

Д. О. КАРДАШ, О. М. ЛЮБИМЕНКО (канд. ф.-м. наук, доц.),  
 В. Г. КОНДРАТЕНКО (канд. техн. наук, доц.), Н. Л. ТЮТЮННИК, І. В. ПРИДАТЬКО  
 Державний вищий навчальний заклад  
 «Донецький національний технічний університет»  
[dmytro.kardash@donntu.edu.ua](mailto:dmytro.kardash@donntu.edu.ua)

## ДОСЛІДЖЕННЯ МОДЕЛІ ПЕРЕДБАЧЕННЯ ПОТУЖНОСТІ, ЩО ГЕНЕРУЄТЬСЯ СОНЯЧНОЮ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЄЮ

Питання визначення можливої виробленої потужності фотоелектричної станції наперед стоїть дуже гостро у зв'язку зі зростаючим попитом на відновлювальну енергетику разом із тим, фактом, що в межах доби отримувати вироблену енергію від такого джерела можливо лише протягом обмеженого часу. Таким чином спираючись на отримані аналітичні дані, що дають змогу спрогнозувати погодні умови можна певним чином регулювати об'єм відданої в мережу енергії за рахунок більш маневрених електричних станцій.

**Ключові слова:** фотоелектрична панель, Simulink, інвертор, сонячне опромінення, температура, напруга холостого ходу, крок прогнозування, роздільна здатність

Протягом попередніх років вченими та дослідниками різних країн для потреб електричної інженерії були розроблені та реалізовані методи з визначення погодних умов, таких як: хмарність, температура повітря, запиленість атмосфери та інші, а також їхній вплив на показники виробленої енергії сонячної електростанції.

Фотоелектрична панель – складний нелінійний об'єкт із багатьма змінними. Окрім структурних особливостей модуля на вихідну потужність найбільший вплив мають: сонячне випромінювання та температура панелі.

У даній роботі ми робимо лише акцент на зовнішні, відносно сонячного модуля, а не внутрішні фактори впливу, через те, що останні з плином науково-технічного процесу в напівпровідниковій галузі не дуже відрізняються одні від одних. З цією метою модель фотоелектричної станції у досліді формувалася на базі панелі Canadian Solar CS6X-300M (300W) (табл. 1) в загальній кількості 3000 скомпонованих у 20 паралельних гілок, по 150 модулів на гілку. Через те, що передача отриманої енергії відбувається через устаткування змінного струму був обраний типовий автономний інвертор Green Power Technologies WD3 940WD3-LV400 [400V] параметри якого наведені в таблиці 2.

На величину виробленої енергії прямо впливає величина сонячного опромінення та температура фотоелектричного модуля.

Таблиця 1 – Параметри фотоелектричного модуля

Параметр	Величина
Номинальна потужність, Вт	300
ККД, %	15.63
Струм MPP, А	8.22
Напруга MPP, В	36.5
Струм короткого замикання, А	8.74
Напруга холостого ходу, В	45
Температурний коефіцієнт $V_{oc}$ , В/К	-0,157
Температурний коефіцієнт $I_{sc}$ , %/К	0.06

Таблиця 2 – Параметри інвертора

Параметр	Величина
ККД, %	97.0
Вихідна напруга, В	400
Вихідна потужність, кВт	935.55
Діапазон вхідної напруги, В	593 – 880

При дослідженні передбачення об'єму виробленої енергії важливим є знайти достатньо достовірні та сталі дані. На передових позиціях в даних питаннях знаходяться університети та дослідницькі центри США. Наприклад, університет штату Невада в Лас-Вегасі, ще у 2006 році увели в експлуатацію комплекс вимірювання погодних умов: рівня сонячного опромінення, температури навколишнього середовища, швидкості вітру, вологості та ін. Дані доступні у реальному часі (оновлюються кожні 10 хвилин) та за весь період із кроком в одну хвилину[1]. Їхні дані ми використаємо як достовірні. З іншого боку існують декілька моделей передбачення погодних умов, що також використовуються при дослідженні об'єму потужності генерованої сонячними станціями: GFS, HRRR, RAP, NAM, NDFD. В основному ці системи локального покриття, що обмежуються територією США, окрім GFS, аббревіатура якої буквально означає Global Forecast System, або «Глобальна система прогнозів». Окрім площі покриття дані системи відрізняються максимальним строком прогнозування, часовим кроком, роздільною здатністю. Для цієї роботи були обрані дані NDFD (National Digital Forecast Database, або Національна цифрова база прогнозів).

