

# Опіс роботи сонячної батареї та її застосування в енергетиці



*Редакцію часто запитують: що являють собою сонячні батареї, який принцип їх роботи, чи можна використовувати це джерело електроенергії для живлення незначних господарських пристроїв і т.ін.*

*Дати відповіді на ці запитання редакція журналу попросила головного енергетика відділу навігаційного забезпечення мореплавства і маякової служби ДУ "Держгідрографія" Андрія Вікторовича ЧЕРНОБРОВКІНА.*

## 1. Терміни та визначення

Фотоелектричний сонячний елемент (ФСЕ) – сонячний елемент на основі фотоефекту.

Фотоелектричний модуль (ФМ) – пристрій, що конструктивно об'єднує електрично сполучені між собою фотоелектричні сонячні елементи і має вихідні клеми для під'єднання зовнішнього користувача.

Сонячна фотоелектрична батарея (СФБ) – сполучені між собою електрично та механічно фотоелектричні модулі.

Вольтамперна характеристика (ВАХ) сонячного елемента, модуля, батареї – залежність між струмом навантаження і напругою на клеммах сонячного фотоелектричного елемента, модуля, сонячної батареї при постійних значеннях температури сонячних елементів та інтенсивності сонячного випромінювання, що надходить.

Температурний коефіцієнт струму, напруги – значення, що характеризує зміну струму, напруги сонячного елемента при зміні температури на 1°C.

Стандартні умови випробувань сонячного елемента, модуля, батареї (Standard test conditions for solar cell, module, array) – умови випробувань, регламентовані за щільністю потоку сонячної енергії 1000 Вт/м<sup>2</sup> і температурою фотоелектричних сонячних елементів (25±2)°C.

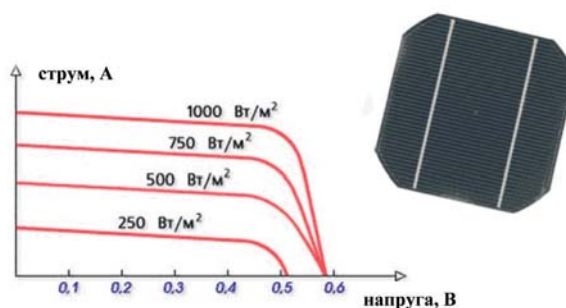
Пікова потужність сонячного елемента, модуля, батареї, станції – максимальна потужність ФСЕ, модуля, батареї, станції при стандартних умовах випробувань.

Максимальна потужність ФСЕ, модуля, батареї, станції – потужність фотоелектричного сонячного елемента, модуля, батареї, станції у точці на вольтамперній характеристиці, де значення добутку струму на напругу максимальне.

## 2. Фотоелектричні сонячні елементи (ФСЕ)

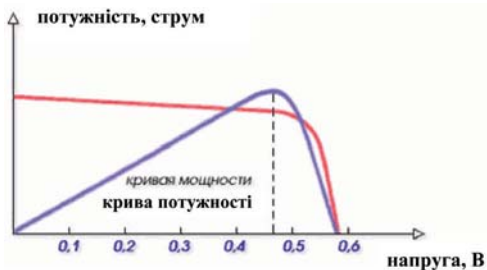
Перетворення енергії у ФСЕ базується на фотовольтаїчному ефекті у неоднорідних напівпровідникових структурах при впливі на них сонячного випромінювання. Характеристики ФСЕ залежать від кількості світла, що падає на їх поверхню. При цьому ФСЕ не бояться короткого замикання.

Кремнієві ФСЕ є нелінійними пристроями і їх поведінку неможливо описати простою формулою на зразок закону Ома. Замість неї для пояснення характеристик елементів можна користуватися сімейством простих для розуміння кривих – вольтамперних характеристик (ВАХ).



**Рис. 1. Вольтамперна характеристика ФСЕ**

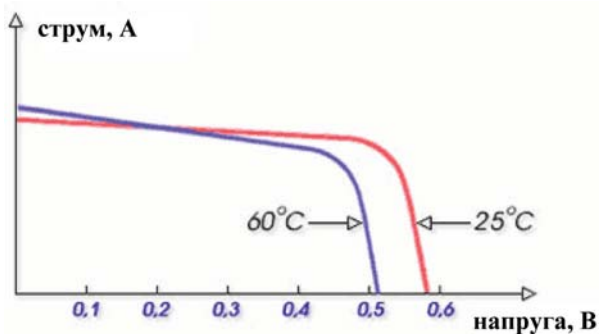
Напруга холостого ходу, що генерується одним елементом, дещо змінюється при переході від одного елемента до іншого в одній партії чи від елемента однієї фірми-виготівника до іншої і становить майже 0,6 В. Ця величина не залежить від розмірів елемента. Інакше виглядає справа зі струмом. Він залежить від інтенсивності світла і розміру елемента, тобто від площі його поверхні. Навантажуючи елемент, можна побудувати графік залежності вихідної потужності від напруги.



