

## ВИКОРИСТАННЯ ВІДКРИТИХ ВЕБ-РЕСУРСІВ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ГЕНЕРАЦІЇ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ МОДУЛІВ

*Підгайний М.О.* – гр. ДФЕЕЕ-20, аспірант, *pidhainyi.mykola@gmail.com*

*Пісоцький А.В.* – гр. ДФЕЕЕ-20, аспірант, *a.pesotskii@gmail.com*

*Становський Є.Ю.* – гр. ДФЕЕЕ-19, аспірант, *junya080295@gmail.com*

*Шведчикова І.О.* – д.т.н., проф., *shvedchykova.io@knutd.edu.ua*

*Київський національний університет технологій та дизайну*

*Проведений аналіз методів прогнозування сонячної генерації в фотоелектричних системах. Обґрунтована можливість прогнозування генерації фотоелектричних модулів та формування рекомендованого графіка навантаження в програмно-технічному комплексі управління електроспоживанням локального об'єкту за даними метеопрогнозу, отриманими з відкритих веб-ресурсів.*

*The analysis of methods of forecasting of solar generation in photovoltaic systems is carried out. The possibility of forecast of photoelectric battery generation and forming a recommended load graph in the software and hardware complex of power consumption management of a local object according to the meteorological forecast, obtained from open web resources, is substantiated.*

**Вступ.** Оперативне управління електроспоживанням фотоелектричних систем (ФЕС) з акумуляторними батареями (АКБ) для забезпечення потреб локальних об'єктів (ЛО) потребує прогновної інформації щодо генерації електроенергії фотоелектричними модулями. Для управління електроспоживанням ЛО призначені програмно-технічні комплекси (ПТК). Прогнозування генерації фотоелектричних модулів в ПТК необхідне для формування рекомендацій по графіку навантаження в нормальному і позаштатному режимах роботи з корекцією відхилень навантаження від даних прогнозу. Це, в свою чергу, дозволяє здійснювати планування режимів функціонування ЛО, забезпечуючи зменшення споживання електроенергії з розподільчої мережі в години пікових навантажень [1].

Для прогнозування генерації електроенергії відновлювальними джерелами знайшли використання нейронні мережі [2, 3]. Недоліком цього підходу є тривалі часові витрати на виконання процедури навчання нейронних мереж.

На сьогодні ряд веб-сайтів, зокрема NASA [4], PVGIS [5] та Метеопост [6] надають архіви статистичних даних сонячної радіації та

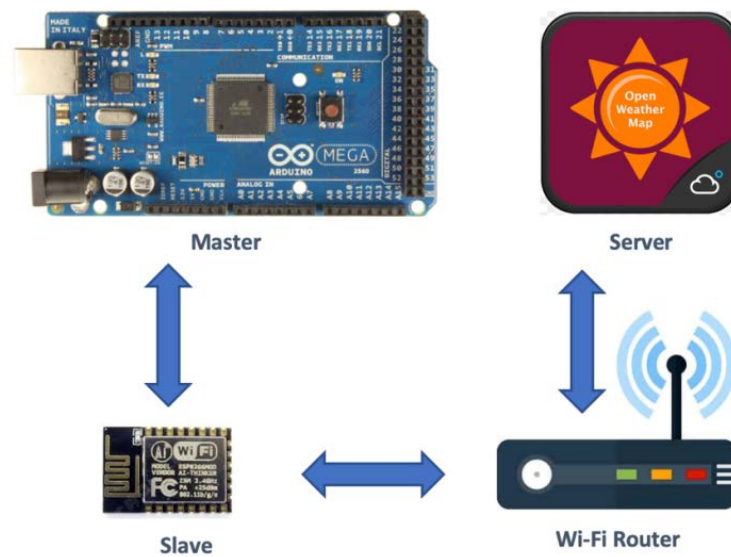
інших метеорологічних показників за декілька років для будь-яких географічних координат. Так, наприклад, в роботі [7] наведені результати обробки статистичної інформації, отриманої за допомогою геоінформаційної бази даних PVGIS [5] (належить Європейському центру досліджень – Joing Research Centre), для визначення значень сонячної радіації на горизонтальну та похилу поверхню для оцінювання ефективності роботи трьох сонячних електростанцій, розташованих в селищах України з різними географічними координатами. В [8] пропонується використовувати архівні статистичні дані сонячного випромінювання для складання бази даних ясних днів та визначення погодинного коефіцієнту хмарності. У той самий час залишається відкритим питання щодо можливості використання відкритих веб-ресурсів для прогнозування генерації фотоелектричних модулів.

