

Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»  
Факультет енергетики та інформаційних технологій  
Кафедра електротехніки, електромеханіки і електротехнологій

## ДИПЛОМНА РОБОТА

на тему:

### РОЗРОБКА СИСТЕМИ ВИЯВЛЕННЯ ПОШКОДЖЕНИХ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ МОДУЛІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ЗАСОБІВ АЕРОТЕРМОГРАФІЇ

**Виконав:**

здобувач вищої освіти денної форми навчання  
освітнього ступеня «Магістр», освітньо-професійної  
програми «Електроенергетика, електротехніка та  
електромеханіка» спеціальності 141  
«Електроенергетика, електротехніка та  
електромеханіка»

\_\_\_\_\_ Дмитро ПИЛИПОВ

Керівник: **канд. техн. наук, доцент**

\_\_\_\_\_ Ігор ГАРАСИМЧУК

**Оцінка захисту:**

Національна шкала \_\_\_\_\_

Кількість балів \_\_\_\_\_ Шкала ECTS \_\_\_\_\_

**Допускається до захисту:**

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2023 р.

Керівник проектної групи  
(гарант освітньої програми)

«Електроенергетика,  
електротехніка та електромеханіка»  
спеціальності 141 «Електроенергетика,  
електротехніка та електромеханіка»

кандидат технічних наук, доцент \_\_\_\_\_ Ігор ГАРАСИМЧУК

м. Кам'янець-Подільський, 2023р.

## РЕФЕРАТ

Встановлення сонячних систем щороку стає все популярнішим. Власна сонячна електростанція дозволяє економити на оплаті електроенергії і бути незалежним від місцевих ОблЕнерго. Та після вступу в силу закону про "зелений" тариф для домогосподарств, власна сонячна електростанція дає можливість ще й непогано підзаробити. Це забезпечує автономність та безперебійність, значну економію засобів в умовах постійно зростаючих тарифів.

Використання електроенергії від сонячних батарей вигідно не тільки через дешевизну, а й тим, що вони не шкодять навколишньому середовищу. Напівпровідникові сонячні батареї мають дуже важливу перевагу - довговічність. Притому, що догляд за ними не вимагає від персоналу особливо великих знань. Кілька квадратних метрів сонячних батарей цілком можуть вирішити всі енергетичні проблеми невеликого селища.

Застосування квадрокоптера в дослідження сонячних станція являється точним виявленням несправних модулів, що в подальшому може завдати економічної і шкоди, а надалі великі фінансові втрати через несправних фотомодулів, а й великих ризиків виникнення фізичної шкоди, як пожежа на станції, що являється неприпустимим і вимагає діагностики на ранніх етапах несправності. І це дуже перспективний проект.

Сьогодні квадрокоптера знаходять своє застосування в багатьох сферах життя людини. Для управління ними застосовуються різні рішення, в тому числі системи управління польотом, які отримують завдання траєкторії від оператора або комп'ютерної програми. Більшість цих рішень є закритими для розробників. Тому актуальною стає завдання створення відкритої комп'ютерної моделі системи управління, яка допоможе розробникам моделювати поведінку квадрокоптера на ранніх етапах розробки системи.

Ключові слова: СОНЯЧН ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ, КВАДРОКОПТЕР.

