

## Изследване влиянието на някои фактори върху електропроизводството на фотоволтаични модули

Красимир Мартев, Константин Коев, Недко Недев

**An Investigation of the Influence of some factors on photovoltaic modules' electrical power generation:** A photovoltaic non-tracking installed system on the roof of a manufacture building, on an unpopulated place, is investigated. The total system power pick value is 117.24 kWp. Modules' temperature depending of both ambient temperature and wind speed, and both the modules' temperature and the quantity solar irradiance falling on the modules influence on the photovoltaic system's electrical power generation, are analyzed for a spice of summer time.

**Key words:** photovoltaic modules, weather's factors, electrical power generation.

### ВЪВЕДЕНИЕ

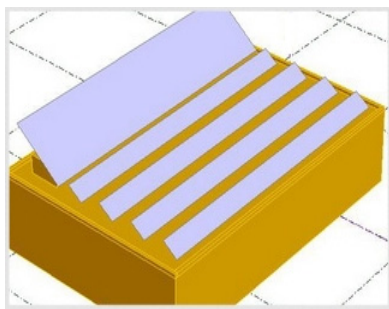
Слънчевата енергия е чиста, практически неограничена и безплатна, поради което към усвояването ѝ се наблюдава много голям интерес. Едно от възможните приложения на слънчевата енергия е преобразуването ѝ в електрическа.

Фотоволтаичните инсталации се изграждат от отделни модули, които, независимо от производствената технология, се характеризират с нисък коефициент на преобразуване на слънчевата енергия в електрическа - под 20 % [2,4]. Тази стойност допълнително се понижава при загряването на модулите, което се оценява чрез температурен коефициент. Той определя изменението на генерираната електрическа мощност, а стойността му за различните фотоволтаични модули е в интервала (-0,25...-0,50) %/°C [2,5]. Възможните методи и средства за повишаване ефективността, могат да се обосноват чрез провеждане изследвания за установяване влиянието на различни фактори върху производството на електрическа енергия от фотоволтаичните модули [4].

Целта на изследването е да се анализира влиянието на някои климатични фактори върху производството на електрическа енергия от фотоволтаични модули за конкретни географски условия.

### ИЗЛОЖЕНИЕ

*Обект на изследването*



**Фиг.1.** Разположение на модулите върху покривната конструкция.

Избраният обект е фотоволтаична система с обща изходна пикова мощност 117,24 kWp, разположена на покрив на производствена сграда. Тя се намира в промишлен район, извън населено място.

Обектът е разположен на терен с надморска височина 76 m. Инсталацията е изградена от 852 броя модули (фиг.1). Те са ориентирани в посока югозапад, стационарно монтирани под наклон от 32° спрямо земната повърхност. Големината на този ъгъл се определя от условието за максимално целогодишно електропроизводство в разглежданото географско местоположение [2,7].

*Методика и средства за изследването*

Количеството произведена от фотоволтаичните модули електрическа енергия зависи основно от два фактора. Това са количеството паднала върху модулите

слънчева радиация и температурата им. Първият фактор се характеризира с максимална стойност в обедните часове. Това се обяснява с факта, че тогава слънчевите лъчи падат под максимален ъгъл върху повърхността на преобразувателите. Вторият фактор зависи от температурата на околната среда и от движението на въздушните маси (вятър). Слънчевата радиация и температурите на модулите се характеризират със случайни изменения във времето, а освен това са и неуправляеми от гледна точка на изследователя [1,2]. Това определя типа на експеримента, който може да се проведе – непланиран (пасивен). Известно е, че за получаването на достатъчно точни и ефективни математически модели при такива експерименти, е необходим много голям обем данни, а статистическата обработка се усложнява значително [1]. По тези причини изследването на изброените величини е целесъобразно да се извършва чрез непрекъснато или дискретно измерване, с малък период на дискретизация.

Стойностите на величините се измерват чрез специализирана метеорологична станция Sunny Sensor Box, производство на SMA (Germany). Към нея външно се включват измервателни преобразуватели, като има и допълнително вграден - за слънчевата радиация. Информацията от преобразувателите се записва на определени интервали от време чрез модул Sunny Web Box, след което тя, чрез специализиран софтуер, се представя в удобен за анализ вид [6].

