

УДК 621.314

Аналіз методів відновлення відсутніх даних для забезпечення відбору максимальної енергії у Micro Grid

Корчака^f М. О., ORCID [0000-0001-5370-7307](https://orcid.org/0000-0001-5370-7307)e-mail 19nikolay98@gmail.comКлен^s К. С., к.т.н. доцент, ORCID [0000-0002-6674-8332](https://orcid.org/0000-0002-6674-8332)e-mail ekateryna.osypenko@gmail.com

Факультет електроніки, кафедра промислової електроніки

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» kpi.ua

Київ, Україна

Реферат—У статті розглянуто основні причини втрат частини інформації в таблицях даних, отриманих від сонячних панелей, у Micro Grid. Проведено аналіз методів, за допомогою яких можливо відновити відсутні дані про стан або вихідний струм панелей. Розглянуто метод синтезу метеорологічних даних, а також метод відновлення на основі використання емпіричних ортогональних функцій. Проведено порівняння даних методів і обґрунтовано доцільність їх використання для конкретних систем.

Ключові слова — Micro Grid; аналіз даних; відновлення відсутніх даних; відновлювані джерела енергії; сонячні панелі; відбір максимальної енергії.

I. Вступ

Одним з ключових факторів, який в подальшому може суттєво вплинути на питання енергобалансованості та дотримання енергетичного балансу країни є стимулювання впровадження сонячної енергетики в домогосподарствах країни [1]. Сьогодні на території України функціонує 93 сонячні електростанції загальною встановленою потужністю 530 МВт, частка електроенергії, згенерованої з сонячного випромінювання, в загальному балансі електричної енергії країни не перевищує 1% [2].

В останні роки в Україні активно впроваджуються Micro Grid – системи, які реалізують керування відновлюваними джерелами енергії і електричним навантаженням для забезпечення відбору максимальної енергії. Micro Grid повинні опрацьовувати великі обсяги даних, а також мають реагувати на зовнішні зміни контекстних даних [3].

При наявності в Micro Grid сонячних панелей, система керування має опрацьовувати дані із метеорологічних та електричних моніторингових систем для забезпечення роботи системи в режимі відбору максимальної енергії. Часто ці дані надходять із різних джерел. З різних причин частина даних може втрачатися у зв'язку з проблемою передачі або через несправності у системі. Дані можуть бути відсутні за різні періоди часу, від кількох хвилин до декількох тижнів або місяців.

Для коректної оцінки даних і подальшого опрацювання у системі має бути наявна інформація про навколишнє середовище – температуру, вологість, прозорість повітря, наявність затінення, забрудненість панелей; величину сонячного випромінювання; параметри сонячних панелей; враховувати особливості процесів генерації енергії в сонячних. Коректний аналіз може бути проведений при умові, що частка відсутніх даних у базі є незначною. Стандартні методи заповнення відсутньої інформації, такі як копіювання даних за попередній день чи використання даних за минулий рік, не дають коректного результату, оскільки не враховують метеорологічні умови, а також можливість виходу із ладу сонячних панелей. Також методи, що використовують попередні дані, не враховують процеси деградації системи. Методи, в основі яких лежать відновлення відсутніх даних за допомогою математичних алгоритмів, таких як інтерполяція, регресія, усереднення, не враховують умови генерації енергії в сонячних панелях. Одним з можливих підходів є відтворення відсутніх даних використовуючи дані систем, розташованих поруч, але це додатково вимагає визначення впливу різниці у мікрокліматі цих систем [4].

Тому, задача вибору коректного методу відтворення відсутніх даних, який буде враховувати особливості роботи сонячних панелей, а також фактори, які впливають на генерацію енергії в них, для забезпечення відбору максимальної енергії у Micro Grid є актуальною.



Метою даної роботи є проведення порівняльного аналізу методів відтворення відсутніх даних у Micro Grid для відбору максимальної енергії.

