

---

## **СЛЪНЧЕВ ПАНЕЛ ЗА ПРОИЗВОДСТВО НА ЕЛЕКТРОЕНЕРГИЯ – МАТЕМАТИЧЕСКИ МОДЕЛ**

**Чавдар Джамбазки**  
[djambo1951@abv.bg](mailto:djambo1951@abv.bg)

*Висше транспортно училище „Тодор Каблешков”  
ул. „Гео Милев” 158, София 1574  
БЪЛГАРИЯ*

**Ключови думи:** слънчев панел, ветрогенератор, хидроелектроцентрала

**Резюме:** *Понякога възниква ситуация, когато няма възможност да се захрани дома с електрическа енергия от външната мрежа. Причините могат да бъдат различни: Значителна отдалеченост от енергоснабдителната мрежа, висока цена на включването повече от 700 лева, отсъствие на резервни мощности и други. И ако не сме решили да се отказваме от електричеството, то си заслужава да се замислим за осигуряване на напълно автономен източник на непрекъснато храняване. Днес един от най-популярните варианти се явяват алтернативните източници на енергия.*

### **ВИДОВЕ АЛТЕРНАТИВНИ (ПРИРОДНИ) ИЗТОЧНИЦИ**

Алтернативни или природни източници се наричат всички устройства, които са способни да преобразуват енергията на слънцето, вятъра и водата в електроенергия. Това са екологично чисти и абсолютно енерго-независими технологии, популярността на които стремително расте. Независимо, че днес вече съществуват десетки разработки в сферата на алтернативната енергетика, най-голямо разпространение получиха три вида алтернативни източници на енергия.

#### **Ветро-електрическа постановка (ВЕП), известна като ветрогенератор**

Даденото устройство служи за преобразуване кинетичната енергия на вятъра в електрическа. Към преимуществата на ВЕП можем да отнесем тяхната пълна автономност, екологичност и достатъчно висока ефективност. В зависимост от модела, ветрогенераторите са способни напълно да обезпечат с електроенергия частния дом, хотела и даже неголямо производство. Към недостатъците на ветрогенераторите се отнасят: висока цена, ниска мобилност и зависимост от източника на енергия. При липса на вятър или ниска скорост, к.п.д. на ветрогенератора се намалява няколко пъти.

#### **Малки или мини-хидроелектроцентрали (ХЕЦ)**

Преобразуващи в електрическа енергия кинетичната енергия на водата. Това е един от най-ефективните алтернативни източници на енергия. За монтаж на малка ХЕЦ е достатъчно да има река или даже ручей при което не е нужно да се строи стена – турбината на хидроелектроцентралата преобразува в електричество енергията на течащата вода. При това никаква вреда на акваторията мини ХЕЦ не нанася. Плюс се

явява и денонощния достъп до източника на енергия. Но и тук има много минуси: висока цена на мини ХЕЦ, необходимост от укрепване на брег, не трябва да се забравя и факта , че нивото на водата през годината може съществено да се колебае, а зимно време водата в източника може и да замръзне. Обекта, който захранваме трябва да се намира в непосредствена близост с мини ХЕЦ, в противен случай има допълнителни разходи по изграждане на мрежа и охрана на мини ХЕЦ от зложелатели.

### Слънчеви панели (слънчеви елементи СЕ)

Обединени фотоелектрически преобразуватели на слънчевата енергия в електрическа. Към предимствата им можем да отнесем:

- Достъпност и неизчерпаемост на източника на енергия – слънцето;
- Дълъг експлоатационен живот (50 и повече години);
- Отсъствие на специално обслужване;
- Висока мобилност и работа практически във всякакви условия, даже и в космоса.

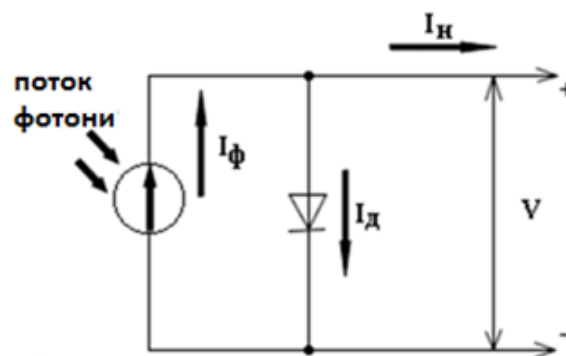
Но за съжаление недостатъците са повече от предимствата.