Измервателният преобразувател за слънчевата радиация работи с грешка  $\pm 8\%$ , при обхват на измерване  $(0...1500) \text{ W/m}^2$ . Температурите на околната среда и на модулите се измерват чрез съпротивителни преобразуватели тип Pt100, с точност  $\pm 0,5^\circ\text{C}$ , за съответни обхвати  $(-25...+85)^\circ\text{C}$  и  $(-40...+125)^\circ\text{C}$ . Скоростта на вятъра се измерва чрез чашков анемометър, с точност  $\pm 5\%$ , при обхват  $(0,8...40) \text{ m/s}$ . Произведените количества електрическа енергия се измерват чрез информацията, получавана от инверторите.

Подборът на данните е извършен за часовете през летния период, характеризиращ се с най-голямо количество произведена електроенергия. Стойностите на слънчевата радиация  $E$  се изменят в границите  $(931...933) \text{ W/m}^2$ , а температурата на модулите  $T_m$  е в интервала  $(41,0...41,4)^\circ\text{C}$ . Тези изменения са помалки от грешките на измервателните преобразуватели, което дава основание да се приеме, че стойностите на слънчевата радиация  $E$  и на температурата на модулите  $T_m$  са постоянни. Това са подходящи условия за определяне на характерни зависимости за преобразуването на слънчевата радиация в електрическа енергия.

Една от тях е влиянието на температурата на модулите  $T_m$  върху произведената електроенергия  $W$ , при постоянна стойност на слънчевата радиация  $E$ , т.е.  $W = f(T_m)$ , при  $E = \text{const}$ . Интересно е, при същата постоянна величина, да се проследи изменението на температурата на модулите  $T_m$  в зависимост от температурата на въздуха (околната среда)  $T_{\text{ок}}$  и скоростта на вятъра  $v$ , т.е.  $T_m = f(T_{\text{ок}}, v)$ , при  $E = \text{const}$ . Друга зависимост е влиянието на слънчевата радиация  $E$  върху електропроизводството  $W$ , при постоянна температура на модулите  $T_m$ , т.е.  $W = f(E)$ , при  $T_m = \text{const}$ .

Стойностите на измерваните величини се записват от модула Sunny Web Box през различни интервали от време. За всеки 15 min се записват максималните и средни стойности на слънчевата радиация, и средните стойности на температурите. В базата данни, за всеки кръгъл час, се записват максималните и средните стойности на скоростта на вятъра, а също и произведените количества електрическа енергия.

#### *Резултати от изследването*

Събраните според методиката данни са обработени с помощта на компютърната програма STATISTICA 7.0. Получен е адекватен линеен модел за описване влиянието на температурата на въздуха (околната среда)  $T_{\text{ок}}, ^\circ\text{C}$ , и

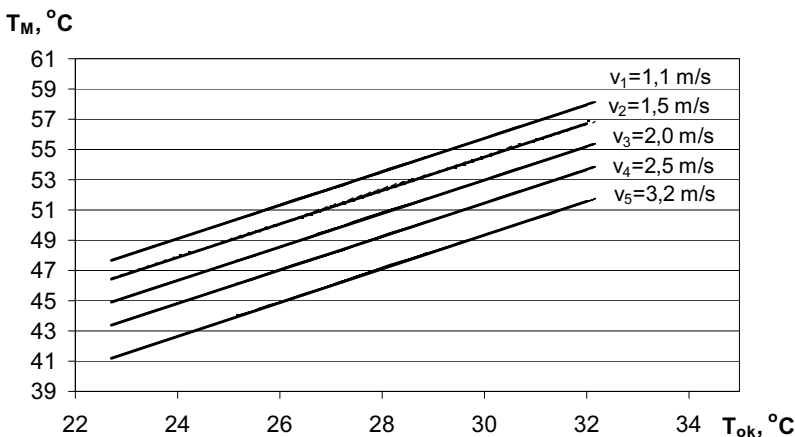
скоростта на вятъра  $v$ , m/s, върху температурата на модулите  $T_M$ , °C, при постоянна слънчева радиация  $E$ ,  $W/m^2$ :

$$T_M = 25.7983 - 3,0559 \cdot v + 1,1105 \cdot T_{ок} \quad (1)$$

Моделът е подобен на друг такъв [3] и се използва за анализиране влиянието на факторите  $T_{ок}$  и  $v$  върху температурата на модулите  $T_M$ . За целта последователно на всеки от двата аргумента в израз (1) се задават конкретни стойности, а се изследва влиянието само на другия аргумент.

