + 800 + 80 + 100 + 50 = 1\,270$ Вт і достатньо взяти інвертор на 1 300–1 500 Вт.

Проте, як вже зазначалося вище, різні навантаження ведуть себе по-різному, особливо у пускових режимах. Наприклад, стартовий струм холодильника може досягати й десятикратного значення, а значить він зажадає 1 кВт потужності в момент вмикання. А якщо в цей час буде ввімкнене світло та пральна машина, то інвертор просто аварійно відімкнеться.

Отже, потужність інвертора має бути такою, щоб забезпечувати дворазовий запас споживання ваших звичайних приладів або десятикратний для запуску двигунів [52].

Контрольні запитання

1. *Наведіть типові схеми сонячної електростанції.*
2. *З яких міркувань вибирається напруга сонячної електростанції?*
3. *Порівняйте властивості сонячних панелей різного типу.*
4. *Вкажіть призначення контролерів заряду акумуляторних батарей, їх різновиди та специфіку роботи.*
5. *Вкажіть види інверторів відповідно до типу фотоелектричних систем.*
6. *Якою буває форма вихідної напруги інверторів?*
7. *Поясніть, як впливають відхилення напруги на різне електрообладнання.*
8. *Як працюють автономні інвертори?*
9. *Поясніть призначення та специфіку застосування мережевих інверторів.*
10. *Чим вирізняються гібридні інвертори?*
11. *Поясніть, як потрібно вибирати мережевий інвертор за потужністю?*

7 ПРОЕКТУВАННЯ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

7.1 Загальні положення

Проектні та впроваджувальні роботи виконуються як в разі придбання типового продукту, так і в разі розробки і впровадження сонячної електростанції замовної потужності. Ці роботи виконуються відповідно до діючих інженерних норм і стандартів, а також вимог виробників обладнання та комплектуючих, що використовуються для побудови сонячної електростанції.

Незалежно від того, чи є замовник юридичною або фізичною особою, перед початком робіт обов'язково укладається відповідний договір з фірмою-проектувальником, у якому обумовлюються також гарантійні зобов'язання і рівень сервісного (післягарантійного) обслуговування.

Проектним роботам передують аудит існуючої системи електропостачання на об'єкті впровадження сонячної електростанції. У ході цього аудиту можливе з'ясування всіх необхідних даних про підключення об'єкта впровадження до зовнішніх електромереж при бажанні замовника підключитися за «зеленим» тарифом.

Після завершення впровадження сонячної електростанції власник отримує повну проектну документацію і паспорт, які містять всю необхідну інформацію про пристрої, підключення і роботу станції.

Повний цикл проектно-впроваджувальних заходів можна розділити на такі етапи:

- 1) аудит існуючої системи електропостачання на об'єкті впровадження сонячної електростанції;
- 2) проектні роботи;
- 3) монтажні і пуско-налагоджувальні роботи;
- 4) підключення сонячної електростанції за «зеленим» тарифом;
- 5) сервісне (післягарантійне) обслуговування [53].

7.2 Техніко-економічне обґрунтування і розрахунок сонячної електростанції

Техніко-економічне обґрунтування і розрахунок сонячної електростанції з сукупністю отриманих даних, що в загальному передають сутність капітальних витрат на будівництво та інформацію про ефективність капіталовкладень взагалі. Техніко-економічне обґрунтування і техніко-економічний розрахунок розробляються лише індивідуально і за конкретним замовленням з врахуванням всіх особливостей та деталей.

Техніко-економічне обґрунтування – більш широкий обсяг інформації, найчастіше актуальний для великих інвестиційних проектів з будівництва сонячних електростанцій великої потужності.

Найбільш затребуваними є техніко-економічні розрахунки, що охоплюють:

- обґрунтування запланованої потужності сонячної електростанції;
- огляд та аналіз характеристик обладнання, що буде використовуватися в проекті;
- фінансову модель разом із плановим обсягом вироблюваної електроенергії, заплановані витрати на будівництво, експлуатацію та сервісне обслуговування;
- програми у вигляді необхідних сертифікатів і паспортів на обладнання [54].

7.3 Розрахунок продуктивності сонячної електростанції

Для правильного розрахунку систем енергопостачання і обліку різних параметрів, що впливають на продуктивність сонячної станції, використовують спеціальні програми моделювання роботи сонячної станції (PVGIS, PVSyst), сонячні калькулятори та статистичні метеодані – сонячну інсоляцію, швидкість вітру, температуру та інші умови. Враховують географічне положення і кути нахилу.

Для коректних, максимально наближених до реальних умов експлуатації значень генерації сонячних батарей, закладають для мережевих станцій близько 12 % на втрати вихідної потужності, знос деталей на термін експлуатації, затінення і сніг. Програми моделювання також враховують втрати від перегріву фотомодулів в літню пору.

У результаті отримують середнє значення продуктивності станції на сьомий–восьмий рік експлуатації. Тому в перші роки експлуатації станції очікувана продуктивність сонячної установки перевищує розрахункові значення. Це дає можливість надати максимально реальний розрахунок терміну окупності мережевої сонячної станції.

При розрахунках систем для автономних сонячних станцій закладають близько 30 % на втрати в комутаційному обладнанні, інверторі й акумуляторах.

Результати моделювання вироблення електроенергії використовують при розробці проекту сонячної станції.

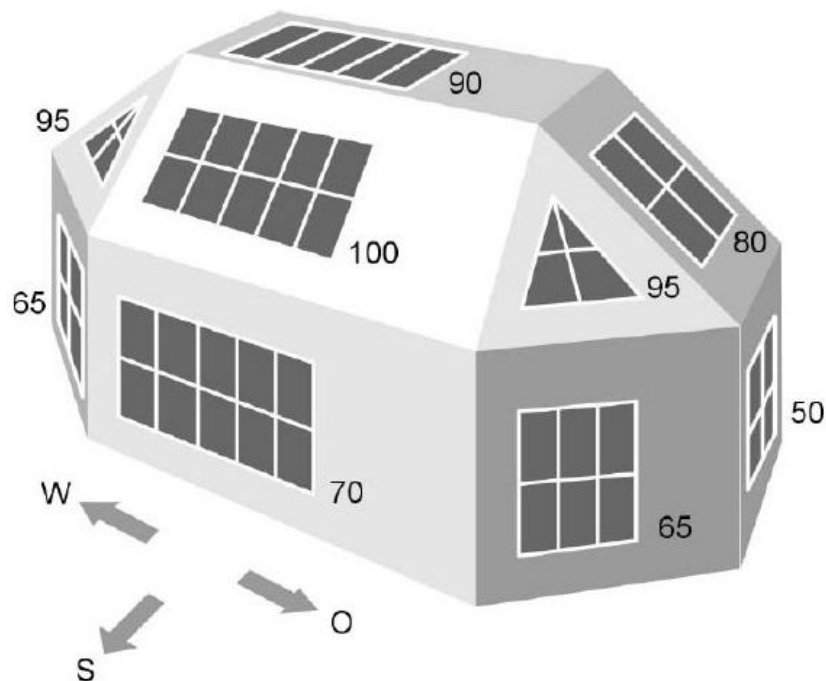
На продуктивність сонячної станції і ефективність роботи сонячних батарей впливають наведені нижче параметри.

7.3.1 Географічне положення

Продуктивність сонячної станції безпосередньо пов'язана з її географічним положенням. Чим далі від екватора перебуває фотомодуль, тим менше сонячного світла потрапить на його поверхню. Для України середньорічна сумарна енергія сонячного випромінювання знаходиться в межах від 1 070 кВт·год/м² на півночі і до 1 400 кВт·год/м² на півдні країни. Це хороші показники. Загальноєвропейський досвід використання сонячних станцій за аналогічного рівня сонячного випромінювання довів їхню ефективність у виробництві достатньої кількості електроенергії, щоб без проблем постачати приватні домогосподарства.

7.3.2 Орієнтація і кут нахилу фотомодулів

Оскільки ідеальним варіантом орієнтації фотомодулів щодо Сонця є орієнтація в бік екватора (географічний Південь) і кут установки фотомодуля перпендикулярно сонячним променям, зрозуміло, що будь-яке відхилення від цього напрямку буде позначатися на продуктивності фотомодулів. Але це не означає, що будь-який напрямок, крім ідеального, є неправильним. У більшості випадків об'єкт має складні покрівлі, орієнтовані далеко не на південь. Тому потрібно розуміти, як це буде впливати на генерацію фотомодулів за рік. На рисунку 7.1 вказано відсотки, що показують ефективність вироблення електроенергії залежно від розташування масиву сонячних батарей.



Рисунком 7.1 – Ефективність вироблення електроенергії залежно від розташування масиву сонячних батарей

Кут нахилу так само, як і орієнтація, відіграє важливу роль на продуктивність сонячної станції. Якщо брати за 100 % систему, встановлену на 2-осьовий трекер, то при оптимальному куті нахилу матимемо 70–75 % від теоретичної можливої вихідної потужності.

Оптимальний кут нахилу сонячних панелей залежить від широти місцевості, а так само може бути змінений, залежно від того, якої оптимізації у виробництві енергії необхідно домогтися.

Зокрема, він може бути зменшений від оптимального значення, якщо фотоелектрична система працює в літній період (річний оптимум), збільшений, якщо фотоелектрична система експлуатується переважно в осінньо-зимовий період, або прийнятий середнім за значенням, якщо фотоелектрична система призначена для цілорічної експлуатації.

Невеликі відхилення до 5 градусів від цього оптимального кута надають незначний ефект на продуктивність системи. Оптимальний всесезонний кут нахилу для географічної широти України становить 35–36 градусів.

7.3.3 Тип установки і температура

На продуктивність сонячної станції так само впливає тип установки фотомодулів. Наприклад, за наземної установки, або коли станція стоїть на плоскому даху, вироблення електроенергії буде трохи більшим, ніж для станції встановленої на похилому даху, бо у фотомодуль, що стоїть вільно, найкраща вентиляція та охолодження. Це важливо при експлуатації сонячних панелей в спекотні літні дні.

Це ж правило актуально і для інвертора. За надмірного нагрівання він буде зменшувати свою вихідну потужність, щоб не перегріватися і не вийти з ладу. Тому не варто встановлювати інвертор під прямі сонячні промені.

7.3.4 Характеристики обладнання

Усі елементи обладнання сонячної станції мають, хоч і незначні, втрати на трансформацію, передачу електроенергії, і щорічний знос компонентів. Частково їх можна уникнути, якщо грамотно проектувати станцію та вибирати якісне, сертифіковане і високоефективне обладнання.

7.3.5 Затінення

Затінення осередків фотомодулів, коротке або довгострокове, знижує кількість одержуваної фотомодулем сонячної радіації і знижує її ефективність. Для наземних станцій і станцій, встановлених на плоскому даху, рекомендовано розташовувати ряди сонячних панелей з кроком, не меншим за 1,7 висоти фотомодуля, що стоїть попереду.

Якщо усунути затінення неможливо, то, для зменшення втрати потужності, при проектуванні станції можна застосувати такі рішення цієї проблеми, як додаткове використання Ву-pass діодів для фотомодуля або оптимізатора потужності. Це не усуне того факту, що продуктивність буде меншою, але зможе частково її компенсувати.

