

УДК 621

Степаненко В.А.
Веремійчук Ю.А., к.т.н., доцент.
Кафедра електропостачання

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ГЕНЕРАЦІЇ ДАХОВОЇ СЕС КОРПУСУ №22

Анотація: В статті розглянуто ефективність генерації сонячної електростанції, що знаходиться на даху навчального корпусу №22 КПІ ім. Ігоря Сікорського. Здійснено моделювання роботи СЕС за допомогою програмного забезпечення та проведено порівняльний аналіз генерації електричної енергії з експериментальними даними. Встановлено, що на ефективність роботи СЕС впливає затінення фотомодулів у ранковий і вечірній час. В результаті експериментального вимірювання виявлено, що присутнє часткове затінення панелей обмежує генерацію електричної енергії на 80 %.

Ключові слова: фотоелектричний модуль, сонячна панель, генерація електричної енергії, ефективність сонячної електростанції, моделювання генерації.

Abstract: The article considers the efficiency of generation of a solar power station located on the roof of the educational building №22 Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute. Modeling of solar power station operation with the help of software is carried out and the comparative analysis of electric power generation with experimental data is carried out. It is established that the efficiency of solar power station is affected by the shading of photomodules in the morning and evening. As a result of experimental measurement, it was found that the present partial shading of the panels limits the generation of electrical energy by 80 percent.

Keywords: photoelectric module, solar panel, electricity generation, solar power plant efficiency, generation modeling.

Вступ. В даний час світовий попит на енергію зростає за межі встановлених виробничих потужностей, тому для ефективного задоволення майбутніх потреб в сфері енергетики необхідно покращувати енергетичну безпеку та активно досліджувати варіанти впровадження та роботи альтернативних джерел енергії. Ефективне енергетичне рішення повинно мати можливість ряду довгострокових проблем, використовуючи альтернативні та поновлювані джерела енергії. Серед багатьох відновлюваних джерел енергії сонячна енергія є найбільш поширеним елементом в структурі енергетичних вузлів та інтегрованих енергопостачальної системи, оскільки вона широко доступна як з точки зору джерела, так і з точки технологій [1, 2].

Сонячна енергетика в Україні зазнала феноменального зростання в останні роки завдяки технологічним удосконаленням, що призводять до скорочення витрат, а також урядової політики, що підтримує розвиток та використання відновлюваної енергії. Встановлена потужність СЕС в Україні складає 4368 МВт це складає 78,61% від потужності обладнання ВДЕ [3].

За даними Державного агентства з енергоефективності та енергозбереження України [4] загальна потужність сонячних електростанцій, встановлених у домогосподарствах країни, сягає 618 МВт, завдяки якій можна генерувати більше 700 млн. кВт-год електроенергії у рік. Важливо, що це мала розподілена генерація, яка дозволяє використовувати енергію в точці виробництва. Станом на 1 квітня 2020 року 24 139 домогосподарств встановили сонячні електростанції на своїх ділянках.

Для аналізу роботи СЕС основним параметром є ефективність сонячної панелі, яку визначають при стандартних умовах тестування фотоелектричного модуля. Стандартними

умовами є температура навколишнього середовища 25 °C і 1000 Вт/м² світлового потоку спектра АМ 1.5G. Для популярних полікристалічних сонячних панелей ККД становить від 16% до 17,5%. У монокристалічних сонячних батареях цей параметр вище і становить від 17% до 19%[5,6].

Втім на практиці ефективність роботи сонячної електростанції залежить від багатьох чинників. Крім відхилення від стандартних умов, важливими факторами є азимут і кут нахилу фотоелектричних модулів, що обумовлює також відстань між ними з урахуванням взаємного затінення. Крім можливого взаємного затінення потрібно уникати і інших факторів, що зменшують генерацію електричної енергії.

Мета та завдання. Метою даної роботи є визначення ефективності функціонування дахової СЕС корпусу №22. Відповідно до поставленої мети головними завданнями є аналіз генерації електричної енергії, моделювання роботи СЕС за допомогою програмного забезпечення та визначення факторів, що можуть негативно впливати на її роботу.

