

# АНАЛІЗ ПОШКОДЖЕНЬ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ МОДУЛІВ, ЩО ВИНИКАЮТЬ У ПРОЦЕСІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТА МЕТОДИ ЇХ ДІАГНОСТУВАННЯ

**Вознюк В.В., студент**

*КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра відновлюваних джерел енергії*

**Вступ.** Основним компонентом сонячної електричної станції (СЕС) є фотоелектричні модулі, головне завдання яких – перетворення енергії сонячного випромінювання на електричну енергію. Для забезпечення надійної та безпечної роботи під час всього періоду експлуатації сонячних елементів необхідно дотримуватися відповідних правил при їх встановленні, а також своєчасно проводити заходи з технічного огляду та обслуговування.

**Мета роботи.** Метою даної роботи є аналіз пошкоджень фотомодулів, які можуть виникнути в процесі експлуатації сонячної електричної станції, а також огляд можливих методів діагностування для своєчасного вирішення проблем.

**Матеріали і результати досліджень.** Фотоелектрична панель може бути пошкоджена на будь-якому з наступних етапів:

- виробництво;
- транспортування;
- встановлення;
- експлуатація.

Розглянувши вище приведені етапи більш ретельно можна зазначити, що на сьогодні відсоток заводського браку надзвичайно низький [1]. Це відбувається через те, що процес виготовлення кремнієвих фотогальванічних установок цілком роботизований і автоматизований, що повністю виключає можливість впливу людського фактору на етапі виробництва. Те ж саме стосується етапу транспортування – високі світові стандарти та вимоги щодо пакування та перевезення фотомодулів унеможливають їх пошкодження під час логістичного процесу. Встановлення фотоелектричних панелей – є основним етапом на якому може відбуватися їх пошкодження. Головною причиною цього є порушення правил проектування геліополя та неякісний монтаж системи.

До основних помилок що можуть призвести до виникнення дефектів на етапі інсталяції можна віднести:

- появу мікротріщин на поверхні комірки або руйнування захисного скла у результаті *наступання на поверхню модуля або падіння інструменту*. Загалом лицева поверхня фотомодуля розрахована на навантаження 5400 Па, але людина вагою 80 кг, стоячи на ній двома ногами створює тиск 7500 Па. Такі дії призводять у майбутньому до утворення локальних точок перегріву та як наслідок – до появи жовтого відтінку інкапсулюючої плівки;
- *постійне часткове затінення* панелі викликає падіння вихідної напруги за рахунок втрат в неосвітленому елементі. У нормальному режимі комірка

генерує струм, під час затінення вона навпаки стає перешкодою на шляху протікання енергії і починає нагріватися [2]. Тому на етапі проектування важливо дотримуватися рекомендованої відстані між рядами фотомодулів та від найближчих оточуючих об'єктів.

- *свердління додаткових отворів в рамі* та кріплення модуля до монтажної конструкції, методами, не передбаченими в технічній документації може привести до механічного пошкодження рами в результаті підвищених вітрових або снігових навантажень, порушення герметичності ламінації модуля, відшарування скла від ламінуючого покриття. Саме тому, модулі необхідно кріпити до рейок тільки за допомогою спеціальних монтажних отворів.

Одним із головних недоліків фотоелектричних модулів також є зменшення їх вихідної потужності внаслідок деградації кремнієвих комірок під час експлуатації. Типова величина зменшення потужності сонячних панелей, що вказується у технічному паспорті обладнання складає 0.5 – 1.0 % в рік, в залежності від використовуваної технології. Такий процес відбувається внаслідок декількох основних факторів – поступове руйнування інкапсулюючої плівки, що використовують для герметизації комірок та «вигорання» шару селективного покриття під дією ультрафіолетового випромінювання, старіння ізоляційних матеріалів та ін. Також суттєвою проблемою, що може виникнути продовж довготривалої роботи геліополя, можна зазначити PID ефект - деградація сонячних панелей (Potential Induced Degradation), що представляє собою процес який зменшує продуктивність сонячного фотомодуля протягом часу до 70 % [3]. Це явище розповсюджується як на кристалічні фотомодулі так і на тонко-плівкові і пов'язано з низькою стійкістю модулів до виникнення різниці потенціалів (блукуючих струмів). Якщо вони мають негативний потенціал відносно землі, утворюється висока напруга між панелями та рамою, навіть при їх заземленні. Негативна напруга фотомодуля притягує електрони з матеріалів якого виготовлений фотомодуль та розряджається через заземлену раму, таким чином відбувається певний витік струму.

PID - ефект може бути оборотним, або постійним, залежно від причин виникнення. Оборотна форма PID, також відома як поверхнева поляризація вирішується на місці зміною конфігурації системи та усуненням впливу зовнішніх факторів, в той час як незворотний ефект набагато серйозніше, він вимагає негайного виявлення та мінімізації збитків. Постійна деградація модулів, як правило, викликана електрохімічними реакціями, що призводить до електрохімічної корозії та / або розшарування складових модулів. Незворотні процеси були зареєстровані в основному в тонкоплівкових модулях, хоча і в кристалічних трапляються досить часто.

Експериментально доведено, що зростання показників температури та відносної вологості знижує ефективність функціонування сонячних панелей та електростанцій на їх основі. Особливо сильний вплив мають: висока вологість і

температура середовища, що діють одночасно; перепади показників температури; регулярно мають місце цикли танення і замерзання води. В останньому випадку струм витоку посилюється із-за руйнування цілісності ламінуючої плівки EVA. Це призводить до зниження її стійкості до процесу деградації панелей.

З розвитком досвіду використання фотоелектричних систем та дослідженням їх поведінки продовж експлуатації з'являються нові методи діагностування та виявлення несправностей. Серед основних можна виділити наступні:

- модуляція вольт-амперної характеристики (ВАХ) – графіку залежності струму, що протікає через електричний ланцюг від напруги, прикладеної до цього ланцюга (в залежності від навантаження). На графіку позначаються найважливіші точки роботи сонячного елемента – напруга холостого ходу ( $U_{xx}$ ) і струм короткого замикання ( $I_{kz}$ ). Така крива дозволяє виявити вихід з ладу бупасс-діода, коротке замикання комірки, та ін;
- термографія – це процес сканування фотоелектричного модуля за допомогою тепловізора. Цей метод перевірки фотомодулів використовується як на етапі виробництва, так і на вже працюючих системах, він дозволяє швидко виявити велику кількість дефектів: місця перегріву, від'єднання струмоз'ємної шини від комірки, та ін;
- електролюмінесценція комірок фотомодуля – це світіння р-п переходу, під дією електричного поля. Дозволяє виявити мікротріщини комірок, корозію струмоз'ємних шин, PID ефект.

**Висновки.** Ринок фотовольтаїки в Україні ще досить молодий і тільки починає активно розвиватись. Тому переважна більшість встановлених станцій на сьогоднішній день має термін експлуатації менше 5 років. З кожним роком буде з'являтися усе більше випадків з пошкодженням фотомодулів. Саме тому, для підтримки розвитку сонячної енергетики на високому рівні, важливим є своєчасна діагностика та вирішення проблем що можуть виникнути з фотомодулями, так само як і розуміння причин появи пошкоджень та наслідків до яких вони можуть привести.

#### Перелік посилань

1. What are the top solar panel companies & manufacturers in 2018? [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://news.energysage.com/best-solar-panel-manufacturers-usa/>
2. Analysing partial shading of PV modules by circuit modelling [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6318205>
3. WHAT IS PID? [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://pidbull.com/what-is-pid/>