Щоб сонячна станція працювала на свою повну потужність, необхідно стежити за тим, щоб фотомодулі не знаходились довгий час під снігом або товстим шаром пилу [55].

7.4 Розробка проекту сонячної електростанції

Сонячна електростанція є інженерною системою, що складається з десятків різних компонентів (сонячна панель, інвертор, система кріплень, електричний захист, система моніторингу, комутаційне обладнання, контролер заряду і акумулятори для автономних систем та ін.). Тому для ефективної і

безперебійної роботи вкрай важливо правильно провести проектування сонячної системи.

Проект сонячної станції для фізичних осіб охоплює такі етапи:

- 1) вивчення майданчика будівництва (географічне положення, кути установки, наявність і аналіз можливих джерел затінення);
- 2) узгодження бажаної потужності станції з можливостями місця установки і дозволеною потужністю домогосподарства;
- 3) для складних комплексних проектів – створення попередньої 3D-моделі проекту, затвердження дизайну станції і комплектації установки;
- 4) підбір обладнання, створення попереднього комерційної пропозиції;
- 5) розрахунок теоретичної продуктивності сонячної станції з використанням спеціалізованих комп'ютерних програм моделювання, що імітують роботу спроектованої електростанції;
- 6) розрахунок базового техніко-економічного обґрунтування з зазначенням терміну окупності інвестицій і енергетичним аналізом об'єкта;
- 7) надання остаточної комерційної пропозиції;
- 8) розробка монтажних креслень для будівництва, електричних схем підключення, заземлення, кабельних трас; для нестандартних монтажних кріплень, при індивідуальному проектуванні, розробка нового продукту здійснюється до етапу надання комерційної пропозиції;
- 9) підготовка комплекту документації для оформлення «зеленого» тарифу і підключення станції до енергосистеми.

Для юридичних осіб за об'єктів, орієнтованих на промислову генерацію електрики, повний проект сонячної станції містить дещо інші етапи, через особливості підключення юридичних осіб до «зеленого» тарифу.

Сонячна станція під «зелений» тариф – це новий інноваційний вид бізнесу. Тому перед прийняттям рішення про будівництво обов'язково необхідно підготувати детальний інвестиційний бізнес-план, у якому подано характеристики майбутнього об'єкта, техніко-економічні показники, результати розрахунків економічної ефективності проектних рішень з урахуванням будівельних робіт, монтажних робіт і експлуатації. Приклад такого плану наведено у додатку М.

На першому етапі роботи створюється передпроектна пропозиція, що включає в себе ескізну документацію і передпроектне моделювання. Приклад передпроектної комерційної пропозиції наведено у додатку Н.

Для попереднього проекту промислової станції використовують практично той самі алгоритм роботи, як і з сонячними станціями для приватних осіб, крім етапу з оформлення «зеленого» тарифу і етапу підготовки до будівництва.

Передпроект сонячної електростанції для промислової генерації готується за умови надання кадастрового номера ділянки для будівництва (код призначення землі необхідний 14.01 – для розміщення, будівництва, експлуатації та обслуговування будівель і споруд об'єктів енергогенерувальних підприємств, установ і організацій) і технічних умов на збільшення або підключення електроенергії [56].

Приклади робіт (креслення сонячних станцій, монтажні схеми, варіанти дизайну), запозичені з [56], наведено в додатку П.

7.5 Будівництво і монтаж сонячної станції

Будівництво передбачає закладку фундаментів для несучих конструкцій фотопанелей, зведення господарчих приміщень, огорож та ін.

Монтаж сонячної станції охоплює:

- 1) ознайомлення з технічними умовами роботи, підготовка місця роботи, інструктаж із техніки безпеки;
- 2) вивантаження обладнання на об'єкті;
- 3) установка монтажних кріплень згідно з кресленнями (для наземних конструкцій і трекерів – проведення бетонних робіт для створення фундаменту конструкцій);
- 4) установка сонячних батарей на дах, навіс, наземні конструкції або трекер;
- 5) підключення комутаційної апаратури, кабельних трас, інвертора, системи моніторингу, засобів захисту і заземлень;
- 6) налаштування обладнання;
- 7) тестування системи (пробний пуск і налагодження);
- 8) здача готового об'єкта.

Після виконання монтажною бригадою всіх обговорених робіт клієнт перевіряє їхню якість і тільки тоді оплачує послуги установки сонячних батарей.

Час, витрачений на монтаж сонячної станції, залежить від обсягу та складності робіт. Будівництво невеликих сонячних станцій для будинку або дачі, розрахованих на компенсацію власного споживання домогосподарства, займає 1–3 дні. Для великих сонячних систем, що працюють на отримання прибутку за зеленим тарифом воно триватиме 7–14 днів. Для промислових об'єктів тривалість будівництва розраховується індивідуально.

Середня вартість за монтаж сонячної станції складе 10–15 % від вартості обладнання. Чим більша потужність станції, тим менша питома вартість її установки.

При установці сонячних батарей на станції малої потужності у віддалених містах України додатково оплачуються транспортні витрати за виїзд монтажною бригадою. Ця вартість відразу включається в комерційну пропозицію [57].

7.6 Експлуатація сонячних батарей

Коефіцієнт перетворення сонячного світла в електроенергію називають ефективністю сонячної батареї. Його визначають за стандартних умов тестування фотомодуля STC. Стандартними умовами є температура навколишнього середовища 25 °C і 1 000 Вт/м² світлового потоку спектра АМ 1,5 G. Графік типової продуктивності сонячного модуля наведено на рисунку 7.2.

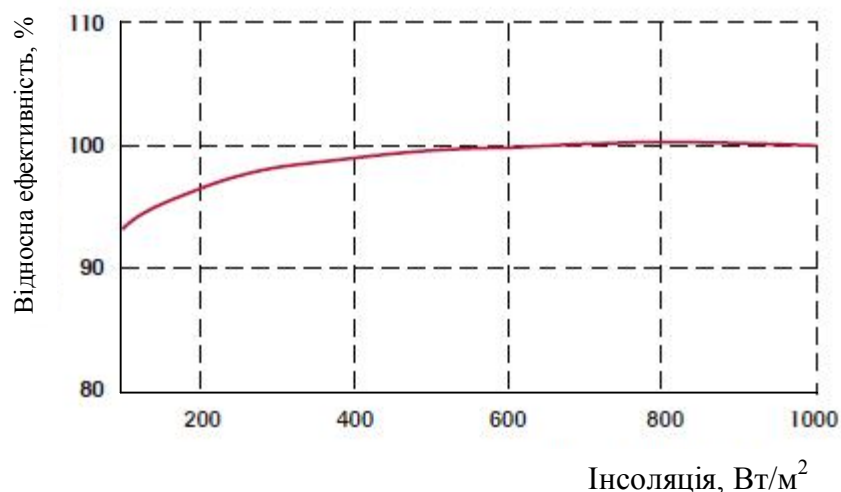


Рисунок 7.2 – Типова продуктивність сонячного модуля за умов низької інсоляції з умовами STC (25 °C і 1 000 Вт/м²)

Крім технічних характеристик обраного фотомодуля, на ефективність роботи сонячної панелі будуть впливати експлуатаційні та проектні рішення.

Як розглядалось вище, продуктивність сонячної станції залежить від:

- 1) географічного положення;
- 2) орієнтації і кута нахилу сонячних батарей;
- 3) типу установки і температурних характеристик;
- 4) затінення.

Правильна експлуатація сонячних батарей і їхній термін експлуатації багато в чому залежить від якості виконання проектних і монтажних робіт. Наприклад, важливо враховувати температурні режими роботи сонячної установки – чим вища температура, тим більше падає продуктивність вироблення електроенергії сонячної панелі в літні дні, що добре видно з графіка вольт-амперної характеристики сонячної панелі, наведеного на рисунку 7.3.

Тому, наприклад, для систем, змонтованих на скатний дах, важливо залишати зазор між панеллю і покрівлею, для забезпечення додаткової вентиляції, тим самим знижуючи температуру осередків фотомодуля і зменшуючи можливість передчасної деградації сонячної панелі.

Так само підвищена температура може призвести до руйнування герметизуючих матеріалів, що в майбутньому позначиться на якості роботи системи та ефективності роботи сонячних панелей. Ця ж проблема з розгерметизацією можлива і для панелей з неякісною збіркою, у разі використання дешевих матеріалів або за суворих зовнішніх умов експлуатації (сильне ультрафіолетове опромінення, град, часті дощі, різкі перепади температури для дня і ночі).

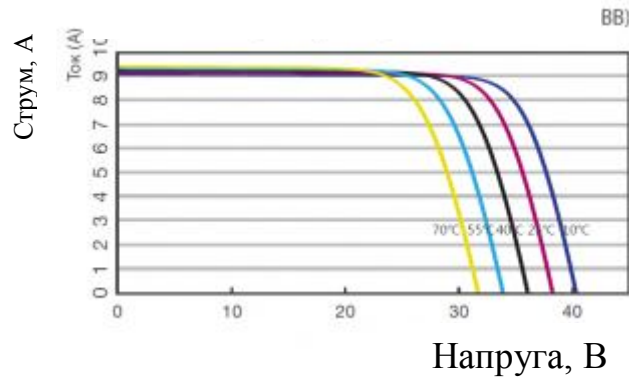


Рисунок 7.3 – Вольт-амперна характеристика фотомодуля JAP6-60-270/4BB

Особливо варто звернути увагу на якість таких конструктивних елементів, як плівка EVA між склом і фотоелементом (див. рис. 3.11) і ламінувальним покриттям сонячної панелі. Передчасне зношування цих елементів спричинить помутніння поверхні фотомодуля і погіршення захисту від вологи паяних контактів фотомодулів. Утім якість самих паяних контактів є запорукою довгої і безпроблемної експлуатації сонячної батареї. Неякісна збірка дешевих сонячних батарей може показати себе вже на 2–3 рік експлуатації, тому що контакти почнуть інтенсивно перегріватися, доки не виведуть з ладу всю сонячну панель.

Термін експлуатації сонячних батарей визначається коефіцієнтом деградації сонячних фотомодулів, який залежить від технологічності та якості продукції виробника. Більшість виробників закладають щорічну втрату потужності сонячної панелі в розмірі 0,8–1 % (існують і нові преміум моделі з 0,3–0,5 % коефіцієнтом).

Це гарантує покупцю те, що через 20–25 років його сонячна установка буде виробляти 80–85% від встановленої номінальної потужності на рік виробництва та інсталяції сонячних панелей. І навіть після цього двадцятип'ятирічного терміну експлуатації сонячна панель не вийде відразу з ладу, вона продовжить ще десятиліття працювати, але вже з дещо гіршими характеристиками продуктивності.

За передбачуваний термін експлуатації сонячних батарей замінюють два-три інвертора.

Гарантія виробників на механічні пошкодження складає в середньому 5 років для середнього цінового сегмента і 10–12 років для преміум класу.

Деградація полікристалічних сонячних панелей відбувається дещо швидше, ніж монокристалічних. Виходячи з цінової політики, термін окупності систем на полікристалічних фотомодулях настане значно швидше, але вони і швидше потребуватимуть заміни після 30 років експлуатації. Особливо це стосується сонячних панелей середнього і низького цінового сегмента.

Експлуатація сонячних батарей є нескладним і не особливо витратним процесом – обслуговування сонячних панелей не складніше за обслуговування будь-якої іншої домашньої техніки, що вимагає технічного догляду.

