

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

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на тему:
**ОБГРУНТУВАННЯ ВПРОВАДЖЕННЯ ЗАСОБІВ
АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСІВ ЗРОШЕННЯ
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР**

Виконав:

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

_____ **Денис ПИРІГ**

Керівник: канд. техн. наук, доцент

_____ **Ігор ГАРАСИМЧУК**

Оцінка захисту:

Національна шкала _____
Кількість балів _____ Шкала ECTS _____

Допускається до захисту:

«_____» _____ 2024 р.

Гарант освітньої програми

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

кандидат технічних наук, доцент _____ **Павло ПОТАПСЬКИЙ**

м. Кам'янець-Подільський, 2024р.

РЕФЕРАТ

Актуальність теми. У контексті глобального прискорення демографічного зростання, паралельно з яким фіксується зменшення площ, придатних для сільськогосподарської діяльності, та виснаженням лімітованих природних ресурсів, пріоритетне значення набуває оптимізація врожайності аграрного сектора.

Інноваційні платформи, що ґрунтуються на концепції Інтернету речей (IoT), ефективно допомагають нівелювати цей розрив між зростаючими потребами та наявними можливостями, надаючи агровиробникам інструменти для максимізації врожаю, підвищення економічної ефективності діяльності та мінімізації екологічного сліду.

Практика інтелектуального землеробства, базована на IoT-технологіях, відкриває аграрним підприємствам унікальну можливість скоротити втрати та помітно підвищити кінцеву продуктивність: від високоточного дозування мінеральних добрив до зменшення частоти виїздів сільськогосподарської техніки на поля. Це також сприяє раціональному використанню критично важливих ресурсів, зокрема водних і енергетичних. За умови повної автономності робочого комплексу, будь-який фермер зможе контролювати стан своїх угідь із будь-якої локації. Навіть у випадку аварійного припинення централізованого постачання електроенергії, система, наприклад, зможе автоматично ініціювати зрошення, коли вологість ґрунту досягне критичного мінімуму, без прямої необхідності втручання оператора. Самостійно інтегровані IoT-комплекси на агротехніці забезпечують суттєву економію ресурсів та більш оперативне управління процесом культивування, що є значно ефективнішим, ніж класичні підходи.

Об'єктом дослідного аналізу визначено засоби автоматизації технологічних процесів, пов'язаних із керуванням поливом аграрних культур.

Предметом дослідження є розробка методологій та інструментарію, необхідних для створення повністю незалежної IoT-системи, призначеної для

безперервного моніторингу стану сільськогосподарських угідь.

Основна мета роботи: розробка ефективної, повністю автономної IoT-платформи для моніторингу параметрів систем зрошення аграрних культур, яка має характеризуватися високою енергоефективністю та гарантувати стабільну надійність роботи, навіть за умов виникнення надзвичайних ситуацій чи повного відключення від центральної електромережі.

Наукова новизна наведеної роботи має кілька ключових аспектів:

1. На базі ретельного аналізу існуючих технологічних рішень була запропонована уніфікована архітектура автономного комплексу, визначено його ключові функціональні модулі та чітко розмежовані завдання, закріплені за кожним компонентом.

2. Сформовано інноваційний алгоритм керування системою живлення, що забезпечує безперебійність функціонування системи навіть в умовах граничних навантажень та експлуатації.

Структура та загальний обсяг роботи. Магістерська робота включає вступну частину, чотири основні тематичні розділи та заключне підведення підсумків.

Вступ містить загальну характеристику проведеного дослідження, оцінку його поточного стану, аргументацію актуальності обраного наукового напрямку, а також чітке формулювання головної мети та конкретних завдань дослідження.

Перший розділ присвячений глибокому аналізу можливостей застосування технологій Інтернету речей в аграрному секторі, а також включає порівняльний огляд різних варіантів автономних джерел електричного живлення.

У другому розділі проведено детальний розбір необхідних технологічних рішень для подальшої розробки системи, а також здійснено вибір оптимального інструментарію для побудови користувацького інтерфейсу. Описано основні функціональні блоки системи, принципи їх взаємодії, а також проведено зіставлення комунікаційних протоколів, що

використовуються для модулів на базі Arduino.

