

РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу
Іванчука Владислава Юрійовича
на тему «Визначення параметрів фотоелектричних батарей в польових умовах»,
представлену на здобуття ступеня доктора філософії

в галузі знань 14 Електрична інженерія
за спеціальністю 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Актуальність теми дисертації.

Подальше вдосконалення технології виробництва фотоелектричних модулів стає одним із пріоритетних напрямів розвитку сонячної енергетики.

Висока вартість і відсутність адекватних засобів контролю дефектів у фотоелектричних модулях при виготовленні та експлуатації стали серйозною проблемою, з якою зіткнулися заводи-виробники та власники фотоелектричних електроустановок. Фотоелектричні модулі повинні бути в змозі протистояти виникненню та циклічним змінам екстремальних метеоумов. Тому деградація фотоелектричних модулів на інтервалі часу експлуатації є цілком природним і неминучим процесом. Споживачі з відносно незначним рівнем споживання енергії останнім часом проявляють значний інтерес до встановлення фотоелектричних модулів з метою забезпечення енергонезалежності та отримання додаткової фінансової користі від продажу надлишків електричної енергії в електричну мережу.

На відміну від промислових сонячних електричних станцій з наявністю технічно підготовленого обслуговуючого персоналу такий споживач зацікавлений в отриманні технічного рішення для проведення діагностичних процедур та контролю деградаційних процесів фотоелектричних модулів встановленої електроустановки в реальних умовах експлуатації.

Таким чином, дослідження та впровадження технічних рішень щодо ідентифікацію дефектних фотоелектричних модулів є *актуальним науковим дослідженням* для забезпечення надійної, стабільної та екологічної роботи електроустановки.

В наведеній дисертаційній роботі виконані дослідження для визначення параметрів контролю технічного стану фотоелектричного модуля, що дозволяють виявити деградаційні процеси та визначити дефекти. На основі проведеного дослідження розв'язана наукова задача, що полягає в обґрунтуванні методів діагностування деградаційних процесів фотоелектричних модулів та

розробці технічного рішення з урахуванням даних методів та зовнішніх факторів навколишнього середовища.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.

Поставлені в дисертаційній роботі завдання дослідження вирішувались з використанням: методів математичного моделювання для відтворення вольт-амперних характеристик з урахуванням фізичних процесів в напівпровідникових матеріалах при різних рівнях навантаження і сонячної радіації та оцінки технічного стану промислових фотоелектричних модулів в реальних умовах експлуатації; методів теорії планування експерименту та фізичного моделювання при здійсненні експериментального дослідження, відомі методики розрахунку параметрів електричного кола при визначенні електричних параметрів фотоелектричних модулів.

Узгодження результатів експерименту підтверджує адекватність запропонованої математичної моделі та результатів, отриманих аналітичними методами. Тому, застосовані методи дослідження відповідають поставленим завданням, забезпечують коректне їх розв'язання та досягнення мети дисертації. Наведені аргументи в роботі дають змогу визнати наукові результати, отримані використаними аналітичними методами.

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:

1. Розроблено математичну модель для визначення вольт-амперної характеристики параметрів фотоелектричних модулів при різних значеннях сонячної радіації та температури, що мають змінний характер в широкому діапазоні напруги, яка, на відміну від існуючих моделей з фіксованими параметрами, відображає складний фізичний характер формування струму в фотоелектричних елементах.

2. Отримані аналітичні залежності коефіцієнта ідеальності та зворотнього струму насичення діода від напруги на навантаженні та напруги на діоді, котрі дозволяють оцінити вплив струмів рекомбінації та резистивних втрат на формування вольт-амперних характеристик та зміну параметрів фотоелектричних модулів.

3. Встановлено, що в області прямої напруги нижче точки максимальної потужності вольт-амперної характеристики, коефіцієнт ідеальності може значно перевищувати 2, що пов'язано з рекомбінацією на мікроструктурних та поверхневих дефектах сучасних промислових фотоелектричних модулів.

Практичне значення отриманих результатів:

1. Розроблено автономну автоматизовану вимірювальну систему оптимальної структури навантажувальної частини з розробленим програмним забезпеченням, що дозволяє визначати параметри та отримувати якісні вольт-

амперні характеристики фотоелектричних модулів одночасно з фіксацією сонячної радіації та температури в реальних умовах експлуатації.