Якщо установку придбано у перевірених постачальників, то клієнтові доступний повний сервіс обслуговування сонячних батарей і ремонту, а експлуатація сонячних батарей не викликатиме додаткових проблем. Усе, що необхідно робити, – це моніторити вихідні параметри сонячної станції, і в разі, якщо інвертор показує помилку, або відсутність генерації, зв'язуватися з представниками фірми-інсталятора.

Для підвищення ефективності роботи сонячних панелей рекомендується:

- за тривалого налипання снігу, якщо можливо, очистити від нього фотомодулі, але не варто братися за цю справу відразу ж після першого снігопаду, тому що сама сонячна панель при роботі взимку нагрівається від сонця і здатна розтопити невелике налипання снігу;
- за довгої відсутності дощів і сильної запиленості або забруднення фотомодулів потрібно самостійно помити їх зі шланга (але не в жарку пору, коли фотомодуль сильно нагрітий);
- видаляти будь-яке велике налипання сміття на сонячну панель.

Під час догляду за сонячною станцією також потрібно звернути увагу на таке:

- загальний стан сонячних панелей, контактів та ізоляції з'єднань кабелю;
- перевірку та чищення інвертора від пилу, особливо для систем з вентиляторами;
- огляд систем кріплень на наявність корозії або ослаблених болтових з'єднань;
- перевірку працездатності заземлення;
- за наявності акумуляторних батарей перевіряти цілісність їхньої системи, контактів та ізоляції [58].

Форму проекту автоматичної сонячної станції для дитячого садка наведено у додатку Р [59].

Приклад форм документів на підключення сонячної електростанції за «зеленим» тарифом наведено у додатку С [60].

7.7 Гарантійне та післягарантійне сервісне обслуговування сонячних електростанцій

Безперебійність, висока надійність і прогнозованість роботи всього обладнання, встановленого на станції, дуже важлива, адже будь-яка непередбачена зупинка може завдати відчутних фінансових втрат. Навіть незважаючи на те, що сонячна батарея відрізняється високою надійністю і довговічністю (компанії-виробники гарантують надійну експлуатацію до 25 років), вона та інше обладнання вимагає періодичного технічного обслуговування. Тому компанії, що встановлюють сонячні електростанції, можуть пропонувати комплексне обслуговування, що охоплює:

- розробку періодичності і графіка проведення робіт з техобслуговування станції;
- діагностику як всього встановленого на станції технічного обладнання, так і його окремих елементів (сонячні модулі, інвертори, трансформатори та ін.);
- проведення періодичних регламентних і ремонтних робіт, передбачених в специфікації обладнання;
- контроль стану і міцності металоконструкцій, на яких закріплені сонячні батареї, кріпильних елементів і різьбових з'єднань;
- аналіз і максимально швидкий пошук можливих причин зниження продуктивності;
- поставку необхідних комплектуючих і запасних частин, що будуть потрібні для повного і якнайшвидшого відновлення працездатності станції;
- виїзд мобільної бригади для проведення аварійно-відновлювальних робіт;
- проведення всього комплексу пуско-налагоджувальних робіт;
- послуги забезпечення шеф-монтажу під час будівництва об'єкта;
- оцінку стану запиленості (забрудненості) поверхні сонячних модулів, проведення миття (очищення) панелей за необхідності;
- підтримку вихідних ландшафтних умов – усунення затінення і зміщення орієнтації модулів, викликаних ерозією ґрунту, вібрацією або ослабленням кріплень, перевірка точності орієнтування панелей.

З компаніями укладаються договори на комплексне обслуговування сонячних станцій, що передбачають:

- періодичну оцінку технічного стану всіх компонентів і ключових вузлів станції;
- закріплення за сонячною станцією сервісної бригади;
- швидке відновлення повної працездатності об'єкта шляхом установлення запасних елементів і вузлів, що постійно перебувають на складах компанії в Україні;
- використання технологічного обладнання з оперативного підмінного фонду компанії до отримання замовленої запасної частини, що дозволяє мінімізувати втрати через простій станції;
- не тільки виконувати стандартні види будь-яких ремонтних робіт, але і за необхідності оперативно ремонтувати або навіть виготовляти деталі, не чекаючи їхньої заміни виробником обладнання [61].

7.8 Специфіка підключення сонячних електростанцій до мережі

Сонячні фотогальванічні установки мають сонячні панелі постійного струму, об'єднані між собою, що подають енергію на інвертор, який перетворює постійний струм у змінний. Інвертори мають дуже незначну можливість для надходження струму короткого замикання на землю.

Робота інверторів також призводить до зростання вмісту вищих гармонік у системі через специфіку роботи силової електроніки. Це порушує умови електромагнітної сумісності.

Залежно від потужності сонячних електростанцій можуть виникати різні проблеми з підключенням до енергомережі.

Установки малої потужності (1–5 МВт) доцільно підключати до низьковольтних ліній. Найоптимальнішим є підключення на рівні напруги, що існує в розподільчій мережі. Проте їх не варто підключати до радіальних розподільчих мереж, оскільки вони можуть негативно впливати на стабільність їхньої роботи. Установки малої потужності зазвичай подають енергію до підстанції підключення через підземну лінію середньої напруги.

Установки середньої потужності (5–20 МВт) краще підключати до розподільчих мереж нижчої напруги (наприклад, 220 кВ або 330 кВ). Енергія повинна подаватись в мережу через підвищувальний трансформатор, який деякі моделі інверторів мають вбудованим. З'єднання виконуються за допомогою наземної лінії електропередач.

Установки великої потужності (більше 20 МВт) зосереджують свою енергію на великій колекторній підстанції. До мережі підключення ведеться через підвищувальні трансформатори [61].

Приклад мережевої станції під «зелений» тариф наведено у додатку Т.

7.9 Деякі застосування фотоенергетичних пристроїв

7.9.1 Спосіб зробити з будинків сонячні батареї

В Італії придумали, як перетворити цілий будинок у концентратор сонячної енергії.

Новий люмінесцентний матеріал було розроблено в університеті Мілан-Бікокка. Ним можна покрити не тільки дах, на який зазвичай поміщають сонячні панелі, але і всю поверхню будівлі, разом з вікнами. Сонячне світло акумулюється люмінесцентними наночастинками, які наносять на листи звичайного плексигласу.

Нові сонячні батареї можуть складатися з пластикових або скляних пластин з оптично активними речовинами — так званими хромофорами. Вони поглинають сонячне світло і виділяють його всередину пластини. Світло досягає країв пластини, оснащених невеликими сонячними елементами, які і перетворюють його в електричну енергію.

Оскільки технологія дозволяє вибирати ступінь прозорості, в фотоелектричний елемент можна перетворити і звичайні вікна.

Винахід італійських учених має великі перспективи у сфері екологічної архітектури, тим більше що пристрої можуть бути будь-якої форми і кольору [62].

7.9.2 Автономне вуличне освітлення

Часто за організації освітлення невеликої вуличної території, виникають складнощі з підключенням до електричної мережі. Це і неможливість підведення силових дротів і необхідність тривалого здобуття дозволу на підключення. Усі ці чинники значно ускладнюють і здорожують проекти освітлення.

Легким і екологічним способом організувати освітлення без підключення до електромереж є автономне вуличне освітлення. Воно дозволяє значно скоротити час на організацію освітлення пішохідної доріжки, парку, вулиці або навіть автодороги. Системи автономного освітлення (рис. 7.2) надійні та легко оптимізуються під кожен конкретний випадок і регіон використання.

Автономне освітлення від енергії Сонця дозволяє в найкоротші терміни встановити і запустити енергосистеми. Якщо до цього підійти грамотно, термін експлуатації систем автономного освітлення складе 8–10 років, після чого достатньо просто замінити акумулятор.



Рисунок 7.4 – Система автономного освітлення

Ціна для продажу: 1120 € [63].

7.9.3 Дорожнє покриття з сонячних панелей

Після п'яти років досліджень і тестових розробок спільно з фахівцями Французького національного інституту сонячної енергетики, французька компанія Colas запустила виробництво нового дорожнього покриття Wattway з вбудованими сонячними панелями показаного на рисунку 7.5.

Один кілометр панелей Waterway може забезпечити енергією вуличні ліхтарі для міста з 5 000 жителів.

Свій проект Colas називає «Сонячними дорогами» та запевняє у їхній надійності. За словами представників компанії, таке покриття здатне витримати будь-який транспортний засіб, зокрема вантажні автомобілі.



Рисунок 7.5 – Дорожнє покриття Wattway з вбудованими сонячними панелями

При цьому товщина «сонячного» покриття складає всього кілька міліметрів. Wattway монтують прямо на тротуарі без будь-яких спеціальних видів інженерно-будівельних робіт, як показано на рисунку 7.6.



Рисунок 7.6 – Монтаж дорожнього покриття Wattway з вбудованими сонячними панелями

Фотоелементи в Waterway, як це показано на рисунку 7.7, вбудовано у багат шарову підкладку.

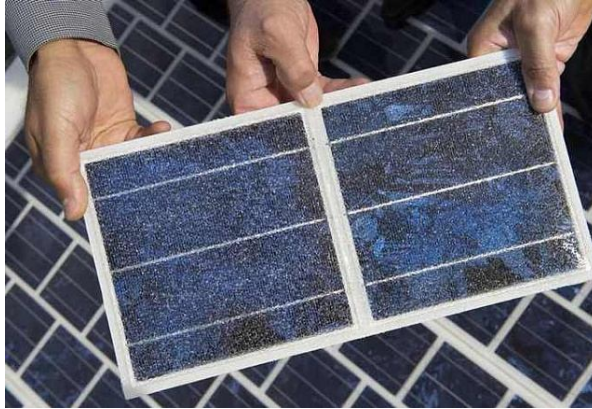


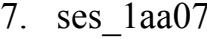
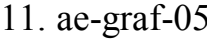
Рисунок 7.7 – Фотоелементи Waterway

Вони збирають сонячну енергію за допомогою тонкої плівки полікристалічного кремнію, який дозволяє виробляти електрику. На нижній стороні панелі встановлено пристрій зв'язку з боковим модулем, у якому знаходяться електричні компоненти безпеки, може забезпечувати електрикою офіси, житлові будинки, дорожні знаки, трамвайні колії та інше. Наприклад, 20 квадратних метрів панелей можуть виробляти електрику для живлення одного будинку (без урахування опалення) [64].

