

## ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ ПРОГРАМИ SYSTEM ADVISOR MODEL ПІД ЧАС ПРОЄКТУВАННЯ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

Сотнік О. В., аспірант, e-mail: [sidi.leha@gmail.com](mailto:sidi.leha@gmail.com)

Мороз О. М., д.т.н., проф., e-mail: [moroz.an@ukr.net](mailto:moroz.an@ukr.net)

Державний біотехнологічний університет

**Актуальність дослідження.** У 2022 році кількість сонячних електростанцій (СЕС) у світі зросла на 239 ГВт, це на 45% більше, ніж роком раніше. Експерти прогнозують глобальний прогноз розвитку сонячної енергетики близько 800 ГВт енергії від сонячних панелей у 2027 році [1-4]. У 2020 році середня світова вартість виробництва електроенергії на сонячних електростанціях становила 0,131 \$/кВт·год [2]. За оцінками аналітичних агентств, в найближчі 10-20 років слід очікувати значного зниження вартості обладнання, що входить до складу сонячної електростанції. Зокрема, International Renewable Energy Agency (IRENA) прогнозує зниження вартості фотоелектричних модулів на 59% до 2025 року [3], Bloomberg – на 60% до 2040 року [3]. За прогнозами IRENA, до 2030 року вартість свинцево-кислотних та літій-іонних систем зберігання енергії знизиться на 48% та 58% відповідно. З метою прогнозування техніко-економічних показників при прийнятті рішень щодо проектування сонячної СЕС використовуються різноманітні комп'ютерні прикладні програми, зокрема програма System Advisor Model (SAM), яка розроблена National Renewable Energy Laboratory (США).

**Мета дослідження.** Дослідження можливостей програми System Advisor Model (SAM) для проектування та прогнозування режимів роботи СЕС.

**Основні матеріали дослідження.** SAM [5] - це пакет, що містить бібліотеки основи симуляції Simulation Core (SSC) та набір інструментів для розробки програмного забезпечення, які дозволяють розробникам моделей створювати власні інтерфейси для модулів симуляції, як веб- так і настільних додатків. Процес проектування фотоелектростанції (ФЕС) у SAM включає декілька етапів, від визначення цілей проєкту до вибору обладнання та налаштування системи. SAM надає такі можливості [6]:

1. Створення проєкту: початкова сторінка SAM дозволяє користувачам створювати нові проєкти, вибирати енергосистему (наприклад, ФЕС) та обирати між детальною моделлю ФЕС SAM або спрощеною моделлю PVWatts для отримання попередніх результатів.

2. Вибір компонентів: користувачі можуть вибирати модулі та інвертори з бібліотеки SAM або вводити специфікації, якщо бажане обладнання відсутнє у списку. SAM надає детальну інформацію про кожен компонент, що сприяє ухваленню обґрунтованих рішень.

3. Розрахунок стрінгів та орієнтація: SAM потребує вказання кількості модулів у стрінгу, конфігурації інвертора та орієнтації підмасивів для оптимальної роботи системи.

4. Дані про погоду: SAM інтегрує метеорологічні дані з таких джерел, таких як National base of solar radiation (NSRDB), для точного моделювання кліматичних умов. Користувачі можуть вказувати параметри, обраної ними місцевості, такі як широта та довгота, для завантаження найбільш релевантних метеорологічних даних.

5. Моделювання продуктивності та фактори втрат: модель продуктивності SAM розраховує вихідну потужність системи на погодинній основі з урахуванням ключових змінних, таких як доступність сонячного світла, температура навколишнього середовища, затінення, забруднення та інші фактори навколишнього середовища. Важливі моменти включають: а) втрати через затінення, забруднення та сніг: SAM враховує втрати енергії через ці фактори, які змінюються залежно від пори року та погодних умов; б) ефективність інвертора та модуля: програмне забезпечення дозволяє вибирати модулі з високою ефективністю або конкретні конфігурації інвертора для оптимізації виходу та зменшення втрат енергії.

6. Аналіз P50/P90: цей аналіз особливо корисний для фінансового планування, оскільки проєктує ймовірність виробництва енергії від 50% до 90%, надаючи інвесторам уявлення про можливу мінливість річного виробництва.