**Метою роботи** є обґрунтування можливості використання відкритих веб-ресурсів для прогнозування генерації фотоелектричних модулів та рекомендованого графіку навантаження в програмно-технічному комплексі управління електроспоживанням локального об'єкту.

**Результати досліджень.** Вхідними даними для системи прогнозування ПТК можуть служити дані короткострокового прогнозу погодних умов, серед яких найбільш важливими для прогнозування рівня генерації фотоелектричних модулів є температура та хмарність. Ці дані можна отримати, наприклад, за допомогою веб-сайту OpenWeatherMap [9], який в якості джерела інформації використовує дані офіційних метеослужб.

Структура підсистеми ПТК, що відповідає за отримання прогнозу погоди, представлена на рис. 1. Мікроконтролер (МК) Slave через бездротову Wi-Fi мережу маршрутизатора Wi-Fi Router пов'язаний з мережею Інтернет. Для отримання даних прогнозу погоди (температури навколишнього середовища та хмарності) служить безкоштовний API (Application Programming Interface – інтерфейс прикладного програмування) сервер <https://openweathermap.org> [9]. МК Slave постійно опитує порт зв'язку з головним МК Master. За необхідності отримання прогнозу погоди Master відправляє в порт зв'язку команду. Після її отримання Slave формує запит для API виду: <http://api.openweathermap.org/data/2.5/forecast?lat=50.433334&lon=30.516666&APPID=1234567890qwertyuioplkjhgfdsa123&units=metric&cnt=8>, в якому вказані географічні координати (широта N(lat) і довгота E(lon)) місця прогнозу, ідентифікатор запитувача, який формується сервером при реєстрації облікового запису (APPID), одиниці виміру (units) і кількість

трьохгодинних відрізків прогнозу (cnt). Максимальний запит становить 5 діб.



*Рисунок 1 – Структура підсистеми ПТК, що відповідає за отримання прогнозу погоди*

Сервер формує відповідь в форматі JSON (JavaScript Object Notation – текстовий формат обміну даними) і відправляє запитувачу. В мережі Інтернет достатньо ресурсів для онлайн декодування формату даних JSON, наприклад, <https://jsoneditoronline.org>. Скопіювавши і розшифрувавши дані відповіді, можна побачити присутність інформації, яка немає стосунку до даної проблеми. МК Slave виконує парсинг (процес вилучення) необхідних даних метеопрогнозу, формує і через порт зв'язку відправляє МК Master рядок з роздільниками «,» (кома), зокрема такого виду:

50.4500,29.9667,Kolonshchyna,UA,1589519530,1589575259,  
1589554800,04d.png,77,15,1016,42,1,222,  
1589565600,04d.png,74,15,1015,48,1,151,  
1589576400,10n.png,86,9,1014,84,0,275,  
1589587200,10n.png,100,8,1014,94,0,168,  
1589598000,10n.png,100,7,1014,95,1,140,  
1589608800,10d.png,100,8,1015,95,1,308,  
1589619600,04d.png,91,11,1016,81,4,299,  
1589630400,10d.png,21,15,1017,63,5,279.

Перший рядок включає дані про широту, довготу, населений пункт, країну, час сходу і заходу сонця. Наступні вісім рядків повторюються

циклічно вісім разів (добовий прогноз через три години) і містять час (формат UNIX), ім'я файлу-іконки різних видів погоди для подальшого відображення на індикаторі, підключеному до МК, хмарність неба (%), температуру ( $^{\circ}\text{C}$ ), тиск ( $P_a$ ) і вологість (%) повітря, швидкість (m/s) і напрямок (в азимутальних градусах – за годинниковою стрілкою від півночі) вітру.

Після парсингу отриманих рядків МК Master формує значення необхідних змінних метеопрогнозу для подальших розрахунків і відображення (рис. 2).

