

УДК 004.94

DOI: <https://doi.org/10.17721/3041-2323.2024.15-25>

Антон АФАНАСЬЄВ, студ.

ORCID ID: 0009-0003-7126-1726

e-mail: antonaf2003@gmail.com

Київський національний університет
імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

Євген ЗАЙЦЕВ, д-р техн. наук, проф.

ORCID ID: 0000-0003-3303-471X

e-mail: zaitsev@i.ua

Інститут електродинаміки НАН України, Київ, Україна

АВТОМАТИЗОВАНА ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОЦЕСУ МОНІТОРИНГУ ПАРАМЕТРІВ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ

Розглянуто зростаючу потребу в ефективному моніторингу параметрів сонячних панелей у контексті збільшення залежності від відновлювальних джерел енергії. Досліджено розроблення автоматизованої інформаційної системи моніторингу параметрів сонячних панелей, спрямовану на оптимізацію споживання та генерації енергії. Система призначена для розрахунку інтервалів споживання енергії, відстеження рівнів освітленості сонячних панелей для оцінювання ефективності установки, а також виявлення забруднення поверхні, що забезпечує пікову продуктивність. Обговорено інтеграцію датчиків, аналіз даних та архітектуру системи для підвищення ефективності виробництва відновлюваної енергії.

Ключові слова: сонячні панелі, відновлювальна енергетика, автоматизований моніторинг, енергоспоживання, оптимізація сонячної енергії, аналіз даних, архітектура системи.

Вступ

Зростаюча залежність від викопних енергоносіїв, збільшення викидів вуглекислого газу та загроза глобальної зміни клімату (Sioshansi, 2011) змушують уряди та компанії шукати альтернативні шляхи забезпечення енергетичних потреб, які в основному у світі перебиваються тепловими електростанціями. Теплові електростанції, які використовують викопні види палива, такі як вугілля, нафта або природний газ, завдають значної шкоди довкіллю

© Афанасьєв Антон, Зайцев Євген, 2024

та здоров'ю людей. Однією з головних проблем є величезні обсяги викидів вуглекислого газу (CO₂) в атмосферу. Ці викиди сприяють парниковому ефекту, що веде до глобального потепління та зміни клімату. Зміна клімату також викликає частіші й інтенсивніші стихійні лиха – урагани, повені та засухи, що негативно впливають на сільське господарство, економіку та життя мільйонів людей. Крім CO₂ теплові електростанції викидають інші шкідливі речовини, наприклад, діоксид сірки, оксиди азоту та тверді частки. Ці забруднювачі є причиною кислотних дощів, які пошкоджують ґрунти, водойми, рослинність і будівлі, а також призводять до деградації екосистем.

Відновлювальні джерела енергії (ВДЕ) – сонячна, вітрова, гідроенергія та геотермальна енергія екологічно значно безпечніші, оскільки не виробляють шкідливих викидів під час своєї роботи (Lawrence, 2011). Заміна теплових електростанцій на електростанції, що використовують відновлювальні джерела енергії, допоможе суттєво зменшити негативний вплив на довкілля, оскільки сонячна енергія є чистою, невичерпною і не створює викидів парникових газів. Саме тому трендом останнього десятиліття в усьому світі, а особливо в країнах Європейського Союзу, став перехід на відновлювальні джерела енергії (Operation..., 2021).

Результати

В Україні руйнування енергетичної інфраструктури, особливо теплових електростанцій, які забезпечували значну частину попиту на електроенергію, стало критичним фактором для стабільної роботи енергосистеми (Зайцев et al., 2022). Внаслідок збройної агресії та цілеспрямованих атак на об'єкти енергетики, частина генеруючих потужностей була виведена з ладу, що суттєво обмежило можливість виробництва електроенергії. Зниження виробничих потужностей відбулося через фізичне знищення обладнання. Це призвело до різкого зростання дефіциту електроенергії в національній енергосистемі, особливо під час пікових навантажень. Як наслідок, для стабілізації ситуації та забезпечення безперебійної роботи критично важливих об'єктів почали застосовувати графіки відключення електроенергії для населення та бізнесу. Розв'язання проблеми недостатньої генерації та вразливості великих централізованих електростанцій призвело до збільшення частки ВДЕ у

приватних домогосподарствах і на виробництвах із малим та середнім споживанням електроенергії, що спричинило активне впровадження невеликих децентралізованих електростанцій, що використовують ВДЕ. Впровадження таких електростанцій є вартісним, тому відбувається досить повільно на державному рівні, але досить активно в приватному сегменті, що привело до того, що власники підприємств, директори державних установ і навіть мешканці приватних і багатоквартирних будинків почали встановлювати власні власні електростанції малої потужності для забезпечення енергетичної незалежності (Афанасьєв, & Зайцев, 2023).