II. Причини відсутності даних в MICRO GRID

У роботі розглянуто методи відновлення відсутніх даних для короткотривалих та довготривалих періодів часу, беручи до уваги погодні умови, а також різні можливі режими роботи самої системи. До основних причин відсутності даних у таблицях відносяться наступні. По-перше, це – відсутність частини метеорологічних даних, в той час як електричні дані відомі. Наприклад, відсутність даних про температуру чи вологість повітря через несправність відповідних давачів. Ці причини є типовими для домашніх чи комерційних систем малої потужності, де власники часто економлять на встановленні якісних метеорологічних давачів. Наступна причина – переривання, несправності у роботі систем моніторингу електричних даних. Наприклад через пошкодження кабелів, по яким передається інформація, або через несвоєчасне обслуговування електричного обладнання. Третя причина – несправність у роботі обох підсистем, які можуть виникнути у зв'язку з проблемами у передачі даних, або через проблеми у роботі апаратного чи програмного забезпечення. Останні дві причини втрат даних є типовими для систем, до складу яких входить велика кількість сонячних панелей. Четверта причина – особистісні особливості людини як власника енергетичного ресурсу. Дії окремих осіб впливають на функціонування системи. Рівень їх впливу на систему залежить від таких визначальних в даному аспекті особистісних якостей, як: інтелектуальний рівень; рівень самооцінки; полenezалежність, рівень професійної підготовки [5]. Отже, постає задача вибору методу відновлення даних, який в процесі відновлення даних буде враховувати причини їх відсутності.

III. МЕТОДИ ВІДНОВЛЕННЯ ДАНИХ

Існує багато методів відтворення відсутніх даних, але в даній роботі буде розглянуто ті, які дозволяють відновити дані, враховуючи інформацію про навколишнє середовище, величину сонячного випромінювання, параметри сонячних панелей, а також будуть враховувати особливості процесів генерації енергії в сонячних панелях.

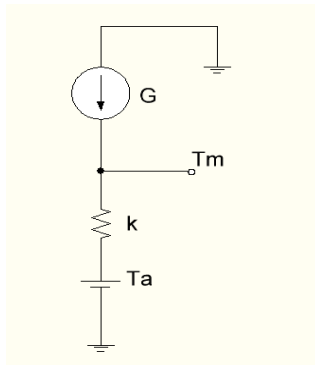


Рис. 1 Модель Росса для розрахунку температури сонячної панелі

A. Метод синтезу метеорологічних даних

Нижче наведені основні етапи методу, що дозволяє синтезувати метеорологічні дані і на їх основі відновити відсутні дані.

На першому етапі виконується синтез даних про величину сонячного випромінювання, яке досягає земної поверхні, застосовуючи просторову інтерполяцію (Kriging) даних з мережі метеорологічних станцій [4], [6]. Необхідно мати щогодинний доступ до цих даних. Одним з параметрів навколишнього середовища, що синтезується за допомогою просторової інтерполяції є температура.

Оцінка сонячного випромінювання, яке отримує сонячна панель безпосередньо, може здійснюватися різними методами, але найбільш точними є методи розділення випромінювання на частини і визначення їх впливу на генерацію енергії. Це здійснюється за допомогою двоступеневого методу. На першому етапі за допомогою алгоритму поділу на пучок і дифузні компоненти [7] відбувається поділ суцільного сонячного випромінювання на основну частину, а також на дифузійні частини, які дифундують з основної внаслідок процесів, пов'язаних, наприклад, з неоднорідністю повітря.

На другому етапі за алгоритмом визначається кількість сонячного випромінювання, яке отримує сонячна панель безпосередньо, враховуючи процеси дифузії, та різні кути нахилу сонячних панелей [8], [9]. Ці два кроки можуть бути замінені однокроковим методом з використанням нейронної мережі. Температура навколишнього середовища та енергія на виході сонячної панелі в подальшому обчислюється за синтезованими даними про сонячне випромінювання.

На третьому етапі проводиться розрахунок температури сонячної панелі. На цьому етапі використовується модель Росса [10]. Параметр k – коефіцієнт Росса, видозмінений температурний опір, спочатку визначається з використанням експериментальних даних та даних, отриманих в минулі роки для температури навколишнього середовища T_a , температури сонячної панелі T_m і щільності випромінювання G :

$$T_m = T_a + k \cdot G \quad (1)$$

На останньому етапі проводиться розрахунок енергії на виході сонячної панелі. Для цього кроку використовується модель, описана в [10]:

$$P'(G', T') = G'(1 + k_1 \ln(G')) + k_2 \ln(G')^2 + k_3 T_m' + k_4 T_m' \ln(G') + k_5 T_m' \ln(G')^2 + k_6 T_m'^2 \quad (2)$$

де $P' = P_{MP} / P_{STC}$, $G' = G / G_{STC}$ і $T_m' = T_m / T_{STC}$ (P_{STC} – потужність панелі у нормальних умовах випробування, P_{MP} – максимальна потужність), коефіцієнти електричної моделі k_i отримують шляхом підгонки експериментальних даних про потужність, освітленість і температуру, взяті з періоду моніторингу (експериментального періоду), близького до

даного періоду, оскільки це фіксує стан системи і враховує деградацію і інші зміни [4].