Time	Icon	Clouds,%	Temperature, $^{\circ}\text{C}$	Pressure, Pa	Humidity,%	Wind speed, m/s	Wind, $^{\circ}$
15:00	04d.png	77	15	1015	42	1	222
18:00	04d.png	74	15	1015	48	1	151
21:00	10n.png	86	9	1014	84	0	275
00:00	10n.png	100	8	1014	94	0	168
03:00	10n.png	100	7	1014	95	1	140
06:00	10d.png	100	8	1015	95	1	308
09:00	04d.png	91	11	1016	81	4	299
12:00	10d.png	21	15	1017	63	5	279

Рисунок 2 – Відображення даних метеопрогнозу

Хмарності у відсотках ставиться у відповідність хмарність в балах (1 бал – 10% хмарності, 2 бали – 20%, ..., 9 балів – 90-100%). Мікроконтролер ПТК містить в енергонезалежній пам'яті (EEPROM) погодинну базу даних ясних днів  $G_{oi}(t_i)$  у вигляді табличного масиву та погодинний масив значень коефіцієнтів хмарності  $K_{Ci}$  в залежності від балів  $b$  хмарності ( $b=0\dots9$ ) [10], за якими розраховується потужність сонячної генерації  $P^*_{PV}$  для  $i$ -ої години доби з врахуванням коефіцієнтів корисної дії контролера фотомодуля  $\eta_{CC}$  та інвертору  $\eta_{VSI}$ , відповідно,

$$P^*_{PVi} = P_{PVi} \eta_{CC} \eta_{VSI}. \quad (1)$$

Потужність  $P_{PVi}$  розраховується за формулою [11]

$$P_{PVi} = k U_{PVi} I_{PVi}, \quad (2)$$

де  $k$  – кількість фотомодулів;  $U_{PVi}$ ,  $I_{PVi}$  – напруга та струм фотомодуля, визначаються для режиму максимальної потужності ( $U_M$ ,  $I_M$ ) за паспортними даними  $U_{MP}$ ,  $I_{MP}$  фотомодуля з урахуванням температурного впливу.

Напруга  $U_M$  практично не залежить від сонячної радіації  $W_i = G_i / G_H$  ( $G_H = 1000 \text{ Вт/м}^2$  – значення сонячної радіації за нормальних параметрів навколишнього середовища – STC (Standard Test Condition)). У той час, як струм  $I_M$  залежить від  $W_i$ .

Напруга  $U_{PVi}$  визначається як

$$U_{PVi} = U_{MP} [1 - K_V(t_{fi} - t_P)], \quad (3)$$

де  $t_P$  – робоча температура (обираємо з паспортних даних, наприклад  $t_P = 45^\circ\text{C}$ );  $K_V = 0,32\% / ^\circ\text{C}$  – температурний коефіцієнт для напруги холостого ходу;  $t_{fi}$  – температура фотомодуля, яка визначається за формулою

$$t_{fi} = t_{ai} + (t_{NOCT} - 20^\circ\text{C}) \frac{G_i}{800}, \quad (4)$$

де  $t_{NOCT}$  – температура модуля для режиму *NOCT* (Normal Operating Cell Temperature) або нормального функціонування за умови  $G_{NOCT} = 800 \text{ Вт/м}^2$ ;  $t_{ai}$  – температура навколишнього середовища.

Розрахунок погодинної сонячної радіації  $G_i(t_i)$  з врахуванням хмарності для  $i$ -ої години доби здійснюється за формулою

$$G_i(t_i) = G_{Oi}(t_i) K_{Ci}. \quad (5)$$

Струм  $I_{PVi}$  визначається як

$$I_{PVi} = W_i I_{MP} [1 - K_I(t_{fi} - t_P)], \quad (6)$$

де  $K_I = 0,06\% / ^\circ\text{C}$  – температурний коефіцієнт для струму.

За розрахунковими значеннями потужності сонячної генерації  $P^*_{PV}$  обчислюється добова генерація  $W_{PVC}$  ФЕС та потужність навантаження  $P_L$  з врахуванням ступеню заряду АКБ.



Рисунок 3 – Графік рекомендованого навантаження, розрахований за даними метеопрогнозу

На рис. 3 наведений приклад відображення на сенсорному екрані дисплею Nextion NX8048T070 ПТК інформації про рекомендовану потужність навантаження ЛО, розраховану за даними метеопрогнозу.

Рекомендаційна інформація, що виводиться на сенсорний екран ПТК, дозволяє персоналу ЛО приймати рішення щодо раціонального використання обладнання протягом доби для зменшення витрат на оплату електроенергії. Таким чином, дані метеопрогнозу, отримані з відкритих веб-ресурсів, можуть служити основою для планування режимів функціонування ЛО.