2. Розроблено комплексний адаптивний робастний алгоритм фільтрації даних на основі медіанної фільтрації та двоетапної апроксимації експериментальних вольт-амперних характеристик, що враховує особливості експлуатації фотоелектричних модулів у поточних змінних зовнішніх умовах навколишнього середовища та дозволяє забезпечити якісну обробку експериментальних даних з прийнятним рівнем точності усунення інструментальних та радіаційних шумів.

3. Розроблено методику та програмне забезпечення, що дозволяє використати запропоновану однодіодну модель фотоелемента зі змінними параметрами та їхніми аналітичними залежностями від напруги для визначення електричних параметрів на основі експериментальних вольт-амперних характеристик фотоелектричних модулів.

Наукові дослідження були виконані здобувачем на кафедрі відновлюваних джерел енергії НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського» при виконанні науково-дослідних робіт «Комплекс-3» (ДР№0118U003385) та «Комплекс-Інтегро» (ДР№0123U100782), а також при проведенні лекційних занять, практичних та лабораторних робіт з дисциплін «Фотоенергетика» та «Фотоелектричні станції» (бакалаврський рівень), у дипломному проєктуванні за спеціальністю 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка.

Отже, в дисертаційній роботі поставлене наукове завдання *оцінки технічного стану промислових фотоелектричних модулів в реальних умовах експлуатації шляхом визначення зміни значень вольт-амперних характеристик, з урахуванням впливу фізичних процесів в напівпровідникових матеріалах при різних рівнях сонячної радіації та навантаження* виконано повністю, здобувач повною мірою оволодів методологією проведення наукового дослідження.

Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності.

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Іванчука Владислава Юрійовича повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка та напрямкам досліджень відповідно до освітньої програми Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка.

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувача у науковий напрям технічних наук.

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадиння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Іванчука Владислава Юрійовича є результатом самостійних досліджень

здобувача і не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень. Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають належні посилання на відповідне джерело.

Мова та стиль викладення результатів.

Дисертаційна робота написана українською мовою, оформлена відповідно нормативних вимог і стандартів з дотриманням системного викладення матеріалу. Зміст дисертації викладений достатньо послідовно та логічно. Усі сформульовані висновки і наукові положення базуються на результатах власних досліджень автора. Дисертація складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку літератури та додатків. Загальний обсяг дисертації 159 сторінок.

У вступі розкрито актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету і завдання. Наведено наукову новизну та практичні результати, що були представлені науковій спільноті на Українських і міжнародних конференціях, опубліковані у фахових виданнях з особистим внеском здобувача та наведено апробацію результатів.

У *першому розділі* проведено аналіз наукових публікацій та дослідження за темою дисертацій вітчизняних та закордонних науковців. Представлено відомі методи визначення параметрів фотоелектричних модулів. Автором здійснено огляд типів, фізичних процесів при експлуатації, а також існуючих моделей та схем заміщення, які описують навантажувальну вольт-амперну характеристику фотоелектричних модулів. Виконано аналіз методів розрахунку та екстракції параметрів фотоелектричних модулів. Визначено завдання для подальших розділів роботи.

У *другому розділі* виконано аналіз існуючих експериментальних систем та комерційних установок визначення електричних параметрів для діагностування поточного стану та обробки вольт-амперної характеристики фотоелектричного модуля. Проведений порівняльний аналіз методів зняття вольт-амперної характеристики фотоелектричного модуля. Розглянуто блок-схему взаємозв'язків основних компонентів системи тестування фотоелектричних модулів, вимоги до функціональних можливостей та технічних характеристик. Виконано вибір компонентів та визначення конфігурації, алгоритму керування вимірюванням та створено програмне забезпечення системи тестування фотоелектричних модулів. Представлені отримані експериментальні залежності з необхідною точністю дозволяють оцінити роботу за різних умов експлуатації та є базовими для подальшого аналізу та екстракції параметрів фотоелектричного модуля.

