

ПРОГРАМНО-АПАРАТНА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ВИРОЩУВАННЯ РОСЛИН

Анотація. Для підвищення ефективності аграрних господарств та надання актуальної інформації про стан посівів важливим є розроблення моделей і засобів для автоматизованого моніторингу процесів вирощування рослин. У даній роботі запропоновано програмно-апаратну реалізацію системи моніторингу вирощування рослин. Наведено структурну схему системи, обґрунтовано вибір апаратних засобів, розглянуто програмні компоненти та описано процес функціонування розробленої системи. Пропонована система моніторингу вирощування рослин дозволить відслідковувати процес росту рослин за допомогою веб-камери, визначати ступінь дозрівання рослин, аналізуючи отримані знімки і дані з давачів, та обробляти результати дослідження.

Ключові слова: автоматизований моніторинг, моделі і засоби, вирощування рослин.

Вступ. На сьогоднішній день аграрна сфера в Україні потребує впровадження інноваційних технологій, які будуть підвищувати ефективність та продуктивність вирощування рослин, оптимізувати робочі процеси, правильно розподілити ресурси підприємств та покращувати якість продукції. Одним з перспективних напрямів є розробка та впровадження моделей і засобів для моніторингу процесів вирощування, які дозволяють оптимізувати використання ресурсів, підвищити якість продукції та знизити екологічне навантаження на довкілля. Ці системи забезпечують аграріїв вчасною та точною інформацією про поточний стан рослин, стан ґрунту та кліматичні умови в режимі реального часу, що дозволяє покращити контроль за аграрними процесами та оптимізувати ресурси [1, 2].

Кліматичні зміни, обмеженість природних ресурсів та зростаючий попит на продовольчі товари – все це робить розроблення та впровадження методів та засобів моніторингу вирощування рослин надзвичайно актуальними.

Метою даного дослідження є розроблення і впровадження моделей та засобів для системи моніторингу вирощування рослин, яка буде забезпечувати надання актуальної інформації про стан посівів для підвищення ефективності аграрного виробництва. Об'єктом дослідження є процеси моніторингу вирощування рослин. Предметом дослідження є моделі, методи і засоби автоматизованого моніторингу вирощування рослин.

Виклад основного матеріалу. Збір та аналіз даних про стан рослин є критичним елементом сучасного землеробства, що дозволяє виявити потенційні проблеми ще до їхнього виникнення та оптимізувати процеси управління посівами.

Апаратна реалізація системи передбачає використання плат ESP32-S3 та ESP32-CAM, а також набору давачів для ефективного та автоматизованого збору інформації про стан рослин. Плата ESP32-S3 – це універсальна плата, яка виступає основним контролером. Вона керує системою, здійснює збір даних з давачів, обробляє інформацію та передає її за допомогою вбудованих Wi-Fi або Bluetooth модулів на сервер для подальшого аналізу. Також вона керує сигналом на ESP32-CAM. Однією з переваг плати ESP32-S3 є її здатність працювати в режимі реального часу, що робить її ідеальним вибором для використання в системах агрономічного моніторингу [3].

Плата ESP32-CAM оснащена камерою OV2640 і забезпечує візуальний моніторинг рослин за допомогою зображень зроблених у реальному часі або з певною періодичністю. Це

дозволяє проводити візуальний аналіз, включаючи визначення рівня дозрівання рослин або виявлення захворювань на ранніх етапах. Давачі для збору даних є важливою частиною системи, оскільки саме вони дозволяють отримати критичну інформацію про стан середовища, у якому здійснюється процес вирощування рослин. Вони можуть вимірювати параметри, такі як вологість ґрунту, температура, освітленість, pH ґрунту та інші параметри [4]. Ці дані надсилаються на плату ESP32-S3 для обробки та передачі на сервер, де застосовуються алгоритми ШІ для аналізу.

Структурну схему апаратної реалізації автоматизованої системи GreenTower представлено на рис. 1.

