

**Кирисов І.Г.**

Українська інженерно-педагогічна академія

**Михайлов Б.К.**

Українська інженерно-педагогічна академія

**Лосенко Є.В.**

Українська інженерно-педагогічна академія

## ВПЛИВ ЗАТІНЕННЯ ТА ПОШКОДЖЕНЬ СОНЯЧНИХ БАТАРЕЙ НА ЇХ ПАРАМЕТРИ

*У статті досліджується вплив затінення та пошкоджень сонячних батарей на їх параметри. Проаналізовані види та наслідки затінення сонячних батарей. При затіненні знижується генерація електроенергії сонячних елементів, при цьому знижується результуюча потужність всієї сонячної батареї.*

*Проаналізовані види пошкоджень поверхні сонячних батарей та причини їх виникнення. Пошкодження поверхні сонячної батареї виникають в наслідок екстремальних погодних умов: граду, вітру, температури; виробничого браку; неправильної експлуатації; зношування та деградації сонячних елементів протягом часу.*

*Проведено аналіз видів деградації сонячних батарей та її наслідки. Деградація виникає внаслідок хімічних реакцій між активними металами у складі сонячної батареї, екстремальних погодних умов: різких перепадів температур, вологості, постійного змерзання або відтавання. Деградація призводить до зменшення провідності струму сонячною батареєю, появи паразитного опору сонячної батареї, виникнення тріщин, мікропор та неоднорідностей на поверхні сонячної батареї.*

*У статті розглянуті методи виявлення пошкоджень сонячних батарей – метод тепловізійного контролю та метод електролюмінесценції. При використанні методу тепловізійного контролю сонячна батарея досліджується тепловізором, при цьому виявляються ділянки поверхні сонячної батареї які нагріваються. Метод електролюмінесценції полягає у тому, що сонячні елементи, які підключаються до блоку живлення, починають генерувати випромінювання в близькому інфрачервоному діапазоні та за допомогою спеціальної камери, отримуються фотографії сонячної батареї з місцями ушкоджень та тріщин.*

*Отримано графічні залежності впливу струму короткого замикання та напруги холостого ходу від площі затіненого сонячного елемента. Отримано залежності впливу струму короткого замикання та напруги холостого ходу від площі пошкодженої поверхні сонячного елемента. Визначено, що при затіненні сонячної батареї струм короткого замикання зменшується, а напруга холостого ходу практично не змінюється. Визначено, що при пошкодженні поверхні сонячної батареї струм короткого замикання та напруга холостого ходу зменшуються.*

**Ключові слова:** сонячна батарея, затінення, струм короткого замикання, напруга холостого ходу, потужність, пошкодження сонячної батареї, сонячна енергія, коефіцієнт корисної дії.

**Постановка проблеми.** На сьогоднішній день дуже багато уваги приділяється альтернативним джерелам енергії, оскільки закінчуються запаси традиційних викопних джерел енергії, а саме вугілля, газу, нафти. У майбутньому видобуток традиційних джерел енергії буде дуже дорогим, через те, що енергетичним компаніям треба буде використовувати більш складніші і дорогі технології видобутку ресурсів [2]. Враховуючи ці проблеми є актуальним дослідження характеристик та режимів роботи альтернативних джерел енергії. Особливе місце серед альтернативних джерел

енергії займає сонячна енергетика. Сонячна енергія є одним з найдоступнішим джерелом енергії. Саме тому вже зараз можна спостерігати великі фінансові вкладення енергетичних компаній у розвиток сонячної енергетики [5].