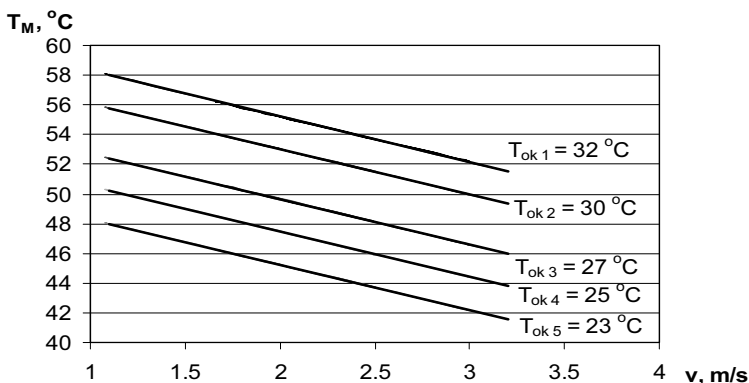
Анализирането на зависимостта  $T_M = f(T_{ок})$ , при различни скорости на вятъра  $v$  и постоянна слънчева радиация  $E = \text{const}$  (фиг.2), позволява да се установи, че графиките са линейни. При изменение на  $T_{ок}$  в интервала  $(22,7...32,0)^\circ\text{C}$ , температурата на модулите  $T_M$  се изменя с  $10,3^\circ\text{C}$  и за петте скорости на вятъра  $v$ . При всяка от тях, повишаването на  $T_{ок}$  с  $1^\circ\text{C}$  води до нарастването на  $T_M$  с  $1^\circ\text{C}$ . Охлаждащото влияние на вятъра се изразява с това, че при най-ниската му скорост разликата  $(T_M - T_{ок})$ , която представлява прегряването на модулите, е около  $25^\circ\text{C}$ , а при най-голямата скорост – приблизително  $19^\circ\text{C}$ .

Следователно, определящо влияние върху загряването на модулите, в този случай, оказва температурата на околната среда  $T_{ок}$ . Това се дължи на големия коефициент на поглъщане на слънчевата радиация от фотоволтаичните клетки.



**Фиг.2. Изменение на температурата на модулите  $T_M$  в зависимост от температурата на околната среда  $T_{ок}$ , при постоянна слънчева радиация  $E = \text{const}$ , за различни скорости на вятъра  $v$ .**

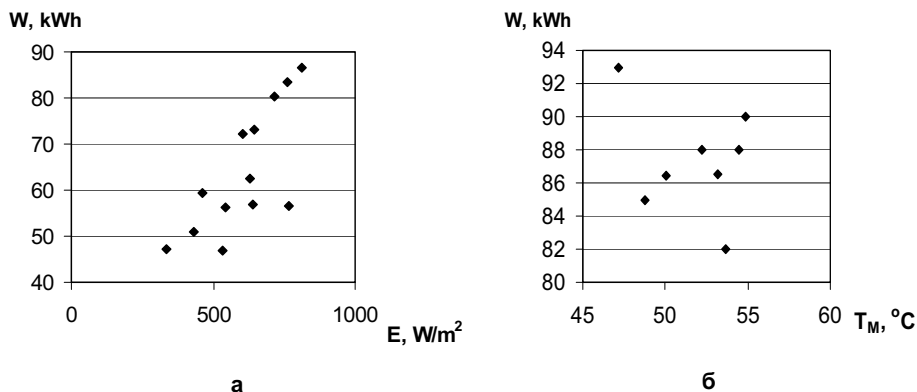
Анализът на зависимостта  $T_M = f(v)$ , при  $T_{ок} = \text{const}$  и  $E = \text{const}$ , показва, че графиките са линейни и успоредни (фиг.3). При нарастването на  $v$  в интервала  $(1,1...3,2) \text{ m/s}$ , при зададените температури  $T_{ок}$ , температурата на модулите  $T_M$  намалява с  $6,4^\circ\text{C}$ . Това се обяснява с еднаквото влияние на скоростта на вятъра  $v$  върху температурата  $T_M$  (еднакъв наклон на графиките).



**Фиг. 3.** Изменение на температурата на модулите  $T_M$  в зависимост от скоростта на вятъра  $v$ , при постоянна слънчева радиация  $E = \text{const}$ , за различни температури на околната среда  $T_{\text{ок}}$ .

Построени са характеристиките  $W = f(E)$ , при  $T_M = \text{const}$  (фиг.4а), и  $W = f(T_M)$ ,  $E = \text{const}$  (фиг.4б). Забележително е влиянието на слънчевата радиация  $E$ . При увеличаването ѝ с  $475 \text{ W/m}^2$ , произведената от цялата система електроенергия нараства с  $39,250 \text{ kWh}$ . Това означава, че само приблизително 10 % (9,97%) от падащата върху модулите слънчева радиация се преобразува в електрическа енергия.