Треба відмітити, що NDFD скоріше є не моделлю, а базою даних, що підтримується Національною погодною службою США – National Weather Service), вона оновлюється кожні шість годин.

Методика, розроблена групою вчених, для панелей, розташованих на одноосьових поворотних треках [2]. За допомогою даних пристроїв протягом доби панелі змінюють своє положення за заздалегідь відомим алгоритмом, що налаштовується відповідно до широти місцевості, висоти над рівнем моря. Таким чином, якщо нам відомі, шляхом вимірювання, складові сонячного опромінення: пряме нормальне випромінювання, розсіяне горизонтальне опромінення та глобальне горизонтальне опромінення, а також погодні умови та характеристика навколишнього середовища, ми можемо для вищезгаданої схеми розрахувати опромінення площини масиву (Plane of Array (POA) Irradiance).

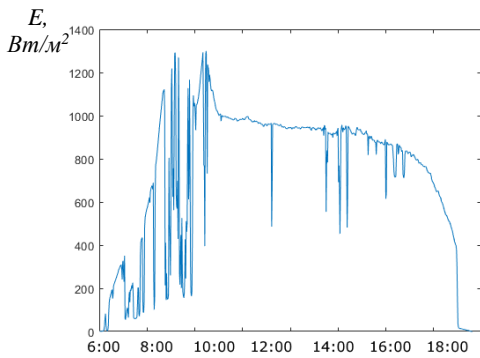


Рисунок 1 – Обчислений за вимірними показниками рівень сонячного опромінення

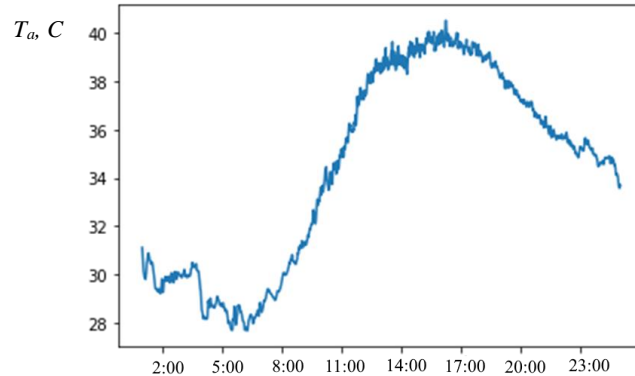


Рисунок 2 – Виміряна температура навколишнього середовища

Враховуючи дані, що представлені на рисунках 1, 2, з достатньою точністю визначимо температуру сонячної панелі за формулою:

$$T_c = 30,006 + 0,0175 \cdot (G - 300) + 1,14 \cdot (T_a - 25) \quad (1)$$

де  $G$  – рівень опромінення;  $T_a$  – температура навколишнього середовища.

Графік зміни температури панелі протягом дня представлений на рисунку 3. Формула (1) не в повній мірі враховує інерційність зміни температури сонячної панелі при зміні опромінення та температури навколишнього середовища, тому в реальності графік мав би не настільки кострубатий вигляд. Для обчислення вихідної потужності станції рис. 4 зручно скористатися можливостями бібліотеки Simulink. Зручно, що внутрішня база Simulink містить всі необхідні для нас параметри панелі. На рисунку 5 представлена модель фотоелектричного масиву, де вхідними параметрами є опромінення та температура. Конфігурація масиву та налаштування задаються у вікні параметрів рис. 6. При обчисленні потужності, яка генерується панелями, вважається, що система працює в точці максимальної потужності. Схема працює наступним чином: задаємося значеннями температури (Temperature) та опромінення (Irradiance), на вихідні клеми масиву подаємо напругу змінюючи її величину від 0 до  $V_{oc}$ . Знімаємо показники струму в кожній точці, для кожної точки знаходимо потужність, серед отриманого масиву точок знаходимо максимум. Повторюємо на всьому діапазоні вхідних величин. Таким чином отримуємо графік вихідної потужності рис. 4 попередньо врахувавши втрати в інверторі.