Главния недостатък е ниската ефективност. Например, средното ниво на слънчева активност в европейската част на планетата е не повече от 100 вата на един квадратен метър, които слънчевите батерии преобразуват в 9–24 вата електрическа енергия. При това цената на слънчевите панели е много висока. Тази технология постоянно се развива и вече са разработени нови типове слънчеви батерии, ефективността на които може да достигне 40 %.



Фиг. 1. Слънчев панел на покрива на ВТУ „Т. Каблешков“

### МАТЕМАТИЧЕСКИ МОДЕЛ НА СЛЪНЧЕВИЯ ЕЛЕМЕНТ ПРИ ПРОТИЧАНЕ НА ПОСТОЯНЕН ТОК



Фиг. 2. Заместваща схема на елемент от слънчевия панел

Доколкото дадените устройства са новост е нужно да се поясни работата на единичния елемент. Принципа на действие на слънчевите елементи с р-п преход зависи от неосновните носители, защото тях ги отнасят към приборите, работещи на неосновни носители на заряд. На фиг. 2. е показан идеализиран модел на слънчев елемент. Записвам уравнението характеризиращо дадения модел, като:  $I_\phi$  – ток на фотоните, зависещ от плътността на потока светлина;  $I_\delta$  – ток протичащ през идеализирания р-п преход;  $I_{тов}$  – ток на товара;  $U$  – изходно напрежение. Уравненията определящи модела показан на фиг. 2. имат вида:

- (1)  $I_{тов} = I_\phi - I_\delta$ ;
- (2)  $I_\delta = I_0 \times \left[ \exp\left(\frac{U}{\varphi_T}\right) - 1 \right]$ ;
- (3)  $\varphi_T = \frac{K \times T}{e}$

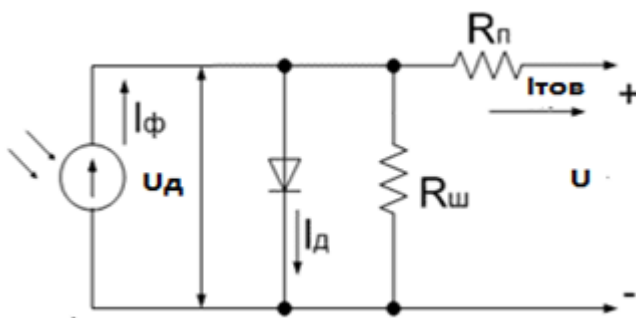
В този израз  $U$  е напрежение на р-п прехода;  $\varphi_T = \frac{K \times T}{e}$  е топлинен потенциал равен на разликата от потенциалите на р-п прехода при отсъствие на външно напрежение (при  $T = 300$  К,  $\varphi_T = 0,025$  V);  $K$  – константата на Болцман;  $T$  – абсолютната температура.

Въз основа на уравнение (1) не може да се построи волт-амперната характеристика (ВАХ) на слънчевия елемент. Изследванията на влиянието на различни условия на изходните характеристики на слънчевия елемент са довели до включване в уравнението на слънчевия елемент три допълнителни параметъра, а именно  $A$ ,  $R_n$ ,  $R_{ш}$ . Тогава :

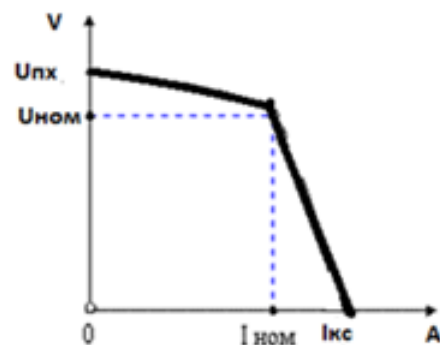
$$(4) \quad I_{тов} = I_{\phi от} - I_{0насищ} \times \left[ \exp\left(\frac{e \times (U \times I_{тов} \times R_n)}{A \times K \times T}\right) - 1 \right] - \frac{U}{R_{ш}}$$

където:  $A$  – емпиричен коефициент приемащ стойности от 1 до 5;  $R_n$  – последователно включено на слънчевия елемент съпротивление;  $R_{ш}$  – паралелно включено съпротивление на слънчевия елемент;  $I_\phi$  – ток протичащ през прехода на фотодиода;  $I_{0нас}$  – обратен насищащ ток.

Еквивалентната схема на дадения модел е представена на фиг. 3.



Фиг. 3. Еквивалентна схема на слънчевия елемент



Фиг. 4. ВАХ на слънчевия елемент

На фиг. 4 е показана ВАХ на слънчевия елемент, където:  $U_{пх}$  – напрежение на празен ход;  $I_{кс}$  – ток на късо съединение;  $U_{ном}$  – напрежението в точката на максимална мощност;  $I_{ном}$  – ток в точката на максимална мощност.