Следователно, средният коефициент на преобразуване на слънчевата в електрическа енергия е приблизително 10 %. По-малките стойности на електроенергията  $W$  се характеризират с по-голямо разсейване.



**Фиг.4.** Изменение на произведената от фотоволтаичните модули електроенергия  $W$  в зависимост от: а – слънчевата радиация  $E$ , при постоянна температура на модулите  $T_M = \text{const}$ ; б - температурата на модулите  $T_M$ , при постоянна слънчева радиация  $E = \text{const}$ .

Произведената от системата електроенергия  $W$  зависи от температурата на модулите  $T_M$  (фиг.4б). Нарастването на  $T_M$  с  $6,5 \text{ }^\circ\text{C}$ , предизвиква намаляване на електроенергията  $W$  с  $11 \text{ kWh}$ , което е 1,82 %. Следователно скоростта, с която

произведената от системата електроенергия намалява при повишаването на температурата на модулите  $T_m$ , за линейна зависимост, е 1,692 kWh/°C.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведеното изследване за влиянието на някои климатични фактори върху производството на електрическа енергия от фотоволтаичните модули дава основание да се направят следните изводи:

1. Температурата на околната среда  $T_{ок}$  и скоростта на вятъра  $v$ , за изследваните стойности, влияят на температурата на модулите  $T_m$ :

а) за всички изследвани скорости на вятъра  $v$ , температурата на модулите  $T_m$  зависи правопрпорционално от температурата на околната среда  $T_{ок}$ , с коефициент на пропорция 1,1105;

б) прегряването на модулите ( $T_m - T_{ок}$ ), при най-малката скорост на вятъра  $v = 1,1$  m/s, е с 32 % по-голямо, отколкото при най-голямата скорост -  $v = 3,2$  m/s;

в) зависимостта на температурата на модулите  $T_m$  от скоростта на вятъра  $v$  е пропорционална, с коефициент -3,0559, а изменението на  $T_m$  за всяка  $T_{ок}$  е 6,4 °C.

2. Нарастването на слънчевата радиация  $E$  с 9,97 W/m<sup>2</sup> за 1 h, при  $T_m = \text{const}$ , води до повишаването на произведената от модулите електрическа енергия  $W$  с 1 Wh, т.е. средният коефициент на преобразуване на системата е приблизително 10 %.

3. Повишаването на температурата на модулите  $T_m$  с 1 °C, предизвиква намаляване количеството произведена електроенергия  $W$  от системата с 1,82 %.

### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Митков, А., Д. Минков. Статистически методи за изследване и оптимизиране на селскостопанската техника. Ч. 2. Земиздат, С., 1993.
- [2] Младенчева, Р. Фотоволтаични генератори. Ековат Технологии, С., 2007.
- [3] TamizhMani, G., L. Ji, Y. Tang, L. Petacci, C. Osterwald. Photovoltaic module thermal/wind performance: Long-Term Monitoring and Model Development For Energy Rating. NCPV and Solar Program Review Meeting 2003, 936-939.
- [4] Şen, Z. Solar Energy Fundamentals and Modeling Techniques. London: Springer, 2008.
- [5] [www.sino-transit.com](http://www.sino-transit.com).
- [6] [www.sma.de](http://www.sma.de).
- [7] [www.sunsys.info](http://www.sunsys.info).

### За контакти:

Доц. д-р инж. Красимир Мартев, Катедра "Електроснабдяване и електро-обзавеждане", Русенски университет "Ангел Кънчев", тел.: 082-888 749, e-mail: [kmartev@uni-ruse.bg](mailto:kmartev@uni-ruse.bg)

Гл. ас. д-р инж. Константин Коев, Катедра "Електроснабдяване и електро-обзавеждане", Русенски университет "Ангел Кънчев", тел.: 082-888 661, e-mail: [kkoev@uni-ruse.bg](mailto:kkoev@uni-ruse.bg)

Маг. инж. Недко Недев, редовен докторант, Катедра "Електроснабдяване и електро-обзавеждане", Русенски университет "Ангел Кънчев", тел.: 082-888 330, e-mail: [nneдев@uni-ruse.bg](mailto:nneдев@uni-ruse.bg)

**Докладът е рецензиран.**