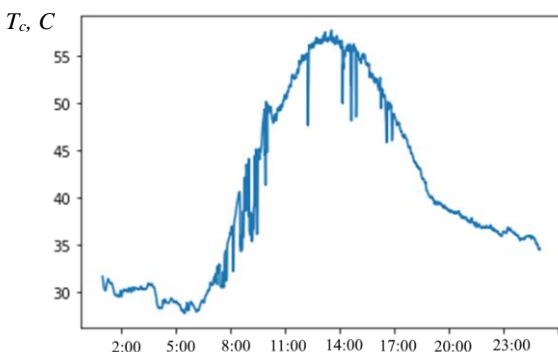


Рисунок 3 – Обчислена температура сонячного модуля на базі даних про температуру та рівень сонячного опромінення

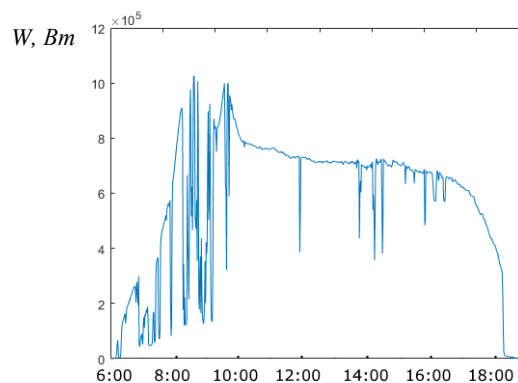


Рисунок 4 – Обчислена вихідна потужність сонячного масиву

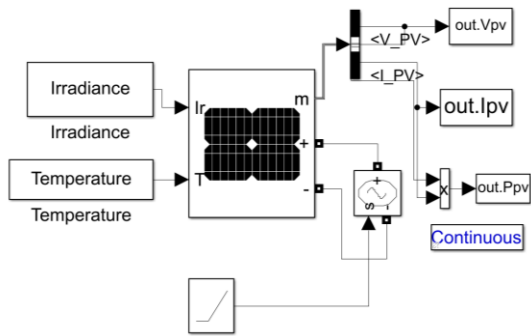


Рисунок 5 – Дослідна модель фотоелектричного масиву в Simulink

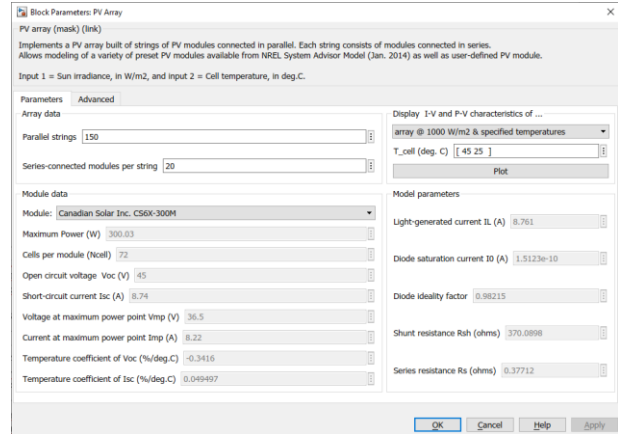


Рисунок 6 – Вікно параметрів блоку PV Array Simulink

Порівнявши рисунки 1 та 7 можна побачити, що модель передбачення сонячного опромінення не враховує той факт, що фотоелектрична система може знаходитись під опроміненням вище  $1000 \text{ Вт/м}^2$ . Це явище обумовлено географічним розташуванням, а також сприятливими для цього погодними умовами та оточуючим середовищем. Це, в свою чергу, призводить до надлишку потужності, що надходить до інвертора, що може негативним чином вплинути на працездатність інвертора. Правильним чином розроблена система керування, може вберегти інвертор від пошкодження.

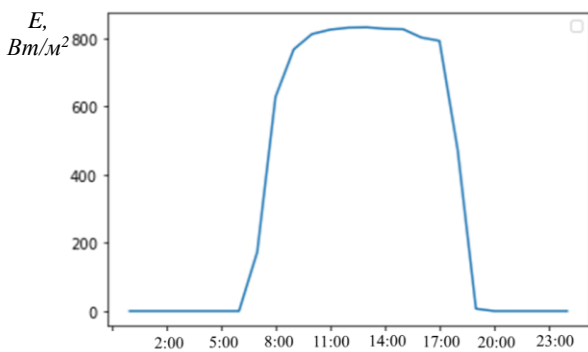


Рисунок 7 – Прогнозований рівень сонячного опромінення протягом дня на базі місцеположення та даних про погоду

