

УДК 004.89:621.311.243

DOI: 10.31673/2412-9070.2024.034347

А. В. КАЗНАЧЕСЬВА, викладач, ORCID: 0009-0009-6713-8112,

А. В. ЗАЯЧКОВСЬКИЙ, студент, ORCID: 0009-0004-2171-6451,

В. О. ЗАВАЦЬКИЙ, викладач, ORCID: 0009-0005-5297-4127,

К. П. СТОРЧАК, доктор техн. наук, професор, ORCID: 0000-0001-9295-4685,

Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій, Київ

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ РОЗУМНОГО ОЧИЩЕННЯ СОНЯЧНИХ ЕНЕРГОМОДУЛІВ СТАНЦІЇ АВТОНОМНОГО ЖИВЛЕННЯ

Сонячна енергія, як ключове джерело відновлювальної енергії, відкриває безмежні перспективи для станцій автономного живлення. Однак, для забезпечення найвищого рівня продуктивності сонячних панелей, необхідно удосконалити процеси їх обслуговування. Здійснюється аналіз традиційних методів очищення та відокремлюються переваги використання розумних систем, дослідження технології розумного очищення сонячних енергомодулів, що застосовуються в станціях автономного живлення. Розглядаються сучасні підходи до очищення, які використовують Інтернет речей (IoT), дрони, мобільні роботи та інші інноваційні технології для оптимізації продуктивності сонячних панелей [1].

Ключові слова: сонячні енергомодулі; станції автономного живлення; технології очищення; Інтернет речей (IoT); мобільні додатки для енергетики; оптимізація ресурсів; розумні технології в енергетиці.

Вступ

Сучасний світ стрімко рухається до збалансованої та сталої енергетики, зосереджуючись на використанні сонячної енергії як одного з ключових джерел відновлювальної енергії. Сонячні енергомодулі, що втілюють у собі потенціал безмежного джерела чистої енергії, зазнають все більшого використання в станціях автономного живлення. Однак, для забезпечення їх найвищої продуктивності важливо не лише розвивати нові технології, але й удосконалити процеси обслуговування.

Одним з ключових викликів є збереження чистоти поверхні сонячних панелей, оскільки навіть невелике забруднення може впливати на їхню ефективність. В цьому контексті виникає актуальне дослідження технології розумного очищення, де використання інноваційних рішень та високотехнологічних систем може визначити нові стандарти в області сонячної енергетики [2].

Огляд останніх досліджень та публікацій. Значний внесок у розвиток аналізу питань трансформації енергетичних мереж з використанням смарт-технологій зробили вчені, такі як Conci, M., Facci, A. L., Feron, S., Ghiani, E., Long, Y., Lopes, G. N., López-González, A., Luján, E., Minucci, S., Purohit, I., Wang, Z., а також інші. Ряд досліджень зосереджувався на оцінці різних параметрів енергомереж та вивченні можливостей впровадження смарт-технологій.

Conci, M., та Schneider, J., провели аналіз проєктів редевелопменту мікрорайонів, де застосовувалися розумні технології, охоплюючи технології виробництва та розподілу енергії, а також гібридні теплові та електричні технології зберігання енергії [1]. У роботі [2] вивчалася стійкість проєктів

електрифікації населених пунктів, враховуючи вимоги та загрози впровадження результатів проєктів. Ghiani, E., Giordano, A., Nieddu, A., Rosetti, L., та Pilo, F. [2] досліджували стратегічні можливості декарбонізації енергетичного сектору, зосереджуючись на плануванні переходу від існуючої пасивної розподільчої системи муніципалітету до розумного місцевого енергоспоживання.

Узагальнюючи, дослідження трансформації енергетичних мереж отримало значний інтерес вчених, і в останні роки цей інтерес значно зріс. Важливо провести систематизацію та кластеризацію таких досліджень для забезпечення більшого розуміння важливих аспектів цієї теми.

Мета та задачі дослідження — вивчення технології розумного очищення сонячних енергомодулів, спеціально призначених для станцій автономного живлення.