Контрольні запитання

- 1. Поясніть, з яких етапів складається повний цикл проектно-впроваджувальних заходів створення сонячної електростанції?*
- 2. Із чого складаються найбільш затребувані техніко-економічні розрахунки сонячної електростанції?*
- 3. Які параметри впливають на продуктивність сонячної станції і ефективність роботи сонячних батарей?*
- 4. Вкажіть етапи проектування сонячної станції для фізичних осіб?*
- 5. Вкажіть у чому полягає монтаж сонячної станції?*
- 6. Які аспекти варто враховувати при експлуатації сонячних батарей?*
- 7. Поясніть, у чому полягає гарантійне та післягарантійне сервісне обслуговування сонячних електростанцій?*
- 8. Наведіть приклади застосування фотоенергетичних пристроїв.*

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Вступ до спеціальності. Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії: Курс лекцій / С.О. Кудря, В.І. Будько. – Київ : НТУУ «КПІ», 2013. – 387 с.
2. Солнечная PV-генерация – тотальное доминирование [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://rent techno.ua/blog/pv-global-growth.html>, свободный (дата обращения: 18.04.2019). – Загл. с экрана.
3. Яковчук П. Є., Цяпа В. Б., Комаров В. І., Національний університет «Львівська політехніка», СОНЯЧНА ЕНЕРГЕТИКА [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://ena.lp.edu.ua/bitstream/ntb/30762/1/35.pdf>, вільний (дата звернення: 18.04.2019). – Загол. з екрану.
4. Дверняков В.С. Солнце – жизнь / В.С. Дверняков. – Киев : Энергия, 1996. – 156 с.
5. Розділ 12. Альтернативні та поновлювальні джерела енергії [Електронний ресурс] – Режим доступу: eprints.kname.edu.ua/533/12/Розділ_12.doc, вільний (дата звернення: 25.04.2019). – Загол. з екрану.
6. Сонячна енергетика [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BE%D0%BD%D1%8F%D1%87%D0%BD%D0%B0_%D0%B5%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%B5%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0, вільний (дата звернення: 18.04.2019). – Загол. з екрану.
7.  (665×449) [Electronic resource] – Regime of access: https://ipress.ua/media/gallery/full/s/e/ses_1aa07.jpg, free (date of the application: 18.04.2019). – Header from the screen.
8. Реферат Сонячна енергетика, її застосування [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://ukrbukva.net/85363-Solnechnaya-energetika-ee-primenenie.html>, вільний (дата звернення: 18.04.2019). – Загол. з екрану.
9. Преимущества и недостатки солнечной энергии [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://solarelectro.ru/articles/preimuschestva-i-nedostatki-solnechnoj-energii>, свободный (дата обращения: 22.04.2019). – Загл. с экрана.
10. Хуже, чем дизель: развеян миф об экологичности электромобилей [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://drive-news.net/xuzhe-chem-dizel-razveyan-mif-ob-ekologichnosti-elektromobilej/?utm_source=traffim&utm_medium=referral&utm_campaign=32089&utm_content=3598793&utm_placement=169, свободный (дата обращения: 22.04.2019). – Загл. с экрана.
11.  (650×451) [Electronic resource] – Regime of access: <http://saee.gov.ua/sites/default/files/pictures/ae-graf-05.png>, free (date of the application: 23.04.2019). – Header from the screen.
12. Поновлювані джерела енергії застосування [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://shkola.ostriv.in.ua/publication/code-C5D356ABCF66/list-V8AFBC4326> вільний (дата звернення: 30.04.2019). – Загол. з екрану.

13. Колонтаєвський Ю. П. Електроніка і мікросхемотехніка : підручник для студентів вузів / Ю. П. Колонтаєвський, А. Г. Сосков ; за ред. д-р техн. наук, проф. А. Г. Соскова. – [2-ге вид.]. – Київ : Каравела, 2009. – 416 с.
14. Солнечная энергетика: учебн. пособие / В. И. Виссарионов, Г. В. Дерюгина, В.А. Кузнецова, Н.К. Малинин. – М : ИВЦ Издательский дом МЭИ, 2008. – 317 с.
15. Физические основы солнечной фотоэнергетики [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://msd.com.ua/solnechnaya-energetika/fizicheskie-osnovy-solnechnoj-fotoenergetiki/>, свободный (дата обращения: 30.04.2019). – Загл. с экрана.
16. Сонячна енергетика [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://ua-referat.com/%D0%A1%D0%BE%D0%BD%D1%8F%D1%87%D0%BD%D0%B0_%D0%B5%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%B5%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0, вільний (дата звернення: 01.05.2019). – Загол. з екрану.
17. sun-element-mono.jpg (330×330) [Electronic resource] – Regime of access: <http://tehnovator.com.ua/images/alt-energy/sun-element-mono.jpg>, free (date of the application: 01.05.2019). – Header from the screen.
18. ВИДЫ СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.solnpanels.com/vidy-solnechnyh-batarej/>, свободный (дата обращения: 01.05.2019). – Загл. с экрана.
19. Типы сонячних батарей [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://tehnovator.com.ua/ua/energy-ua/sun-battery-ua/types-sun-battery-ua.html>, вільний (дата звернення: 01.05.2019). – Загол. з екрану.
20. thimbols.jpg (960×940) [Electronic resource] – Regime of access: <https://alterair.ua/static/media/uploads/Podlozhki/thimbols.jpg>, free (date of the application: 01.05.2019). – Header from the screen.
21. ss%20p2012-12-04%20at%2006.18.26c.jpg (500×312) [Electronic resource] – Regime of access: <http://solar.ust.su/upload/medialibrary/7e0/ss%20p2012-12-04%20at%2006.18.26c.jpg>, free (date of the application: 01.05.2019). – Header from the screen.
22. solar_panel_shop.jpg (1900×632) [Electronic resource] – Regime of access: https://alterair.ua/static/media/uploads/Podlozhki/solar_panel_shop.jpg, free (date of the application: 01.05.2019). – Header from the screen.
23. amorfnye-solnechnye-paneli.jpg (653×201) [Electronic resource] – Regime of access: <https://www.solnpanels.com/wp-content/uploads/2015/09/amorfnye-solnechnye-paneli.jpg>, free (date of the application: 01.05.2019). – Header from the screen.
24. 1.jpg (588×338) [Electronic resource] – Regime of access: <https://motocarrello.ru/wp-content/uploads/images/stories/electrotech/427/1.jpg>, free (date of the application: 01.05.2019). – Header from the screen.

25. Огляд сучасних фотоелектричних систем [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.rusnauka.com/pdf/235661.pdf>, вільний (дата звернення: 01.05.2019). – Загол. з екрану.

26. Полімерні сонячні батареї [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://alternative-energy.com.ua/vocabulary/ua_polo_solar/, вільний (дата звернення: 01.05.2019). – Загол. з екрану.

27. foto_polimernie_solnechnie_batarei.jpg (251×182) [Electronic resource] – Regime of access: https://www.cre8tivez.org/wp-content/uploads/images/foto_polimernie_solnechnie_batarei.jpg, вільний free (date of the application: 02.05.2019). – Header from the screen.

28. sun-element-plenka-1.jpg (350×300) [Electronic resource] – Regime of access: <http://tehnovator.com.ua/images/alt-energy/sun-element-plenka-1.jpg>, free (date of the application: 01.05.2019). – Header from the screen.

29. sonyachny_element_1_2.jpg (259×172) [Electronic resource] – Regime of access: http://radiofishka.in.ua/sites/default/files/radio-life/alter-energy/solar/sonyachny_element_1_2.jpg, free (date of the application: 02.05.2019). – Header from the screen.

30. sonyachny_element_2.png (500×387) [Electronic resource] – Regime of access: http://radiofishka.in.ua/sites/default/files/radio-life/alter-energy/solar/sonyachny_element_2.png, free (date of the application: 02.05.2019). – Header from the screen.

31. Устройство и принцип работы солнечных батарей [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://supply.in.ua/alternativnaja-energija/solnechnaja-batareja.html>, свободный, (дата обращения: 02.05.2019). – Загл. с экрана.

32. 3b43538333bbb79f2e11dbda43a56e92.jpg (800×599) [Electronic resource] – Regime of access: https://xn----8sblc3bftbzy4n.com/_scale/uploads/s/j/y/l/jyls5j3vcnke/img/autocrop/3b43538333bbb79f2e11dbda43a56e92.jpg?width=800&quality=85&webp=1, free (date of the application: 02.05.2019). – Header from the screen.

33. gibkaja-solnechnaja-batareja.jpg (500×322) [Electronic resource] – Regime of access: <http://supply.in.ua/images/alternat-energija/gibkaja-solnechnaja-batareja.jpg>, free (date of the application: 02.05.2019). – Header from the screen.

34. Пленка EVA [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://ru.alternative-energy.com.ua/vocabulary/%D0%BF%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%BA%D0%B0-eva/>, свободный, (дата обращения: 02.05.2019). – Загл. с экрана.

35. В. П. Кожем'яко, В. Г. Домбровський, В. Ф. Жердецький, В. І. Маліновський, і Г. В. Притуляк, АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ДЛЯ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ, ОЕІЕТ, vol 22, № 2, с. 142-157, 1.

36. ВПРОВАДЖЕННЯ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ЇХ ВПЛИВУ НА РОБОТУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://events.pstu.edu/konkurs->

energy/wp-content/uploads/sites/2/2018/03/%D0%A1%D0%BE%D0%BD%D1%8F%D1%87%D0%BD%D0%B0-%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%BD%D1%86%D1%96%D1%8F.pdf, вільний (дата звернення: 06.05.2019). – Загол. з екрану.

37. sh1.jpg (1014×326) [Electronic resource] – Regime of access: <https://renenergy.com.ua/images/statji/sh1.jpg>, free (date of the application: 02.05.2019). – Header from the screen.

38. sh2.jpg (929×276) [Electronic resource] – Regime of access: <https://renenergy.com.ua/images/statji/sh2.jpg>, вільний (дата звернення: 12.05.2019). – Загол. з екрану.

39. ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ СОНЯЧНИХ БАТАРЕЙ [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-ebmd/all-ebmd-2016/paper/viewFile/773/873>, вільний (дата звернення: 06.05.2019). – Загол. з екрану.

40. sh3.jpg (1006×329) [Electronic resource] – Regime of access: <https://renenergy.com.ua/images/statji/sh3.jpg>, free (date of the application: 12.05.2019). – Header from the screen.

41. СХЕМИ ОРГАНІЗАЦІЇ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://renenergy.com.ua/soniachni-elektrostantsii/skhemy-orhanizatsii-soniachnykh-elektrostantsii>, вільний (дата звернення: 6.05.2019). – Загол. з екрану.

42. Контролери заряду для сонячних панелей, їхні типи та переваги [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://prel.prom.ua/a158055-kontroleri-zaryadu-dlya.html>, вільний (дата звернення: 11.05.2019). – Загол. з екрану.

43. Какой инвертор выбрать? [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://e-solarpower.ru/faq/vidy-invertorov/>, свободный (дата обращения: 13.05.2019). – Загл. с экрана.

44. 22ii.jpg (234×150) [Electronic resource] – Regime of access: http://www.solbat.su/img_lib/dopobr/batteries/22ii.jpg, free (date of the application: 13.05.2019). – Header from the screen.

45. 11ii.jpg (198×150) [Electronic resource] – Regime of access: http://www.solbat.su/img_lib/dopobr/batteries/11ii.jpg, free (date of the application: 13.05.2019). – Header from the screen.

46. Коротко про вплив відхилень напруги на різне електрообладнання [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://prel.prom.ua/a80731-vpliv-vidhilen-naprugi.html>, вільний (дата звернення: 13.05.2019). – Загол. з екрану.

47. 78-82 [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://eprints.kname.edu.ua/21723/1/78-82.pdf>, вільний (дата звернення: 21.05.2019). – Загол. з екрану.

48. Сетевые инвертора и их использование [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://avtonom.com.ua/stati/istochniki_bespereboynogo_pitania_stabilizatori/setevie

_inventory_info?record_id=97, свободный (дата обращения: 13.05.2019). – Загл. с экрана.