У *третьому розділі* запропоновано комплексний алгоритм фільтрації та апроксимації експериментальних даних, який враховує особливості зміни функції вольт-амперних характеристик фотоелектричних модулів на заданій

області визначення. Запропоновано математичну модель та алгоритм визначення залежності параметрів однодіодної схеми заміщення від напруги на навантаженні, та аналізу впливу коефіцієнта ідеальності A , зворотного струму насичення діода I_0 від прямої напруги на вольт-амперну характеристику фотоелектричного модуля. Запропоновано комплексний адаптивний робастний алгоритм фільтрації даних на основі медіанної фільтрації та двоетапної апроксимації експериментальних вольт-амперних характеристик для вирішення задачі обробки експериментальних даних.

Виконано моделювання фотоелектричних модулів зі змінними параметрами на основі аналізу вольт-амперної характеристики при різних рівнях сонячної іррадіації. Встановлено, що отримані експериментальні дані можуть частково спотворюватись наявною похибкою вимірювання та/або зміною навколишніх умов під час тестування фотоелектричного модуля, що в свою чергу, призводить до появи шумів та викривлення даних, усунення яких виконується попередньою обробкою розробленим комплексним алгоритмом фільтрації та апроксимації. Похибки моделювання оцінені за відповідними критеріями демонструють перевагу запропонованої моделі фотоелектричної комірки, що забезпечує найбільше співпадіння з експериментальними даними та найкраще відповідає реальній поведінці фотоелектричної комірки.

У загальних висновках здобувачем наведено основні теоретичні та практичні результати дослідження, які відповідають поставленим задачам дисертаційного дослідження.

Перелік використаних джерел із 162 найменувань достатньо широко охоплює предметне поле дослідження, певною мірою відображає опрацювання автором значної кількості іноземних та вітчизняних джерел.

Додатки містять інформацію про практичне впровадження результатів дисертації.

Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

Оприлюднення результатів дисертаційної роботи.

Дисертація виконана з дотриманням вимог академічної доброчесності, а сама робота є закінченим дослідженням з суттєвими елементами наукової новизни, практичним значенням одержаних результатів і добре обґрунтованими висновками.

Наукові результати дисертації висвітлені у 7 наукових публікаціях здобувача, серед яких 5 статей у наукових виданнях, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України, в т.ч. 5 статей у періодичних наукових виданнях, проіндексованих у базах даних Scopus.

Дисертант активно приймав участь в 2 наукових фахових конференціях, де була проведена апробація ідей та результатів, що викладено у дисертаційному дослідженні.

Публікації здобувача містять власні наукові результати, які лягли в основу дисертації. Матеріали відзначаються актуальністю, достовірністю та повнотою викладу. Академічна доброчесність збережена: відсутні ознаки плагіату, всі використані джерела коректно оформлені. Авторський внесок здобувача підтверджено у представлених публікаціях і дисертації.

Таким чином, наукові результати описані в дисертаційній роботі повністю висвітлені у наукових публікаціях здобувача.

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.

1. У тексті дисертаційній роботі зустрічається скорочення ФЕК без відповідного пояснення в переліку умовних позначень, що ускладнює розуміння.
2. Результати патентного пошуку відсутні у переліку літератури, що звужує оцінювання рівня розробок у цій області.
3. У роботі не наведено оцінку економічної ефективності застосування розробленої системи та методики порівняно з існуючими рішеннями.
4. У представленій роботі наведено акти впровадження в навчальний процес та наукові дослідження. Було б доцільно отримати інші акти впровадження у виробництво, що значно б підвищило значимість отриманих результатів.
5. У тексті дисертації зустрічаються граматичні, орфографічні та стилістичні помилки.

Слід зазначити, що висловлені зауваження не є визначальними і не зменшують загальну наукову новизну та практичну значимість результатів та не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи.

Висновок про дисертаційну роботу.

Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Іванчука Владислава Юрійовича на тему «Визначення параметрів фотоелектричних батарей в польових умовах» є завершеною науково-дослідною роботою. Представлена дисертаційна робота виконана на високому науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є закінченим науковим дослідженням, сукупність теоретичних та практичних результатів якого розв'язує наукове завдання, що має істотне значення для галузі знань 14 Електрична інженерія. Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені в п.6 – 9 «Порядку присудження ступеня

доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44.

Здобувач Іванчук Владислав Юрійович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 14 Електрична інженерія за спеціальністю 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка.

Рецензент:

Доцент кафедри
відновлюваних джерел енергії
КПІ ім. Ігоря Сікорського,
кандидат технічних наук, доцент



Микола БОЛОТНИЙ



«03» червня 2025 року