Основна частина

Традиційні методи очищення сонячних панелей IoT — це ті, які використовують воду, миючі засоби та м'які ганчірки або щітки для видалення пилу, бруду та інших забруднень з поверхні панелей, але також використовують Інтернет речей (IoT) для контролю та оптимізації процесу очищення. Інтернет речей — це мережа пристроїв, які підключені до Інтернету та можуть обмінюватися даними та командами. Деякі приклади традиційних методів очищення сонячних панелей IoT — це:

- Додаток для смартфона, який дозволяє користувачам віддалено моніторити стан сонячних панелей, визначати рівень забруднення, встановлювати розклад очищення, вибирати методи та

матеріали для очищення, отримувати повідомлення про результати та поради.

- Сенсори, які встановлені на сонячних панелях, які вимірюють рівень освітлення, температуру, вологість, кут нахилу, потужність вироблення енергії та інші параметри, які впливають на ефективність панелей. Сенсори також можуть виявляти наявність пилу, пташиного посліду, опалого листя та інших забруднень на поверхні панелей.

- Актуатори, які встановлені на сонячних панелях, які можуть регулювати кут нахилу, напрямку, висоту та інші характеристики панелей, щоб забезпечити оптимальну експозицію на сонці. Актуатори також можуть активувати системи очищення, такі як шланги, насоси, розпилювачі, щітки, ганчірки тощо, щоб змити або витерти забруднення з поверхні панелей.

- Контролер, який з'єднує сенсори, актуатори, додаток для смартфона та Інтернет, який аналізує дані, отримані від сенсорів, та видає команди актуаторам, щоб налаштувати та очистити сонячні панелі. Контролер також надсилає дані та повідомлення до додатку для смартфона, щоб інформувати користувачів про стан та результати очищення [4].

Використання пристроїв для очищення сонячних панелей з використанням Інтернету речей (IoT) може значно полегшити та оптимізувати процес догляду за сонячними енергомодулями. Розглянемо кілька типів пристроїв, які можуть бути використані в цій сфері.

1. Автономні роботи для очищення.

1) *мобільні автономні роботи*, оснащені м'якими щітками або іншими системами очищення, можуть автоматично рухатися вздовж рядів сонячних панелей та видаляти пил та інші забруднення.

Концепція та технології, які використовуються в автономних роботах для очищення сонячних панелей:

- EcoRobotix розробляє мобільний робот, оснащений сонячною батареєю та системою очищення, які автоматично можуть рухатися між рядами сонячних панелей та видаляти забруднення. Робот використовує м'які щітки для ефективного очищення без пошкодження поверхні панелей. Автономія робота дозволяє йому працювати безперервно.

- HeliosLite використовує мобільний робот, який може пересуватися вздовж стійок сонячних трекерів та видаляти забруднення з панелей. Робот обладнаний щітками та системою очищення для підтримання оптимальної ефективності сонячних трекерів.

- QBotix використовує роботизовані системи, які переміщуються вздовж шин трекерів і чистять сонячні панелі. Робот може координувати свій рух зі сонячними трекерами та використовувати щітки для ефективного очищення.

2) *дрони* можуть бути використані для обстеження та очищення великих областей сонячних ферм.

Розглянемо кілька прикладів дронів, які використовуються для обстеження та очищення сонячних панелей.

Skysense Solar виробляє дрони, спеціально призначені для обстеження та очищення сонячних панелей, які оснащені камерами високої роздільної здатності для обстеження стану панелей, має систему розпилення води або очищувальних розчинників для автоматичного очищення.

Aerial Power розробляє дрони, оснащені робочими рукоятками для очищення сонячних панелей. Дрон автоматично приземляється та взаємодіє з поверхнею панелей, використовуючи щітки або інші очищувальні пристрої.

Sunflower Labs використовує дрони для безпеки сонячних ферм, але їх також можна адаптувати для обстеження та очищення панелей, які оснащені камерами та можуть взаємодіяти з очищувальними пристроями для підтримання ефективності сонячних панелей.

Dronux виробляє спеціалізовані дрони для автоматичного очищення сонячних панелей. Дрон оснащений системою розпилення води або очищувальних розчинників і автоматично пристосовує свій рух для оптимального покриття всіх панелей [10].

2. Системи з вбудованими сенсорами та камерами.

1) *системи моніторингу*. Спеціальні сенсори для виявлення рівня забруднення можуть відправляти дані в хмарне сховище, де їх аналізують для подальшого прийняття рішень.