Матеріал і результати досліджень.

Сонячна електрична станція корпусу №22, схема якої представлена на рис. 1, була введена в експлуатацію з травня 2019 року і востаннє була модифікована в лютому 2020 року. До основного обладнання СЕС можна віднести: мережевий інвертор марки JFY3000, котрий має два трекери, до яких підключено фотоелектричні модулі. В перший стрінг об'єднані 9 панелей різного типу сумарною потужністю 1,74 кВт Другий стрінг утворюють 5 послідовно з'єднаних монокристалічних кремнієвих панелей марки M300-M156-60BK потужністю 300 Вт кожна.

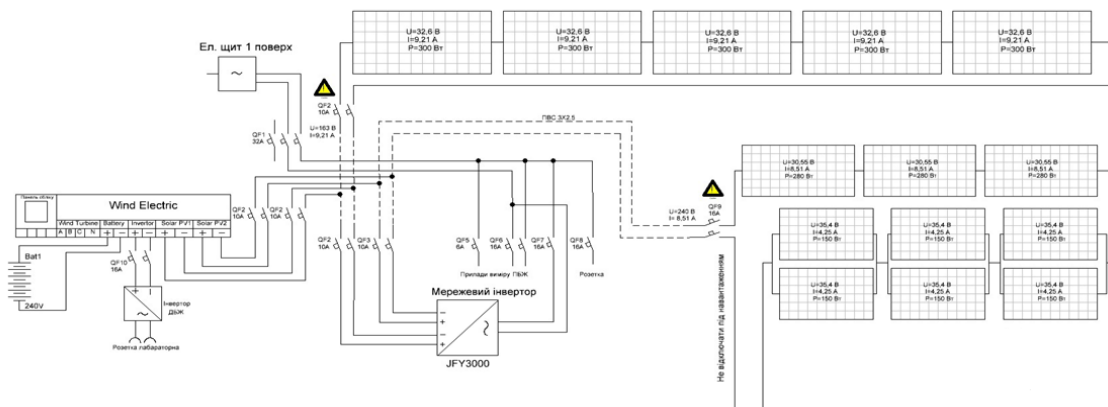


Рисунок 1 – Схема дахової СЕС корпусу №22

На рисунку 2 представлена динаміка зміни генерації електричної енергії за період часу, протягом якого працювала дахова СЕС корпусу № 22.

Для оцінювання ефективності роботи дахової СЕС було проведено порівняння генерації електричної енергії панелями марки М300-М156-60ВК за січень - квітень 2020 року з даними, отриманими за допомогою програмного забезпечення System Advisor Model.

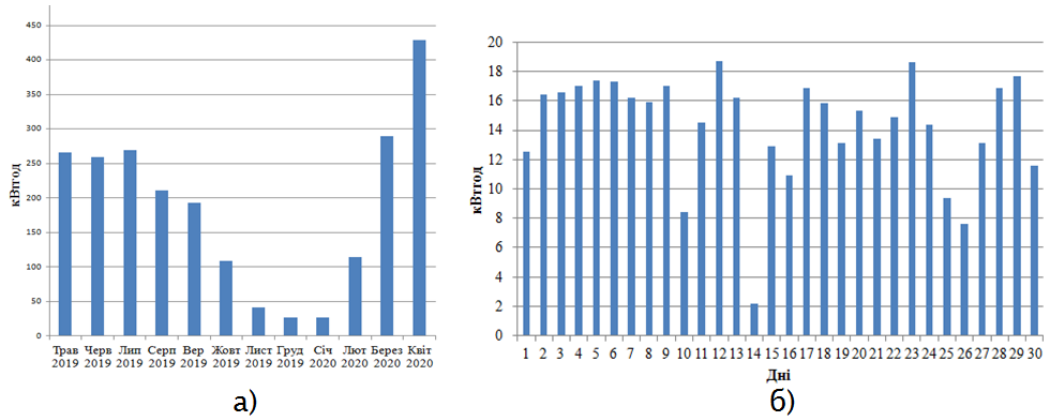


Рисунок 2 – Генерація електричної енергії дахової СЕС корпусу №22 помісячно (а) та за квітень 2020 року (б)