49. ВИБИРАЄМО ІНВЕРТОР ДЛЯ ЗЕЛЕНОГО ТАРИФУ [Электронный ресурс] – Режим доступа:

https://avtonom.com.ua/stati/istochniki_bespereboynogo_pitania_stabilizatori/setevie_inventory_info?record_id=97, вільний (дата звернення: 15.05.2019). – Загол. з екрану.

50. csm_SMC.jpg (624×600) [Electronic resource] – Regime of access:

http://ishop.sutem.com.ua/image/catalog/news/topics/solar/csm_SMC.jpg, free (date of the application: 15.05.2019). – Header from the screen.

51. Solnechnyj_invertor-1024x614.jpg (1024×614) [Electronic resource] – Regime of access:

http://ekobatarei.ru/wp-content/uploads/2013/12/Solnechnyj_invertor-1024x614.jpg, free (date of the application: 15.05.2019). – Header from the screen.

52. Полная энергетическая автономия или как выжить с солнечными батареями в глубинке (часть 2. практическая) [Электронный ресурс] – Режим доступа : <https://habr.com/ru/post/251449/>, свободный (дата обращения: 15.05.2019). – Загл. с экрана.

53. ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ВНЕДРЕНИЕ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ, ПОДРЯДНЫЕ РАБОТЫ) [Электронный ресурс] – Режим доступа : <https://bmssolar.net/ru/services/design.html>, свободный (дата обращения: 22.05.2019). – Загл. с экрана.

54. Проектування сонячних станцій [Электронный ресурс] – Режим доступа:

<https://setech.in.ua/posluhy/proektuvannya-sonyachnykh-stantsiy/>, вільний (дата звернення: 22.05.2019). – Загол. з екрану.

55. Расчет производительности солнечных станций [Электронный ресурс] – Режим доступа :

<http://teplodom.net.ua/solnechnye-elektrostantsii/etapy-proektirovaniya-i-stroitelstva-solnechnyh-elektrostantsij/raschet-proizvoditelnosti-solnechnyh-stantsij/>, свободный (дата обращения: 22.05.2019). – Загл. с экрана.

56. Разработка проекта солнечной станции [Электронный ресурс] – Режим доступа :

<http://teplodom.net.ua/solnechnye-elektrostantsii/etapy-proektirovaniya-i-stroitelstva-solnechnyh-elektrostantsij/razrabotka-proekta-solnechnoj-stantsii/nggallery/page/1>, свободный (дата обращения: 22.05.2019). – Загл. с экрана.

57. Строительство и монтаж солнечной станции [Электронный ресурс] – Режим доступа :

<http://teplodom.net.ua/solnechnye-elektrostantsii/etapy-proektirovaniya-i-stroitelstva-solnechnyh-elektrostantsij/montazh/>, свободный (дата обращения: 23.05.2019). – Загл. с экрана.

58. Эксплуатация солнечных батарей станции [Электронный ресурс] – Режим доступа :

<http://teplodom.net.ua/solnechnye-elektrostantsii/etapy-proektirovaniya-i-stroitelstva-solnechnyh-elektrostantsij/ekspluatatsiya-i-obsluzhivanie-solnechnyh-batarej/>, свободный (дата обращения: 23.05.2019). – Загл. с экрана.

59. Автоматична електростанція для дитячого садка Комунальний заклад ДНЗ № 19.pdf [Електронний ресурс] – Режим доступу:

<http://gromada.vmr.gov.ua/ContentLibrary/509c9390-3cb4-46c9-8ae8-f8d9fdf033f7/6/%D0%90%D0%B2%D1%82%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%BD%D0%B0%20%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%BD%D1%86%D1%96%D1%8F%20%D0%B4%D0%BB%D1%8F%20%D0%B4%D0%B8%D1%82%D1%8F%D1%87%D0%BD%D0%BE%D0%B3%D0%BE%20%D1%81%D0%B0%D0%B4%D0%BA%D0%B0%20%D0%9A%D0%BE%D0%BC%D1%83%D0%BD%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%B8%D0%B9%20%D0%B7%D0%B0%D0%BA%D0%BB%D0%B0%D0%B4%20%D0%94%D0%9D%D0%97%20%E2%84%9619.pdf>, вільний (дата звернення: 22.05.2019). – Загол. з екрану.

60. Сервіс сонячних електростанцій [Електронний ресурс] – Режим доступу:

<https://rentechno.ua/ua/services/maintenance.html>, вільний (дата звернення: 23.05.2019). – Загол. з екрану.

61. Технічний звіт з оцінки потенціалу відновлювальної енергетики в Україні: Сонячна енергетика [Електронний ресурс] – Режим доступу:

http://www.uself.com.ua/fileadmin/documents/U-Solar_Technical_Report.pdf, вільний (дата звернення 23.05.2019). – Загол. з екрану.

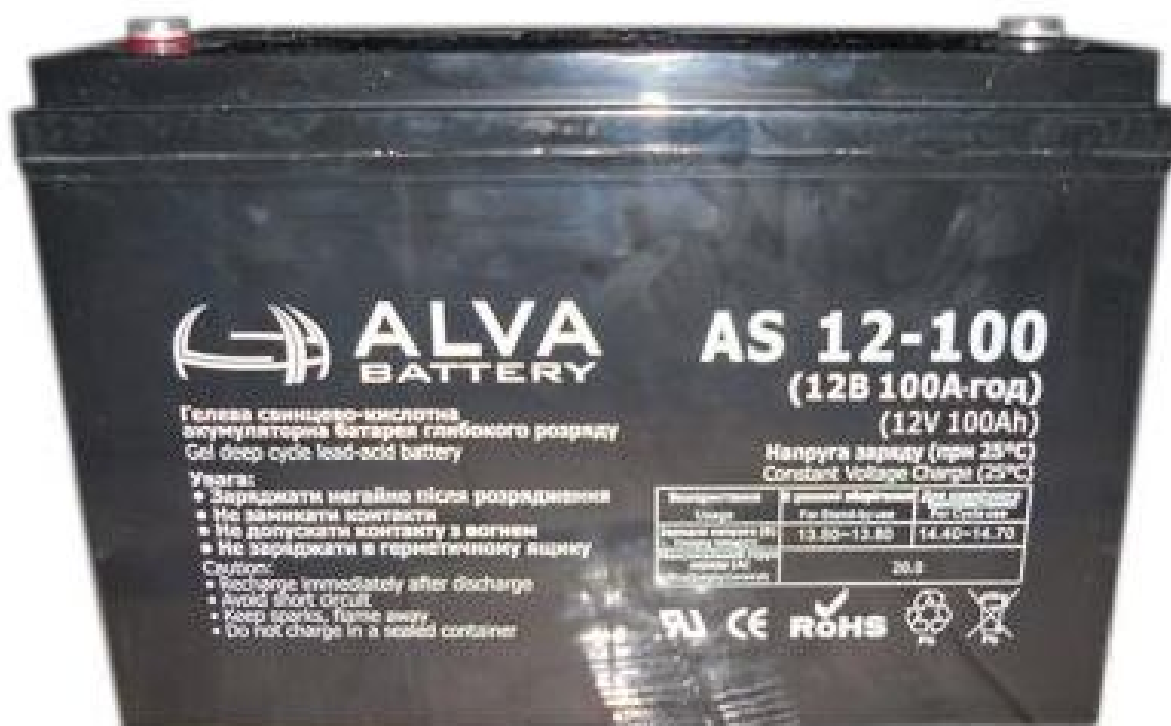
62. В Італії знайшли спосіб зробити з будинків сонячні батареї [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://cikavosti.com/v-italiyi-znayshli-sposib-zrobiti-z-budinkiv-sonyachni-batareyi/>, вільний (дата звернення 27.05.2019). – Загол. з екрану.

63. Автономне вуличне освітлення [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://ekotechnik.prom.ua/p759781320-avtonomne-vulichne-osvitlennya.html>, вільний (дата звернення 27.05.2019). – Загол. з екрану.

64. Дорожнє покриття з сонячних панелей – енергоживлення з-під коліс батареї [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://zora-irpin.info/dorozhnye-pokrittya-z-sonyachnih-panelej-energozhivlennya-z-pid-kolis/>, вільний (дата звернення 27.05.2019). – Загол. з екрану.

ДОДАТОК А

Акумуляторна батарея Alva Battery AS12-100 GEL



Опис

Акумуляторна батарея Alva Battery AS12-100 – недорога АКБ для застосування в побутових електростанціях. Створена за технологією GEL, основне застосування – для постійної роботи в сонячних та вітроелектростанціях. Завдяки невисокій ціні і прийнятній якості акумулятори Alva користуються високим попитом для приватних будинків, невеликих офісів, дач та іншого побутового обладнання.

Особливістю АКБ Alva Battery AS12-100 є те, що вона гелева – в її складі розчин сірчаної кислоти зв'язаний в гель. Кисень і водень, що утворюються при протіканні великого струму, залишаються всередині гелю, де рекомбінують і утворюють воду, яка знову поглинається гелем. Завдяки ефективній рекомбінації газів, гелеві акумулятори мають довгий термін служби, збільшене число циклів заряду-розряду, вони стійкі до глибоких розрядів. До того ж

акумулятори, вироблені за технологією GEL, мають широкий діапазон робочих температур. Ці переваги дозволяють широко використовувати технологію в автономних енергосистемах, в тому числі і на базі альтернативних джерел енергії. Отже, ця батарея:

- 1) стійка до різних вібрацій;
- 2) дозволяє монтаж батареї у будь-якому положенні, крім «догори ногами»;
- 3) при обслуговуванні не потрібний контроль і долив електроліту;
- 4) повністю герметична з клапанним регулюванням, запобігає витіку кислоти і корозії клем;
- 5) більш високі норми розряду, завдяки меншому опору;
- 6) працює за низьких температур;
- 7) час зарядки у 7 разів менший порівняно зі звичайними батареями.

Технічні характеристики

Тип акумулятора	GEL
Напруга	12В
Ємність	100 Ah
Максимальний струм розряду	600 А/1 хв.
Термін експлуатації	12 років
Габаритні розміри	332 мм × 174 мм × 218
Маса	31,5 кг
Гарантія	12 міс.
Ціна	5762 грн

Примітка. Інформація з рекламних матеріалів.

Джерело: Акумуляторна батарея Alva Battery AS12-100 GEL – Режим доступу: <http://ishop.sutem.com.ua/AS12-100>, вільний (дата звернення: 11.05.2019). – Загол. з екрану.

ДОДАТОК Б

Сонячна батарея (монокристал) Risen – RSM60-6-310M, 310 Вт,
MONO



Технічні характеристики

Модель	Risen - RSM60-6-290M
Кількість селів (комірок)	60 шт.
Струм короткого замикання	9,65 А
Габарити батареї	1 650 мм × 991 мм × 35 мм
Робоча температура	-40...+85 °С
Максимальна потужність	290 Вт
Вага	18 кг
Струм при максимальній потужності	9,18 А
Напруга холостого ходу	38,9 В
Напруга при максимальній потужності	31,6 В
Країна виробник	Китай
Матеріал рами	анодований алюміній
Коефіцієнт корисної дії, ККД	17,7 %
Тип кристала	монокристал
Розмір селів (комірок)	156 мм×156 мм – 60 шт. (6 на 10)
Максимальна напруга системи	1 000 В
Ціна	2646 грн

Опис

Сонячна батарея монокристалічного типу Risen – RSM60-6-310M, 310 Вт, MONO потужністю 310 Вт та номінальною робочою напругою 24 В призначена для генерації електричної енергії (перетворення сонячної енергії в електричну).