Системи моніторингу SolarEdge Monitoring System сонячних панелей із спеціальними сенсорами та відправкою даних в хмарне сховище. SolarEdge використовує сенсори для моніторингу струму, напруги та температури на кожній сонячній панелі. Дані з сенсорів автоматично відправляються в хмарне сховище SolarEdge для аналізу. Оператори відслідковують ефективність кожної панелі, виявляти аномалії та отримують сповіщення про несправності або забруднення.

SolarEdge Monitoring System використовує теплові та метеорологічні сенсори для визначення температури панелей та метеорологічних умов. Зібрані дані надсилаються в хмарне сховище для обробки та аналізу. Система надає інсайти з енергомодулів, виявляє забруднення та визначає оптимальний час для очищення.

Heliolytics використовує оптичні сенсори для вимірювання якості світла та виявлення забруднень на поверхні панелей. Зібрані дані передаються в хмарне сховище для подальшого аналізу та прийняття рішень. Система надає детальні дані

про продуктивність панелей та виявляє проблеми забруднення чи пошкодження [8].

2) *вбудовані камери* використовуються для візуального виявлення забруднення та оцінки ступеня ефективності сонячних панелей.

Концепція та технологія, які використовують вбудовані камери для візуального виявлення забруднень та оцінки ефективності сонячних панелей:

Skytron's Solar Panel використовує дрон, оснащений вбудованою камерою та обробкою зображень для візуальної інспекції сонячних панелей. Аналіз зображень для виявлення забруднень, тріщин або інших дефектів. Генерація звітів із зображень для оцінки стану сонячних модулів.

SunEye's Solar використовує робота, обладнаного камерою та системою комп'ютерного зору для візуального сканування сонячних панелей. Аналіз стану сонячних панелей та виявлення забруднень чи пошкоджень. Передача даних для моніторингу та аналізу.

Вбудовані камери в системі моніторингу Solar Analytics для візуальної інспекції сонячних панелей. Система використовує алгоритми для виявлення забруднень та визначення їх впливу на продуктивність. Зображення та звіти доступні через мобільний додаток або веб-платформу [7].

3. Системи автоматичного розпилення.

1) *системи IoT* можуть автоматично включати розпилювачі або очищувальні розчинники для видалення забруднень з поверхні сонячних панелей.

Концепції систем очищення сонячних панелей з використанням розпилювачів води або очищувальних розчинників, які можуть бути інтегровані з Інтернетом речей (IoT):

- *Escorpio's Water-Free Solar Panel Cleaning* використовує розпилювачі повітря для видалення пилу та інших забруднень, уникнувши при цьому використання води. Датчики метеорологічних умов для адаптивного регулювання частоти очищення. Дані передаються в хмарні сховища для аналізу та моніторингу.

- *HelioClean's Smart Cleaning System* використовує розпилювачі води, які можуть бути додатково оснащені спеціальними розчинниками для більш ефективного очищення. Система моніторингу забруднень з віддаленим керуванням через мобільний додаток або веб-інтерфейс. Використання датчиків для аналізу ефективності очищення.

- *SunBrush Mobile's Robotic Cleaning System* використовує роботів з розпилювачами води та щітками для очищення сонячних панелей. Датчики забруднення та метеорологічні датчики для автоматичного регулювання процесу очищення. Віддалене керування через IoT-платформу [6].

2) *системи оптимізації споживання ресурсів IoT* можуть враховувати метеорологічні умови,

рівень забруднення та інші фактори для оптимізації використання води та енергії під час процесу очищення.

Наприклад, *Atonarp's Smart Cleaning System* — це система оптимізації споживання ресурсів з використанням Інтернету речей (IoT) для очищення сонячних панелей. *Atonarp* розробляє розумну систему очищення для сонячних панелей, яка використовує IoT-технології. Система використовує датчики для моніторингу метеорологічних умов, таких як очікувані опади, температура і вітер. Вбудовані датчики вимірюють рівень забруднення сонячних панелей. Система отримує дані про прогноз погоди з Інтернету. Алгоритми обробки даних враховують метеорологічні умови та рівень забруднення для оптимізації розподілу ресурсів. Оператори можуть віддалено налаштовувати параметри системи та слідкувати за її роботою через веб-інтерфейс або мобільний додаток.