Розроблення системи, яка автоматично адаптується до змін умов навколишнього середовища (температура, освітленість) і забезпечує динамічне регулювання режимів роботи сонячних панелей для досягнення максимальної ефективності, відіграє визначальну роль у цьому процесі. Такі системи дозволяють підвищити продуктивність сонячних електростанцій, оптимізуючи їхню роботу залежно від поточних погодних умов, що особливо важливо в умовах мінливої кліматичної ситуації.

Найпопулярнішим рішенням є використання сонячної енергії, яка є екологічно чистим, невичерпним і доступним джерелом (Афанасьєв, & Зайцев, 2023). Добувати сонячну енергію можна за допомогою сонячних електростанцій (СЕС), які працюють за допомогою сонячних панелей, що є однією з головних переваг саме СЕС, тому що сонячні панелі є дуже зручними для встановлення (Bas Kruimer, 2016). Як поверхня для них може використовуватися дах будинку або земельна ділянка. Монтаж здійснюється швидко та може бути виконаний без великогабаритної спецтехніки, що значно пришвидшує та здешевлює встановлення СЕС порівняно з іншими видами електростанцій.

Проте СЕС також не є ідеальним рішенням, оскільки їхня генерація залежить від попадання сонячного світла на фотоелементи. Отже, генерація не є стабільною, тому важливо чітко знати коли і скільки електроенергії виробляє панель, щоб розрахувати часові проміжки споживання електроенергії. Також дуже важливим є відстеження ступеня освітленості сонячних панелей, щоб після установки мати змогу оцінити, чи правильним є місце для встановлення панелі, чи доцільніше буде її поставити в інше місце

(Tuser, 2022). Також це допоможе визначити, чи не є забрудненою панель (Lawrence, 2017; Open..., 2023).

Система моніторингу параметрів сонячної панелі зазвичай використовує датчики, зокрема такі (Tuser, 2020).

Датчики струму і напруги. Ці датчики дозволяють відстежувати рівень генерованої електроенергії в режимі реального часу. Вони збирають дані про поточну потужність, що виробляється сонячними панелями, і можуть використовуватися для розрахунку часових проміжків споживання електроенергії, визначаючи пікові і низькі періоди активності.

Датчики освітленості. Ці датчики вимірюють рівень сонячного випромінювання, яке потрапляє на поверхню панелей. Вони необхідні для відстеження ступеня освітленості і допомагають оцінити, чи правильно вибрано місце для установки панелей. Якщо рівень освітленості нижчий за очікуваний, це може свідчити про необхідність зміни положення панелей або видалення перешкод, які блокують світло (напр., тіні від дерев або будівель) (Open..., 2023).

Температурні датчики. Температура панелей може значно впливати на їхню ефективність. Температурні датчики допомагають моніторити тепловий режим панелей і визначати, чи не буде перегрівання однією з причин зниження продуктивності. Крім того, ці датчики можуть допомогти у виявленні потенційних проблем з охолодженням або забрудненням панелей.

Датчики забруднення. Ці датчики призначені для виявлення забруднення на поверхні панелей, яке може знижувати ефективність генерації електроенергії. Вони допомагають вчасно виявляти накопичення пилу, бруду або снігу, щоб забезпечити чистоту поверхні і максимальну продуктивність панелей.

Датчики нахилу. Правильний нахил панелей є ключовим для отримання максимальної кількості сонячного випромінювання. Датчики нахилу дозволяють контролювати кут нахилу панелей і можуть підказати, чи не потрібно їх коригувати для поліпшення освітлення.

Датчики вологості й опадів. Ці датчики вимірюють рівень вологості та кількість опадів, що може впливати на ефективність роботи сонячних панелей. Вони також корисні для визначення

умов, за яких панелі можуть бути забруднені або пошкоджені через надмірну вологу чи сніг.

Датчики вітру. Швидкість і напрямок вітру можуть впливати на стабільність і роботу панелей, особливо якщо вони встановлені на відкритих площах. Ці датчики можуть допомогти оцінити ризики для конструкцій і забезпечити захист панелей від пошкоджень під час сильних вітрів.

До інших складових автоматизованої інформаційної системи забезпечення процесу моніторингу параметрів сонячних панелей належать такі.