## ОПРЕДЕЛЯНЕ НА НЕОБХОДИМИЯ КАПАЦИТЕТ И ИЗБОР НА АБ ПРИ МОНТАЖ НА СЛЪНЧЕВ ПАНЕЛ НА ПОКРИВА НА ЕЛЕКТРОМОБИЛ ЗА ЗАХРАНВАНЕ АБ СОБСТВЕНИ НУЖДИ



Изчисленията съм направил при необходимост за обезпечаване на работа на устройството в продължение на шест часа. Нужния капацитет на акумулаторната батерия (АБ) се изчислява, отчитайки нейното напрежение, консумираната шест часова мощност, а също така допустимата дълбочина на разряда и. Изразът, който използвам е:

$$(5) \quad C'_{\text{бат}} = \frac{E_{\text{тов8}}}{U_{\text{бат}} \cdot \eta_{\text{раз}}}$$

тук:  $C'_{\text{бат}}$  - необходимия капацитет на батерията;  $E_{\text{тов8}}$  – консумираната осем часова енергия;  $U_{\text{бат}}$  – напрежение на АБ;  $\eta_{\text{раз}}$  – допустима дълбочина на разряда на АБ  $\eta_{\text{раз}} = 0,8$  (80%).

Отчитайки всичко спомената до тук осем часовата енергийна запасеност на АБ определям с израза :

$$(6) \quad E_{\text{тов8}} = U_{\text{тов}} \cdot I_{\text{тов}} \cdot 8 = 12V \cdot 6A \cdot 8h = 576Wh$$

Тогава необходимия капацитет на АБ е:

$$C'_{\text{бат}} = \frac{E_{\text{тов8}}}{U_{\text{бат}} \cdot \eta_{\text{раз}}} = \frac{576}{12 \cdot 0,8} = 60Ah$$

Приемам, че ще се наложи да работя с електромобил (ЕЛМ) при мрачно време с последователност две денонощия и отчитайки к.п.д. на контролера заряд-разряд (93%) капацитета на АБ е:

$$C_{\text{бат}} = \frac{C'_{\text{бат}}}{0,93} = \frac{2 \cdot 60}{0,93} = 130 Ah$$

Консумираната при заряда максимална мощност определям с израза:

$$(7) \quad P_{\text{цикъл}} = U_{\text{заряд}} \cdot I_{\text{зар}}$$
 където:

$U_{\text{зар}}$  – максимално зарядно напрежение за зимно време то е 15V;  $I_{\text{зар}}$  – максимален заряден ток – 13A

$$\text{Тогава: } P_{\text{цикъл}} = U_{\text{заряд}} \cdot I_{\text{зар}} = 15 \cdot 13 = 195 W$$

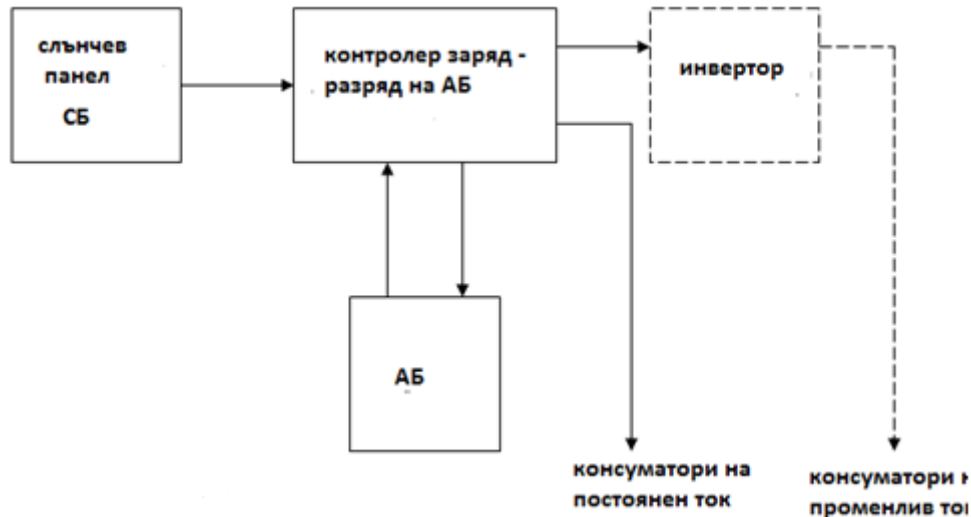
## ОПРЕДЕЛЯНЕ МИНИМАЛНОТО ВРЕМЕ ЗА ЗАРЯД НА АБ