7. Програма SAM вміщує в собі інструменти для симуляції та прогнозування показників продуктивності. Симуляційний механізм SAM є потужним інструментом для візуалізації та

аналізу вихідних даних за різними сценаріями. Він включає різні види перегляду для погодинного, місячного та річного виробництва, а також такі показники як: річний вихід енергії (SAM розраховує загальний обсяг виробленої енергії за рік, що є корисним для оцінки, чи відповідає системним цілям при виробництві енергії); фактор потужності (відсоток фактичного виходу відносно максимально можливого за певний період, що вказує на ефективність системи); енергетичну віддачу та коефіцієнт продуктивності (показники енергії на одиницю потужності та ефективності за різних умов експлуатації). SAM має вкладку аналізу температурних втрат, яка наочно показує, де втрачається енергія в системі, від втрат опромінення до втрат ефективності інвертора, надаючи чітке уявлення про продуктивність системи.

8. Розширені опції проектування за допомогою параметричного аналізу. Параметричний аналіз у SAM дозволяє користувачам запускати кілька симуляцій для визначення оптимального дизайну та компоновки для різних за потужністю ФЕС. Основні конфігурації включають: ground coverage ratio (GCR), цей коефіцієнт є показником щільності розташування рядів панелей на землі. Нижчий GCR мінімізує використання землі, але збільшує затінення, тоді як вищий GCR зменшує затінення, але вимагає більше використання земельних площ. Цей баланс є вирішальним для проектів, так як буде збільшено орендну плату за використання землі.

9. Варіанти трекінгу: SAM дозволяє користувачам експериментувати з фіксованими та одно- або двовісними трекарами. Трекінгові системи суттєво підвищують вихідну потужність модулів, відслідковуючи рух сонця, але вони вимагають більш високих витрат на установку.

10. Інтеграція зовнішніх даних і стандартних модулів [7]: SAM сумісний з різними форматами даних, що дозволяє користувачам імпортувати реальні дані або дані з інших моделей, таких як PVsyst, для порівняння продуктивності системи. Ця можливість корисна для користувачів, які проводять паралельний аналіз програмного забезпечення або працюють з попередньо записаними даними.

11 Двосторонні модулі та моделювання ФЕС. Двосторонні модулі стають дедалі популярнішими у ФЕС завдяки здатності захоплювати сонячне світло з обох боків. SAM пропонує функцію моделювання двосторонніх модулів, що дозволяє користувачам вводити параметри, такі як коефіцієнт передачі та висота над землею, для точного моделювання.

**Висновок.** SAM надає комплексну і гнучку платформу для моделювання ФЕС від невеликих домогосподарств до великих комунальних проектів. Завдяки інтеграції погодних даних, бібліотек компонентів та детальних варіантів моделювання SAM допомагає користувачам оптимізувати продуктивність системи та оцінити життєздатність проектів, що робить його цінним інструментом в галузі сонячної енергетики.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- 1 Global Market Outlook for Solar Power 2024–2028 URL: <https://solarpowereurope.org>
2. P. Komada, et al, “The incentive scheme for maintaining or improving power supply quality,” *Przeglad Elektrotechniczny*, 2019, 95 (5), pp. 79-82. <https://doi.org/10.15199/48.2019.05.20>.
3. E. Kabir, P. Kumar, S. Kumar, A. Adelodun, and Ki-Hyun Kim. “Solar energy: Potential and future prospect,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2018, vol. 82, № 1, pp. 894-900. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.09.094> “Renewable Energy Statistics 2022,” IRENA, 2022.
4. P. Lezhniuk, V. Komar, M. Belik, O. Rubanenko and I. Smaglo, “Analysis of technical conditions influencing the operation of PV power stations cooperating with controlled power grids,” 2022 IEEE 4th International Conference on Modern Electrical and Energy System (MEES), Kremenchuk, Ukraine, 2022, pp. 1-6, <https://doi.org/10.1109/MEES58014.2022.10005686>.
5. System Advisor Model (SAM). URL: <https://sam.nrel.gov/>.
6. System Advisor Model (SAM). URL: <https://www.nrel.gov/docs/fy18osti/72360.pdf>
7. System Advisor Model (SAM). URL: <https://www.nrel.gov/docs/fy18osti/67399.pdf>