**Висновки.** Обґрунтована можливість технічної реалізації прогнозу генерації фотоелектричних модулів в програмно-технічному комплексі управління електроспоживанням на основі використання метеоданих відкритого веб-ресурсу OpenWeatherMap та визначений загальний алгоритм формування рекомендованого графіку навантаження локального об'єкту за прогнозними значеннями метеоданих. В результаті проведеного дослідження встановлено, що при використанні даних метеосайту OpenWeatherMap, коли інформація по хмарності надається з дискретністю у три години, мають місце значні відхилення розрахункової прогнозованої генерації фотоелектричних модулів від фактичної. Тому предметом подальших досліджень є обґрунтування доцільності використання веб-ресурсів, зокрема <https://api.forecast.solar/> та <https://solcast.com/>, які надають безпосередній прогноз потужності сонячної батареї з годинним інтервалом, що потребує внесення відповідних змін до програмного забезпечення ПТК.

Роботу виконано за фінансової підтримки Міністерства освіти і науки України в межах науково-технічної роботи за державним замовленнями «Розробка програмно-технічного комплексу управління електроспоживанням в системах енергоменеджменту локальних об'єктів» (№ 0119U103640).

#### **Список використаних джерел**

1. Shavelkin A.A., Gerlici J., Shvedchykova I.O., Kravchenko K., Kruhliak H.V. Management of power consumption in a photovoltaic system with a storage battery connected to the network with multi-zone electricity pricing to supply the local facility own needs. *Electrical Engineering & Electromechanics*, 2021, no. 2, pp. 36-42. doi: <https://doi.org/10.20998/2074-272X.2021.2>.

2. Каплун В.В. Нейромережева модель прогнозування генерації електроенергії відновлювальними джерелами у системі енергоменеджменту локальних об'єктів / В.В. Каплун, В.М. Штепа, С.С. Макаревич // *Енергетика:*

економіка, технології, екологія. – 2019. – № 2. – С. 27-39.  
doi: <https://doi.org/10.20535/1813-5420.2.2019.190002>.

3. Naderipour A., Abdul-Malek Z., Zahedi Vahid M., Mirzaei Seifabad Z., Hajivand M., Arabi-Nowdeh S. Optimal, Reliable and CostEffective Framework of Photovoltaic-Wind-Battery Energy System Design Considering Outage Concept Using Grey Wolf Optimizer Algorithm – Case Study for Iran. *IEEE Access*, 2019, vol. 7, pp. 182611-182623. doi: <https://doi.org/10.1109/access.2019.2958964>.

4. NASA database. [Online]. – Режим доступу: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>.

5. Photovoltaic geographical information system. [Online]. – Режим доступу: [https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/en/tools.html#SA](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html#SA).

6. Meteopost. [Online]. – Режим доступу: <https://meteopost.com/weather/archive/>.

7. Андруцкий Б. С. Эффективность солнечных электростанций на территории Украины / Б.С. Андруцкий, С. М. Пономаренко // XV Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Теоретичні і прикладні проблеми фізики, математики та інформатики», 25-27 травня 2017 року, м. Київ. – Київ: ВПІ ВПК «ПОЛІТЕХНІКА», 2017. – С. 72-75.

8. O. Shavolkin, I. Shvedchykova and S. Demishonkova, "Simulation model of the photovoltaic system with a storage battery for a local object connected to a grid with multi-zone tariffication," *2020 IEEE 7th International Conference on Energy Smart Systems (ESS)*, Kyiv, Ukraine, 2020, pp. 368-372. doi: 10.1109/ESS50319.2020.9160112.

9. Openweather. [Online]. – Режим доступу: <https://openweathermap.org/>.

10. Шведчикова І.О. Розробка бази даних для прогнозування сонячної генерації в програмно-технічному комплексі управління електроспоживанням локального об'єкта / І.О. Шведчикова, О.П. Кравченко, Ю.А. Романченко, Е.В. Козаков // Наукові праці ДонНТУ. Серія: «Електротехніка і енергетика». – 2020. – №1(22). – С. 55-61.

11. Шавьолкін О.О. Перетворювальний агрегат комбінованої системи електроживлення з фотоелектричною сонячною батареєю в системі інтелектуального управління локального об'єкту / О.О. Шавьолкін, І.О. Шведчикова, М.О. Підгайний, Є.В. Лещенко // Наукові праці ДонНТУ. Серія: «Електротехніка і енергетика». – №1(21). – 2019. – С 6-13. <https://doi.org/10.31474/2074-2630-2019-1-6-13>.