Серед основних причин різкого падіння генерації енергії на сонячній станції є затінення та пошкодження сонячних батарей. При цьому далеко не завжди вони можуть бути спричинені втручанням людини, а спричинені впливом навколишнього середовища. До зовнішніх чинників, які можуть створювати затінення, відносяться: заті-

нення хмарами, опалим листям, снігом, пташиний послідом. До зовнішніх природних факторів, які можуть спричинити пошкодження сонячної батареї відносяться: град, підвищена температура, тощо. Дію навколишнього середовища на сонячні батареї неможливо зменшити, оскільки ефективних методів впливу на природні явища не існує. Дослідження впливу затінення та пошкоджень сонячних батарей на їх параметри є актуальною проблемою, тому що затінення та пошкодження сонячних батарей впливає на вироблення електроенергії сонячною батареєю та знижує їх ККД.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Дослідженням впливу затінення та пошкоджень сонячних батарей на їх параметри присвячено багато робіт [3-14]. В роботі [1] досліджується вплив різних параметрів, характеристик та факторів на ефективність та надійність сонячних елементів у складі сонячної батареї. Автори роблять висновок, що такі фактори, як затінення, пошкодження та перегрівання можуть мати критичні наслідки для ефективної роботи сонячних елементів. В роботі [3] розглядається вплив локальних неоднорідностей, мікротріщин та мікропор на стабільність та ефективність роботи сонячних елементів. Автори приходять до висновку, що при розрахунку номінальної потужності та ефективності сонячних елементів потрібно враховувати реальну площу сприймаючої поверхні сонячного елемента. У роботі [7] автори розглядають вплив різної площі затінення на потужність, яку видає сонячна батарея. Автори експериментально підтверджують, що при незначному затіненні потужність сонячної батареї зменшується на 60%, при повному затіненні – на 70%.

**Постановка завдання.** Метою даної статті є аналіз впливу затінення та пошкоджень поверхні сонячної батареї на її параметри. За допомогою даного дослідження можна оцінити вплив затінення та пошкоджень на параметри сонячної батареї, а саме струм короткого замикання, напруги холостого ходу. При затіненні та пошкодженнях сонячної батареї відбувається зменшення її ККД, що впливає на ефективність її роботи. Тому дослідження впливу затінення та пошкодження сонячних батарей є актуальною проблемою.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** При експлуатації сонячних батарей вони повинні видавати максимальну потужність, для цього їх необхідно розміщувати під певним кутом нахилу, щоб установка знаходилася під прямим та постійним сонячним світлом протягом року [6].

Затінення є однією з основних причин різкого падіння ефективності сонячної батареї [1]. Вини-

кає затінення під час будь-якої перешкоди між сонячним світлом та сонячною батареєю. Перешкодою для сонячного світла може бути: дерева, споруди, хмари, труби, опале листя, сніг, ожеледь.



**Рис. 1. Приклад затіненого фотоелемента СБ**

При з'єднанні сонячних елементів послідовно навіть якщо на один із них почне падати тінь, то результуюча потужність всього ланцюга сонячних елементів буде майже нульовою [7]. Тобто генерація інших фотоелементів знизиться до рівня затіненого. Таким чином навіть незначна тінь на сонячній батареї може спричинити різке зниження ефективності всієї установки. Теж саме відбувається і з послідовно з'єднаними сонячними батареями на сонячній електростанції [9].

Залежно від площі тіні, затінення буває різним: повним, частковим, слабким та сильним. І відповідно всі ці види затінення впливають на сонячну батарею по-різному.

Так повне затінення накриває всю сонячну батарею, через що відбувається різке падіння вироблення енергії. Часткове затінення накриває лише частину сонячної батареї і, відповідно, зменшення потужності буде не значним [4]. Однак у довгостроковій перспективі часткове затінення матиме більш серйозні наслідки, ніж повне, оскільки буде призводити до швидкого виходу з ладу сонячної батареї, внаслідок перегрівання сонячних елементів, послаблення контактів між ними та зносу струмопровідних частин сонячного елемента [8].

Сильна тінь має явні, чіткі контури та утворюється об'єктами, що знаходяться у безпосередній близькості до сонячної батареї. Слабка тінь має розмиті контури і утворюється об'єктами, що знаходяться на деякій відстані від установки або в похмуру погоду. Під впливом сильної тіні відбувається зниження напруги на затіненій сонячній батареї. Під впливом слабкої тіні починається зниження сили струму [7].

