

Голові разової спеціалізованої вченої ради
Харківського національного університету
імені В. Н. Каразіна,
доктору технічних наук, професору,
заступнику директора Навчально-
наукового інституту «Українська
інженерно-педагогічна академія»
Харківського національного університету
імені В.Н. Каразіна
Купріянову Олександру Володимировичу
майдан Свободи 4, м. Харків, 61022

РЕЦЕНЗІЯ

офіційного рецензента, кандидата технічних наук, доцента, доцента кафедри автоматизації, метрології та енергоефективних технологій Навчально-наукового інституту «Українська інженерно-педагогічна академія» Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна, Грінченко Ганни Сергіївни на дисертаційну роботу Кирисова Ігоря Геннадійовича на тему «Метод кількісного оцінювання якості параметрів сонячної батареї», подану на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 15 Автоматизація та приладобудування за спеціальністю 152 – Метрологія та інформаційно-вимірвальна техніка

На підставі вивчення матеріалів дисертації та опублікованих за дослідженою темою наукових праць здобувача, а також матеріалів щодо апробації та практичного впровадження результатів виконаного Кирисовим Ігорем Геннадійовичем наукового дослідження, можна констатувати наступне щодо актуальності, ступеня обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, достовірності та наукової

новизни одержаних результатів, повноти їх викладу в опублікованих працях та визначити загальну оцінку проведеного дисертаційного дослідження.

Актуальність теми дисертації та її зв'язок з науковою тематикою

В сучасних умовах функціонування національної економіки України важливим питання є забезпечення необхідної енергетичної незалежності, що неможливо без застосування відновлювальної енергетики для задоволення потреб споживачів. Разом з тим, існуючі джерела відновлювальної енергетики повинні забезпечувати відповідні вимоги, щодо енергоефективності, надійності, якості, тощо. Актуальність теми дослідження зумовлена сучасними викликами у сфері відновлюваної енергетики, зокрема потребою підвищення ефективності та надійності сонячних батарей, які є одним із ключових елементів сталого енергозабезпечення. Проблема зниження продуктивності сонячних батарей у процесі експлуатації, пов'язана з виникненням дефектів у структурі напівпровідникового шару фотоелектричного перетворювача, зумовлює необхідність точного діагностування їхнього стану та оцінювання впливу на електрофізичні параметри. Існуючі моделі не враховують повною мірою реальну площу поверхні, змінену внаслідок дефектів, що призводить до похибок у моделюванні характеристик сонячних батарей.

Тема дисертаційного дослідження напряму пов'язана з науковою тематикою кафедри електротехніки та електроенергетики навчально-наукового інституту «Українська інженерно-педагогічна академія» Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Робота виконувалася у межах науково-дослідної теми «Розроблення проєкту сонячної панелі на основі моделювання поверхні сонячного елемента із застосуванням фрактальної геометрії» (державний реєстраційний номер 0122U200539). Запропоноване дослідження спрямоване на створення науково обґрунтованого методу кількісного оцінювання якості параметрів сприймаючої поверхні сонячного елемента з урахуванням фрактальної

структури, що дозволяє підвищити точність, стабільність і лінійність вольт-амперних та вольт-ватних характеристик сонячних батарей. Це забезпечує вагомий внесок у розвиток інформаційно-вимірювальних технологій у сфері метрологічного забезпечення сонячної енергетики.

Оцінка обґрунтованості і достовірності наукових положень, висновків і рекомендацій

Дисертаційне дослідження Кирисова І.Г. є завершеною науковою працею, в якій обґрунтованість, достовірність і новизна результатів забезпечені системним підходом до вирішення проблем оцінювання якості параметрів сонячної батареї. Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертаційному дослідженні, забезпечується комплексним застосуванням сучасних методів аналізу, математичного моделювання, статистичної обробки даних та апробації запропонованих підходів в реальних умовах. У роботі використано сучасні аналітичні методи математичного моделювання, математичний апарат фрактально-кластерної геометрії, а також методи математичної статистики для обробки експериментальних даних.

Наукові положення, висновки та рекомендації, сформульовані у дисертаційній роботі, є обґрунтованими та достовірними, що підтверджується як логічною послідовністю досліджень, так і результатами чисельного моделювання та експериментальних досліджень. Запропонований підхід до аналізу стану сприймаючої поверхні сонячного елемента базується на використанні фрактальної геометрії, що дозволило врахувати нерівномірності та дефекти реальної поверхні, які традиційні евклідові моделі не охоплюють.

Достовірність результатів забезпечується застосуванням сучасних математичних методів, комп'ютерного моделювання (зокрема в середовищі Mathcad та іншому програмному забезпеченні), а також верифікацією отриманих залежностей із використанням експериментальних даних.

Експериментальна частина містить порівняння розрахункових та фактичних вольт-амперних і вольт-ватних характеристик сонячного елемента, що підтверджує адекватність розробленої моделі.

Висновки дисертаційної роботи ґрунтуються на узагальненні результатів, отриманих на усіх етапах дослідження, мають достатній ступінь узгодженості з поставленими завданнями та логічно впливають із аналізу. Рекомендації щодо застосування результатів роботи для оптимізації конструкцій сонячних елементів та підвищення точності їх діагностики є науково виваженими й технічно досяжними.

Наукові результати апробовано на профільних конференціях, опубліковано в рецензованих виданнях, а також частково реалізовано у межах кафедральної науково-дослідної тематики, що додатково підтверджує їхню практичну цінність і достовірність. Таким чином, наукові положення, висновки та рекомендації, сформульовані у дисертації, є достовірними, підтвердженими теоретично і експериментально, мають практичну значущість та можуть бути ефективно використані при експлуатації сонячних станцій, для виявлення місцезнаходження, типу та розміру ушкоджуючих дефектів на поверхні сонячної батареї, а також при виготовленні фотоелектричних перетворювачів і при тривалій експлуатації сонячних батарей.

Новизна наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації

У дисертаційній роботі отримано нові науково обґрунтовані результати, які в сукупності розв'язують важливу науково-прикладну задачу:

- удосконалення підходів до оцінювання якості властивостей структури сприймаючої поверхні напівпровідникового шару фотоелектричного перетворювача з метою регулювання параметрами точності, стабільності вольт-амперної та лінійності вольт-ватної характеристик сонячного елемента, на основі визначення параметрів

реальної площі сприймаючої поверхні рельєфу напівпровідникового шару сонячного елемента з урахуванням фрактальних властивостей поверхні. Основні елементи наукової новизни полягають у наступному:

- Вперше розроблена геометрична модель сприймаючої поверхні напівпровідникового шару фотоелектричного перетворювача, в якій розглянуті фізичні процеси, котрі відбуваються, при зміні властивостей зовнішньої та внутрішньої структури сприймаючої фрактальної поверхні напівпровідникового шару фотоелектричного перетворювача за наявності локальних неоднорідностей, мікропор і макротріщин, що дозволяє врахувати точність вимірювання електрофізичних параметрів: струму короткого замикання, напруги холостого ходу, величини вихідної потужності та коефіцієнту корисної дії, шляхом урахування зміни величини площі сприймаючої поверхні на основі використання апарату фрактальної геометрії;

- Набули подальшого розвитку вдосконалені аналітичні вирази для кількісної оцінки якості параметрів моделі фотоелектричного перетворювача, які на відміну від відомих дозволяють врахувати степеневу залежність реальної площі сприймаючої поверхні, від зміни величини фрактальної розмірності в об'ємній структурі по всій товщині напівпровідникового шару фотоелектричного перетворювача;

- Удосконалено метод кількісного оцінювання якості параметрів фотоелектричного перетворювача, який на відміну від відомих, дозволив врахувати підвищення точності, стабільності та лінійності вольт-амперної (вольт-ватної) характеристик на основі вимірювання величини фрактальної розмірності, яка характеризує зміну властивостей структури реальної площі сприймаючої поверхні напівпровідникового шару фотоелектричного перетворювача, а також призводить до зміни вихідної потужності та коефіцієнту корисної дії.