Мережеві комунікації. Для передачі даних використовують мережеві комунікації – інтернет, бездротові мережі і дротові зв'язки (Smart meters..., 2023). Це дозволяє збирати дані з різних точок мережі та передавати їх на центральний сервер.

Центральний сервер моніторингу. Цей сервер обробляє та аналізує дані, отримані від сенсорів (Jackson, 2014).

Під час розроблення програмної частини автоматизованої інформаційної системи для моніторингу параметрів сонячних панелей необхідно враховувати кілька ключових аспектів, які забезпечать надійну роботу всієї системи й ефективний збір і аналіз даних. Основною метою є інтеграція всіх компонентів, таких як датчики струму, напруги, освітленості, температури тощо, в єдину систему, що забезпечує безперебійний моніторинг і своєчасне виявлення відхилень у роботі панелей.

Перше, що варто врахувати, це розроблення архітектури програмного забезпечення, яка зможе інтегрувати великий обсяг різнорідних даних, що надходять від різних типів сенсорів. Програма повинна бути здатною приймати ці дані в реальному часі, аналізувати їх і виводити результати на інтерфейс користувача, наприклад, у вигляді графіків, діаграм або таблиць. З огляду на це, важливо забезпечити правильну синхронізацію всіх джерел даних і запобігти конфліктам під час оброблення інформації від різних сенсорів.

Іншим критичним аспектом є розроблення алгоритмів аналізу даних, що зможуть ефективно обробляти показники, отримані з датчиків, і виявляти потенційні проблеми (Bas Kruimer, 2016). Наприклад, програмна частина має бути здатною на основі даних

із датчиків освітленості аналізувати рівень сонячного випромінювання, що падає на панелі, і робити висновки щодо доцільності їхнього поточного розташування. Якщо рівень освітлення значно знижується, програма повинна сповістити оператора про можливі проблеми з розташуванням або забрудненням панелей. Такі алгоритми можуть бути засновані на порівнянні реальних даних із встановленими пороговими значеннями чи прогнозними моделями.

Крім аналізу продуктивності, необхідно також реалізувати функції діагностики. Наприклад, якщо температурні датчики фіксують перегрівання панелей, система повинна мати алгоритми, які здатні ідентифікувати потенційні причини цього явища – чи це відбувається через зовнішні фактори, такі як сильне сонячне випромінювання, чи через несправність панелей. Програма повинна мати здатність до самоаналізу й генерації звітів для оператора щодо стану панелей і необхідності технічного обслуговування.

Важливою частиною системи є її здатність до інтеграції з мережею передачі даних. Програмне забезпечення має підтримувати роботу з різними протоколами передачі даних, такими як Wi-Fi, Ethernet або мобільні мережі, щоб забезпечити безперервний зв'язок із сенсорами. Забезпечення захисту даних під час передачі також має бути враховане, тому програмне забезпечення повинно включати механізми шифрування й автентифікації для забезпечення безпеки та конфіденційності переданої інформації (Зайцев et al., 2023).

Центральний сервер є ще одним важливим елементом, і його програмна частина повинна бути налаштована на ефективне зберігання та оброблення великої кількості даних. Варто враховувати масштабованість серверної інфраструктури, оскільки за зростання кількості сонячних панелей і сенсорів обсяги даних також зростатимуть. Для цього потрібно використовувати бази даних, які можуть масштабуватися, а також оптимізовані алгоритми для швидкого оброблення великих масивів інформації (Sioshansi, 2011).

Інтерфейс користувача також є важливим компонентом програмного забезпечення. Він має бути інтуїтивно зрозумілим і надавати оператору можливість переглядати дані в реальному часі, встановлювати порогові значення для різних параметрів і налаштовувати сповіщення в разі перевищення цих значень. Візуаліза-

ція даних повинна бути на високому рівні, а також має бути наявна детальна статистика по основних даних. Це необхідно для того, щоб оператор міг легко оцінювати ефективність роботи панелей, виявляти відхилення й оперативно реагувати на потенційні проблеми.

Розроблений інтерфейс користувача автоматизованої інформаційної системи забезпечення процесу моніторингу параметрів сонячних панелей на базі вебзастосунку для системи моніторингу рівня балансу споживання активних споживачів у Smart Grid мережах зображено на рис. 1, 2, 3. Цей вебзастосунок забезпечує моніторинг певних параметрів енергетичної мережі, крім того він відповідає поставленим вище вимогам до інтерфейсу користувача.