Ще однією вірогідною причиною зниження потужності та генерації сонячної батареї може стати пошкодження її поверхні. Причиною цього може бути: екстремальні погодні умови (град, вітер, підвищена температура), виробничий брак, неправильна експлуатація, зношування та деградація сонячних батарей протягом певного часу [14].

До деградації сонячних батарей відноситься зменшення виробництва електроенергії сонячною батареєю через фізичні зміни в його структурі.

Процес деградації може відбуватися сам собою протягом років, в результаті яких результуюча потужність сонячної батареї буде різко знижуватися. Але цей процес може бути прискорений через вплив зовнішніх і внутрішніх чинників [12].

Причиною прискореної деградації сонячних елементів може стати натрій чи інші активні метали, які є в складі матеріалів, з яких виготовлена сонячна батарея, і це призводить до зменшення провідності струму сонячною батареєю. Також іншою причиною деградації може бути екстремальна погода: різкі перепади температури, вологість, цикли замерзання або відтавання фотоелемента, що часто повторюються. Зовнішні фактори підсилюють паразитний опір сонячної батареї, який розсіює потужність і таким чином зменшує загальну ефективність генерації електроенергії на сонячних батареях.

Вчасно виявити деградацію сонячних батарей допомагають регулярні виміри напруги холостого ходу кожного модуля. Якщо доступ до об'єкта обмежений, використовують метод діагностики сонячної батареї електролюмінесценцією [13]. Цей метод полягає в тому, що сонячні елементи, при підключенні їх до блоку живлення, починають генерувати випромінювання в близькому інфрачервоному діапазоні. За допомогою спеціальної камери отримують фотографію сонячної батареї і з цього випромінювання визначають місця ушкоджень та тріщин (рис. 2).

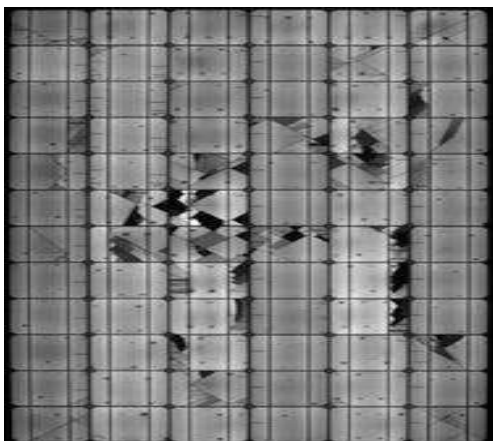


Рис. 2. Виявлення пошкоджень методом електролюмінесценції

Пошкодження окремих ділянок сонячної батареї є фізичним процесом, який можна побачити не озброєним оком. При огляді сонячних батарей можна виявити тріщини, затемнення, вм'ятини і т.д. Однак іноді пошкодження не можливо побачити одразу. Тоді треба робити огляд сонячної батареї за допомогою тепловізора.

За допомогою тепловізора, можна побачити пошкоджені ділянки сонячної батареї, які спри-

чиняють зменшення потужності та прискорюють деградацію всієї сонячної установки [10].

Якість виготовлення сонячної батареї є основним чинником її експлуатації. Від цього безпосередньо залежить термін служби установки, а також перетворення сонячної енергії в електричну. Здатність сонячної батареї працювати безперебійно тісно пов'язана з її ефективністю. Так, наприклад, низька якість фотокомпонентів, які використовуються у виробництві сонячних елементів, згодом може призвести до таких наслідків, як локальне перегрівання [11].

З метою дослідження впливу затінення та пошкоджень сонячної батареї на її параметри були проведені дослідження сонячного елемента, площею 25 см<sup>2</sup>. У досліді сонячний елемент піддавався затінюванню та пошкодженню. Площа затінення та пошкодження з кожним дослідом збільшувалася на 1мм<sup>2</sup>. Результати досліджень представлені у таблиці 1. Результати експерименту були опрацьовані за допомогою програми Excel та були побудовані графіки, які представлені на рис. 3–6.