Таким чином, результати дослідження суттєво розширюють науково-методичну базу оцінювання якості параметрів сонячної батареї,

забезпечуючи нові інструменти для підвищення точності і надійності визначення ефективності її експлуатації.

Практичне значення результатів дисертаційного дослідження

Результати дисертаційної роботи мають важливе практичне значення для вдосконалення методів діагностики та моделювання параметрів сонячних елементів. Запропонований фрактальний підхід до оцінювання сприймаючої поверхні фотоелектричних перетворювачів дозволяє більш точно враховувати вплив поверхневих дефектів і структурних нерівностей на електрофізичні характеристики сонячних батарей в процесі експлуатації на сонячних станція України.

Розроблена математична модель, що враховує фрактальну розмірність поверхні, дає змогу підвищити точність визначення вольт-амперних і вольт-ватних характеристик сонячного елемента, що є критично важливим для оптимізації процесу проектування, експлуатаційного моніторингу та контролю якості сонячних панелей.

Практична реалізація результатів роботи можлива у вигляді удосконалення процедур метрологічної атестації сонячних елементів, шляхом впровадження в нормативні процедури технічної діагностики та контролю дефектів методик оцінювання якості параметрів сонячних батарей та використання результатів дослідження в інженерних розрахунках при розробленні нових конструкцій сонячних панелей.

Результати теоретичних та експериментальних досліджень впроваджені в ТОВ «Екватор Сан Енерджі» у вигляді методики кількісного оцінювання параметрів сонячної батареї.

Результати дослідження та його основні положення застосовуються в освітньому процесі при підготовці фахівців з енергетики, метрології та електротехніки. Теоретичні положення, що розглядаються в дисертаційній роботі, використовуються в навчальному процесі Навчально-наукового інституту «Українська інженерно-педагогічна академія» при вивченні

навчальних дисциплін: «Фотоелектричні станції та засоби накопичення електричної енергії»; «Концепції сталого розвитку та енергетичної безпеки»; «Аналіз і моделювання процесів в електричних системах та об'єктах»; «Системи розподіленої генерації» (Акт впровадження №106-02/22 від 26.08.2024).

Окремі результати дисертації вже використані у науково-дослідній тематиці кафедри електротехніки та електроенергетики Української інженерно-педагогічної академії, а також апробовані на профільних конференціях. Це свідчить про прикладну значущість і готовність результатів до подальшого впровадження в практику проєктування та діагностики сонячних енергетичних установок.

Повнота викладу основних результатів дисертації, висновків і пропозицій в опублікованих працях здобувача

Наукові результати дисертації висвітлені у 22 наукових працях, у тому числі у 6 статтях у наукових фахових виданнях (з них 2 – статтях у наукових виданнях, які входять до наукометричної бази Scopus; 1 – стаття (розділ монографії) в країні Європейського Союзу; 3 статті у наукових фахових виданнях України); апробаційного характеру опубліковано 4 статті та 12 тез доповідей в збірниках конференцій. Таким чином, наукові результати, що подано в дисертаційній роботі, повністю висвітлені у наукових публікаціях здобувача.

Основні наукові результати, положення, висновки та рекомендації, що виносяться на захист, є особистим авторським внеском у розробку обраної теми дисертаційної роботи. З наукових праць, опублікованих у співавторстві, в дисертації використано лише ті ідеї та положення, котрі становлять індивідуальний внесок автора. Особистий внесок у працях, опублікованих у співавторстві, зазначено у списку публікацій.

Відповідність дисертації встановленим вимогам

Дисертація Кирисова І.Г. відзначається логічною побудовою, а її структура (анотація, вступ, чотири розділи, висновки, список використаних джерел, додатки) є чітко сформованою та аргументованою. Висновки узагальнюють результати дослідження, а використаний методологічний інструментарій має належне обґрунтування. Перелік джерел є репрезентативним і повністю відображає наукові та практичні напрацювання у відповідній сфері. Висока якість матеріалів і їх достатній обсяг підтверджують відповідність дисертації всім встановленим вимогам.

Відсутність (наявність) порушення академічної доброчесності

Перевірка дисертації Кирисова І.Г. засвідчила відсутність ознак академічної недоброчесності. Посилання на першоджерела в роботі є коректними, навмисних запозичень та спотворень не виявлено. На основі цього можна стверджувати про відсутність порушень академічної доброчесності в дисертації.

Зауваження та дискусійні положення

Дисертаційне дослідження І.Г. Кирисова є завершеною науковою працею, результати якої мають теоретичну новизну та прикладну значущість. У процесі опрацювання матеріалу було виявлено кілька положень, що можуть стати предметом наукової дискусії або уточнення в подальших дослідженнях:

1. Зокрема, потребує подальшого розвитку підхід до обґрунтування вибору конкретних параметрів фрактальної моделі в контексті реальних умов експлуатації сонячних елементів (с.78). Питання впливу зовнішніх кліматичних чинників (наприклад, забруднення, температурних градієнтів, вологості) на параметри фрактальної структури поверхні залишаються відкритими. Подальші дослідження могли б включати експериментальну

валідацію фрактальних моделей у динамічних умовах реальної експлуатації сонячних батарей протягом тривалого часу.

2. Також дискусійним є рівень узагальнення отриманих результатів на всі типи напівпровідникових матеріалів і конструкцій сонячних елементів. Незважаючи на високий ступінь математичної узгодженості, для деяких типів фотоелементів (наприклад, багат шарових або перовськітних) фрактальні моделі можуть потребувати адаптації або модифікації.

3. Крім того, автором зроблено акцент на математичному моделюванні та розрахункових залежностях, тоді як експериментальна база, хоч і достатня для підтвердження гіпотез, може бути розширена з метою глибшого вивчення впливу фрактальної структури на електрофізичні властивості при змінних режимах освітлення та навантаження.

4. В дисертаційній роботі присутні окремі стилістичні та мовні неточності в тексті, зокрема повтори, надмірно складні синтаксичні конструкції та не завжди чітке формулювання окремих положень, що подекуди ускладнює сприйняття матеріалу.

Разом із тим зазначені зауваження не знижують наукової цінності дисертації, а навпаки — вказують на перспективність і актуальність обраного напрямку дослідження та можливості його подальшого розвитку.

Загальний висновок

Дисертація Кирисова І.Г. на тему «Метод кількісного оцінювання якості параметрів сонячної батареї», подану на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 15 Автоматизація та приладобудування за спеціальністю 152 – Метрологія та інформаційно-вимірвальна техніка, є завершеним дослідженням, наукові результати якого у сукупності дозволили вирішити актуальне науково-прикладне завдання – кількісне оцінювання якості властивостей структури сприймаючої поверхні напівпровідникового шару фотоелектричного перетворювача для підвищення точності,

стабільності та лінійності вольт-амперної (вольт-ватної) характеристик сонячного елемента, шляхом розробки методу кількісного оцінювання параметрів реальної площі сприймаючої поверхні рельєфу напівпровідникового шару сонячного елемента із застосуванням обчислювального апарату фрактальної геометрії.

Вважаємо, що за новизною, актуальністю, обсягом та практичним значенням дисертація відповідає вимогам наказу МОН України №40 від 12.01.2017 р. «Про затвердження Вимог до оформлення дисертації» (зі змінами) та «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 №44 від 12 січня 2022 року, а її автор, Кирисов Ігор Геннадійович, заслуговує на присудження ступеня доктора філософії за спеціальністю 152 – Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка у галузі знань 15 – Автоматизація та приладобудування.