На початку здійснено моделювання генерації електричної енергії за допомогою програмного забезпечення System Advisor Model (SAM) [7]. Програма обчислює електричну потужність фотоелектричної системи, використовуючи окремі модульні та інверторні моделі (рис. 3). Також фотоелектрична модель оцінює втрати внаслідок впливу температури на працездатність модуля і має варіанти розрахунку втрат у системі.

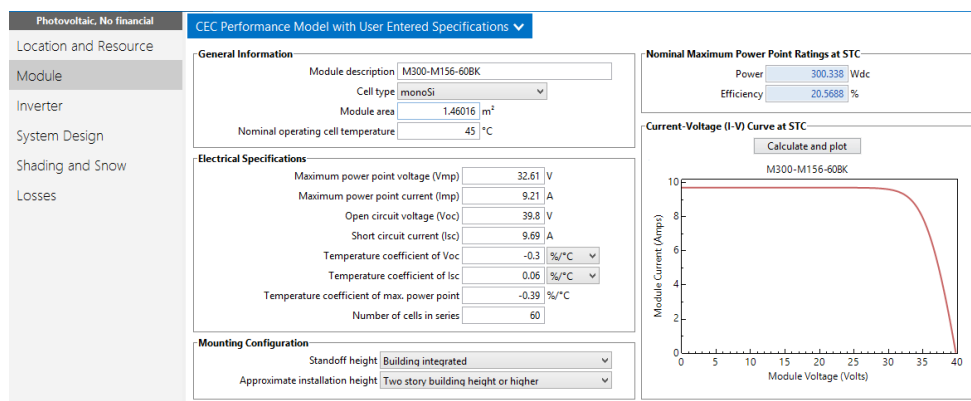


Рисунок 3 – Вікно програми System Advisor Model

Проте дане програмне забезпечення дозволяє отримати генерацію електричної енергії панелями лише однієї марки, тому на рис. 4 представлені промодельовані результати для другого потоку.

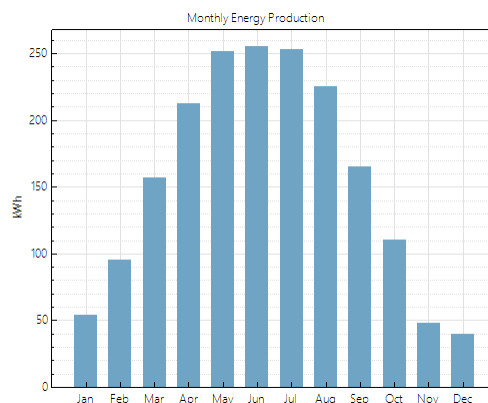


Рисунок 4 – Результати моделювання генерації панелями марки M300-M156-60BK
На рис. 5 помітно значне відхилення генерації електричної енергії у зимові місяці.

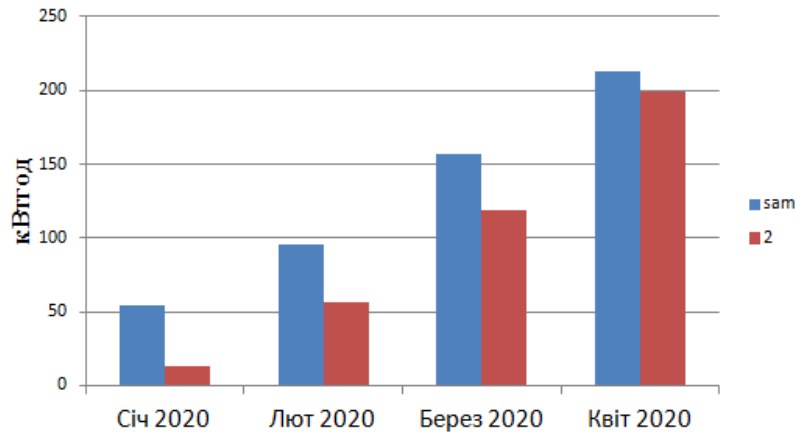


Рисунок 5 – Порівняння генерації електроенергії панелями другого потоку з модельованими значеннями