Робота із застосунком починається з ініціалізації користувача на головній (початковій) сторінці. Ця сторінка носить інформаційний характер, на ній користувач може ознайомитися з основними характеристиками вебзастосунку та забезпечує авторизацію користувача. Приклад входу до системи моніторингу представлено на рис. 1.

The image shows a login form with the following elements:

- Label: Email
- Input field for email
- Label: Пароль
- Input field for password
- Button: АВТОРИЗУВАТИСЯ
- Link: [Немає акаунту?](#)

Рис. 1. Процедура входу до системи моніторингу

Після успішної авторизації користувач може перейти на сторінку "Поточні показники" та відслідковувати інформацію про основні показники в режимі реального часу. Крім числових даних буде виведено ще й візуалізацію інформації у вигляді динамічного стовпчастого графіка, який оновлюється кожні 3 секунди разом із числовими даними. У разі перевищення порогового значення для параметра відбувається сповіщення у вигляді зміни кольору одного зі стовпців. Приклад роботи сторінки "Поточні показники" подано на рис 2.

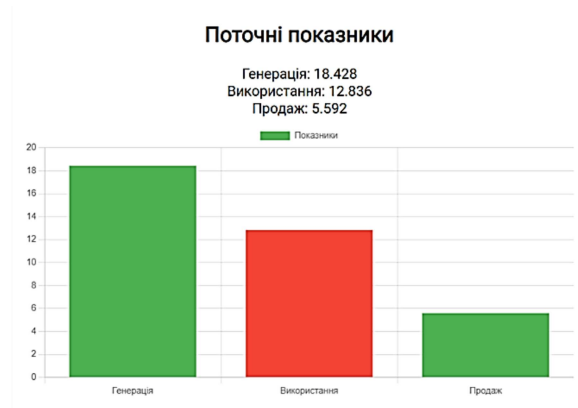


Рис. 2. Приклад роботи сторінки "Поточні показники"

Для забезпечення моніторингу за параметрами споживання, генерації, купівлі та продажу електроенергії в застосунку використовують графіки з деталізованою статистикою, що надає змогу оператору якісно реагувати на потенційні проблеми (рис. 3).



Рис. 3. Приклад графіків моніторингу даних

Дискусія і висновки

Автоматизована інформаційна система моніторингу параметрів сонячних панелей є визначальним інструментом для підвищення ефективності та надійності роботи сонячних електростанцій. Інтеграція різних датчиків, аналіз даних у режимі реального часу та своєчасний моніторинг дозволяють не лише оптимізувати продуктивність панелей, але й оперативно виявляти потенційні проблеми, що забезпечує економічну вигоду та сприяє подальшому розвитку відновлювальних джерел енергії. Впровадження сучасних рішень дозволяє також знижувати енерговитрати самої системи моніторингу, мінімізуючи її вплив на навколишнє середовище, що робить такі системи ще більш екологічно стійкими й ефективними у довгостроковій перспективі. Крім того, розроблена система моніторингу дозволяє ефективно відстежувати основні показники роботи сонячних панелей, аналізувати статистичні дані та робити відповідні висновки, спрямовані на підвищення ефективності всієї мережі. Такий підхід дозволяє своєчасно коригувати роботу станцій, що оптимізує виробництво електроенергії та забезпечує стабільність у роботі енергосистеми.

Список використаних джерел

- Афанасьєв, А. А., & Зайцев, С. О. (2023). Інформаційна система моніторингу рівня балансу споживання проактивних споживачів в smart grid мережах. У *Збірнику тез доповідей учасників VII Міжнародної науково-практичної конференції "Прикладні системи та технології в інформаційному суспільстві"* (с. 13–18). Київський національний університет імені Тараса Шевченка.
- Зайцев, С., Березниченко, В., Закусило, С., & Антоненко, А. (2022). SMART-засоби визначення аварійних станів в розподільних електричних мережах міст. *Таврійський науковий вісник. Серія: "Технічні науки"*, 5, 3–12. <https://doi.org/10.32851/tnv-tech.2022.5.1>
- Bas Kruimer. (n. d.). *Distribution and outage management systems*. DNV. <https://www.dnv.com/services/distribution-and-outage-management-systems-5311>
- Jackson, J. (2014). *Smart Grids: An Optimised Electric Power System*. Science Direct. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780080994246000284>
- Lawrence, E. (2017). *Renewable Energy Integration*. Amsterdam Inc.
- Open Green Energy. (2023). *DIY Solar Panel Monitoring System. V2.0*. <https://www.opengreenenergy.com/solar-panel-monitoring-system-v2/>
- Operation & Maintenance Best Practices Guidelines. (2021). *Solar Best Practices*. <https://solarbestpractices.com/guidelines/detail/data-and-monitoring-requirements>
- Siohansi, F. P. (2011). *Smart Grid: Integrating Renewable, Distributed and Efficient Energy*. Academic Press.