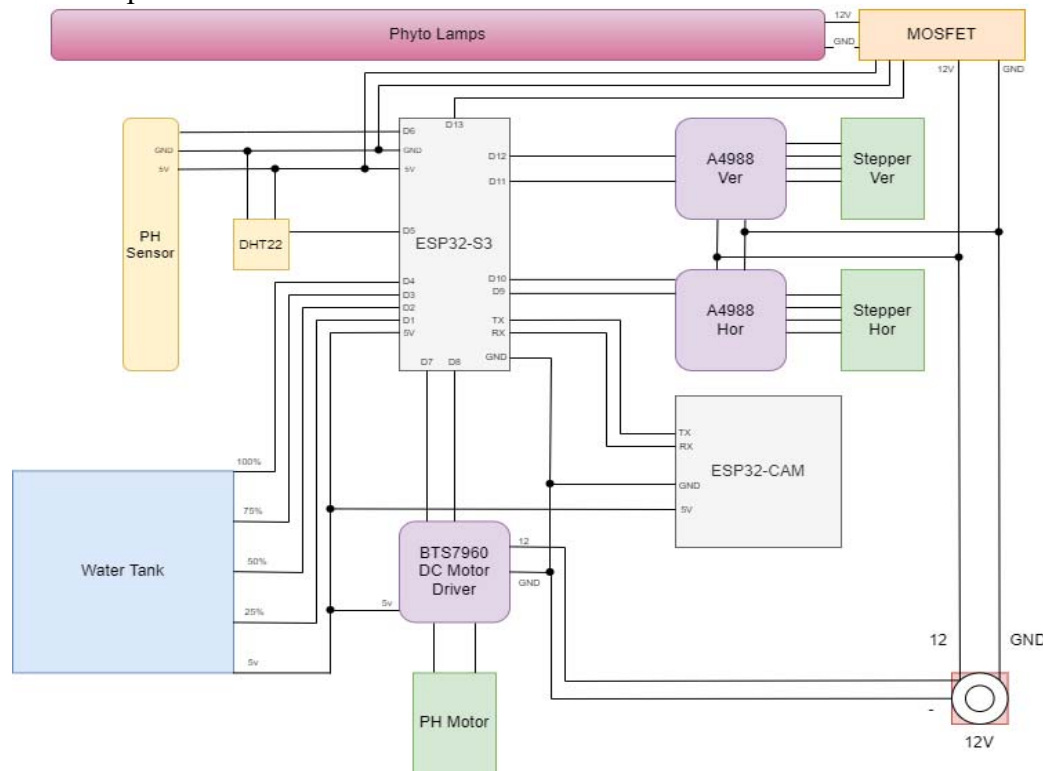


Рис. 1. Структурна схема апаратної реалізації автоматизованої системи GreenTower.

На схемі, що зображена вище, використано такі контролери та сенсори:

- ESP32-S3 – це основний мікроконтролер системи, що виконує зчитування даних з підключених датчиків та забезпечує передачу даних до інших компонентів системи. ESP32-S3 відома потужною внутрішньою пам'яттю та збільшеним об'ємом оперативної пам'яті, що дозволяє ефективно керувати всією системою. ESP32-S3 контролює роботу сенсорів, двигунів та управління сигналом на ESP32-CAM.
- ESP32-CAM – це додатковий контролер, який відповідає за візуальний контроль за станом рослин. Він оснащений камерою OV2640 з роздільною здатністю 2МП та дозволяє робити фотографії або знімати відео рослин для подальшого аналізу. Крокові двигуни, підключені до ESP32-CAM, забезпечують можливість обертання камери в різних напрямках для знімків з різних ракурсів.
- pH-сенсор – це датчик, який відповідає за вимірювання рівня кислотності води. Контроль кислотності є важливим для забезпечення оптимальних умов росту рослин. У разі виявлення невідповідного рівня кислотності система автоматично виводить попередження для корекції.
- DHT22 – датчик температури та вологості повітря, який використовується для моніторингу кліматичних умов у зоні вирощування.
- A4988 – драйвери крокових двигунів, які забезпечують управління двигунами, що відповідають за переміщення камери по горизонтальній та вертикальній осях.