## ЗМІСТ

|                                                                                                       |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....                                                                                | 6  |
| Вступ.....                                                                                            | 7  |
| РОЗДІЛ I. ОГЛЯД МЕТОДІВ ТЕРМОГРАФІЇ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ ДЕФЕКТІВ У<br>МАСИВАХ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ МОДУЛЕЙ.....  | 10 |
| 1.1 Термографія в стаціонарних умовах .....                                                           | 10 |
| 1.2 Імпульсна термографія.....                                                                        | 12 |
| 1.3 Фіксуєча термографія.....                                                                         | 15 |
| Висновки до розділу 1.....                                                                            | 18 |
| РОЗДІЛ II. МОЖЛИВОСТІ КВАДРОКОПТЕРІВ В АЕРОТЕРМОГРАФІЇ.....                                           | 19 |
| 2.1 Загальні відомості про квадрокоптер.....                                                          | 19 |
| 2.2 Застосування квадрокоптера.....                                                                   | 20 |
| Висновки до розділу 2.....                                                                            | 25 |
| РОЗДІЛ III. МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ КВАДРОКОПТЕРОМ<br>ДЛЯ ТЕРМОГРАФІЧНИХ ВИМІРЮВАНЬ .....      | 29 |
| 3.1 Використовувані системи координат .....                                                           | 29 |
| 3.2 Модель механічної частини квадрокоптера .....                                                     | 29 |
| 3.3 Модель приводів квадрокоптера з урахуванням гвинтів .....                                         | 33 |
| 3.4 Структурний синтез багатовимірного регулятора траєкторії польоту .....                            | 34 |
| 3.5 Simulink-модель багатовимірного об'єкта управління .....                                          | 40 |
| 3.6 Simulink-модель приводів.....                                                                     | 41 |
| 3.7 Комп'ютерна модель регулятора траєкторії польоту.....                                             | 42 |
| 3.8 Комп'ютерна модель системи управління квадрокоптера .....                                         | 44 |
| 3.9 Підбір коефіцієнтів регуляторів.....                                                              | 46 |
| Висновки до розділу 3 .....                                                                           | 48 |
| РОЗДІЛ IV. ДОСЛІДЖЕННЯ СТАНУ ФОТОМОДУЛІВ СОНЯЧНОЇ<br>ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ ЗА ДОПОМОГОЮ АЕРОТЕРМОГРАФІЇ..... | 49 |
| 4.1 Зліт квадрокоптера .....                                                                          | 49 |
| 4.2 Маневрування в горизонтальній площині .....                                                       | 49 |
| 4.3 Обертання навколо вертикальної осі.....                                                           | 50 |
| 4.4 Складне завдання переміщення .....                                                                | 51 |
| 4.5 Вибір рами.....                                                                                   | 53 |
| 4.6 Двигуни.....                                                                                      | 54 |
| 4.7 Стрінги, які некоректно працюють / не працюють .....                                              | 54 |
| 4.8 Регулятори швидкості .....                                                                        | 55 |

|                                                              |    |
|--------------------------------------------------------------|----|
| 4.9 Датчики .....                                            | 56 |
| 4.10 Дефектні осередки .....                                 | 58 |
| 4.11 Згорілий діод .....                                     | 59 |
| 4.12 Дефектний / розбитий модуль .....                       | 60 |
| 4.13 Перегрів осередків через затінення.....                 | 60 |
| 4.14 Стрінги, які некоректно працюють / не працюють .....    | 61 |
| Висновки до розділу 4 .....                                  | 64 |
| РОЗДІЛ V. РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ .....                     | 65 |
| 5.1 Опис ідеї проекту .....                                  | 65 |
| 5.2 Технологічний аудит ідеї проекту.....                    | 65 |
| 5.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту..... | 66 |
| 5.4 Розроблення ринкової стратегії проекту .....             | 72 |
| 5.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту.....  | 74 |
| Висновки до розділу 5 .....                                  | 77 |
| ВИСНОВКИ.....                                                | 78 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ... ..                             | 79 |

## ВСТУП

**Актуальність.** Проблематика точності визначення несправних секторів в сонячній станції являється актуальним питанням в наш час, новий підхід, який викладено в цій роботі, ґрунтується на переході зі статичного режиму визначення несправностей СЕС в динамічний, тобто вилучити людський фактор при дослідженні ФЕС, а саме встановити на борт дрону професійний тепловізор.

Перехід у динамічний режим дозволить виключити людський фактор і підвищити точність і швидкодію в пошуку несправних сонячних панелей. Проект є економічно вигідним в порівнянні з локальним пошуком несправностей. Це дозволить використання цього проекту в різних галузях, де потрібно точно і швидко знайти несправності при цьому мати низьку ціну на реалізацію проекту.

Використання електроенергії від сонячних батарей вигідно не тільки через дешевизну, а й тим, що вони не шкодять навколишньому середовищу. Напівпровідникові сонячні батареї мають дуже важливу перевагу - довговічність. При тому, що догляд за ними не вимагає від персоналу особливо великих знань. Кілька квадратних метрів сонячних батарей цілком можуть вирішити всі енергетичні проблеми невеликого селища.

Необхідність розробки нових методів і моделей пов'язана з ускладненням сучасної практики управління і потребує формування ефективних і обґрунтованих рішень складних задач за короткий час.

Таким чином, задача підвищення ефективності обстеження СЕС є досить актуальною. Для вирішення проблеми з точністю на конкретній місцевості застосовують локальні моделі.