**Рис. 2. Графік залежності вихідної потужності від напруги**

Пікова потужність ФСЕ відповідає напрузі приблизно 0,47 В. Отже, для того щоб правильно оцінити якість сонячного елемента, а також заради порівняння елементів між собою в однакових умовах, необхідно так його завантажити, щоб вихідна напруга дорівнювала 0,47 В. Ось чому бажання забезпечити максимальну віддачу від ФСЕ спонукає до необхідності сортування елементів за вихідним струмом.

Важливим моментом роботи ФСЕ є їх залежність від температури. При нагріванні елемента на 1°C вище за 25°C він втрачає у напрузі 0,002 В, тобто 0,4%/°C.



**Рис.3. Сімейство кривих ВАХ для температур 25°C і 60°C**

У ясний сонячний день елементи нагріваються до 60-70°C, втрачаючи 0,07-0,09 В кожний. Це необхідно враховувати при розрахунку фотоелектричних систем енергоживлення.

Коефіцієнт корисної дії (ККД) ФСЕ на сьогодні коливається у межах 10-16%. Це означає, що елемент розміром 100x100 мм за стандартних умов здатний генерувати 1-1,6 Вт.

Стандартними умовами для паспортизації елементів в усьому світі вважаються такі: освітленість – 1000 Вт/м<sup>2</sup>, температура – 25°C, спектр – АМ 1,5 (сонячний спектр на широті 45°).

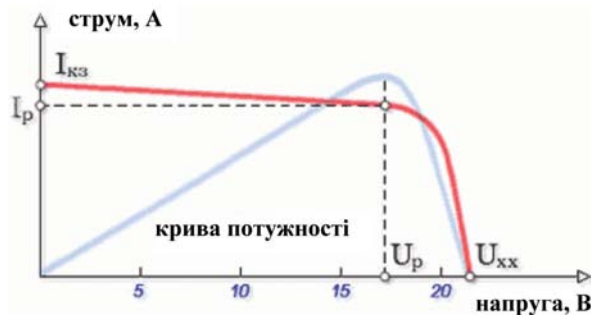
### 3. Фотоелектричні модулі (ФМ)

Після того, як сонячні елементи підбрано для роботи, їх необхідно з'єднати. Зазвичай серійні елементи укомплектовано струмознімальними сітками, призначеними для припаювання до них електропровідних дрітків.

ФМ можна складати у будь-якій комбінації. Найпростішими з них є ланцюжок з послідовно увімкнутих ФСЕ. Також застосовується паралельне увімкнення ланцюжків для отримання так званого послідовно-паралельного з'єднання.

Зазвичай ФМ використовують для заряджання акумуляторних батарей (АБ) з номінальною напругою 12 В. У такому разі, як правило, вони містять 36 ФСЕ, які послідовно з'єднуються і герметизуються шляхом ламінування на підкладці із загартованого захисного скла, текстоліту чи алюмінію. ФСЕ при цьому знаходяться між двома шарами герметизованої плівки, без повітря. Це досягається шляхом застосування технології вакуумного ламінування. Найоптимальнішим варіантом є використання підкладки зі скла, тоді воно може використовуватися як оптично прозорий захисний елемент. Однак, при наявності повітряного прошарку між захисним склом і ФСЕ втрати на відбивання і поглинання можуть досягати 20-30%, порівняно із 12% – без такого прошарку.

Електричні параметри ФМ надаються так само, як і для окремого сонячного елемента, у вигляді вольтамперної кривої за стандартних умов (Standard test conditions), тобто при сонячній радіації 1000 Вт/м<sup>2</sup>, температурі – 25°C і сонячному спектрі на широті 45° (АМ 1,5).



**Рис. 4. Електричні параметри ФМ**

Точка перетину кривої з віссю напруг називається холостим ходом –  $U_{xx}$ , точка перетину з віссю струмів – струмом короткого замикання  $I_{kz}$ . Максимальна потужність модуля визначається як найбільша потужність при STC (Standard test conditions).