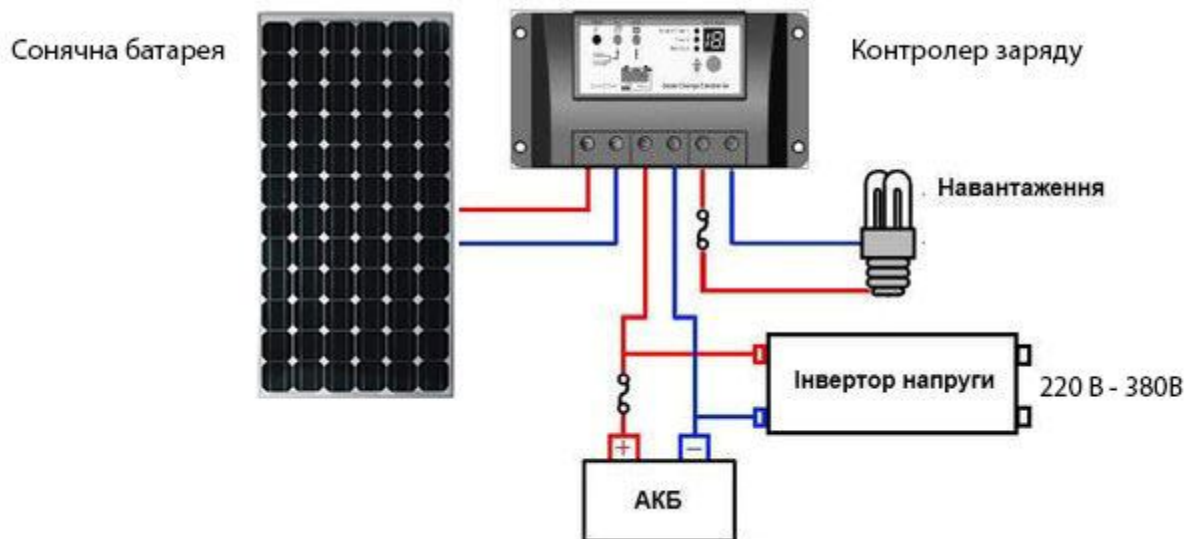
Генерує постійний струм.

Для того щоб застосувати струм, згенерований сонячною батареєю, потрібно побудувати сонячну фотоелектричну систему.

Залежно від призначення в сонячну фотоелектричну систему можуть увійти такі прилади та обладнання: контролери заряду, інвертори (перетворювачі напруги 220 В – 380 В) та акумуляторні батареї.

У комплекті з контролером заряду та акумуляторними батареями можна збудувати фотоелектричну систему для живлення приладів, що споживають постійний струм. У комплекті з інверторами (перетворювачами напруги) можна збудувати фотоелектричну систему, що є джерелом живлення мережі 220 В (однофазний струм) та 380 В (трифазний струм).

Спеціалісти фірми-постачальника допоможуть Вам розрахувати необхідну кількість сонячних батарей та підібрати необхідне обладнання до них для енергозабезпечення Вашого будинку, дачі, офісу чи підприємства.



Характерною особливістю монокристалічного типу сонячних батарей є темні квадратні комірки із зрізаними краями, тому що вони виготовляються за допомогою однорідного вирощення кристалу. Вони мають високу енергоефективність. Коефіцієнт корисної дії в середньому 17,5 %.

Завдяки відмінній якості монокристалічні батареї є популярними у сфері сонячної енергетики. Вони добре зарекомендували себе на всій території України.

Примітка. Інформація з рекламних матеріалів.

Джерело: Сонячна батарея (монокристал) Risen – RSM60-6-310M, 310 Вт, MONO – Режим доступу: <https://prom.ua/p937230976-sonyachna-batareya-monokristal.html>, вільний (дата звернення: 11.05.2019). – Загол. з екрану.

ДОДАТОК В

Сонячна панель Leapton LP156×156-P-60-275
полікристалічна 5 bus bar



Технічні характеристики

Виготовлювач	Leapton
Країна виробник	Китай
Тип панелі	полікристалічна
Матеріал виготовлення модуля	чистий кремній
Матеріал рамки	алюміній
Потужність	275,0 Вт
Струм за максимальної потужності	8,9 А
Напруга за максимальної потужності	31,29 В
Струм короткого замикання	9,57 А
Напруга холостого ходу	37,3 В
Кількість елементів	60
Мінімальна робоча температура	-40,0 °С
Максимальна робоча температура	85,0 °С
Ступінь захисту ІР	67
ККД, не менше	16,9 %
Гарантійний термін	120 місяців
Вага	18,0 кг
Довжина	1 640,0 мм
Ширина	990,0 мм
Товщина	35,0 мм
Температурний коефіцієнт струму	0,06 %/°С
Температурний коефіцієнт напруги	-0,3 %/°С
Температурний коефіцієнт потужності	-0,4 %/°С
Ціна	2 646 грн

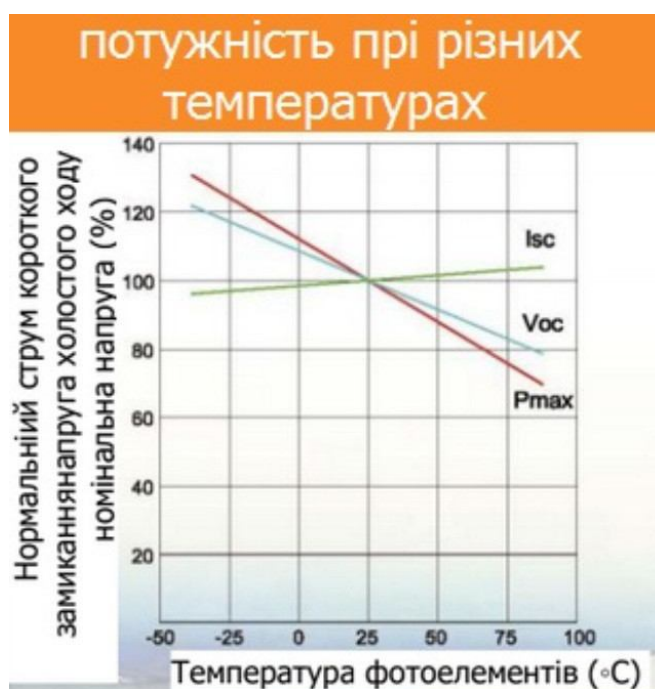
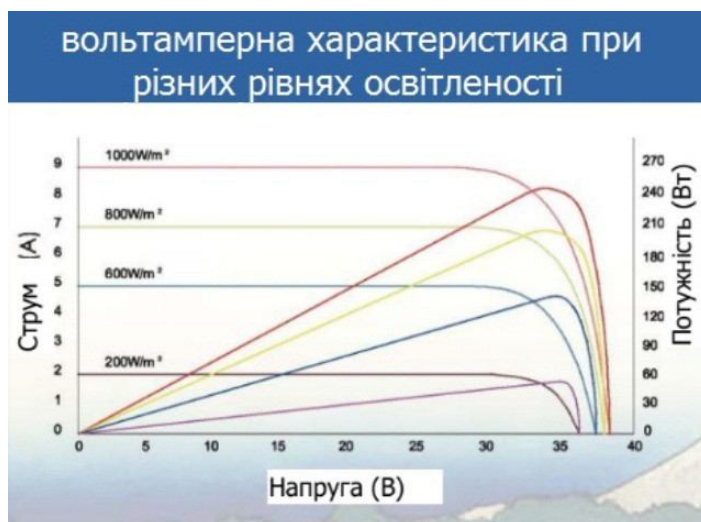
Опис

Бюджетна, і в той же час якісна сонячна панель класу А від японського бренду. За технічними характеристиками не поступається батареям, виготовленим виробниками зі списку Tier 1.

Модуль складається з шістдесяти полікремнієвих фотоелементів з п'ятьма струмопровідними шинами (технологія 5BB). Захищена міцним загартованим склом з мінімальним вмістом заліза. Легкий, міцний, корозійностійкий корпус сонячної батареї виготовлений з алюмінієвого сплаву. З тильного боку знаходиться розподільна коробка для швидкого і зручного підключення електрогенеруючого пристрою.

Сонячний модуль Leapton призначений для автономних, мережевих і гібридних фотоелектричних систем. Може використовуватися в побутових,

комерційних, промислових цілях. Підходить сонячним електростанціям під «зелений» тариф.



«Ліптон Енерджі» входить у десятку провідних виробників фотовольтаїчного обладнання Японії. Виробничі потужності компанії зосереджені в провінції Цзянсу (Китай). Центральний офіс знаходиться в Кобе. Є філії в Шанхаї і Токіо. На підприємстві Learton виробляють фотомодулі для німецької компанії RECOS.

Примітка. Інформація з рекламних матеріалів.

Джерело: Сонячна панель Leapton LP156×156-P-60-275 полікристалічна 5 bus bar – Режим доступу: https://prom.ua/p755870915-solnechnaya-panel-leapton.html?utm_source=rtbhousemp&utm_medium=cpc&utm_campaign=retargeting&adv_campaign_id=592530, вільний (дата звернення: 11.05.2019). – Загол. з екрану.

ДОДАТОК Г

**Сонячний фотоелектричний модуль PV модуль ABi-SOLAR
AB280-PHC(CN32), 280 Wp, Poly Half-Cell**



Технічні характеристики

Виготовлювач	ABi-Solar
Країна виробник	Китай
Тип панелі	полікристалічна
Матеріал виготовлення модуля	аморфний кремній
Матеріал рамки	алюміній
Напруга	38,2 В
Потужність	280,0 В
Струм за максимальної потужності	7,02 А
Напруга за максимальної потужності	32,0 В
Струм короткого замикання	9,24 А
Напруга холостого ходу	38,2 В
Кількість елементів	120 шт.
Мінімальна робоча температура	-40,0 °С
Максимальна робоча температура	+85,0 °С
Ступінь захисту IP	67
ККД, не менше	17,11 %
Гарантійний термін	60 місяців
Вага	19,0 кг
Довжина	1 650,0 мм
Ширина	992,0 мм
Товщина	35,0 мм
Температурний коефіцієнт струму	0,05 %/°С
Температурний коефіцієнт напруги	-0,32 %/°С
Температурний коефіцієнт потужності	-0,41 %/°С
Ціна	2 985 грн

Опис

Полікристалічний фотомодуль з осередками half-cell відрізняється більш високою продуктивністю порівняно зі стандартними модулями. Менш схильний до перегріву і виникнення у його наслідок hot-spot.

Виготовлення та збирання фотомодулів здійснюється тільки на східно-азіатських підприємствах зі списку Bloomberg Tier 1.

Кожен фотомодуль ABi-Solar проходить обов'язкове тестування на відповідність заявленим характеристикам. Повна відповідність світовим технологічним стандартам: IEC61215, IEC61730, CE, ROHS, TÜV.

Гарантована сумісність з мережевими й автономними фотоелектричними системами.

Переваги модуля half-cel:

- більш висока потужність, ККД і ROI завдяки меншим втратам при знятті енергії з поверхні осередку;
- на 6 % менше втрат завдяки більш коротким струмознімальних шинам;
- на 50 % краще працює за часткового затінювання;
- конструкція розподільної коробки і by-pass-діоди захищають модуль від перегрівання і ефекту hot-spot.