- BTS7960 – драйвер DC-двигуна, який дозволяє задавати напрямок і швидкість двигуна для управління рН-сенсором та іншими елементами системи.
- Резервуар з водою. У системі моніторингу використовується метод вимірювання рівня води за допомогою замикання контактів. Якщо контакт повністю замкнений, це означає, що рівень води становить 100%. Якщо ж рівень води падає нижче 25%, то система подає сигнал для наповнення резервуару.
- Stepper Ver/Hor – крокові двигуни, які керують переміщенням камери по осях X та Y. Це дає можливість фіксувати положення кожної рослини і забезпечувати візуальний моніторинг кожного окремого екземпляра.
- Ph-двигун – DC-двигун, який відповідає за опускання та підняття рН-сенсора в резервуар з водою для вимірювання рівня кислотності.
- MOSFET – драйвер на основі транзистора, який дозволяє керувати великими навантаженнями (вище 5В), що необхідно для управління двигунами та лампами.
- Pytho Lamp – лампи ультрафіолетового вимірювання, які забезпечують рослинам достатню кількість світла для фотосинтезу. Час роботи ламп контролюється через ESP32, що дозволяє їх автоматично вмикати та вимикати залежно від умов.

Система розпочинає роботу з вимірювання основних параметрів: вологості, температури повітря та кислотності води. Дані з давачів передаються на ESP32-S3, який відповідає за обробку інформації та передачу сигналів до виконавчих механізмів, таких як двигуни та лампи. У разі необхідності корекції рівня кислотності води, рН-сенсор опускається в резервуар і здійснюється контроль цього параметра. Якщо рівень кислотності знаходиться в нормі, система переходить у штатний режим і продовжує моніторинг. Водночас, ESP32-CAM проводить періодичні знімки рослин для візуального моніторингу їх стану, переміщуючи камеру за допомогою крокових двигунів. Інтеграція всіх цих компонентів забезпечує ефективний моніторинг і контроль умов вирощування рослин, що дозволяє своєчасно реагувати на зміни та автоматично підтримувати оптимальні параметри для їх розвитку.

Програмна реалізація системи моніторингу вирощування рослин передбачає розроблення програмного забезпечення для збору, опрацювання та аналізу даних, отриманих з давачів та камери. Програмну реалізацію можна поділити на кілька ключових компонентів: прошивка мікроконтролерів, серверна частина для зберігання та аналізу даних, а також користувацький інтерфейс для моніторингу та управління системою.

Для прошивки мікроконтролерів використовується мова програмування C++. Багато бібліотек для популярних мікроконтролерів написані на C++, що робить інтеграцію додаткових функцій, таких як робота з сенсорами чи інтерфейсами, простою і зрозумілою. У роботі використано бібліотеки для плат ESP32-S3 та ESP32-CAM.

Серверна частина системи реалізована за допомогою мови програмування Java, яка пропонує великий набір бібліотек та інструментів, що дозволяють ефективно керувати пам'яттю, обробляти багатопоточність та працювати з базами даних. При розробці застосовано Spring Framework, який значно спрощує управління залежностями, пропонуючи механізм інверсії керування (IoC) і впровадження залежностей, а також надає підтримку для роботи з базами даних, веб-додатками та сервісами RESTful.

Центральною частиною у системі моніторингу вирощування рослин є вбудована AI-модель. Вона розташована на сервері, а її завдання полягає в аналізі даних, які надходять з давачів та зображення з камери. На основі цього аналізу модель машинного навчання визначає закономірності і може прогнозувати майбутній стан рослин, наприклад проблеми з ростом або розвиток захворювань. Також модель може надавати поради для оптимізації ресурсів, таких як вода, добрива і освітлення, та автоматично приймати рішення щодо керування системами поливу, освітлення та вентиляції. Це дозволить оперативно реагувати на зміни умов дозрівання та підтримувати оптимальні умови для вирощування рослин.