Третій розділ містить всебічний опис спроектованої системи автоматизованого зрошення сільськогосподарських культур та деталі її практичної реалізації на апаратній платформі Arduino. Описані важливі модулі та механізм їх спільної роботи з центральним контролером. Презентовано логіку роботи системи в режимі "сну/активації".

Четвертий розділ представляє результати експериментальних випробувань та оцінку ефективності розробленого автономного IoT-комплексу для моніторингу стану агрокультур.

У фінальних висновках підсумовано всі результати, отримані в ході науково-дослідної роботи.

Загальний обсяг роботи становить 80 сторінок, включаючи повний перелік використаної літератури.

Ключові слова та поняття: IoT, агробізнес, система, ресурси, енергозбереження.

ЗМІСТ

ВСТУП	9
1. АНАЛІЗ СИСТЕМ МОНІТОРИНГУ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР	11
1.1. Використання концепції «інтернет речей» (IoT) у сфері сільського господарства	11
1.2 Системи нагляду за посівами.....	12
1.3 Самостійні (автономні) енергетичні джерела	15
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1	19
2. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ І СПОСОБІВ ДЛЯ ПОБУДОВИ АВТОНОМНОЇ ІОТ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР	21
2.1 Базові мережеві конфігурації.....	21
2.2 Обрання засобів для розробки інтерфейсу системи Arduino.....	47
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2	54
3. РЕАЛІЗАЦІЯ АВТОНОМНОЇ ІОТ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ	55
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР	55
3.1 Особливості архітектури системи	55
3.2 Опис логіки функціонування системи	57
3.3 Основні складові елементи системи	60
3.4 Під'єднання дисплейних модулів до платформи Arduino	66
3.5 Механізм функціонування платформи Arduino з периферійними елементами.....	68
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 3	72
4. ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ.....	73
4.1 Опис апаратної конфігурації для проведення тестування	73

	7
4.2 Аналіз продуктивності системи.....	74
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 4	78
ВИСНОВКИ.....	80
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	82

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ

Arduino є відкритим апаратно-програмним комплексом, який головним чином використовується для створення різноманітних електронних приладів та систем.

Концепція "Інтернету Речей" (IP) описує комунікаційну систему, сформовану з фізичних об'єктів – "речей", які обладнані датчиками, спеціалізованим софтом та іншими технологічними засобами. Мета такої системи – забезпечити можливість їх підключення та обміну інформацією з іншими пристроями й системами через глобальну інформаційну мережу (Мережу).

Бездротова сенсорна мережа (БСМ) – це скорочення для позначення бездротової системи, побудованої на основі сенсорних елементів.

Zigbee – це назва протоколу бездротового з'єднання, що застосовується для передачі даних.

I2C – є стандартом інтерфейсу шини, інтегрованим у пристрої; його призначення – забезпечення послідовної комунікації (зв'язку) між ними.

ВСТУП

У наш час, коли чисельність населення планети невпинно зростає, паралельно зі скороченням земель, придатних для рільництва, та виснаженням природних запасів, критично важливим завданням є зростання продуктивності сільськогосподарського виробництва.

Системи, побудовані на засадах концепції «Інтернету речей» (IoT), розроблені для того, щоб надати працівникам агросектору інструментарій, необхідний для подолання дисбалансу між потребами ринку та реальними можливостями виробництва, при цьому забезпечуючи високу віддачу, економічну доцільність та збереження довкілля.