Енергията изразходвана при разряд на батерията се определя с изрази:

$$(8) \quad W_{раз} = U_{раз} \cdot I_{раз} \cdot t_{раз}$$

Енергията изразходвана при заряд на батерията се определя с изрази:

$$(9) \quad W_{зар} = U_{зар} \cdot I_{зар} \cdot t_{зар}$$



Фиг. 5. Структурна схема на захранване на консуматорите на ЕМ при използване на СБ

Отчитайки к.п.д. на заряда  $\eta_{зар} = 0,8$  записвам следното равенство:

$$(10) \quad U_{раз} \cdot I_{раз} \cdot t_{раз} = U_{зар} \cdot I_{зар} \cdot t_{зар}$$

Времето на заряд определям с изрази:

$$(11) \quad T_{зар} = \frac{U_{раз} \cdot I_{раз} \cdot t_{раз}}{U_{зар} \cdot I_{зар} \cdot \eta_{зар}} = \frac{12.6.8}{15.19.0,8} = 2h31min$$

### Инвертор с акумулатори и алтернативни (природни) източници на енергия

Най-големия недостатък на алтернативните източници на енергия е ниския к.п.д. и зависимостта от източника на енергията, която преобразуваме. Ползата от слънчевите батерии в мъгливо време е малка, ветрогенератора без вятър е безполезен, а колебанието на нивото и напора на водата значително снижава ефективността на мини ХЕЦ. Използването на инвертор с акумулаторни батерии намалява тази зависимост. При включване в обща схема на автономното енергообезпечаване, инверторът постоянно контролира нивото на напрежението в мрежата. Ако нивото се намали или напълно изчезне, то инверторът автоматично включва енергоснабдяване от акумулаторната батерия, допълвайки недостатъкът от мощност в мрежата. А при възстановяване на необходимото ниво сигнал от инверторът изключва подаването на енергия от акумулаторната батерия и тя преминава в режим на зареждане.

Естествено, подобно решение е много скъпо, тъй като алтернативния източник на енергия трябва да е достатъчно мощен, за да осигури захранване на дома и зареждане на АБ едновременно. Но такова решение няколко пъти повишава ефективността от използването на алтернативните технологии което е особено важно за климатичните условия в България, където слънчевата и ветрова активност са неголеми.

Напълно автономен е комплекса от алтернативен източник на енергия, инвертор с АБ и електростанция с двигател с вътрешно горене. В този случай даже и при отсъствие на слънце или вятър, а така също и при замръзване или намаляване на водния дебит няма да има прекъсване на енергоснабдяването. Минус на даденото решение, даже и при рядко използване на генератора задвижван от ДВГ намалява нивото на екологична безопасност на комплекса и изисква допълнителен разход за гориво.

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Слънчевите елементи (СЕ) и слънчевите батерии (СБ) са сложни за изследване обекти, свойствата на които зависят от много фактори. На електрическите характеристики СБ силно влияние оказват параметрите на околната среда, свойствата на материала, от който са изготвени СЕ, технологичните особености на СЕ и конструктивните параметри на СБ. Прогнозиране характеристиките на СБ представлява доста сложна задача, за решението на която се използва моделиране. Съществуващите модели на СБ не взимат под внимание всички фактори влияещи на енергетичните характеристики на СБ

### **ЛИТЕРАТУРА**

- [1] Раушенбах, Г. Справочник по проектированию солнечных батарей. М., Энергоатомиздат, 1983, 360с.
- [2] Глиберман, А.Я. Кремниевые солнечные батареи. М-Л, Госэнергоиздат, 1961, 73с.
- [3] Wurfel, P. Physics of solar cells, 2005, p. 186.
- [4] Tsuno, Y., Y.Hishikawa, K. Kurokawa. Temperature and irradiance dependence of the I-V curves of various kinds of solar cells. 15th International photovoltaic science & engineering conference PSEC-15, 2005, p. 422-423.

## **SOLAR PANELS FOR ELECTRICITY PRODUCTION – MATHEMATICAL MODEL**

**Chavdar Dzhambazki**  
[djambo1951@abv.bg](mailto:djambo1951@abv.bg)

*Todor Kableshkov University of Transport*  
*158 Geo Milev Str., Sofia 1574*  
*BULGARIA*

**Key words:** solar panel, WPP, HPP

**Abstract:** *It is not always possible to supply the home with electricity from the external network. The reasons may be different: considerable distance from the energy supply networks, the high cost of joining a network – more than 700 BGN, lack of capacity and others. And if we have not decided to give up the electricity, it is worth to think about providing fully autonomous source of uninterrupted power. Today, one of most popular options is alternative source of energy.*