Офіційний рецензент, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автоматизації, метрології та енергоефективних технологій Навчально-наукового інституту «Українська інженерно-педагогічна академія» Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна

Ганна ГРІНЧЕНКО

ПРОТОКОЛ
створення та перевірки кваліфікованого та удосконаленого електронного підпису

Дата та час: 20:51:27 15.08.2025

Назва файлу з підписом: Рецензія_Грінченко Г.С. для КЕП.docx.asice
Розмір файлу з підписом: 29.8 КБ

Перевірені файли:

Назва файлу без підпису: Рецензія_Грінченко Г.С. для КЕП.docx
Розмір файлу без підпису: 27.3 КБ

Результат перевірки підпису: Підпис створено та перевірено успішно. Цілісність даних підтверджено

Підписувач: Грінченко Ганна Сергіївна

П.І.Б.: Грінченко Ганна Сергіївна

Країна: Україна

РНОКПП: 3013311647

Час підпису (підтверджено кваліфікованою позначкою часу для підпису від Надавача): 20:51:18 15.08.2025

Сертифікат виданий: "Дія". Кваліфікований надавач електронних довірчих послуг

Серійний номер: 382367105294AF97040000002B150E000103DB02

Тип носія особистого ключа: ЗНКІ криптомодуль ІІТ Гряда-301

Алгоритм підпису: ДСТУ 4145

Тип підпису: Кваліфікований

Тип контейнера: Підпис та дані в архіві (розширений) (ASiC-E)

Формат підпису: З повними даними ЦСК для перевірки (CAdES-X Long)

Сертифікат: Кваліфікований

Версія від: 2025.08.04 13:00

Голові разової спеціалізованої вченої ради
Харківського національного університету
імені В. Н. Каразіна, доктору технічних наук,
професору, заступнику директора
Навчально-наукового інституту «Українська
інженерно-педагогічна академія»
Харківського національного університету
імені В. Н. Каразіна
Купріянову Олександру Володимировичу
майдан Свободи 4, м. Харків, 61022

ВІДГУК

офіційного опонента, доктора технічних наук, доцента, завідувача кафедри електронних обчислювальних машин Національного університету «Львівська політехніка» Рудика Юрія Івановича на дисертаційну роботу Кирисова Ігоря Геннадійовича на тему «Метод кількісного оцінювання якості параметрів сонячної батареї», подану на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 15 Автоматизація та приладобудування за спеціальністю 152 – Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка

1. Актуальність теми. На сьогодні сонячні батареї є ключовим елементом сучасної відновлюваної енергетики. Ефективність сонячних батарей залежить не лише від якості фотоелементів, але і від стану їх поверхні. Пошкодження лицьового шару (захисного скла чи полімерного покриття) може суттєво знизити продуктивність та скоротити термін служби сонячних батарей. Таким чином, показником якості процесу експлуатації фотоелементів може бути стан їх приймальної поверхні.

До основних причин пошкоджень сонячних батарей відносяться: вплив природних явищ (град, вітер, піщані бурі), виробничі дефекти, неправильне транспортування та монтаж, тривала експлуатація в екстремальних умовах. Значні пошкодження на поверхні сонячних батарей можуть призвести до

передчасного виходу їх з ладу. Своєчасне виявлення пошкоджень поверхні сонячних батарей значно продовжують термін їх служби. Таким чином, розробка методів моніторингу пошкоджень поверхні сонячних батарей є надзвичайно актуальним завданням.

2. Основні наукові результати, отримані здобувачем, та їх наукова новизна. До основних результатів дисертаційного дослідження, які визначають ступінь і характер наукової новизни, належать:

- Вперше розроблена математична модель сприймаючої поверхні напівпровідникового шару фотоелектричного перетворювача, в якій розглянуті фізичні процеси, котрі відбуваються при зміні властивостей зовнішньої та внутрішньої структури сприймаючої поверхні напівпровідникового шару фотоелектричного перетворювача за наявності локальних неоднорідностей, мікропор і макротріщин, що дозволяє підвищити точність вимірювання електрофізичних параметрів: струму короткого замикання, напруги холостого ходу, величини вихідної потужності та коефіцієнту корисної дії, шляхом урахування зміни величини площі сприймаючої поверхні на основі використання апарату фрактальної геометрії.
- Удосконалено аналітичні вирази для кількісної оцінки якості параметрів моделі фотоелектричного перетворювача, які на відміну від відомих, дозволяють врахувати степеневу залежність реальної площі сприймаючої поверхні, від зміни величини фрактальної розмірності в об'ємній структурі по всій товщині напівпровідникового шару фотоелектричного перетворювача.
- Набув подальшого розвитку метод кількісного оцінювання якості параметрів фотоелектричного перетворювача, який на відміну від відомих, дозволив врахувати підвищення точності, стабільності та лінійності вольт-амперної (вольт-ватної) характеристик на основі вимірювання величини фрактальної розмірності, яка характеризує зміну властивостей структури реальної площі сприймаючої поверхні напівпровідникового шару фотоелектричного перетворювача, а також призводить до зміни вихідної

потужності та коефіцієнту корисної дії.

3. Оцінка змісту дисертації, її завершеності та якості оформлення.

У структурному вигляді дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку літератури і трьох додатків.

Загальний обсяг роботи становить 158 с., з них основного тексту, включаючи ілюстрації та таблиці, 112 с. Текст добре ілюстровано 45 рисунками, 16 таблицями. Список літератури містить 88 джерел, з них більше половини англомовних. У додатку А подано власні наукові праці здобувача. Їх загальна кількість 22, з цього числа 2 праці у міжнародних виданнях, які входять до наукометричних баз Scopus, інші праці у наукових виданнях України. У додатках представлено довідка про впровадження результатів роботи у науково-дослідній роботі у ТОВ «Екватор Сан Енерджі» та у навчальному процесі навчально-наукового інституту Української інженерно-педагогічної академії Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна.

У вступі наведено загальну характеристику дисертаційного дослідження, його актуальність, відповідність науковим темам, визначено наукову новизну та практичне значення результатів дисертації, а також предмет та об'єкт дослідження, сформульовано мету та задачі наукового дослідження, показано зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, наведено дані про апробацію результатів та публікації.

Перший розділ роботи присвячений аналізу моделей та методів кількісного оцінювання якості параметрів сонячних батарей. Показано, що вплив зовнішніх і внутрішніх факторів викликають ушкоджуючі дефекти на сприймаючій поверхні напівпровідникового шару фотоелектричного перетворювача. Проаналізовано найбільш використовувані методи кваліметрії, щодо оцінювання якості параметрів структури поверхні фотоелектричного перетворювача, для визначення їх переваг і недоліків.

Другий розділ присвячений моделюванню процесів, які відбуваються у

сприймаючій поверхні напівпровідникового шару фотоелектричного перетворювача. Розроблена та запропонована геометрична модель сприймаючої поверхні фотоелектричного перетворювача для кількісної оцінки якості параметрів сонячного елемента, на основі застосування апарата фрактальної геометрії. Показано, що в запропонованій геометричній моделі, в результаті впливу ушкоджуючих дефектів, утворюються локальні неоднорідності, мікропори та макротріщини, та поверхня має специфічні фрактальні властивості: інваріантність, масштабованість та самоподібність, що зумовлює обґрунтування вибору ефективного параметра оцінки структурно-фазової зміни та врахування фрактальних властивостей поверхні – величини фрактальної розмірності. Запропоновано, для розрахунків кількісної оцінки якості критеріїв стану сприймаючої поверхні фотоелектричного перетворювача ввести обмеження та припущення, щодо геометричних прирощень, які призводять до наближених і неточних вольт-амперної та вольт-ватної характеристик у системах, що використовуються для контролю параметрів сонячної батареї. Обґрунтовано, що основою для розрахунків, кількісної оцінки якості критеріїв стану сприймаючої поверхні фотоелектричного перетворювача, необхідно використовувати фрактальні властивості структури матеріалу поверхні сонячного елемента та кількісну фрактальну величину – фрактальну розмірність, яка дозволяє визначити ушкоджуючі дефекти на поверхні фотоелектричного перетворювача. Отримано удосконалені аналітичні вирази моделі кількісної оцінки якості параметрів реальної площі сприймаючої поверхні напівпровідникового шару фотоелектричного перетворювача, з урахуванням фрактальних прирощень геометричних параметрів сприймаючої поверхні фотоелектричного перетворювача.