Примітка. Інформація з рекламних матеріалів.

Джерело: Солнечный фотоэлектрический модуль PV модуль ABi-Solar AB280-PHC(CN32), 280 Wp, Poly Half-Cell – Режим доступа: <https://prom.ua/p755826213-solnechnyj-fotoelektricheskij-modul.html>, свободный (дата обращения: 12.05.2019). – Загл. с экрана.

ДОДАТОК Д

Контролер заряду C2430 12 – 24 В, 30 А



Контролер сонячних батарей призначений для оптимізації режиму заряду-розряду акумуляторних батарей з метою подовження їхнього терміну роботи. Іншими словами контролер запобігає перезаряду і повному розряду акумуляторних батарей. Контролер заряду дозволяє більш ефективно використовувати сонячну батарею, оскільки завдяки спеціальній ШІМ-технології, заряджає акумулятор навіть за доволі низької освітленості.

Контролер з широтно-імпульсною модуляцією призначений для заряду гелієвих і AGM-акумуляторів. Застосовується в сонячних фотоелектричних системах.

Опис

Мікропроцесорний контролер за допомогою ШІМ (широтно-імпульсної модуляції) забезпечує швидке зарядження від сонячних модулів. Ці контролери застосовуються для всіх типів сонячних батарей і різних типів акумуляторних батарей.

Функції:

- 1) автоматичне розпізнавання вхідної напруги;
- 2) застосовується з різними типами акумуляторних і сонячних батарей;
- 3) має вбудований центральний мікропроцесор і функцію контролю системи акумулятора SOC (стан заряду);
- 4) контролер автоматично забезпечує постійний заряд акумулятора шляхом широко-імпульсної модуляції (PWM) до повного заряду акумулятора;
- 5) запобігання зворотного заряду панелі сонячних батарей в нічний час;
- 6) захист від короткого замикання;
- 7) захист від статичної напруги;
- 8) захист від переполюсовки;
- 9) блискавковий захист;
- 10) додатковий LCD-дисплей для виведення інформації.

Технічні характеристики

Номінальна напруга	12/24 В з автоматичним розпізнаванням значення напруги
Максимальний струм навантаження	30 А
Діапазон вхідної напруги	12–17 /24 – 4 В
Захист від перенапруги	17 В/4 В
Відключення за напруги акумулятора	13,7/27,4 В
Включення за напруги акумулятора	10,5–11/2 –22 В
Температурна компенсація	3 мВ/ °С/елемент
Споживаний струм без навантаження, не більше	20 мА
Температура навколишнього середовища від мінус	25 °С до +55 °С
Габарити	164 мм ×110 мм × 5 мм
Вага	0,3 кг
Гарантія	1 рік
Ціна	1 876 грн

Примітка. Інформація з рекламних матеріалів.

Джерело: Контролер заряду С2430 12 – 24 В, 30 А – Режим доступу: <https://prel.prom.ua/p29584556-kontroler-zaryadu-s2430.html>, вільний (дата звернення: 12.05.2019). – Загол. з екрану.

ДОДАТОК Е

Контролер заряду AeMPPT3024Z 12/24 В, 30 А для сонячних фотомодулів



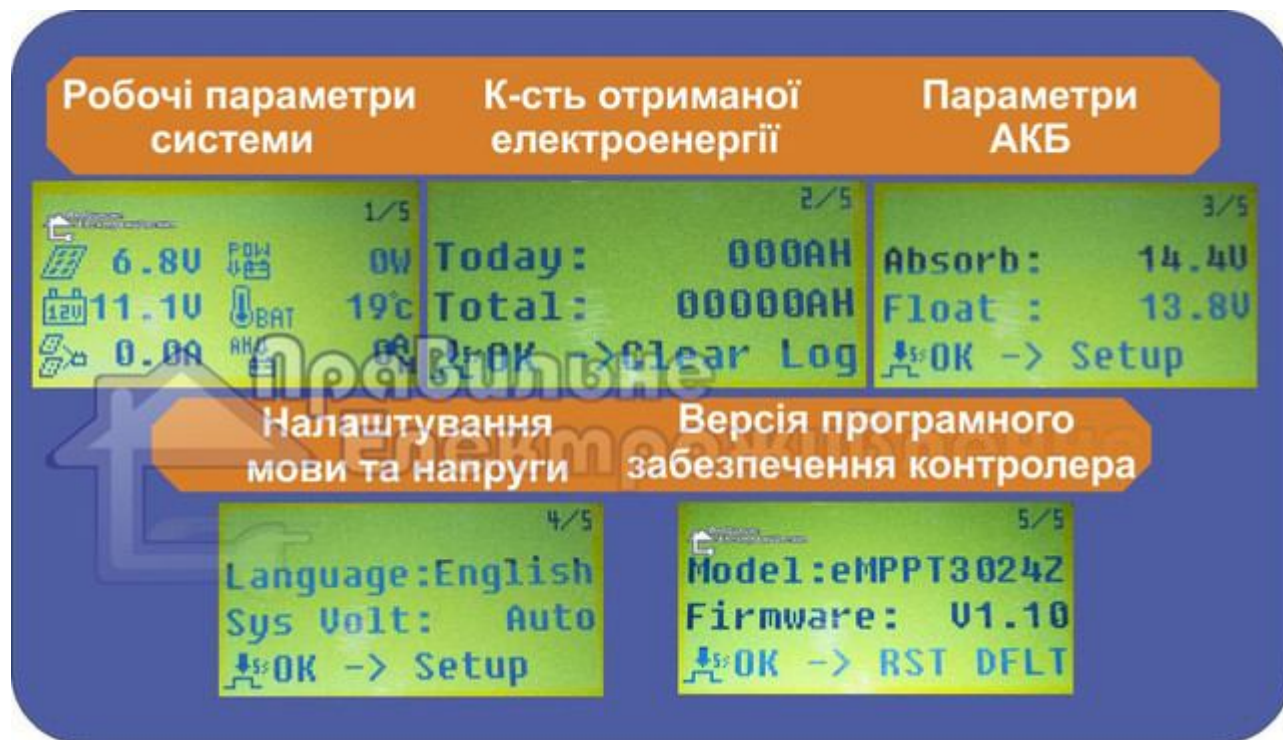
Опис

Контролер заряду AeMPPT3024Z містить зарядний пристрій, що реалізований на основі широтно-імпульсної модуляції (ШІМ або PWM з перекладу на англійську). Така технологія заряду дозволяє здійснювати оптимальний режим підзарядки акумуляторної батареї.

Головною особливістю контролера є функція стеження за максимальною точкою потужності (MPPT). Такі контролери самі обирають оптимальне співвідношення напруги і струму, що надходять з фотомодулів. У результаті ефективність фотоелектричної системи зростає на 15–30 % у порівнянні з контролерами інших типів.

Ще однією важливою особливістю контролерів AeMPPT3024Z є те, що кілька таких пристроїв можуть працювати паралельно. Це дозволяє легко нарощувати систему на сонячних батареях.

Дисплей контролера відображає рівень напруги на клеммах акумулятора, температуру навколишнього середовища, струм заряду, що надходить від сонячної батареї, стадію заряду акумулятора.



Функції:

- 1) автоматичне розпізнавання вхідної напруги 12/24 В;
- 2) захист від перенапруги фотопанелей;
- 3) регулювання напруги заряду в невеликих межах;
- 4) автоматичний перехід у сплячий режим в нічний час;
- 5) захист від неправильного підключення фотопанелей;
- 6) захист від перегрівання;
- 7) вентилятор охолодження;
- 8) функція дистанційного керування.

Вхідні характеристики

Вхідна напруга сонячних панелей, не менше
 Діапазон напруги для відстеження точки
 максимально потужності
 Один вхід для сонячних батарей.

70 В

12 /24 –70 В

Вихідні характеристики

Номінальна робоча напруга (автовизначення)	12/24 В
Максимальний зарядний струм	30 А
Власний струм споживання, не більше	45 мА
Температурна компенсація	4 мВ/cell / °С

Інші характеристики

Спосіб охолодження	термостат активного охолодження
Додаткова функція	RS485 або RS232 дистанційного керування
Робочий температурний режим	10 °С–50 °С
Допустима вологість	0–90 % , без конденсації
Габарити	380 мм × 150 мм × 100 мм
Вага	2,5 кг
Ціна	5 856 грн

Примітка. Інформація з рекламних матеріалів.

Джерело: Контролер заряду AeMPPT3024Z 12 / 24 В, 30 А для сонячних фотомодулів – Режим доступу: <https://prel.prom.ua/p32924436-kontroler-zaryada-aemppt3024z.html>, вільний (дата звернення: 12.05.2019). – Загол. з екрану.

ДОДАТОК Ж

Інвертор 12/220 (перетворювач напруги) Luxeon IPS-1500MC апроксимована синусоїда + зарядний пристрій



Опис

Перетворювач напруги торгової марки Luxeon IPS-1500MC використовують для забезпечення необхідного живлення 220 В, від акумулятора 12 В, де це непередбачено, чи у разі аварії в електромережі. При роботі від акумулятора перетворювач видає на виході напругу ступінчастої форми, тому не бажане підключення приладів чутливих до напруги живлення. Можна сміливо вмикати електробритви, зарядні пристрої для телефону і ноутбука, невеликий вентилятор та інші малопотужні прилади.

Інвертори Luxeon IPS-1500MC – обладнання, здатне працювати як від акумуляторних батарей, так і від мережі. При роботі від мережі перетворювач

напруги буде знаходитися в режимі очікування, якщо трапиться аварія (вимкнеться мережа), інвертор напруги Luxeon IPS автоматично перейде в режим роботи від акумуляторної батареї. Коли ж електрика в мережі повернеться в нормальний стан, перетворювач напруги знову перейде в режим очікування, тим самим буде здійснюватися процес економії акумулятора. Така дуже корисна функція дозволить використовувати інвертор 12/220 як автономне джерело електроживлення.

Інвертор на виході видає напругу 220 В з частотою 50 Гц. Для живлення і коректної роботи малопотужних побутових приладів не потрібно дуже якісної вихідної напруги, тому інвертор Luxeon IPS-1500MC з апроксимованою синусоїдою в таких випадках – найкраще рішення.

Технічні характеристики

Потужність	1 000 Вт (короткочасно до 1 500 Вт)
Режим роботи як ДБЖ	
Діапазон вхідної напруги	165–75 В
Вихідна напруга	220 ± 5 % В (ступінчаста синусоїда), частота 50 Гц
Напруга зовнішньої акумуляторної батареї (не входить в комплект поставки)	12 В
Напруга зарядки акумуляторної батареї	13,8 ± 0,1 В
Максимальний струм заряду акумуляторної батареї	5 А
Управління	мікропроцесорне
ККД	85–90 %
Світлодіодні індикатори режимів роботи	зарядка акумуляторної батареї і перетворення примусового охолодження
Вентилятор	примусового охолодження
Попередження про розряд акумуляторної батареї	10,5 ± 0,5 В (звуковий сигнал)
Захист від розряду акумуляторної батареї	10 ± 0,5 В (відключення)
Захист від перегрівання	65 ± 5 °С (відключення);
Захист від короткого замикання	запобіжник
Підключення до мережі	мережевий шнур
Підключення до акумуляторної батареї	2 кабелі
Підключення навантаження	дві розетки
Габарити	490 мм × 20 мм × 80 мм
Маса	5 кг
Гарантія	2 роки!
Ціна	3 350 грн

Примітка. Інформація з рекламних матеріалів.