Система використовує дані про прогноз погоди для попередження зайвого використання води у випадках, коли очікується дощ або інші умови, які сприятимуть самоочищенню. Датчики забруднення дозволяють оптимізувати частоту та інтенсивність процесу очищення, ефективно використовуючи воду та енергію [3; 4].

4. Віддалені системи керування.

1) через *мобільні додатки* оператори можуть віддалено керувати процесом очищення через мобільні додатки, отримувати сповіщення про стан сонячних панелей та вживати заходів при необхідності.

Деякі приклади мобільних додатків, які дозволяють віддалено керувати процесом очищення сонячних панелей та отримувати сповіщення про їхній стан.

Додаток *SolarEdge Monitoring* від компанії *SolarEdge* дозволяє моніторити продуктивність сонячних панелей та їх стан в режимі реального часу. Також можна віддалено керувати параметрами системи та отримувати повідомлення про будь-які аномалії. Доступний для iOS та Android.

Додаток *Enlighten* від *Enphase Energy* дозволяє відстежувати ефективність сонячних панелей, перевіряти виробництво електроенергії та віддалено управляти енергосистемою. Доступний для iOS та Android.

Клієнти *Tesla* можуть використовувати додаток *MySolarCity* для віддаленого моніторингу та управління системами сонячних панелей. Вони можуть отримувати сповіщення про стан обладнання та взаємодіяти з сервісом підтримки. Доступний для iOS та Android.

Додаток *Home Assistant* є відкритим джерелом та дозволяє інтегрувати різні розумні пристрої, включаючи системи очищення сонячних панелей. Це надає можливість віддаленого керування та

моніторингу через один інтерфейс, доступний для iOS та Android [5].

2) у *хмарні системи* передаються дані з пристроїв для зручного моніторингу та аналізу.

Прикладів хмарної системи для моніторингу та аналізу даних з пристроїв очищення сонячних панелей є платформа Microsoft Azure IoT, яка надає рішення для Інтернету речей, що включає в себе хмарні служби для збору, аналізу та візуалізації даних.

Azure IoT Hub дозволяє збирати дані з пристроїв, таких як сенсори та роботи для очищення сонячних панелей. Сервіси Azure Stream Analytics і Azure Machine Learning можуть використовуватися для аналізу потокових даних і виявлення змін або аномалій, пов'язаних із станом сонячних панелей та процесом очищення. Дані зберігаються в хмарному сховищі Azure Blob або Azure SQL Database. Для візуалізації даних можна використовувати сервіс Power BI, який надає гнучкі інструменти для створення звітів та графіків.

Використання IoT у пристроях для очищення сонячних панелей дозволяє забезпечити ефективне та автоматизоване управління процесом, що призводить до збільшення продуктивності сонячних енергомодулів та економії ресурсів.

Висновки

У світлі швидкого розвитку використання сонячної енергії для станцій автономного живлення, технології розумного очищення сонячних енергомодулів стають ключовим аспектом для забезпечення найвищого рівня продуктивності цих систем. За допомогою високотехнологічних підходів та інновацій, дослідження в даній статті розглядали різноманітні аспекти технологій розумного очищення, висвітлюючи переваги та потенційні перспективи їх впровадження.

Одним з важливих висновків є визнання того, що традиційні методи очищення сонячних панелей, хоча ефективні, не завжди відповідають вимогам автономних систем. Технології Інтернету речей (IoT) виявились ключовим інструментом для оптимізації цих процесів. Вони дозволяють віддалено контролювати та моніторити стан сонячних панелей, автоматизуючи процеси очищення [5; 9].

Мобільні додатки та системи оптимізації споживання ресурсів стають необхідними компонентами для операторів станцій. Вони надають можливість віддалено керувати та моніторити процес очищення, а також оптимізувати використання ресурсів в залежності від метеорологічних умов та рівня забруднення.

Пристрої з використанням IoT, такі як розпилювачі води, вбудовані камери та мобільні роботи, вже демонструють свою ефективність на практи-

ці, автоматизують процес очищення, забезпечуючи ефективно та точно видалення забруднень.

І важливим моментом є те, що дрони та системи моніторингу, які використовують сенсори для виявлення рівня забруднення, відкривають нові можливості для обстеження та очищення великих областей сонячних ферм [8].