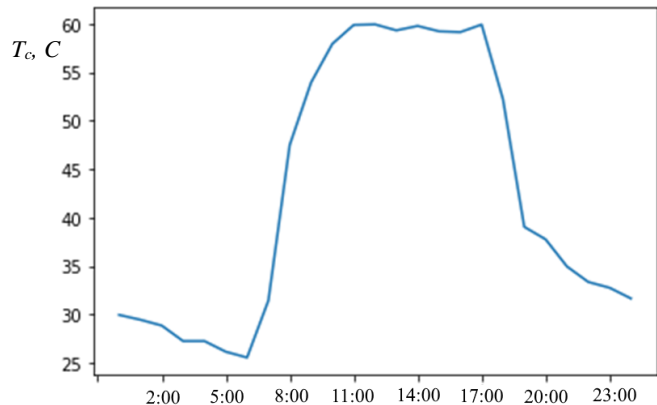


Рисунок 8 – Прогнозована температура фотоелектричної комірки

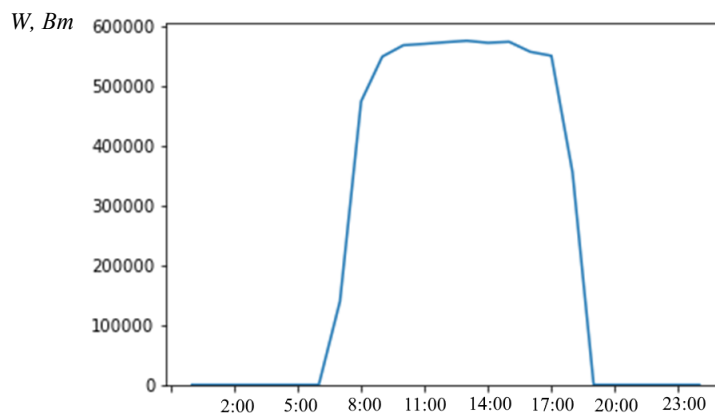


Рисунок 9 – Прогнозована потужність на виході інвертора

**Висновок.** Проаналізувавши отримані дані можна дійти висновку, що система прогнозування, через обмежену величину мінімального кроку прогнозування, а також часткові затінення короткої та середньої тривалості внаслідок руху повітряних мас, не має змоги враховувати короточасні перевищення рівня освітлення. Це обумовлює розбіжності у температурних показниках (рис. 8) та графіку результуючої потужності станції (рис 9).

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Andreas, A.; Stoffel, T.; (2006). University of Nevada (UNLV): Las Vegas, Nevada (Data); NREL Report No. DA-5500-56509. <http://dx.doi.org/10.5439/1052548>
2. William F. Holmgren, Clifford W. Hansen, and Mark A. Mikofski. “pvlib python: a python package for modeling solar energy systems.” *Journal of Open Source Software*, 3(29), 884, (2018). <https://doi.org/10.21105/joss.00884>

REFERENCES

1. Andreas, A.; Stoffel, T.; (2006). University of Nevada (UNLV): Las Vegas, Nevada (Data); NREL Report No. DA-5500-56509. <http://dx.doi.org/10.5439/1052548>
2. William F. Holmgren, Clifford W. Hansen, and Mark A. Mikofski. “pvlib python: a python package for modeling solar energy systems.” *Journal of Open Source Software*, 3(29), 884, (2018). <https://doi.org/10.21105/joss.00884>

*Надійшла до редколегії 19.05.2021*

*Рецензент: д.т.н. Нікіфоров А. П.*

D. KARDASH, E.N. LYUBIMENKO, V. KONDRATENKO, N. TYUTYUNNYK, I. PRYDATKO  
State Institution of Higher Education «Donetsk National Technical University»

**Study of the solar power plant power generation forecasting model.** The question of determining the possible capacity of a photovoltaic power plant is very acute due to the growing demand for renewable energy, coupled with the fact that during the day we have limited time to generate energy from such a source. Thus, based on the obtained analytical data, which allows to predict weather conditions, it is possible to regulate the amount of energy supplied to the network in a certain way due to more maneuverable power plants. In previous years, electrical engineering scientists and researchers from different countries have developed and implemented methods for determining weather conditions, such as clouds, air temperature, atmospheric dust and others, as well as their impact on the energy output of a solar power plant. A photovoltaic panel is a complex nonlinear object with many variables. In addition to the structural features of the module, the output is most affected by solar radiation and panel temperature. When researching the prediction of the amount of energy produced, it is important to find sufficiently reliable and consistent data. At the forefront of these issues are US universities and research centers. For example, the University of Nevada in Las Vegas, in 2006 put into operation a set of measurements of weather conditions: the level of sunlight, ambient temperature, wind speed, humidity and others. When calculating the power generated by the panels, it is assumed that the system operates at the point of maximum power. The scheme works as follows: we set the values of temperature (Temperature) and irradiation (Irradiance); we apply voltage to the output terminals of the array by changing its value from 0 to Voc. We take current readings at each point, we find the power for each point, we find the maximum among the obtained array of points. Repeat over the entire range of input values. Thus, we obtain a graph of the output power of Figs. 4 pre-considering the losses in the inverter.

**Key words:** *photovoltaic panel, Simulink, inverter, solar radiation, temperature, open circuit voltage, prediction step, resolution*