На ефективність роботи фотоелектричного модуля та станції можуть впливати наступні фактори: погодні умови, затінення, втрати при перетворенні енергії DC/AC, втрати в кабельних лініях, забруднення панелей, пошкодження фотоелектричних елементів, перегрів або пошкодження інвертора, відсутність циркуляції повітря навколо панелей.

Для знаходження факторів, що зменшують ефективність генерації дахової СЕС проаналізовано роботу сонячних панелей протягом доби. На рис. 6 показано потужність двох потоків за 15 та 16 березня 2020 року, дані яких записувалися до бази із дискретністю 5 хвилин.

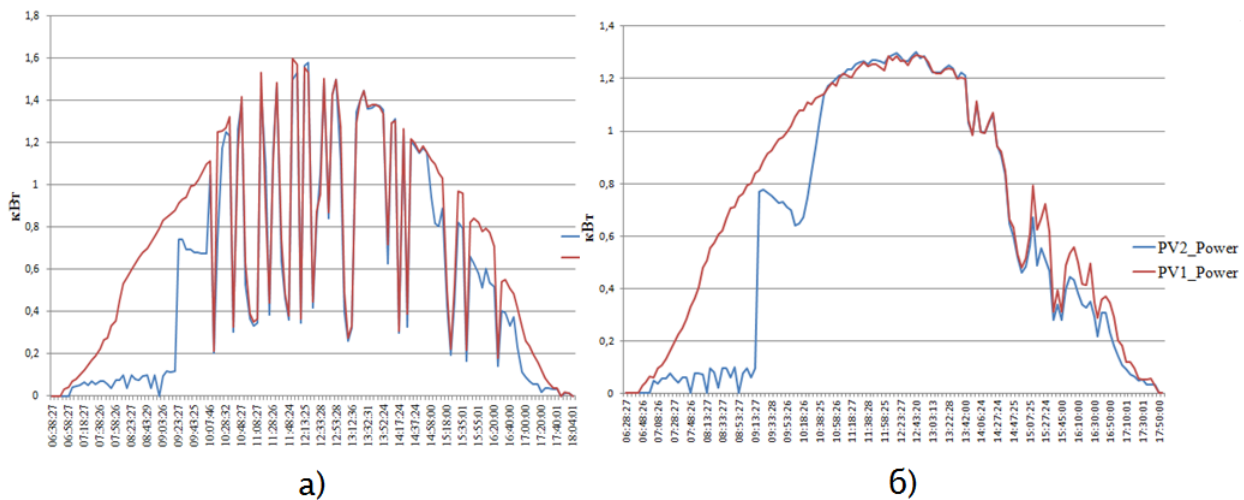


Рисунок 6 – Добовий графік потужності СЕС
(а - за 15 березня 2020 року, б - за 16 березня 2020 року)

Провали у графіку генерованої потужності пояснюються хмарністю, проте помітно значне відхилення між двома потоками у період до 10:00 та після 15:00. Дана різниця спричинена частковим затіненням панелей другого потоку конструкціями вентиляційних систем технічного поверху корпусу №22. Для аналізу обсягу затінення було проведено експериментальне дослідження у першій половині дня, результати якого наведено у таблиці 1. Фото затінення наведено на рисунку 7.

Проаналізувавши результати дослідження визначено, що часткове затінення менше 10% від загальної площі панелей другого потоку. Проте тінь зменшує генеровану потужність

на 80 відсотків. (див. рис. 6).