В. Метод на основі використання емпіричних ортогональних функцій

Цей метод відновлює відсутні дані, використовуючи емпіричні ортогональні функції, отримані з наявних вихідних даних.

У статистиці та обробці сигналів, метод емпіричних ортогональних функцій являє собою декомпозицією сигналу або набору даних у базисі ортогональних функцій, які визначаються з даних. Він подібний до методу головних компонентів, за винятком того, що метод на основі використання емпіричних ортогональних функцій бере до уваги як часові, так і просторові залежності даних [11].

За умови, що відсутніх даних немає, емпіричні ортогональні функції, як правило, обчислюються з використанням матричного розкладання (SVD.m в MATLAB), наявність відсутніх даних вимагає ітеративного підходу. Наприклад, спочатку на місце відсутніх даних вставляють середні значення, на основі сусідніх елементів таблиці, потім обчислюється емпіричні ортогональні функції, на основі яких далі відсутні значення приймають нового значення. Даний цикл буде продовжуватися до тих пір, коли похибка для відновлених даних не буде перевищувати заданої.

В основі методу на основі використання емпіричних ортогональних функцій [12], [13] лежать три припущення. Перше (гіпотеза надмірності) полягає в тому, що реальні таблиці мають надмірність, яка виявляється в наявності схожих між собою об'єктів (рядків) і залежать один від одного властивостей (стовпців). Друге припущення (гіпотеза локальної компактності) полягає у твердженні, що для відновлення відсутнього елемента потрібно використовувати не всю таблицю, а лише її «компетентну» частина, що складається з елементів рядків, схожих на рядок, і елементів стовпців, схожих на стовець. Решта рядків і стовпців для даного елемента неінформативні. Їх використання лише руйнувало б локальну компактність підмножини компетентних елементів і погіршувало точність відновлення. Третє припущення (гіпотеза лінійних залежностей) полягає в тому, що з усіх можливих видів залежностей між стовпцями (рядками) в даному методі використовуються тільки лінійні залежності. Якщо залежності носять більш складний характер, то для їх надійного виявлення потрібно такий великий обсяг даних, який в реальних задачах зустрічається нечасто. В роботі методу на основі використання емпіричних ортогональних функцій можна виділити три етапи.

На першому етапі для даного пробілу з вихідної матриці «об'єкт-властивість», стовпці якої нормовані по дисперсії, вибирається підмножина компетентних рядків і потім для цих рядків - компетентних стовпців.

Під компетентністю i -го рядка по відношенню до l -го розуміється величина

$$L_{il} = r_{il}t_{il},$$

де $r_{il} = 1 - \rho_{il}$, ρ_{il} - евклідова відстань між i -ю та l -ю строками, а t_{il} - коефіцієнт комплексності, рівний числу властивостей, яких відомі як для i -ї, так і для l -ї строки. Компетентний рядок не повинен мати пробілів в j -му стовпці. Аналогічно до компетентності рядків визначається компетентність стовпців.

На другому етапі автоматично підбираються параметри у функції, що використовується для відновлення відсутнього елемента, при яких очікувана помилка передбачення досягає мінімуму.

На третьому етапі виконується безпосередньо прогнозування елемента за цією формулою.

Для різних прикладних задач існують різні модифікації описаного вище базового методу на основі емпіричних ортогональних функцій, що відрізняються своїм призначенням і наборами різних режимів роботи. Програми відтворення відсутніх даних можуть працювати в одному з наступних режимів:

- Відновлення всіх відсутніх даних.
- Відновлення тільки тих даних, очікувана помилка для яких не перевищує заданої величини.
- Відновлення відсутніх даних тільки на базі інформації, наявної у вихідній таблиці.