Напруга, що відповідає максимальній потужності, називається напругою максимальної потужності (робочою напругою –  $U_p$ ), а відповідний струм – струмом максимальної потужності (робочим струмом –  $I_p$ ).

Значення робочої напруги для модуля, що складається із 36 елементів, становитиме приблизно 16...17 В (0,45...0,47 В на елемент) при 25°C.

Такий запас по напрузі порівняно з напругою повного заряду акумуляторної батареї (для кислотних АБ – 14,4 В) необхідний для того, щоб компенсувати втрати у контролері заряду-розряду АБ і втрати у ФМ при його нагріванні.

Слід зауважити, що напруга холостого ходу модуля мало залежить від освітленості, тоді як струм короткого замикання, і, відповідно, робочий струм, є прямо пропорційними освітленості.

З метою виконання Державних програм з енергозбереження для автономного електроживлення світлооптичних апаратів на світлодіодних модулях берегових навігаційних об'єктів Держгідрографія встановлює та використовує монокристалічні сонячні фотомодулі вітчизняного виробництва, які мають такі технічні та електричні характеристики:

**Фотоелектричний модуль на основі монокристалічного кремнію типу KV150/24(12)-М**

**Електричні характеристики**

KV150/24(12)-М		
Максимальна потужність Pmax, Вт	150 ± 5	
Струм к.з. Isc, А	4,90 (9,80)	
Напруга х.х. Voc, В	43,5 (21,75)	
Струм при максимальній потужності Impp, А	4,45 (8,90)	
Напруга при максимальній потужності Vmpp, В	33,7 (16,85)	
Температурні коефіцієнти	α, % / °С	0,02
	β, % / °С	-0,40
	γ, % / °С	-0,58
Температура повітря	від -40 до +80 °С	
Номинальна напруга	24 (12) В	
Максимальна напруга в системі	1000 В	
Допуск	± 5%	

**Стандартні умови для паспортизації:**  
Освітленість = 1000 В/м<sup>2</sup>; Спектр = АМ 1,5; Т = 25 °С.

**Технічні характеристики**

Розмір	1585x805x34 ±2 мм
Загальна площа, м <sup>2</sup>	1,275
Тип матеріалу	монокристалічний кремній
Тип елемента	псевдоквадрат 125x125 мм
Кількість елементів	72
Товщина скляної лицьової поверхні, мм	4
Маса, кг	15

Шістдесят таких фотоелектричних модулів встановлено на о. Зміїний для забезпечення електроенергією розташованого там маяка. По шість таких модулів незабаром буде встановлено на Станіслав-Аджигольському – Передньому і Задньому маяках для побутових потреб обслуговуючого персоналу.

**Фотоелектричний модуль на основі монокристалічного кремнію типу KV75/12-М**

**Електричні характеристики**

KV150/24(12)-М		
Максимальна потужність Pmax, Вт	75 ± 2,5	
Струм к.з. Isc, А	4,90	
Напруга х.х. Voc, В	21,75	
Струм при максимальній потужності Impp, А	4,45	
Напруга при максимальній потужності Vmpp, В	16,85	
Температурні коефіцієнти	α, % / °С	0,02
	β, % / °С	-0,40
	γ, % / °С	-0,58
Температура повітря	від -40 до +80 °С	
Номинальна напруга	12 В	
Максимальна напруга в системі	1000 В	
Допуск	± 5%	

**Стандартні умови для паспортизації:**  
Освітленість = 1000 В/м<sup>2</sup>; Спектр = АМ 1,5; Т = 25 °С.

**Технічні характеристики**

Розмір	1205x535x34 ±2мм
Загальна площа, м <sup>2</sup>	0,645
Тип матеріалу	монокристалічний кремній
Тип елемента	псевдоквадрат 125x125 мм
Кількість елементів	36
Товщина скляної лицьової поверхні, мм	3
Маса, кг	6,9

Фотоелектричні модулі вітчизняного виробництва, що використовуються сьогодні Держгідрографією на 72 світних навігаційних знаках та 15 маяках, сертифіковано і вони надійно працюють на зазначених навігаційних об'єктах.

Перспектива використання сонячних фотомодулів – у разі відсутності ЛЕП – велика, усі світні навігаційні знаки і маяки можна перевести на такий спосіб автономного енергозабезпечення. Це вигідно і зручно.



**Сонячні фотомодулі, встановлені на маяку о. Зміїний**