Джерело: Інвертор 12/220 (перетворювач напруги) Luxeon IPS-1500МС
апроксимована синусоїда + зарядний пристрій – Режим доступу:
<https://prel.prom.ua/p15682344-invertor-12220-peretvoryuvach.html>, вільний (дата
звернення: 13.05.2019). – Загол. з екрану.

ДОДАТОК И

Автономний сонячний інвертор Abi-Solar SL 3024 PWM



Опис

Автономний (off-grid) інвертор Abi-Solar SL 3024 PWM призначений для роботи в повністю автономних або резервних системах електроживлення.

Інвертори ABi-Solar® SL комплектуються ШІМ (серія PWM) або MPPT (серія MPPT) контролерами заряду від фотопанелей.

Серія інверторів MPPT Plus – інвертори з MPPT контролером та збільшеною потужністю сонячних батарей, що підключаються. Ці пристрої поєднують у собі функції інвертора, контролера заряду від сонячних батарей та

мережевого зарядного пристрою. Можуть бути використані як джерела безперебійного живлення. Вбудований РК дисплей дозволяє переглядати та конфігурувати основні параметри станції.

Ефективність перетворення енергії складає 93 %.

Технічні характеристики

Тип контролера	PWM
Кількість контролерів	1
Номінальна потужність	3 000 ВА/2 400 Вт

Вхід (мережа)

Напруга	230 В
Вибір робочої напруги	170-280/90-280 В
Частота	50 Гц/60 Гц (автовибір)

Вихід (навантаження)

Робоча напруга (режим АКБ)	230 В ± 5 %
Пікова потужність	6 000 ВА
Максимальна ефективність	93 %
Час переключення	20 мс
Синусоїда	чиста

Акумуляторна батарея

Напруга АКБ	24 В
Підтримувана напруга	54 В
Захист від перенапруги	60 В

Контролер заряду АС і DC

Максимальна напруга Х.Х. фотомодулів	80 В
Максимальний струм заряду DC	50 А
Максимальний струм заряду АС	20 А
Максимальний струм заряду сумарний	70 А
Споживання в режимі очікування	2 Вт

Параметри

Розміри	100 мм × 285 мм × 334 мм
Маса	6,3 кг
Вологість	від 5 % до 95 % (без конденсації)
Робоча температура	від -10 °С до +50 °С
Пилозахист	фільтр на кулерах
Ціна	11 726 грн

Примітка. Інформація з рекламних матеріалів.

Джерело: Автономний сонячний інвертор Abi-Solar SL 3024 PWM – Режим доступу: <https://ecoenerhiia.ua/merezhevi-invertori/avtonomnij-invertor-abi-solar-sl-3024-pwm.html>, вільний (дата звернення: 13.05.2019). – Загол. з екрану.

ДОДАТОК К

Мережевий інвертор SolarRiver 3000TL (3 кВт, 1 фаза)



Опис

Однофазні мережеві інвертори застосовуються в сонячних електростанціях малої та середньої потужності. Ці перетворювачі можна використовувати як по «зеленому» тарифу, так і для своїх потреб, без підключення «зеленого» тарифу. Цей пристрій має сертифікат від відомого

журналу photon+. Це свідчить про те, що цей інвертор проходив випробування у лабораторних умовах на зразок навантажувальної здатності, працездатності систем захисту та не тільки.

Мережевий інвертор SolarRiver 3000TL має 1 MPPT трекер та два входи для підключення сонячних фотомодулів. Перетворювач підключається до мережі з використанням триполюсного рознімача. Пристрій містить інтерфейс обміну даних RS232 і RS485 для передачі інформації продуктивності електростанції на персональний комп'ютер.

На передній панелі пристрою розташований цифровий дисплей та світлодіодні індикатори стану роботи перетворювача. Меню налаштувань дозволяє користувачу вибрати мову відображення (китайська, англійська, французька, німецька, італійська та іспанська.) Параметри можна редагувати однією кнопкою, також на екрані можна спостерігати за станом роботи інвертора, наявністю помилок та генерації електроенергії.

Найбільш оптимальна продуктивність перетворювача спостерігається за вхідної напруги сонячного масиву 358 В, ефективність за такої напруги складає 97,1 % Європейського стандарту.

Завдяки широкому температурному діапазону та ступеню захисту IP65 цей пристрій можна вмонтувати як під дахом, так і на вулиці.

Потужність власного споживання зі сторони змінного струму складає 0,1 Вт, а зі сторони постійної напруги цей показник складає від 4 Вт до 6 Вт.

Інвертор має сертифікат від лабораторії photon+, широкий MPPT діапазон 200/500 В, LCD-дисплей, інтерфейс обміну даних.

Технічні характеристики

Вхідні характеристики (DC)

Максимальна вхідна напруга сонячних панелей	550 В
Діапазон MPPT	200/500 В
Оптимальна напруга MPPT	358 В
Кількість MPPT трекерів	1
Максимальний струм MPPT трекера	13,5 А
Потужність власного споживання	4/6 Вт

Вихідні характеристики (AC)

Номінальна потужність	2600 Вт
Максимальна потужність	2800 Вт
Номінальна вхідна напруга	230 В
Робочий діапазон	180–270 В
Частота мережі	50/60 Гц
Максимальний вихідний струм	13,8 А
Кількість фаз	1
Потужність власного споживання	0,1 Вт

Загальні

Габарити	332 мм × 450 мм × 161 мм
Вага	18 кг
Температурний діапазон	від – 20 °С до +60 °С
Рівень шуму	менше 30 дБ
Ступінь захисту	IP65
Інтерфейс обмінну даними	RS485, WiFi, Ethernet
Гарантія	60 міс.

Основні атрибути

Виготовлювач	Samil Power
Країна виробник	Китай
Напруга мережі живлення	220 В
Частота	50,0 Гц
Вихідна напруга	220 В
Номінальна потужність	3 000 Вт
Мінімальна робоча температура навколишнього середовища	–20 °С
Максимальна робоча температура навколишнього середовища	60 °С
ККД, не менше	97,0 %
Захист від короткого замикання	Так
Захист від перевантажень	Так
Захист від перегріву	Так
Ціна	23 460 грн

Примітка. Інформація з рекламних матеріалів.

Джерело: Мережевий інвертор SolarRiver 3000TL (3 кВт, 1 фаза) – Режим доступу: <https://prel.prom.ua/p460368299-merezhevij-invertor-solarriver.html>, вільний (дата звернення: 13.05.2019). – Загол. з екрану.

ДОДАТОК Л

Гібридний інвертор Must Santakups PH18-4K PK



Опис

Гібридний інвертор PH18-4K PK Must характеризується вихідною потужністю до 3200 Вт, пусковою потужністю до 6 400 Вт (запуск електродвигуна потужністю до 3 кінських сил), напруга на АКБ 48 В, технологія заряду ШІМ та зарядним струмом до 50 А.

Має вихід для подачі сигналу на АВР генератора (для автоматичного запуску генераторів).

Інвертор виробництва компанії Must серії PH1800 є багатофункціональною інверторною станцією для автономного електропостачання об'єкта з вбудованим зарядним пристроєм з можливістю підключення бензо-, дизельгенератора, зовнішньої електричної мережі, АКБ великої місткості і спільною роботою з альтернативними джерелами живлення.

Інверторна станція Must серії PH18 генерує змінний струм чистої синусоїдальної форми, має великий ККД та малий струм для власних потреб. Це дає можливість використовувати автономний інвертор як джерело безперебійного живлення для навантажень великої потужності протягом тривалого часу, без можливості використання традиційної електричної мережі.

Інвертор PH18 4К РК Must складається з джерела безперебійного живлення і контролера заряду АКБ з технологією заряду ШІМ. Він може бути використаний в автономних системах електроживлення як з альтернативними екологічно чистими джерелами енергії, такими як, наприклад, сонячні батареї або вітрогенератори, так і з традиційними, такими як бензо-, дизельгенератори.

Цей інвертор спроектований для безперервної цілодобової експлуатації, а також для будь-якого типу навантажень, таких як електроінструменти, побутова техніка і електроніка, офісна оргтехніка.

Гібридний інвертор PH18-4К РК Must працює за таким алгоритмом. За наявності вхідної мережі (у режимі «лінія») інвертор «пропускає» напругу мережі на підключене устаткування. У разі відключення або аварії мережі інвертор миттєво переводить навантаження на живлення від АКБ, які є резервним джерелом енергії.

Вбудований інтелектуальний зарядний пристрій забезпечує заряд АКБ як від сонячних батарей, так і від традиційної електричної мережі та захищає їх від перевантажень.

Компактний дизайн і просте управління робить монтаж і використання цього інвертора простим і економічно ефективним.

Інвертор Must PH18 4К РК є оптимальним вибором для автономного живлення, тому що має дуже малий показник самоспоживання.

Особливості інвертора PH18-4К РК Must:

- 1) чиста синусоїда на виході;
- 2) підключення бензинових і дизельних генераторів;
- 3) підключення зовнішньої мережі;
- 4) сумісний з лінійними і нелінійними навантаженнями;
- 5) потужний зарядний пристрій;
- 6) спроектовано для довготривалої безперервної роботи;
- 7) має функцію автоматичної самодіагностики;
- 8) гармонійні коливання менше 3 %;
- 9) високоефективна робота для економії енергоспоживання;
- 10) низьке нагрівання за безперервної роботи;
- 11) можливість вибору вихідної напруги;
- 12) вибір пріоритетного типу роботи автономний або мережевий;
- 13) захист від перевантаження і короткого замикання;

14) автоматичний запуск інвертора на навантаження за відсутності напруги від генератора.

Гібридний перетворювач із функцією заряду акумуляторів Must PH1800 4K PK дозволить використовувати сонячні батареї по максимуму. Ця модель допоможе досягти більшої ефективності й тривалості роботи автономної системи.

Технічні характеристики

Тип інвертора	гібридний автономний
Кількість фаз	1
Номинальна потужність навантаження	3 200 Вт (ВА)
Короткочасне перевантаження	6 400 Вт (ВА)
Форма вихідної напруги	чиста синусоїда
Вихідна напруга АКБ	48 В
Максимальний струм заряду	50 А
Режим заряду АКБ	PWM (ШИМ)
Максимальна напруга холостого ходу	105 В
Діапазон вхідної напруги	170–280 В
Час перемикання	10 мс
Клас потужності	2 000–3 900 Вт
Клас перевантаження, не більше	9 000 Вт
Власне споживання	2 Вт
ККД	93 %
Ступінь захисту	IP40
Розміри	298 мм × 468 мм × 125 мм
Вага	9,8 кг
Гарантія	12 міс.
Ціна	16 157 грн

Примітка. Інформація з рекламних матеріалів.

Джерело: Гібридний інвертор Must Santakups PH18-4K PK – Режим доступу: <https://alfa.solar/uk/gibridnij-invertor-must-santakups-ph18-4k-pk-id120.html>, вільний (дата звернення: 15.05.2019). – Загол. з екрану.