Новою течією в сучасному авіамоделюванні є побудова мультикоптера – безпілотних літальних апаратів (БПЛА) з парною кількістю роторів, що обертаються діагонально в протилежних напрямках. У разі коли двигунів чотири БПЛА називається – квадрокоптер. На сьогоднішній день головним трендом є створення невеликого безпілотного квадрокоптера. Основними причинами цього є можливість спрощеного управління і маневреність.

Квадрокоптери мають великий попит серед авіамоделістів і знаходять своє застосування в професійній сфері, наприклад, поліції, армії, агрогосподарстві, для іспектування безпеки інфраструктурних об'єктів (дамби, канали, трубопроводи, залізничні колії, лінії електропередач), пошти, медіа та розваг. Застосування квадрокоптера в дослідження сонячних станція являється точним виявленням несправних модулів, що в подалі може завдати економічної і шкоди, а надалі великі фінансові втрати через несправних фотомодулів, а й великих ризиків виникнення фізичної шкоди, як пожежа на станції, що являється неприпустимим і вимагає діагностики на ранніх етапах несправності. І це дуже перспективний проект.

**Мета і задачі дослідження.** Метою магістерської роботи є нові технічні підходи які дозволять перейти від статичного визначення несправних модулів до динамічного, за рахунок використання нових технологічних засобів виконується охоплення всієї території вимірювання, а для цього потрібні нові технологічні засоби. Розробка нової математичної моделі. Розробка нових технологічних засобів. Створення системи БПЛА, що підвищує ефективність зняття даних на локальній фотоелектростанції.

Система БПЛА типу квадрокоптер з польотним контролером ArduCopter, модулем GPS з компасом, тепловізером.

Предметом дослідження є моніторинг стану СЕС, проектування результатів досліду СЕС з великою точністю за допомогою квадрокоптера.

Для досягнення поставленої мети, розв'язуються наступні задачі:

1. Розробка нової математичної моделі.
2. Розробка нових технічних засобів.
3. Дослідження математичної моделі БПЛА.
4. Технічна і практична реалізація безпілотного літального апарату для моніторингу СЕС.

**Методи дослідження.** При розв'язанні поставлених задач використовувались методи і апарат управління програмними проектами для обчислювальних машин і систем, теорії побудови програмних систем та баз знань інтелектуальних систем.

До нового підходу моніторингу сонячних електростанцій був розроблений БПЛА з динамічним і автоматизованим збором даних стану СЕС на рівні обробки запитів з виключенням людського фактора, що надходять до систем оперативно-організаційного управління.

Робота складається із вступу та п'яти розділів. Загальний обсяг роботи: 78 аркуші основного тексту, 42 ілюстрації, 25 таблиць. При підготовці використовувалася література з 32 різних джерел.

## ВИСНОВКИ

Виходячи з результатів виконаної роботи, зроблено наступні висновки:

Комп'ютерна модель механічної частини системи і приводів дозволяє робити моделювання з урахуванням всіх нелінійностей, що існують в математичних моделях.

Структура регулятора траєкторії польоту проста. Перше наближення коефіцієнтів отримано по лінеаризованій моделі кожного з каналів управління. Уточнені значення параметрів регулятора отримані шляхом експерименту. Також можуть бути застосовані різні методи мінімізації помилки для отримання більш оптимальних перехідних характеристик.

Дослідження роботи системи управління квадрокоптера дозволяє перевірити її працездатність на ранніх етапах розробки. Для проведення більш детального моделювання, в систему можна додавати похибки вимірювань датчиків зворотного зв'язку, вводити шуми, викликані як роботою самої системи, так і через зовнішній вплив.

Розглянуті питання технічної реалізації системи управління дозволяють послідовно підібрати всі складові елементи квадрокоптера, необхідні для вирішення конкретного завдання.

В результаті теоретичних і експериментальних досліджень розробки квадрокоптера для виявлення пошкоджених фотоелектричних модулів на ФЕС одержані наступні результати:

- Оптимальним варіантом для отримання точних результатів була обрана портативна професійна інфрочервона камера Zenmuse XT2.
- Для виключення людського фактору портативна інфрочервона камера була встановлена на квадрокоптер, який робить збір даних на області по точкам на заданому маршруті в польотному плані GPS.