Використання алгоритмів комп'ютерного зору [5] на основі ШІ дозволяє автоматизувати цей процес. За допомогою камери та плати ESP32-CAM, система може

отримувати зображення та використовувати штучний інтелект для аналізу цих даних [6], що, своєю чергою, підвищить ефективність та точність моніторингу.

Для реалізації системи моніторингу вирощування рослин було обрано використовувати мікросервісну архітектуру. Мікросервісна архітектура – це стиль архітектури програмного забезпечення, в якому система будується як набір незалежних служб (мікросервісів), кожна з яких виконує окрему бізнес-функцію. Ці служби можуть бути розроблені, розгорнуті та масштабовані окремо, що забезпечує гнучкість і масштабованість системи.

Загалом, проектована система складається з таких компонентів:

- AWS IoT – це платформа для підключення апаратних компонентів до хмарної інфраструктури. AWS IoT дозволяє збирати, аналізувати і керувати даними з різних пристроїв, забезпечуючи зв'язок та інтеграцію з іншими сервісами;
- GreenTower Gateway – центральний шлюз системи, який є центральним вузлом для обробки запитів від клієнтів та інших сервісів. Він приймає запити від AWS IoT і розподіляє їх між іншими сервісами;
- GreenTower DataService – це мікросервіс, який відповідає за управління та обробку даних, тобто отримує інформацію від сенсорів, обробляє її та взаємодіє з БД;
- GreenTower DB – база даних системи, яка зберігає всю інформацію, отриману від сенсорів, а також результати обробки зображень та інших даних;
- GreenTower Eureka Service – це мікросервіс, який використовується для сервісного відкриття. Він дозволяє іншим мікросервісам знаходити один одного в кластері, що є важливим для масштабування та динамічної координації сервісів;
- GreenTower AI Image Processing – це компонент, який відповідає за обробку зображень за допомогою ШІ. Він аналізує дані, які надходять з камери або інших пристроїв, для виявлення певних характеристик або подій, наприклад, стану рослин;
- AWS Grafana – система моніторингу та візуалізації, яка створює панелі приладів для перегляду даних, що надходять з сенсорів або мікросервісів, в режимі реального часу;
- Client – клієнтська частина системи, яка взаємодіє з GreenTower Gateway для отримання та управління інформацією.

Апаратні компоненти передають дані через AWS IoT до GreenTower Gateway. GreenTower Gateway розподіляє запити до інших сервісів, таких як GreenTower DataService, який обробляє дані і зберігає їх в GreenTower DB. Для обробки зображень використовується GreenTower AI Image Processing. GreenTower Eureka Service допомагає сервісам динамічно знаходити один одного для ефективної координації. Всі дані можуть бути візуалізовані за допомогою AWS Grafana, а клієнти взаємодіють із системою через інтерфейси.

Висновки. У роботі детально розглянуто програмно-апаратну реалізацію системи автоматизованого моніторингу вирощування рослин. Пропонована система моніторингу вирощування рослин дозволить відслідковувати процес росту рослин за допомогою веб-камери, визначати ступінь дозрівання рослин, аналізуючи отримані знімки і дані з датчиків та обробляти результати дослідження. Практичне застосування пропонованої системи дозволить оптимізувати процес вирощування та покращити якість продукції.

1. Qin Zhang. *Precision Agriculture Technology for Crop Farming*. CRC Press, 2016.
2. Jones, H. G. *Plants and Microclimate: A Quantitative Approach to Environmental Plant Physiology*. Cambridge University Press, 2013.
3. *ESP32-S3 Technical Reference Manual*. Espressif Systems Documentation, 2021.
4. Wang, N., Zhang, N., & Wang, M. *Wireless Sensors in Agriculture and Food Industry*. Springer, 2006, pp. 67-72.
5. Smith, J., Brown, L., & Green, T. *Using Computer Vision to Monitor Crop Health*. *Agricultural Informatics Journal*, vol. 10, no. 2, 2020, pp. 50-59.

6. Zhang, Y. *Deep Learning in Agriculture: A Review*. *Journal of Agricultural Engineering*, vol. 15, no. 3, 2021, pp. 110-122.