У третьому розділі були проведені експериментальні дослідження сприймаючої поверхні фотоелектричного перетворювача за допомогою фрактального методу кваліметрії, які підтвердили залежність реальної площі сприймаючої поверхні фотоелектричного перетворювача від отриманих розрахунків величини фрактальної розмірності. Експериментально

підтверджено залежності мінімальної потужності, коефіцієнту корисної дії, вхідних та вихідних параметрів сонячного елементу від фрактальної розмірності структури сприймаючої поверхні фотоелектричного перетворювача. Підтверджено адекватність одержаних теоретичних досліджень, щодо вдосконалення моделі кількісної оцінки якості сприймаючої поверхні фотоелектричного перетворювача.

Четвертий розділ присвячений практичному впровадженню кваліметричного методу кількісного оцінювання параметрів сонячних батарей при експлуатації сонячної електростанції. Запропоновано систему безперервного моніторингу, в режимі реального часу, параметрів сонячної батареї для автоматичного робочого місця оператора сонячної електричної станції, для виявлення дефектів в структурі сприймаючої поверхні напівпровідникового шару фотоелектричного перетворювача.

Висновки і рекомендації, наведені в дисертації, відповідають результатам досліджень.

Список використаних джерел охоплює сучасні праці вітчизняних та закордонних дослідників і підтверджує, що здобувач ознайомлений з сучасними здобутками у галузі технічних наук та використовує їх у своїх дослідженнях.

Отже, дисертація Кирисова Ігоря Геннадійовича є завершеною науковою працею, яка за змістом і оформленням відповідає вимогам “Порядку присудження ступеня доктора філософії ” (Постанова Кабінету Міністрів України від 12.01 2022 р. № 44) та наказу Міністерства освіти і науки України від 12.01.2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

4. Зв’язок дисертаційної роботи з науковими програмами, планами, темами, грантами. Дисертаційне дослідження виконувалось в рамках реалізації науково-дослідних робіт навчально-наукового інституту «Українська інженерно-педагогічна академія», а саме «Розроблення проєкту сонячної панелі на основі моделювання поверхні сонячного елемента із

застосуванням фрактальної геометрії» (державний реєстраційний номер: 0122U200539).

5. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації. Обґрунтованість наукових положень дисертації підтверджується науковими працями здобувача. За результатами дисертаційного дослідження опубліковано 5 наукових праць, серед яких: 2 публікації у міжнародних виданнях, які входять до наукометричних баз Scopus, 3 публікації у наукових фахових виданнях України. Положення дисертаційної роботи пройшли апробацію на 11 наукових конференціях і семінарах. Розроблення, обґрунтування, і практична апробація методики оцінювання якості параметрів сонячної батареї оцінювання є здобутком автора дисертації.

Вищевикладені положення дозволяють зробити висновок про достатню обґрунтованість і достовірність представлених у дисертаційній роботі наукових положень і висновків.

6. Практичне значення отриманих результатів. Результати роботи використано у реалізації НДР навчально-наукового інституту Української інженерно-педагогічної академії Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна.

Практична цінність отриманих результатів полягає в тому, що експериментально розроблений метод кількісного оцінювання якості параметрів, який може бути застосований при експлуатації сонячних станцій, для виявлення місцезнаходження, типу та розміру ушкоджуючих дефектів на поверхні сонячної батареї, а також може бути використаним при виготовленні фотоелектричних перетворювачів і при тривалій експлуатації сонячних батарей. Результати теоретичних та експериментальних досліджень, алгоритм інформаційно-вимірювального модуля виявлення дефектів, системи контролю поверхні фотоелектричного перетворювача, можуть знайти практичну

апробацію на сонячних електростанціях України.

7. Дотримання академічної доброчесності. За результатами аналізу дисертаційної роботи та публікацій автора порушення академічної доброчесності не виявлено. Наявні запозичення – це надруковані праці здобувача, які мають відповідні посилання у тексті.

8. Дискусійні положення та зауваження до змісту дисертації.

1. Загалом за змістом роботи та отриманих результатів видається не достатньо висвітленим обґрунтування вибору основними показниками якості фотоелектричної панелі мікроструктурних особливостей реальної поверхні сонячного елемента під час експлуатації та їх вплив на його робочі характеристики (С.39, 57 і 58). Чи були отримані оцінки вагомості цього фактора в оцінюванні загальної якості процесу отримання електроенергії з фотоелементів?

2. Формулювання особистого внеску здобувача у вступі (С.25) засноване лише на трьох авторських публікаціях, тоді як щодо решти це не визначено.

3. Праці автора, наведені у переліку з №19 по 21, засвідчують апробацію матеріалів дисертації, однак щодо них не вказано, чи мають статус фахового видання?

4. У гл. 4.3 автор застосовує термін «похибка» для «результату вимірювання окремим датчиком вимірювання системи контролю пошкодження поверні ФЕП», що стосовно результату вимірювання має описуватися терміном «невизначеність» згідно з ISO/IEC Guide 98-1:2024.

Наведені дискусійні положення та зауваження не є принциповими і жодним чином не зменшують високої оцінки роботи, її наукової цінності, актуальності та практичного значення і не впливають на позитивну оцінку проведеного дослідження.

9. Загальний висновок.

Дисертаційна робота здобувача Кирисова Ігоря Геннадійовича на тему «Удосконалення кваліметричних методів оцінювання ризиків якості технологічних процесів з застосуванням інформаційних технологій» на здобуття наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 15 – Автоматизація та приладобудування за спеціальністю 152 – Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка, є актуальною науковою роботою, яка повністю відповідає «Вимогам до оформлення дисертації», що затверджені наказом Міністерства освіти і науки України від 12.01.2017 р. № 40 та «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», що затверджений постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44.

Зазначений доробок є вагомою підставою для присудження здобувачу Кирисова Ігоря Геннадійовича наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 15 – Автоматизація та приладобудування за спеціальністю 152 – Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка.

Офіційний опонент –
доктор технічних наук, доцент,
завідувач кафедри електронних
обчислювальних машин
Національного університету
«Львівська політехніка»

Юрій РУДИК

ПРОТОКОЛ
створення та перевірки кваліфікованого та удосконаленого електронного підпису

Дата та час: 23:00:12 18.08.2025

Назва файлу з підписом: Відгук_РудикЮ.І._КирисовІ.pdf.asice
Розмір файлу з підписом: 243.4 КБ

Перевірені файли:
Назва файлу без підпису: Відгук_РудикЮ.І._КирисовІ.pdf
Розмір файлу без підпису: 245.5 КБ

Результат перевірки підпису: Підпис створено та перевірено успішно. Цілісність даних підтверджено

Підписувач: РУДИК ЮРІЙ ІВАНОВИЧ
П.І.Б.: РУДИК ЮРІЙ ІВАНОВИЧ
Країна: Україна
РНОКПП: 2643316317
Організація (установа): ФІЗИЧНА ОСОБА
Час підпису (підтверджено кваліфікованою позначкою часу для підпису від Надавача): 22:59:48 18.08.2025
Сертифікат виданий: КНЕДП АЦСК АТ КБ "ПРИВАТБАНК"
Серійний номер: 5E984D526F82F38F0400000044D54F0121F80E06
Алгоритм підпису: ДСТУ 4145
Тип підпису: Удосконалений
Тип контейнера: Підпис та дані в архіві (розширений) (ASiC-E)
Формат підпису: З повними даними для перевірки (XAdES-B-LT)
Сертифікат: Кваліфікований

Версія від: 2025.08.04 13:00

Голові разової спеціалізованої вченої ради
Харківського національного університету
імені В. Н. Каразіна, доктору технічних
наук, професору, заступнику директора
Навчально-наукового інституту
«Українська інженерно-педагогічна
академія»
Харківського національного університету
імені В. Н. Каразіна
Купріянову Олександрову Володимировичу
майдан Свободи 4, м. Харків, 61022

ВІДГУК

офіційного опонента, доктора технічних наук, професора, завідувача кафедри агроінженерії Одеського державного аграрного університету Дядюра Костянтина Олександровича на дисертаційну роботу Кирисова Ігоря Геннадійовича на тему «Метод кількісного оцінювання якості параметрів сонячної батареї», подану на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 15 Автоматизація та приладобудування за спеціальністю 152 – Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка

1. Обґрунтування вибору теми. Сонячна енергетика - один із найбільш перспективних напрямів відновлюваної енергетики, який швидко розвивається в Україні. Завдяки вигідним кліматичним умовам, сприятливому законодавству та інвестиційній підтримці ця галузь за останні 15 років пройшла шлях від поодиноких установок до масштабних промислових електростанцій. Однак при тривалій експлуатації сонячних батарей відбувається зниження їх продуктивності, що спричинено

процесами деградації, які характеризується поступовим зниженням здатності фотоелементів перетворювати сонячне світло в електричну енергію. До основних причин, які спричиняють деградацію сонячних батарей відносяться: висока температура при експлуатації, вплив вологи та корозія, природне старіння матеріалів, екстремальні погодні умови (град, бурі, сильний вітер).