Таблиця 1 Порівняння методів відтворення відсутніх даних

Метод	Переваги	Недоліки
Синтез метеорологічних даних	Враховує умови навколишнього середовища, а також особливості процесів генерації енергії у сонячних панелях.	Необхідні дані метеорологічних станцій.
На основі використання емпіричних ортогональних функцій	Можливість задання точності відтворення відсутніх даних. Наявність модифікацій.	Необхідність мати великі обчислювальні потужності. Не враховує умови генерації енергії у сонячних панелях

ВИСНОВКИ

Таким чином, було розглянуто імовірні причини втрат даних у системі керування. Було запропоновано методи відновлення відсутніх даних, а саме метод синтезу метеорологічних даних та метод заповнення на основі використання емпіричних ортогональних функцій. Метод синтезу метеорологічних даних доцільно використовувати при наявності доступу до метеорологічних даних з багатьох джерел. Синтезовані таким чином метеорологічні дані використовуються для відновлення відсутніх даних, враховуючи особливості генерації енергії у сонячних панелях. Другий метод базується на використанні емпіричних функцій, для цього методу є можливим задання точності відтворення відсутніх даних. Більш коректні



результати потребують більшої кількості ітерацій обчислення. На основі цього методу існує багато модифікацій, які дозволяють обирати різні режими відтворення відсутніх даних. Метод на основі використання емпіричних ортогональних функцій буде в подальшому використано для дослідження на основі теорії фракталів систем розосередженої генерації з сонячними панелями з реалізацією відбору максимальної енергії.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- [1] P. P. Havrylko, R. S. Chorni and Y. V. Shevchuk, "Rozvytok ta vprovadzhennia soniachnoi enerhetyky v domohospodarstvakh Ukrainy," *Mizhnarodnyi naukovyi zhurnal*, vol. 2, no. 10, pp. 66-71, 2016.
- [2] K. V. Bogomolova, "Sonyachna energetika: determinanti ta tendencii rozvitku," in *Pershiy krok u nauku: materialy IX studentskoy konferenciy*, Sumy, 2018.
- [3] Y. V. Verbickiy, A. H. Kiseleva and K. S. Osypenko, Kontekstno-zalezhne keruvannia avtonomnyu systemamy elektrozhyvlennia: pid zah. red. d-ra tekhn. nauk Zhuikova V. Y., Kyiv: Avers, 2015.
- [4] E. Koubli, D. Palmer, P. Rowley and R. Gottschlag, "Inference of missing data in photovoltaic monitoring datasets," *IET Renew. Power Gener.*, vol. 10, no. 4, pp. 434-439, 2016.
- [5] K. S. Osypenko and V. Y. Zhuikov, "Pryntsyp preemptyvnoho keruvannia u Smart Grid," *Elektronna ta Akustychna Inzheneria*, vol. 1, no. 1, pp. 13-19, 2018.
- [6] P. Rowley, P. Leicester, D. Palmer, P. Westacott, C. Candelise, T. Betts, and R. Gottschalg, "Multi-domain analysis of photovoltaic impacts via integrated spatial and probabilistic modelling," *IET Renew. Power Gener.*, vol. 9, pp. 424-431, 2015.
- [7] B. Ridley, J. Boland, and P. Lauret, "Modelling of diffuse solar fraction with multiple predictors," *Renew. Energy*, vol. 35, pp. 478-483, 2010.
- [8] J. E. Hay, R. Perez, and D. C. McKay, "Estimating Solar Irradiance on Inclined Surfaces: A Review and Assessment of Methodologies," *Int. J. Sol. Energy*, vol. 4, pp. 321-324, 1986.
- [9] D. Reindl, W. Beckman, and J. Duffie, "Evaluation of hourly tilted surface radiation models," *Sol. Energy*, vol. 45, pp. 9-17, 1990.
- [10] J. Ross, R. G., "Interface design considerations for terrestrial solar cell modules," in *12th IEEE Photovoltaic Specialist Conference*, pp. 801-806, 1976.
- [11] A. H. Monahan, J. C. Fyfe, M. H. Ambaum, D. B. Stephenson and G. R. North, "Empirical Orthogonal Functions: The Medium is the Message," *Journal of Climate*, vol. 22, no. 24, pp. 6501-6514, 2009.
- [12] N. G. Zagoruyko, *Klassifikaciya zadach prognozirovaniya na tablicyah «ob'ekt-svoystvo»*, Novosibirsk, 1981.
- [13] N. G. Zagoruyko, V. N. Elkina and V. S. Timerkaev, *Empiricheskoe predskazanie i raspoznavanie obrazov.*, Novosibirsk, 1975.