Smart meters / José Manuel Carou Alvarez. (2023). *ScienceDirect*.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780128212042000672>
Tuser, C. (n. d.). *What is Advanced Metering Infrastructure (AMI)?* WaterWorld.
<https://www.wwdmag.com/what-is-articles/article/10940067/what-is-advanced-metering-infrastructure-ami>
Ugale, P. S. (2018). *Multifunctional Automated System For Monitoring Performance Of Solar Pv Panel*. Neliti. <https://www.neliti.com/publications/342532/multifunctional-automated-system-for-monitoring-performance-of-solar-pv-panel>

References

Afanasiev, A. A., & Zaitsev, I. O. (2023). Information system for monitoring the consumption balance level of proactive consumers in smart grid networks. In *Proceedings of the VII International Scientific and Practical Conference "Applied Systems and Technologies in the Information Society"* (pp. 13–18). Taras Shevchenko National University of Kyiv [in Ukrainian].
Bas Kruimer. (n. d.). *Distribution and outage management systems*. DNV. <https://www.dnv.com/services/distribution-and-outage-management-systems-5311>
Jackson, J. (2014). *Smart Grids: An Optimised Electric Power System*. ScienceDirect. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780080994246000284>
Lawrence, E. (2017). *Renewable Energy Integration*. Amsterdam Inc.
Open Green Energy. (2023). *DIY Solar Panel Monitoring System. V2.0*. <https://www.opengreenenergy.com/solar-panel-monitoring-system-v2/>
Operation & Maintenance Best Practices Guidelines. (2021). *Solar Best Practices*. <https://solarbestpractices.com/guidelines/detail/data-and-monitoring-requirements>
Sioshansi, F. P. (2011). *Smart Grid: Integrating Renewable, Distributed and Efficient Energy*. Academic Press.
Smart meters / José Manuel Carou Alvarez. (2023). *ScienceDirect*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780128212042000672>
Tuser, C. (n. d.). *What is Advanced Metering Infrastructure (AMI)?* WaterWorld. <https://www.wwdmag.com/what-is-articles/article/10940067/what-is-advanced-metering-infrastructure-ami>
Ugale, P. S. (2018). *Multifunctional Automated System For Monitoring Performance Of Solar Pv Panel*. Neliti. <https://www.neliti.com/publications/342532/multifunctional-automated-system-for-monitoring-performance-of-solar-pv-panel>
Zaitsev, I., Bereznichenko, V., Zakusylo, S., & Antonenko, A. (2022). SMART tools for determining emergency states in urban distribution electrical networks. *Tavriya Scientific Bulletin. Series: Technical Sciences*, 5, 3–12 [in Ukrainian] <https://doi.org/10.32851/tnv-tech.2022.5.1>

Отримано редакцією журналу / Received: 13.09.24

Прорецензовано / Revised: 23.09.24

Схвалено до друку / Accepted: 01.10.24

Anton AFANASIEV, Student
ORCID ID: 0009-0003-7126-1726
e-mail: antonaf2003@gmail.com
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

Ievgen ZAITSEV, DSc (Engin.), Prof.
ORCID: 0000-0003-3303-471X
e-mail: zaitsev@i.ua
Institute of Electrodynamics of the National Academy
of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

AUTOMATED INFORMATION SYSTEM FOR MONITORING SOLAR PANEL PARAMETERS

This article addresses the growing need for efficient monitoring of solar panel parameters in the context of increasing reliance on renewable energy sources. The paper explores the development of an automated information system for monitoring solar panel parameters, aimed at optimizing energy consumption and generation. The system is designed to calculate energy consumption intervals, track solar panel illumination levels to evaluate installation efficiency, and detect surface contamination, ensuring peak performance. The article discusses sensor integration, data analysis, and system architecture to improve the effectiveness of renewable energy production.

Keywords: *solar panels, renewable energy, automated monitoring, energy consumption, solar energy optimization, data analysis, system architecture.*

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів. Спонсори не брали участі в розробленні дослідження; у зборі, аналізі чи інтерпретації даних; у написанні рукопису; в рішенні про публікацію результатів.

The authors declare no conflicts of interest. The funders had no role in the design of the study; in the collection, analyses or interpretation of data; in the writing of the manuscript; or in the decision to publish the results.