Деградація сонячних батарей - природний, але керований процес. Завдяки правильному вибору обладнання, якісному монтажу та регулярному моніторингу стану сонячних батарей можна забезпечити стабільну роботу сонячної електростанції протягом десятиліть.

Діагностика стану та моніторинг стану сонячних панелей є необхідною умовою підтримки стабільної роботи фотоелектричних систем. Таким чином розробка нових методів моніторингу стану сонячних панелей є надзвичайно актуальним завданням.

2. Оцінка змісту дисертації, її завершеності та якості оформлення. Дисертація складається з анотації, вступу, чотирьох основних розділів, висновків, переліку використаних джерел та трьох додатків.

Загальний обсяг роботи становить 158 сторінок, з них обсяг основного тексту – 112 сторінок: 1 ілюстрація на 1 окремій сторінці, 44 ілюстрацій по тексту, 16 таблиць по тексту, 3 додатки на 15-ти сторінках, список використаних джерел із 88 найменувань на 11-ти сторінках.

У вступі наведено загальну характеристику дисертаційного дослідження, його актуальність, відповідність науковим темам, визначено наукову новизну та практичне значення результатів дисертації, а також предмет та об'єкт дослідження, сформульовано мету та задачі наукового дослідження, показано зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, наведено дані про апробацію результатів та публікації.

Перший розділ роботи присвячений аналізу моделей та методів кількісного оцінювання якості параметрів сонячних батарей. Показано, що

вплив зовнішніх і внутрішніх факторів викликають ушкоджуючі дефекти на сприймаючій поверхні напівпровідникового шару фотоелектричного перетворювача. Проаналізовано найбільш використовувані методи кваліметрії, щодо оцінювання якості параметрів структури поверхні фотоелектричного перетворювача, для визначення їх переваг і недоліків.

Другий розділ присвячений моделюванню процесів, які відбуваються у сприймаючій поверхні напівпровідникового шару фотоелектричного перетворювача. Розроблена та запропонована геометрична модель сприймаючої поверхні фотоелектричного перетворювача для кількісної оцінки якості параметрів сонячного елемента, на основі застосування апарата фрактальної геометрії. Показано, що в запропонованій геометричній моделі, в результаті впливу ушкоджуючих дефектів, утворюються локальні неоднорідності, мікропори та макротріщини, та поверхня має специфічні фрактальні властивості: інваріантність, масштабованість та самоподібність, що зумовлює обґрунтування вибору ефективного параметра оцінки структурно-фазової зміни та врахування фрактальних властивостей поверхні – величини фрактальної розмірності. Визначено, що у геометричній моделі сприймаючої поверхні фотоелектричного перетворювача зміна величини реальної площі пошкодженої поверхні перебуває у ступеневій залежності від зміни величини фрактальної розмірності структури поверхневого шару фотоелектричного перетворювача. Запропоновано, для розрахунків кількісної оцінки якості критеріїв стану сприймаючої поверхні фотоелектричного перетворювача ввести обмеження та припущення, щодо геометричних прирощень, які призводять до наближених і неточних вольт-амперної та вольт-ватної характеристик у системах, що використовуються для контролю параметрів сонячної батареї. Обґрунтовано, що в якості основи для розрахунків, кількісної оцінки якості критеріїв стану сприймаючої поверхні фотоелектричного перетворювача, необхідно використовувати фрактальні властивості структури матеріалу поверхні

сонячного елемента та кількісну фрактальну величину – фрактальну розмірність, яка дозволяє визначити ушкоджуючі дефекти на поверхні фотоелектричного перетворювача. Отримано удосконалені аналітичні вирази моделі кількісної оцінки якості параметрів реальної площі сприймаючої поверхні напівпровідникового шару фотоелектричного перетворювача, з урахуванням фрактальних прирощень геометричних параметрів сприймаючої поверхні фотоелектричного перетворювача.

У третьому розділі були проведені експериментальні дослідження сприймаючої поверхні фотоелектричного перетворювача за допомогою фрактального методу кваліметрії, які підтвердили залежність реальної площі сприймаючої поверхні фотоелектричного перетворювача від отриманих розрахунків величини фрактальної розмірності. Експериментально підтверджено залежності мінімальної потужності, коефіцієнту корисної дії, вхідних та вихідних параметрів сонячного елемента від фрактальної розмірності структури сприймаючої поверхні фотоелектричного перетворювача. Підтверджено адекватність одержаних теоретичних досліджень, щодо вдосконалення моделі кількісної оцінки якості сприймаючої поверхні фотоелектричного перетворювача.

Четвертий розділ присвячений практичному впровадженню кваліметричного методу кількісного оцінювання параметрів сонячних батарей при експлуатації сонячної електростанції. Запропоновано систему безперервного моніторингу, в режимі реального часу, параметрів сонячної батареї для автоматичного робочого місця оператора сонячної електричної станції, для виявлення дефектів в структурі сприймаючої поверхні напівпровідникового шару фотоелектричного перетворювача.

Висновки наведені в дисертації, відповідають результатам досліджень.

Список використаних джерел охоплює сучасні праці вітчизняних та закордонних дослідників і підтверджує, що здобувач ознайомлений з сучасними здобутками у даній галузі та використовує їх у своїх

дослідженнях.

Дисертація Кирисова Ігоря Геннадійовича є завершеною науковою працею, яка за змістом і оформленням відповідає вимогам “Порядку присудження ступеня доктора філософії” (Постанова Кабінету Міністрів України від 12.01 2022 р. № 44) та наказу Міністерства освіти і науки України від 12.01.2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

3. Основні наукові результати, отримані здобувачем та їх наукова новизна. До основних результатів дисертаційного дослідження, які визначають ступінь і характер наукової новизни, належать:

- Вперше розроблена геометрична модель сприймаючої поверхні напівпровідникового шару фотоелектричного перетворювача, в якій розглянуті фізичні процеси, котрі відбуваються, при зміні властивостей зовнішньої та внутрішньої структури сприймаючої фрактальної поверхні напівпровідникового шару фотоелектричного перетворювача за наявності локальних неоднорідностей, мікропор і макротріщин, що дозволяє врахувати точність вимірювання електрофізичних параметрів: струму короткого замикання, напруги холостого ходу, величини вихідної потужності та коефіцієнту корисної дії, шляхом урахування зміни величини площі сприймаючої поверхні на основі використання апарату фрактальної геометрії;

- Набули подальшого розвитку вдосконалені аналітичні вирази для кількісної оцінки якості параметрів моделі фотоелектричного перетворювача, які на відміну від відомих дозволяють врахувати степеневу залежність реальної площі сприймаючої поверхні, від зміни величини фрактальної розмірності в об'ємній структурі по всій товщині напівпровідникового шару фотоелектричного перетворювача;

- Удосконалено метод кількісного оцінювання якості параметрів фотоелектричного перетворювача, який на відміну від відомих, дозволив

врахувати підвищення точності, стабільності та лінійності вольт-амперної (вольт-ватної) характеристик на основі вимірювання величини фрактальної розмірності, яка характеризує зміну властивостей структури реальної площі сприймаючої поверхні напівпровідникового шару фотоелектричного перетворювача, а також призводить до зміни вихідної потужності та коефіцієнту корисної дії.