УДК 621.314

Анализ методов восстановления отсутствующих данных для обеспечения отбора максимальной энергии в Micro Grid

Корчака^f Н. А., ORCID [0000-0001-5370-7307](https://orcid.org/0000-0001-5370-7307)

e-mail 19nikolay98@gmail.com

Клен^s К. С., к.т.н. доцент, ORCID [0000-0002-6674-8332](https://orcid.org/0000-0002-6674-8332)

e-mail ekateryna.osypenko@gmail.com

Факультет электроники, кафедра промышленной электроники

Национальный технический университет Украины

«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского» kpi.ua

Киев, Украина

Реферат—В статье рассматриваются основные причины потери части информации, в таблицах данных, полученных от солнечных панелей, в Micro Grid. Проведенный анализ методов, с помощью которых можно восстановить недостающие данные о состоянии или о выходном токе панели. Рассмотрен метод синтеза метеорологических данных, а также метод восстановления на основе эмпирических ортогональных функций. Проведено сравнение данных методов и обоснование уместности их использования для конкретных систем.



Ключевые слова — Micro Grid; анализ данных; восстановление отсутствующих данных; возобновляемые источники энергии; солнечные панели; отбор максимальной мощности.

UDC 621.314

Analysis of Filling in Missing Data to Provide Maximum Power Extraction in Micro Grid

M. O. Korchaka^f, ORCID [0000-0001-5370-7307](https://orcid.org/0000-0001-5370-7307)

e-mail 19nikolay98@gmail.com

K. S. Klen^s, PhD Assoc.Prof., ORCID [0000-0002-6674-8332](https://orcid.org/0000-0002-6674-8332)

e-mail ekateryna.osypenko@gmail.com

Faculty of electronics, Power Electronics Department

National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute” kpi.ua

Kyiv, Ukraine

Abstract—An analysis of Micro Grid system performance requires both meteorological and electrical data for the assessment period. However, actual in-field data acquisition is rarely 100%, often resulting in a significant amount of incomplete datasets for performance assessment. These gaps, if not taken into account, may add noticeable bias in yield assessment and thus estimations of the lacking data need to be made. Approaches of back-filling the required data is given and validated here. This paper presents a strategy to back-fill data with good accuracy for both short and long term periods, while taking into account weather as well as system performance variations. Cases of data loss are identified. The first case is that of missing meteorological datasets, while electrical readings are available. This case is met in most small systems, either domestic or commercial, where installers reduce the cost by omitting the meteorological sensors. The second case is that of the electrical monitoring system being interrupted. The third case is a failure of both monitoring sub-systems, which could be due to communication or hardware failures. The last two cases are often met in the majority of solar farms. Two methods, by means of which it is possible to restore the missing data about the status or output current panel, are considered. The method of synthesis of meteorological data and also the method of restoration based on empirical orthogonal functions (EOFs), are considered. Method based on EOFs reconstructs missing data using empirical orthogonal functions, derived from the original data. While EOFs in a complete dataset would typically be calculated using singular value decomposition, the presence of missing data requires an iterative approach. The method allows for the estimation of missing values and full EOFs by first inserting mean values into the missing portions of the dataset and then calculating the EOFs. Because the resulting spatial EOFs and the time series of their magnitudes reconstruct the original data, a truncated version of the original dataset can be generated, using only as many EOFs as are deemed significant through validation. This provides an improved estimate of the missing information over simply inserting mean values, because the small-variance (i.e., noise) EOFs have been removed. Method of synthesis of meteorological data uses data collected from meteorological stations to estimate irradiance. Then module temperature is calculated from in-plane irradiance and ambient temperature using a simple linear thermal model. Using this information electrical performance is estimated. Two methods differ from each other, so detailed analysis and comparison of these methods are performed. The possibilities and requirements for their using are determined depending on the reasons of the loss of information in Micro Grid. The specific systems, that involve Micro Grid, in which methods can be used for providing maximum energy extraction are suggested. These two methods will be used in future research work based on applying the theory of fractals to the analysis of distributed generation systems of solar panels for maximum energy extraction.

Keywords — Micro Grid; data analysis; filling in missing data; renewable sources of energy; solar panels; maximum power extraction.