Раціональне сільське господарство, що використовує потенціал IoT, дозволяє виробникам і фермерам суттєво мінімізувати втрати та підвищити ефективність. Ця оптимізація охоплює все: від точності внесення добрив до скорочення проходів сільськогосподарської техніки по полю. Водночас гарантується помірковане використання таких стратегічно важливих ресурсів, як вода, електроенергія тощо. Додатково, завдяки повністю самостійній системі, аграрії мають змогу здійснювати спостереження за станом своїх земельних угідь дистанційно, без обов'язкової фізичної присутності на місці. Наприклад, якщо рівень вологості ґрунту знижується, система автоматично ініціює полив, навіть у разі перебоїв з основним електроживленням. Порівняно з традиційними агротехнічними методами, ведення фермерства з використанням автономних IoT-рішень є значно більш дієвим підходом для заощадження ресурсів та вдосконалення процесу культивування рослин. Технології IoT спрямовані на підтримку фермерів у досягненні балансу між пропозицією та попитом, сприяючи значному зростанню врожайності, збільшенню прибутковості та забезпеченню екологічної стійкості. Практика застосування інтернет-технологій для

точного та оптимального розподілу ресурсів з метою максимізації врожайності та зменшення операційних витрат відома як "прецизійне землеробство" (точне землеробство). Сектор IoT-технологій в агропромисловому комплексі включає спеціалізовані технічні засоби, обладнання для бездротової комунікації, відповідне програмне забезпечення та інформаційно-технологічні послуги.

ВИСНОВКИ

Розроблено повністю автоматизований пристрій Інтернету речей (IoT), основне призначення якого — це автоматичне управління процесами поливу сільськогосподарських угідь. Цей комплекс є ефективним у використанні енергії та гарантує безперервну роботу, навіть якщо централізоване енергопостачання відсутнє (наприклад, під час повного знеструмлення).

Спираючись на аналіз усіх доступних аналогічних систем, було сформульовано універсальний підхід до створення автономних технологічних рішень. В рамках цього підходу детально описано загальну архітектуру комплексу та чітко визначено функціональні обов'язки кожного його модуля. Впроваджено спеціальний механізм керування живленням, який забезпечує функціональність обладнання в умовах критичних збоїв електромережі. Платформа IoT має високий рівень адаптивності, що спрощує її подальшу модернізацію та дає змогу гнучко налаштовувати систему відповідно до специфічних потреб різних агропідприємств та унікальних вимог культур, які вони вирощують.

Даний пристрій було створено для постійного моніторингу ключових агрокліматичних параметрів, які є критично важливими для вегетації рослин: це температура і вологість повітря, а також показники ґрунтової вологи. Вибір апаратного забезпечення здійснювався з увагою до аспектів економії енергії. З цією метою використано: енергоощадний протокол бездротового зв'язку Zigbee та високопродуктивний мікроконтролер Atmega 328p та спеціалізовані вимірювальні датчики. Для додаткового вдосконалення енергоспоживання сенсорними пристроями, маршрутизаторами та головним керуючим вузлом, запропоновано дві методики оптимізації. Це включає: механізм "сну/активації" та алгоритм "фільтрації надлишкових даних", що значно підвищує загальні показники енергетичної ефективності як сенсорних вузлів, так і всіх маршрутизаторів, включаючи центральний.

Економія енергоспоживання та передачі даних, що досягається при застосуванні алгоритму “надлишкових даних”, може бути збільшена або зменшена в залежності від надлишкових даних від вимірювань вологості ґрунту, які залежать від стану ґрунту (вологий або сухий). Енергозбереження в поточній роботі покращено на 86,45% та 99,48% відносно схеми "сон/пробудження" та традиційної роботи відповідно. Крім того, обмін даними мінімізовано на 86,45%. Результати поточного споживання порівнюються з результатами попередніх досліджень для підтвердження працездатності запропонованої системи. Запропонована система дозволяє збирати дані для підтримки прийняття рішень на сільськогосподарських полях і може допомогти користувачам в автоматизації систем зрошення на сільськогосподарських полях в майбутньому. Використання енергоефективної та передової технології дозволяє досягти високопродуктивного та сталого точного землеробства.