4. Зв'язок дисертаційної роботи з науковими програмами, планами, темами, грантами. Дисертаційна робота виконана в рамках наукових досліджень навчально-наукового інституту «Українська інженерно-педагогічна академія», зокрема за темою: «Розроблення проекту сонячної панелі на основі моделювання поверхні сонячного елемента із застосуванням фрактальної геометрії» (державний реєстраційний номер: 0122U200539).

5. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертації. Основні наукові результати та висновки дисертації пройшли апробацію під час міжнародних наукових конференцій та знайшли відображення в 22 публікаціях у фахових та міжнародних наукових виданнях. За результатами дисертаційного дослідження опубліковано 5 наукових праць, серед яких: 2 публікації у міжнародних виданнях, які входять до наукометричних баз Scopus, 3 публікації у наукових фахових виданнях України. Положення дисертаційної роботи пройшли апробацію на 11 наукових конференціях і семінарах.

Практичну складову досліджень впроваджено у навчальному процесі Навчально-наукового інституту «Українська інженерно-педагогічна академія» а також в ТОВ «Екватор Сан Енерджі».

Вищевказане дозволяє зробити висновок про достатню обґрунтованість і достовірність представлених у дисертаційній роботі

наукових положень і висновків.

6. Практичне значення отриманих результатів. Практична значущість отриманих результатів полягає в тому, що експериментально розроблений метод кількісного оцінювання якості параметрів, який може бути застосований при експлуатації сонячних станцій, для виявлення місцезнаходження, типу та розміру ушкоджуючих дефектів на поверхні сонячної батареї, а також може бути використаним при виготовленні фотоелектричних перетворювачів і при тривалій експлуатації сонячних батарей. Результати теоретичних та експериментальних досліджень, алгоритм інформаційно-вимірювального модуля виявлення дефектів, системи контролю поверхні фотоелектричного перетворювача, можуть знайти практичну апробацію на сонячних станціях України.

Теоретичні положення та результати експериментальних досліджень були впроваджені на підприємстві ТОВ «Екватор Сан Енерджі». Окрім того, результати проведених наукових досліджень впроваджені в навчальний процес навчально-наукового інституту «Українська інженерно-педагогічна академія» при вивченні навчальних дисциплін: «Фотоелектричні станції та засоби накопичення електричної енергії»; «Концепції сталого розвитку та енергетичної безпеки»; «Аналіз і моделювання процесів в електричних системах та об'єктах»; «Системи розподіленої генерації» ,про що свідчать відповідні документи.

7. Дотримання академічної доброчесності. За результатами аналізу дисертаційної роботи та публікацій автора порушення академічної доброчесності не виявлено. Наявні запозичення – це надруковані праці здобувача, які мають відповідні посилання у тексті.

8. Дискусійні положення та зауваження до змісту дисертації.

За результатами аналізу дисертаційної роботи є зауваження:

1. З результатів досліджень не зрозуміла залежності струму та напруги від площі фрактальної поверхні.

2. У підрозділі 1.4 (стор. 58-70) проведено аналіз використання методів кваліметрії, для оцінювання якості параметрів структури поверхні сонячного елемента, однак, не показано наскільки обґрунтованим є вибір конкретних кваліметричних показників для характеристики мікрорельєфу поверхні фотоелектричного перетворювача, та як враховуються кореляційні залежності між параметрами шорсткості та фотоелектричними характеристиками сонячних елементів.

3. На рис 2.1 (стор. 73) представлена структурна геометрична модель за фрактальною теорією, яка є корисною для опису багаторівневої складності поверхні фотоелектричного перетворювача, але водночас модель має ряд обмежень, пов'язаних із надмірною абстракцією та ідеалізацією реальних фізичних процесів, що не повністю відображає реальний стан поверхні фотоелектричного перетворювача, оскільки реальні мікронерівності мають хаотичний характер і не завжди піддаються точному відтворенню у вигляді регулярних фрактальних структур.

4. У підрозділі 2.2 (стор. 78-80) у удосконалених аналітичних виразах (2.8-2.14) моделі сонячного елемента, які дозволяють враховувати зміну реальної площі сприймаючої поверхні, залишаються певні обмеження. Зокрема, не враховано вплив додаткових фізичних факторів (розсіяння, рекомбінаційні процеси), не показано чутливості результатів до зміни параметрів фотоелектричного перетворювача, а також недостатньо окреслено універсальність застосування виразів (2.8-2.14) для різних типів фотоелектричних перетворювачів.

5. На рис. 3.3. (стор. 86) представлений алгоритм побудови математичної моделі сонячного елемента в системах схемотехнічного моделювання MATLAB/Simulink, який дозволяє відтворювати електричні характеристики сонячного елемента з урахуванням його площі активної поверхні. Однак, кроки алгоритму позначені укрупнено, без деталізації

ключових процедур, а також не видно, як саме враховується площа активної поверхні в математичному виразі та немає чіткого етапу/блоку, де вводиться чи враховується саме цей параметр.

6. В підрозділі 3.2 (стор. 100-104) проведено удосконалення методу кількісного оцінювання якості параметрів сонячного елемента, який дозволяє зв'язати електричні характеристики з освітленістю, температурою та геометричними параметрами, а також забезпечує адекватне відтворення вольт-амперної характеристики та спрощує розрахунок параметрів на вході і виході сонячного елемента. Водночас метод має обмежену точність через спрощене моделювання впливу зовнішніх факторів і геометрії активної поверхні, відсутність адаптивності до експериментальних даних, недостатнє врахує деградаційні процеси у сонячному елементі та має обмежену здатність моделювання комплексної взаємодії факторів, що знижує прогностичну надійність методу.

7. Оцінка впливу реальної площі сприймаючої поверхні фотоелектричного перетворювача показала на рис. 3.20, (стор. 104), що враховує дефекти поверхні та дозволяє підвищити точність побудови вольт-амперної характеристики на 4,2 %, при зниженні потужності на 2,1 %, проте метод кількісного оцінювання якості параметрів обмежений умовними оцінками мікропор та мікротріщин, використанням одного типу елемента та фіксованими зовнішніми умовами, що може знижувати узагальненість результатів для комплексних сонячних систем.

Наведені дискусійні положення та зауваження не є принциповими і жодним чином не зменшують високої оцінки роботи, її наукової цінності, актуальності та практичного значення і ніяким чином не впливатимуть на позитивну оцінку проведеного дослідження.

9. Загальний висновок.

Дисертаційна робота здобувача Кирисова Ігоря Геннадійовича на тему: «Метод кількісного оцінювання якості параметрів сонячної батареї»,

подана на здобуття наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 15 – Автоматизація та приладобудування за спеціальністю 152 – Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка, є актуальною науковою роботою, яка повністю відповідає «Вимогам до оформлення дисертації», що затверджені наказом Міністерства освіти і науки України від 12.01.2017 р. № 40 та «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», що затверджений постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44.

Здобувач Кирисов Ігор Геннадійович заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 15 – Автоматизація та приладобудування за спеціальністю 152 – Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка.