Усі ці технологічні рішення стають кроком уперед у забезпеченні стабільності та продуктивності сонячних енергомодулів станцій автономного живлення. Оптимізація та використання інновацій у цьому напрямку має значущий потенціал для покращення роботи сонячних енергетичних систем у віддалених та автономних областях.

Список використаної літератури

1. Barry Haughian *Design, Launch, and Sacle IoT Services: A Practical Business Approach* / Barry Haughian: Apress, 2018. 292 с.

2. Brian Russel *Practical Internet of Things Security* / Brian Russel, Drew Van Duren: Packt Publishing, 2018. 382 с.

3. Claire Rowland *User Experience Design for the Internet of Things* / Claire Rowland: O'Reilly Media, Inc., 2015.

4. Gilad Rosner *Privacy and the Internet of Things* / Galid Rosnar: O'Reilly Media, Inc., 2016.

5. *IoT Security* / Madhusanka Liyanage, An Braeken, Pardeep Kumar, Mika Ylianttila: Wiley, 2020. 304 с.

6. В Ізраїлі розробили автономні дрони для очищення сонячних станцій. [Електронний ресурс]. URL:

<https://agrarii-razom.com.ua/news-agro/v-izraili-rozrobili-avtonomni-droni-dlya-ochishennya-sonyachnih-stanciy>

7. В Італії створили робота, який чистить сонячні батареї без води чи газу. [Електронний ресурс]. URL:

<https://www.ukrinform.ua/rubric-technology/3744740-v-italii-stvorili-robotu-akij-cistit-sonacni-batarei-bez-vodi-ci-gazu.html>

8. Інтернет речей. Lanmarket: [Електронний ресурс]. URL:

<https://lanmarket.ua/stats/internet-veshchey-lora-ustroystva-ot-mikrotik/>

9. Обладнання для очищення сонячних панелей. [Електронний ресурс]. URL:

<https://vinmashpostach.com.ua/category/ochistnoe-oborudovanie-dlya-solnechnyh-elektrostantsiy/>

10. Система очищення сонячних панелей. [Електронний ресурс]. URL:

https://uk.mailelysolar.com/solar-panel-cleaning-machine_cb

A. Kaznacheieva, A. Zayachkovskiy, V. Zavatsky, K. Storchak

STUDY OF THE TECHNOLOGY OF SMART CLEANING OF SOLAR POWER MODULES OF AN AUTONOMOUS POWER STATION

The advancement of solar technology has facilitated the development of autonomous power stations that primarily rely on solar energy. This article delves into the crucial role that smart cleaning technologies play in enhancing the efficiency of these solar power modules. Solar panels, pivotal in harnessing solar energy, require regular and effective cleaning to maintain their efficiency. Traditional cleaning methods, although somewhat effective, are increasingly becoming insufficient due to the evolving demands of autonomous systems.

The focus of this research is on the innovative integration of the Internet of Things (IoT) technologies to optimize the cleaning process. IoT not only enables remote monitoring and control but also automates the cleaning process through advanced algorithms that assess environmental data and panel conditions. This optimization ensures that the panels operate at peak efficiency by scheduling cleaning sessions based on actual needs rather than fixed intervals.

Specifically, the study explores various smart devices such as autonomous robots and drones equipped with sensors and cleaning systems. These devices perform tasks ranging from dust detection to thorough cleaning without manual intervention, significantly reducing the labor cost and time involved in maintaining large solar farms. The use of embedded sensors and cameras facilitates real-time monitoring of the panels' conditions, detecting any inefficiencies or malfunctions early.

Furthermore, this article highlights the potential of mobile applications in smart cleaning systems. These applications provide operators with real-time data analysis, system status updates, and the flexibility to adjust operational parameters remotely. This capability not only enhances the responsiveness of the maintenance teams but also contributes to a proactive maintenance culture, preventing potential downtimes.

In conclusion, smart cleaning technologies, powered by IoT and supported by innovative hardware and software solutions, represent a significant advancement in the field of renewable energy. They ensure that solar power modules operate at their highest potential, thereby supporting the broader goal of sustainable and efficient energy use in autonomous power stations. This research underscores the transformative impact of integrating smart technologies in the renewable energy sector, suggesting that continued innovation in this area is essential for the future of sustainable energy infrastructure.

Keywords: solar energy modules; autonomous power stations; cleaning technologies; Internet of Things (IoT); mobile applications for energy; resource optimization; smart technologies in energy.