На рис. 3, 4 представлено залежність затінення на струм короткого замикання та напругу холостого ходу. На рис. 3, при затіненні сонячного елемента на 0,03 см<sup>2</sup>, сила струму різко зменшується до 4,57 мА. При затинінні на 0,11 см<sup>2</sup> струм продовжує зменшуватися і становить 4,52 мА. З рис. 3, 4 випливає, що при затіненні сонячної батареї струм короткого замикання зменшується, а напруга практично не змінюється.

Таблиця 1  
Результати експериментальних досліджень по затіненню та пошкодженню сонячного елемента

| Номер досліді | $\Delta S_{\text{затін}}(\Delta S_{\text{пошк}})$ | Затінення |      | Пошкодження |      |
|---------------|---|-----------|------|-------------|------|
|               |   | I,        | U,   | I,          | U,   |
| n/n           | см <sup>2</sup>                                   | мА        | В    | мА          | В    |
| 1             |   | 4,85      | 0,46 | 4,85        | 0,46 |
| 2             | 0,01  | 4,83      | 0,46 | 4,71        | 0,45 |
| 3             | 0,02  | 4,63      | 0,46 | 4,62        | 0,44 |
| 4             | 0,03  | 4,57      | 0,46 | 4,62        | 0,42 |
| 5             | 0,04  | 4,57      | 0,46 | 4,62        | 0,42 |
| 6             | 0,05  | 4,57      | 0,46 | 4,54        | 0,41 |
| 7             | 0,06  | 4,57      | 0,45 | 4,51        | 0,41 |
| 8             | 0,07  | 4,57      | 0,45 | 4,49        | 0,4  |
| 9             | 0,08  | 4,57      | 0,45 | 4,43        | 0,39 |
| 10            | 0,09  | 4,55      | 0,45 | 4,4         | 0,39 |
| 11            | 0,1   | 4,52      | 0,45 | 4,4         | 0,38 |
| 12            | 0,11  | 4,52      | 0,45 | 4,4         | 0,38 |



Рис. 3. Залежність струму від площі затінення



Рис. 4. Залежність напруги від площі затінення



Рис. 5. Залежність струму від площі пошкодження



Рис. 6. Залежність напруги від площі пошкодження

На рис. 5, 6 представлено залежність пошкоджень поверхні сонячної батареї від струму короткого замикання та напруги холостого ходу. На рис. 5, при пошкодженні поверхні сонячного елемента струм короткого замикання поступове зменшується з 4,85 до 4,4 мА. На рис. 6 представлено поступове зменшення напруги холостого ходу при пошкодженні поверхні сонячного елемента з 0,46 до 0,38 В. З рис. 5, 6 випливає, що при пошкодженні поверхні сонячної батареї струм короткого замикання та напруга холостого ходу зменшуються.

**Висновки.** В статті проаналізовані причини затінення та пошкодження сонячних батарей та їх наслідки.

Проведені дослідження та отримані залежності:

1. Струму короткого замикання та напруги холостого ходу від площі затіненої поверхні сонячної батареї.

2. Струму короткого замикання та напруги холостого ходу від площі пошкодженої поверхні сонячної батареї.

#### Список літератури:

1. Глушко О., Степенко С. Параметри, характеристики і фактори, що впливають на ефективність та надійність роботи фотоелектричних перетворювачів у складі електроенергетичних систем //Технічні науки та технології. 2021. №. 1 (23). С. 249-264.

2. Сталій розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування. Збірник матеріалів VII Міжнародного молодіжного конгресу (10-11 лютого 2022, Україна, Львів). Київ, 2022. 271 с.

3. Budanov, P., Kyrysov, I., Brovko, K., Rudenko, D., Vasiuchenko, P., & Nosyk, A. (2021). Development of a Solar Element Model Using the Method of Fractal Geometry Theory //Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2021. Т. 3. №. 8. С. 111.

4. Kyrysov I., Budanov P. Методи досліджень поглинаючої поверхні сонячних елементів //Машинобудування. 2022. №. 29. С. 104-117.

5. Миколок О. А. Стан та розвиток відновлюваних джерел енергії //Вісник Хмельницького національного університету. Економічні науки. 2019. № 1. С. 174-183.