Офіційний опонент:

доктор технічних наук, професор,
завідувач кафедри агроінженерії
Одеського державного аграрного
університету

Костянтин ДЯДЮРА

ПРОТОКОЛ
створення та перевірки кваліфікованого та удосконаленого електронного підпису

Дата та час: 17:11:27 18.08.2025

Назва файлу з підписом: Відгук Дядура К.О. (1).docx.asice
Розмір файлу з підписом: 34.7 КБ

Перевірені файли:

Назва файлу без підпису: Відгук Дядура К.О. (1).docx
Розмір файлу без підпису: 31.5 КБ

Результат перевірки підпису: Підпис створено та перевірено успішно. Цілісність даних підтверджено

Підписувач: ДЯДЮРА КОСТЯНТИН ОЛЕКСАНДРОВИЧ

П.І.Б.: ДЯДЮРА КОСТЯНТИН ОЛЕКСАНДРОВИЧ

Країна: Україна

РНОКПП: 2757812253

Організація (установа): ФІЗИЧНА ОСОБА

Час підпису (підтверджено кваліфікованою позначкою часу для підпису від Надавача): 17:11:28 18.08.2025

Сертифікат виданий: КНЕДП АЦСК АТ КБ "ПРИВАТБАНК"

Серійний номер: 5E984D526F82F38F040000008BC354011FA75B05

Алгоритм підпису: ДСТУ 4145

Тип підпису: Удосконалений

Тип контейнера: Підпис та дані в архіві (розширений) (ASiC-E)

Формат підпису: З повними даними для перевірки (XAdES-B-LT)

Сертифікат: Кваліфікований

Версія від: 2025.08.04 13:00

Голові разової спеціалізованої вченої ради
Харківського національного університету
імені В. Н. Каразіна, доктору технічних
наук, професору, заступнику директора
Навчально-наукового інституту
«Українська інженерно-педагогічна
академія»
Харківського національного університету
імені В. Н. Каразіна
Купріянову Олександру Володимировичу
майдан Свободи 4, м. Харків, 61022

РЕЦЕНЗІЯ

офіційного рецензента, кандидата технічних наук, доцента кафедри електротехніки та електроенергетики Навчально-наукового інституту «Українська інженерно-педагогічна академія» Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна, Мельникова В'ячеслава Євгеновича на дисертаційну роботу Кирисова Ігоря Геннадійовича на тему «Метод кількісного оцінювання якості параметрів сонячної батареї», подану на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 15 Автоматизація та приладобудування за спеціальністю 152 – Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка

1. Обґрунтування вибору теми дослідження.

При експлуатації сонячних батарей на сонячних електростанціях, протягом тривалого часу, відбувається поступове зниження їх потужності. Однією з поширених причин зниження потужності сонячних батарей є пошкодження їх поверхні.

Причинами пошкодження поверхні сонячних батарей може бути: екстремальні погодні умови (град, вітер, підвищена температура),

виробничий брак, неправильна експлуатація, зношування та деградація фотоелектричного перетворювача протягом певного часу. Процес деградації фотоелектричного перетворювача може відбуватися поступово протягом терміну експлуатації, в результаті чого результуюча потужність сонячних батарей буде знижуватися.

Своєчасне виявлення пошкоджень поверхні сонячних батарей в результаті процесів деградації, значно продовжить термін експлуатації сонячних станцій. Таким чином, розробка методів своєчасного виявлення пошкоджень поверхні сонячних батарей є надзвичайно актуальним завданням при їх експлуатації.

2. Оцінка змісту дисертації, її завершеності в цілому і оформлення.

Дисертація складається з анотації, вступу, чотирьох основних розділів, висновків, переліку використаних джерел та трьох додатків.

Загальний обсяг роботи становить 158 сторінок друкованого тексту: 112 сторінок основного тексту, 45 рисунків, 16 таблиць, список використаних джерел із 88 найменувань.

У вступі наведено загальну характеристику дисертаційного дослідження, його актуальність, відповідність науковим темам, визначено наукову новизну та практичне значення результатів дисертації, а також предмет та об'єкт дослідження, сформульовано мету та задачі наукового дослідження, показано зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, наведено дані про апробацію результатів та публікації.

Перший розділ роботи присвячений аналізу моделей та методів кількісного оцінювання якості параметрів сонячних батарей. Показано, що вплив зовнішніх і внутрішніх факторів викликають ушкоджуючі дефекти на сприймаючій поверхні напівпровідникового шару фотоелектричного перетворювача.

Другий розділ присвячений моделюванню процесів, які відбуваються у сприймаючій поверхні напівпровідникового шару фотоелектричного

перетворювача. Розроблена та запропонована геометрична модель сприймаючої поверхні фотоелектричного перетворювача для кількісної оцінки якості параметрів сонячного елемента, на основі застосування апарата фрактальної геометрії. Запропоновано, для розрахунків кількісної оцінки якості критеріїв стану сприймаючої поверхні фотоелектричного перетворювача ввести обмеження та припущення, щодо геометричних прирощень, які призводять до наближених і неточних вольт-амперної та вольт-ватної характеристик у системах, що використовуються для контролю параметрів сонячної батареї. Отримано удосконалені аналітичні вирази моделі кількісної оцінки якості параметрів реальної площі сприймаючої поверхні напівпровідникового шару фотоелектричного перетворювача, з урахуванням фрактальних прирощень геометричних параметрів сприймаючої поверхні фотоелектричного перетворювача.

У третьому розділі були проведені експериментальні дослідження сприймаючої поверхні фотоелектричного перетворювача за допомогою фрактального методу кваліметрії, які підтвердили залежність реальної площі сприймаючої поверхні фотоелектричного перетворювача від отриманих розрахунків величини фрактальної розмірності. Експериментально підтверджено залежності мінімальної потужності, коефіцієнту корисної дії, вхідних та вихідних параметрів сонячного елемента від фрактальної розмірності структури сприймаючої поверхні фотоелектричного перетворювача.

Четвертий розділ присвячений практичному впровадженню кваліметричного методу кількісного оцінювання параметрів сонячних батарей при експлуатації сонячної електростанції. Запропоновано систему безперервного моніторингу, в режимі реального часу, параметрів сонячної батареї для автоматичного робочого місця оператора сонячної електричної станції, для виявлення дефектів в структурі сприймаючої поверхні напівпровідникового шару фотоелектричного перетворювача.

Висновки наведені в дисертації, відповідають результатам досліджень.

Список використаних джерел свідчить про те, що під час роботи було проаналізовано сучасні результати наукових досліджень.

Матеріал дисертації викладено в логічній послідовності та доступно для сприйняття. Дисертація написана науковим стилем мовлення, структура дисертації відповідає алгоритму, здійсненого автором дослідження.

3. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, грантами.

Дисертаційна робота виконана в рамках наукових досліджень кафедри електротехніки та електроенергетики Навчально-наукового інституту «Українська інженерно-педагогічна академія», Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, за темою: «Розроблення проєкту сонячної панелі на основі моделювання поверхні сонячного елемента із застосуванням фрактальної геометрії» (державний реєстраційний номер: 0122U200539).

4. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації.

Висловлені положення та рекомендації представлені у дисертаційному дослідженні відзначаються достовірністю. Детальне ознайомлення з текстом наукового дослідження і публікаціями дозволяє стверджувати, що підхід дисертанта до аналізу предмету дослідження є фундаментальним та ґрунтовним. Дисертація має логічну структуру, яка дозволяє розкрити поставлені дослідницькі завдання та досягти поставленої мети. Робота має чітку структуру дослідження, послідовність та аргументованість положень дисертації.

При написанні дисертації дисертант застосував сучасні методи дослідження, а аналіз отриманих даних представлено в узагальненні отриманих результатів та сформульовано у висновках. Текст дисертації вдало доповнюється таблицями, графіками, формулами та ілюстраціями. Висновки та практичні рекомендації логічно виходять із викладеного матеріалу та

достатньо повно його відображають, дають відповідь на поставлені в роботі мету та завдання дослідження.

5. Основні наукові результати, одержані автором, та їх новизна.

Основні наукові результати та висновки дисертації пройшли апробацію під час міжнародних наукових конференцій та знайшли відображення в публікаціях у фахових та міжнародних наукових виданнях. За результатами дисертаційного дослідження опубліковано 22 наукові праці, серед яких: 2 публікації у міжнародних виданнях, які входять до наукометричних баз Scopus та Web of Science; 1 публікація (розділ монографії) в країні Європейського Союзу; 3 публікації у наукових фахових виданнях України, 12 праць – у матеріалах і тезах конференцій;

Дисертант отримав наступні наукові результати:

- вперше розроблена геометрична модель сприймаючої поверхні напівпровідникового шару фотоелектричного перетворювача, в якій розглянуті фізичні процеси, котрі відбуваються, при зміні властивостей зовнішньої та внутрішньої структури сприймаючої фрактальної поверхні напівпровідникового шару фотоелектричного перетворювача за наявності локальних неоднорідностей, мікропор і макротріщин, що дозволяє врахувати точність вимірювання електрофізичних параметрів: струму короткого замикання, напруги холостого ходу, величини вихідної потужності та коефіцієнту корисної дії, шляхом урахування зміни величини площі сприймаючої поверхні на основі використання апарату фрактальної геометрії;
- набули подальшого розвитку вдосконалені аналітичні вирази для кількісної оцінки якості параметрів моделі фотоелектричного перетворювача, які на відміну від відомих дозволяють врахувати степеневу залежність реальної площі сприймаючої поверхні, від зміни величини фрактальної розмірності в об'ємній структурі по всій товщині напівпровідникового шару фотоелектричного перетворювача;
- удосконалено метод кількісного оцінювання якості параметрів

фотоелектричного перетворювача, який на відміну від відомих, дозволив врахувати підвищення точності, стабільності та лінійності вольт-амперної (вольт-ватної) характеристик на основі вимірювання величини фрактальної розмірності, яка характеризує зміну властивостей структури реальної площі сприймаючої поверхні напівпровідникового шару фотоелектричного перетворювача, а також призводить до зміни вихідної потужності та коефіцієнту корисної дії.