Таблиця 1 – Результати дослідження часткового затінення СЕС

Час	7:52	8:02	8:10	8:17	8:23	8:31	8:36	8:41	8:45	8:49
Незатінена площа, м ²	6,81	6,87	6,92	6,97	7,03	6,98	7,03	7,02	7,04	7,08
% незатіненої поверхні	93,3	94,0	94,8	95,4	96,2	95,6	96,3	96,2	96,4	96,9
Час	8:55	9:01	9:09	9:17	9:25	9:31	9:35	9:48	9:55	10:00
Незатінена площа, м ²	7,08	7,12	7,16	7,20	7,22	7,24	7,24	7,28	7,29	7,30
% незатіненої поверхні	97,0	97,5	98,0	98,6	98,9	99,1	99,2	99,8	99,8	100,0



Рисунок 7 – Фото часткового затінення панелей

Це пояснюється тим, що навіть один затінений фотоелектричний елемент обмежує напругу всієї панелі. Одним із рішень щодо підвищення ефективності роботи СЕС в умовах часткового затінення фотомодулів є використання діодів. В сонячні панелі вбудовують шунтуючі діоди, або ще їх називають байпасними діодами[8].

Також крім впливу на ефективність генерації СЕС, часткове затінення сонячної панелі призводить до значного перегріву затінених елементів. На зменшення генерованої потужності другого потоку впливає послідовне з'єднання самих модулів, при якому окрема панель має аналогічну поведінку при затіненні, що і сам фотоелектричний елемент, тобто обмеження ефективності всього стрінгу. Проте часткове затінення негативно впливає не лише з економічної точки зору, а й з технічної, оскільки при такому режимі зменшується експлуатаційний ресурс фотоелектричного елемента. В подальшому планується більш детально дослідити роботу фотоелектричних модулів та їх електротехнічні характеристики під час впливу різних факторів.

Висновки.

В роботі представлено результати моделювання роботи сонячної електростанції та

проведено порівняння отриманих даних з реальними значення генерації електричної енергії.

Визначено, що на ефективність роботи фотоелектричного модуля та станції можуть впливати наступні фактори: погодні умови, затінення, втрати при перетворенні енергії DC/AC, втрати в кабельних лініях, забруднення панелей, пошкодження фотоелектричних елементів, перегрів або пошкодження інвертора, відсутність циркуляції повітря навколо панелей. За допомогою експериментального вимірювання було виявлено, що присутнє часткове затінення панелей обмежує генерацію електричної енергії на 80 відсотків.

В подальшому планується детальне вивчення робочих характеристик панелей в умовах затінення, визначення температурних точок.

Список використаних джерел.

1. Veremiichuk Yurii, Ivan Prytyskach, Olena Yarmoliuk and Vitalii Opryshko "Energy Sources Selection for Industrial Enterprise Combined Power Supply System." 2019 IEEE 6th International Conference on Energy Smart Systems (ESS). IEEE, 2019.
2. Veremiichuk Y. , Zamulko A., Zaichenko S., Mahnitko A., Berzina K., Zicmane I. "Analysis of Electric Energy Supply Security Attached to Renewable Energy Sources Implementation" X International Conference on Electrical and Power Engineering EPE 2018 Iași, Romania. October 18-19, 2018.
3. Національна енергетична компанія «Укренерго». [Електронний ресурс] Режим доступу до ресурсу: <https://ua.energy/>
4. Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України. [Електронний ресурс] Режим доступу до ресурсу: <https://saee.gov.ua/uk>
5. Китаев Н. Солнечные панели с высоким КПД. – 2016. [Електронний ресурс] Режим доступу до ресурсу: <http://savenergy.info/page/solnechnye-paneli-s-vysokim-kpd>
6. Silva Wilson. Trendy solar cells hit new world efficiency record. - 2016. [Електронний ресурс] Режим доступу до ресурсу: <http://newsroom.unsw.edu.au/news/sciencetech/trendy-solar-cells-hit-new-world-efficiency-record>
7. The System Advisor Model. [Електронний ресурс] Режим доступу до ресурсу: <https://sam.nrel.gov>
8. Guo SY, Walsh TM, Aberle AG, Peters M. Analysing partial shading of PV modules by circuit modelling. Proc. 38th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, Austin, USA; 2012, pp. 002957-002960.