6. Олійник Ю. С. Використання сонячних батарей у сучасних умовах //Вчені записки Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського. Серія: Технічні науки. 2018. №. 29 (68). № 2. С. 220-224.

7. Лисенко Л. І., Махотіло К. В., Косатий Д. М. Фактори впливу на ефективність сонячних колекторів та фотоелектричних панелей в Харківській області//Вісник НТУ «ХПІ». 2013. № 59 (1032). С. 101-111.

8. Li G., Xuan Q., Pei G., Su Y., Ji J. Effect of non-uniform illumination and temperature distribution on concentrating solar cell-a review //Energy. 2018. Т. 144. С. 1119-1136.

9. Gallardo-Saavedra S., Karlsson B. Simulation, validation and analysis of shading effects on a PV system // Solar Energy. 2018. Т. 170. С. 828-839.

10. Cotfas D. T., Cotfas P. A., Kaplanis S. Methods to determine the dc parameters of solar cells: A critical review //Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2013. Т. 28. С. 588-596.

11. Кирисов І. Г., Буданов П. Ф., Хом'як Е. О., Бровко К. Ю. Підходи та вимоги до моделювання структури напівпровідникового шару сонячного елемента //Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2022. №. 1. С. 35-38.

12. Jørgensen M., Norrman K., Krebs F. C. Stability/degradation of polymer solar cells //Solar energy materials and solar cells. 2008. Т. 92. №. 7. С. 686-714.

13. Budanov P., Brovko K., Cherniuk A., Pantielicieva I., Oliynyk Yu., Shmatko N., Vasyuchenko P. Improvement of safety of autonomous electrical installations by implementing a method for calculating the electrolytic grounding electrodes parameters //Eastern-European journal of enterprise technologies. 2018. №5 (95). С. 20-28.

14. Yuan C., Yuan C., Dong C., Zhao L., Yan X. Marine environmental damage effects of solar cell panel // Prognostics and System Health Management Conference. 2010. С. 1-5.

#### **Kyrysov I.G., Mykhailov B.K., Losenko Ye.V. INFLUENCE OF SHADING AND DAMAGE OF SOLAR BATTERIES ON THEIR PARAMETERS**

*The article examines the influence of shading and damage of solar panels on their parameters.*

*Analyzed types and consequences of solar panel shading. With shading, the electricity generation of solar cells decreases, while the resulting power of the entire solar cell decreases.*

*The types of damage to the surface of solar batteries and their causes are analyzed. Damage to the surface of the solar battery occurs as a result of extreme weather conditions: hail, wind, temperature; production shortage; improper operation; wear and tear of solar cells over time.*

*An analysis of the types of degradation of solar batteries and its consequences was carried out. Degradation occurs as a result of chemical reactions between the active metals in the solar battery, extreme weather conditions: sharp changes in temperature, humidity, constant freezing or thawing. Degradation leads to a decrease in the current conductivity of the solar cell, the appearance of parasitic resistance of the solar cell, the appearance of cracks, micropores and inhomogeneities on the surface of the solar cell.*

*The article discusses the methods of detecting damage to solar batteries - the thermal imaging control method and the electroluminescence method. When using the method of thermal imaging control, the solar battery is examined with a thermal imager; while areas of the solar battery surface that are heated are detected. The electroluminescence method consists in the fact that the solar cells that are connected to the power supply unit begin to generate radiation in the near-infrared range, and with the help of a special camera, photographs of the solar cell with places of damage and cracks are obtained.*

*Graphical dependences of the effect of short-circuit current and open-circuit voltage on the area of the shaded solar cell were obtained. The dependences of the effect of short-circuit current and open-circuit voltage on the area of the damaged surface of the solar cell were obtained. It was determined that when the solar battery is shaded, the short-circuit current decreases, and the no-load voltage practically does not change. It was determined that when the surface of the solar cell is damaged, the short-circuit current and open-circuit voltage decrease.*

**Key words:** *solar cell, shading, short-circuit current, no-load voltage, power, solar cell damage, solar energy, efficiency.*