6. Практичне значення одержаних результатів.

Представлені в рамках роботи дослідження, можуть бути застосовані при експлуатації сонячних електростанцій, для виявлення місцезнаходження, типу та розміру ушкоджуючих дефектів (локальних неоднорідностей, мікропор, мікро та макротріщин) на поверхні сонячних батарей, а також можуть бути корисними при виготовленні фотоелектричних перетворювачів на заводах-виробниках.

Результати теоретичних та експериментальних досліджень впроваджені в ТОВ «Екватор Сан Енерджі» у вигляді методики кількісного оцінювання параметрів сонячної батареї.

Результати дисертаційного дослідження були впроваджені у навчальний процес кафедри електротехніки та електроенергетики, Навчально-наукового інституту «Українська інженерно-педагогічна академія», Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна при проведенні занять з дисциплін: «Фотоелектричні станції та засоби накопичення електричної енергії», «Системи розподіленої генерації», «Концепції сталого розвитку та енергетичної безпеки», «Аналіз і моделювання процесів в електричних системах та об'єктах».

7. Дотримання академічної доброчесності.

На підставі вивчення тексту дисертації здобувача, наукових праць здобувача та Протоколу контролю оригінальності (перевірку наявності

текстових запозичень виконано в антиплагіатній інтернет-системі Strikeplagiarism.com) встановлено, що дисертаційна робота виконана самостійно, текст дисертації не містить плагіату, а дисертація відповідає вимогам академічної доброчесності.

8. Дискусійні положення та зауваження до змісту дисертації.

Незважаючи на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи, її наукову новизну та прикладну значущість, доцільно відзначити окремі зауваження та дискусійні моменти, що можуть стати підґрунтям для подальшого вдосконалення дослідження:

1. У першому розділі доцільно було б розширити огляд сучасних цифрових методів діагностики, які активно розвиваються у світовій науковій практиці. Зокрема, це стосується методів на основі алгоритмів машинного навчання, гіперспектрального аналізу, а також термографічних технологій, що сьогодні застосовуються для ідентифікації мікротріщин та деградаційних процесів у фотоелементах. Включення такої інформації надало б роботі ширшого наукового контексту та дозволило б окреслити тенденції розвитку галузі.

2. У підрозділі 2.1 (стор. 72–78) наголошується на можливості використання розробленої геометричної моделі для ідентифікації дефектів поверхні сонячних елементів. Однак доцільним виглядає надання прикладів емпіричного підтвердження моделі з використанням експериментальних даних або співставлення її результатів з незалежними вимірюваннями. Це підвищило б рівень достовірності та переконливості отриманих висновків.

3. У підрозділі 3.1 (стор. 83–100) доцільно було б здійснити порівняльний аналіз запропонованого фрактального методу кваліметрії з іншими відомими підходами, такими як візуальний контроль, ІЧ-термографія, електролюмінесцентний аналіз. Подібне зіставлення дозволило б обґрунтовано оцінити переваги та можливі обмеження розробленого методу, а також визначити його місце серед сучасних інструментів діагностики.

4. У четвертому розділі варто було б більш конкретно окреслити очікувані результати впровадження запропонованого методу, зокрема в аспекті покращення техніко-економічних характеристик роботи сонячної електростанції (наприклад, підвищення коефіцієнта корисної дії, зниження експлуатаційних витрат, зростання середнього терміну служби модулів). Такий аналіз сприяв би прикладному потенціалі здобутих наукових результатів.

5. У підрозділі 4.3 (стор. 123–127) доцільно було б більш детально представити архітектуру автоматизованого робочого місця оператора. Зокрема, важливо окреслити: які саме дані отримуються та обробляються, які алгоритми застосовуються для виявлення дефектів, яким чином реалізовано візуалізацію та інтерфейс моніторингу, а також які програмно-апаратні засоби забезпечують функціонування системи. Це дозволило б продемонструвати прикладний характер дослідження та його технологічну реалізованість.

Вищевикладене дозволяє стверджувати, що висловлені зауваження не носять принциповий характер, не зменшують загальну наукову цінність, новизну та практичну значущість результатів дисертаційної роботи та не впливають на загальну високу її оцінку.

9. Загальні висновки щодо дисертаційної роботи.

Дисертація Кирисова І.Г. на тему «Метод кількісного оцінювання якості параметрів сонячної батареї», подану на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 15 Автоматизація та приладобудування за спеціальністю 152 – Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка, є завершеним дослідженням, що вивчає актуальні проблеми – кількісного оцінювання якості параметрів сонячної батареї. Результати дослідження дозволяють удосконалити сучасні методи оцінювання якості параметрів сонячної батареї. Запропоновані підходи мають потенціал для якісної діагностики стану сонячних батарей в процесі експлуатації на сонячних станціях.

Дисертація відповідає вимогам наказу МОН України №40 від 12.01.2017 р. «Про затвердження Вимог до оформлення дисертації» (зі змінами) та

«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 №44 від 12 січня 2022 року, а її автор, Кирисов Ігор Геннадійович, заслуговує на присудження ступеня доктора філософії за спеціальністю 152 – Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка у галузі знань 15 – Автоматизація та приладобудування.

Офіційний рецензент, кандидат
технічних наук, доцент кафедри
електротехніки та електроенергетики
Навчально-наукового інституту
«Українська інженерно-педагогічна
академія», Харківського
національного університету
імені В. Н. Каразіна

В'ячеслав МЕЛЬНИКОВ

Онлайн сервіс створення та перевірки кваліфікованого та удосконаленого електронного підпису

ПРОТОКОЛ
створення та перевірки кваліфікованого та удосконаленого електронного підпису

Дата та час: 21:32:03 20.08.2025

Назва файлу з підписом: EU-5E984D526F82F38F0400000043DEC20157479706.cer.asice
Розмір файлу з підписом: 7.7 КБ

Перевірені файли:

Назва файлу без підпису: EU-5E984D526F82F38F0400000043DEC20157479706.cer
Розмір файлу без підпису: 1.5 КБ

Результат перевірки підпису: Підпис створено та перевірено успішно. Цілісність даних підтверджено

Підписувач: МЕЛЬНИКОВ В'ЯЧЕСЛАВ ЄВГЕНОВИЧ

П.І.Б.: МЕЛЬНИКОВ В'ЯЧЕСЛАВ ЄВГЕНОВИЧ

Країна: Україна

РНОКПП: 3305117151

Організація (установа): ФІЗИЧНА ОСОБА

Час підпису (підтверджено кваліфікованою позначкою часу для підпису від Надавача): 21:31:59 20.08.2025

Сертифікат виданий: КНЕДП АЦСК АТ КБ "ПРИВАТБАНК"

Серійний номер: 5E984D526F82F38F0400000043DEC20157479706

Алгоритм підпису: ДСТУ 4145

Тип підпису: Удосконалений

Тип контейнера: Підпис та дані в архіві (розширений) (ASiC-E)

Формат підпису: З повними даними для перевірки (XAdES-B-LT)

Сертифікат: Кваліфікований

Версія від: 2025.08.04 13:00