Засвідчую, що у цій кваліфікаційній роботі немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Здобувач вищої освіти

Денис ПИРІГ

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Брославський, Р. М. Засоби автоматизації процесів зрошення сільськогосподарських культур : магістерська дис. : 123 Комп'ютерна інженерія / Брославський Ротислав Михайлович. – Київ, 2022. – 86 с.
2. Agricultural Drones A Peaceful Pursuit By K. R. Krishna, 2018
3. Інтернет речей для індустріальних і гуманітарних застосунків. Основи Інтернету речей / За ред. В. С. Харченка. - Міністерство освіти і науки України, Національний аерокосмічний університет "ХАІ", 2019. - 95 с
4. Інтернет речей для індустріальних і гуманітарних застосунків. У трьох томах. Том 1. Основи і технології / За ред. В. С. Харченка. – Міністерство освіти і науки України, Національний аерокосмічний університет ХАІ, 2019. – 605 с
5. Storing Energy: with Special Reference to Renewable Energy Sources 2nd Edition, 2022
6. Renewable Energy Sources - Wind, Solar and Hydro Energy Revised Edition, 2019
7. Can renewable energy sources power the world?, by The Open University (Author), 2018
8. GAO ZE HUA SUN WEN SHENG, Things - the architecture. a wireless communication protocol standards (RFID. NFC. LoRa. NB-IoT. WiFi. Zi), 2020
9. "Інтернет речей: архітектура, протоколи, платформи" (Автори: К. А. Козак, В. Б. Кулаков, О. В. Куцевич, 2022)
10. Digi XBee3 Zigbee 3 Development Workshop by Agus Kurniawan, 2019
11. A Novel Home Safety IoT Monitoring Method Based on ZigBee Networking by Ning An, Peng Li, Xiaoming Wang, Xiaojun Wu & Yuntong Dang, 2022

12. ZigBee and Z-Wave Complete Self-Assessment Guide by Gerardus Blokdyk, 2022
13. The WiFi Networking Book: WLAN Standards: IEEE 802.11 bgn, 802.11n ,802.11ac and 802.11ax by Gordon Colbach, 2019
14. Designing and Deploying 802.11 Wireless Networks: A Practical Guide to Implementing 802.11n and 802.11ac Wireless Networks For Enterprise-Based Applications (Networking Technology) by Jim Geier, 2015
15. Computer Networking First-Step: An introductory guide to understanding wireless and cloud technology, basic communications services and network security for beginners by Norman Laurence, 2020
16. 802.11 Wireless Networks: The Definitive Guide, Second Edition by Matthew S.Gast, 2005
17. Wireless Security Architecture: Designing and Maintaining Secure Wireless for Enterprise by Jennifer Minella, 2022
18. Wireless Penetration Testing: Up and Running: Run Wireless Networks Vulnerability Assessment, Wi-Fi Pen Testing, Android and iOS Application Security, ... WPA, and WPA2 Protocols (English Edition) by Dr. Ahmed Hashem ElFiky, 2022
19. Bluetooth Low Energy in Arduino 101 (Kindle Edition): Your Guide to Programming the Internet of Things (Bluetooth Low Energy Programming Book 4) by Tony Gaitatzis, 2017
20. Bluetooth Tutorial: Design, Protocol and Specifications for BLE - Bluetooth Low Energy 4.0 and Bluetooth 5 by Gordon Colbach, 2019
21. Arduino for Beginners: A Complete Guide for Beginners and Pro with Illustrations and Practical Examples to Master Arduino by Kent Goldson, 2021
22. Raspberry Pi: Project Ideas Book: Discover a New World of Possibilities to Build and Develop Original Projects & Programs (Step-By-Step Updated Guide) (Raspberry Master Series) by Ethan J. Upton, 2019
23. Teensy Development Workshop Teensy 3.5 and Teensy 3.6 Boards

Edition KindleEdition by Agus Kurniawan, 2017

24. 100+ Sensors & Modules To Use With Arduino: All Sensors and Modules KindleEdition by Vijay Verma, 2022

25. ARDUINO REMOTE SENSING & CONTROL USING 433 MHz MODULES: A TUTORIAL COLLECTION OF STAGED PROJECTS by STEVEN MORTIMER HODDER, 2017

26. IoT Machine Learning Applications in Telecom, Energy, and Agriculture: With Raspberry Pi and Arduino Using Python 1st ed. Edition, Kindle Edition by PuneetMathur, 2020