

УДК 004.94 (072)

DOI <https://doi.org/10.32782/IT/2024-2-9>

Володимир КРЕМНЬОВ

здобувач вищої освіти за освітньо-науковим рівнем «Доктор філософії» за спеціальністю 122 Комп'ютерні науки, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», пр. Дмитра Яворницького, 19, м. Дніпро, Україна, 49005

ORCID: 0009-0005-1149-2017

Андрій ШАМАТРИН

магістрант за спеціальністю 122 Комп'ютерні науки, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», пр. Дмитра Яворницького, 19, м. Дніпро, Україна, 49005

ORCID: 0009-0009-7084-7083

Бібліографічний опис статті: Кремньов, В., Шаматрін, А. (2024). Імітаційна модель системи комп'ютерного контролю технологічних процесів аграрних виробництв. *Information Technology: Computer Science, Software Engineering and Cyber Security*, 2, 68–78, doi: <https://doi.org/10.32782/IT/2024-2-9>

ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ СИСТЕМИ КОМП'ЮТЕРНОГО КОНТРОЛЮ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ АГРАРНИХ ВИРОБНИЦТВ

Актуальність. Системи комп'ютерного контролю на основі Інтернету речей (IoT) націлені на підвищення врожайності та стійкості сільського господарства завдяки точному моніторингу аграрних параметрів і ефективному управлінню ресурсами. **Мета.** Розробити імітаційну модель системи комп'ютерного контролю технологічних процесів аграрних виробництв для підвищення ефективності та сталого розвитку аграрних процесів. **Об'єкт дослідження.** Технологічні процеси в аграрних виробництвах, включаючи моніторинг стану культур, ґрунту та кліматичних умов за допомогою IoT-сенсорів і обчислювальних модулів. **Предмет дослідження.** Комп'ютерна модель для моніторингу та управління аграрними параметрами, яка використовує датчики для збору даних, їх первинну обробку та індикацію. **Висновки.** Розроблено імітаційну комп'ютерну модель ефективного збору та обробки аграрних даних та підтверджено її придатність для сільськогосподарських проєктів. Ця модель ергономічно налаштовується, може бути розширена для додаткових функцій, забезпечуючи точний моніторинг та управління аграрними параметрами.

Ключові слова: інтернет речей, комп'ютерна модель, контроль, моніторинг, сільське господарство.

Volodymyr KREMNOV

Student in the Specialty 122 Computer Sciences, Dnipro University of Technology, 19, Dmytra Yavornytskoho ave., Dnipro, Ukraine, 49005, kremnov.vo.v@nmu.one

ORCID: 0009-0005-1149-2017

Andrii SHAMATRIN

Master's Student, in the Specialty 122 Computer Sciences, Dnipro University of Technology, 19, Dmytra Yavornytskoho ave., Dnipro, Ukraine, 49005, shamatin.a.m@nmu.one

ORCID: 0009-0009-7084-7083

To cite this article: Kremnov, V., Shamatin, A. (2024). Imitatsiina model systemy kompiuternoho kontroliu tekhnolohichnykh protsesiv ahrarykh vyrobnytsstv [Simulation model of computer control system of technological processes for agricultural production]. *Information Technology: Computer Science, Software Engineering and Cyber Security*, 2, 68–78, doi: <https://doi.org/10.32782/IT/2024-2-9>

SIMULATION MODEL OF COMPUTER CONTROL SYSTEM OF TECHNOLOGICAL PROCESSES FOR AGRICULTURAL PRODUCTION

Relevance. Computer control systems based on the Internet of Things (IoT) enhance the yield and resilience of agriculture by enabling precise monitoring of agricultural parameters and efficient resource management. **Aim.** Develop a simulation model for computer control of technological processes in agricultural production to improve the efficiency and sustainability of agricultural processes. **Object of study.** Technological processes in agricultural

production, including monitoring the condition of crops, soil, and climatic conditions using IoT sensors and computational modules. **Subject of study.** A computer model for monitoring and controlling agricultural parameters, utilizing sensors for data collection, primary data processing, and indication. **Conclusions.** The developed simulation model effectively collects and processes data, confirming its suitability for agricultural projects. It is easy to set up, can be expanded to support additional functions, and provides precise monitoring and management of agricultural parameters.

Key words: Internet of things, computer model, control, monitoring, agriculture.

Актуальність. Комп'ютерні технології та Інтернет речей (IoT) трансформують сільське господарство, позитивно впливаючи на врожайність та стійкість завдяки інтеграції передових інформаційних, комунікаційних і кіберфізичних систем і технологій, що забезпечують точний моніторинг параметрів і процесів аграрних виробництв. Це дозволяє фермерам ефективно управляти ресурсами, зменшувати ризики втрати врожаю, запобігати негативним екологічним наслідкам та інше. Розумне землеробство використовує IoT для адаптації до різних аграрних умов, забезпечуючи швидку реакцію на кліматичні зміни та захист урожаю від непередбачуваних техногенних і погодних впливів.

Інтеграція IoT у сільське господарство значно підвищує ефективність та стійкість агротехнік, від автоматизації поливу до точного внесення добрив. Це оптимізує ресурси та зменшує вплив на довкілля, а також прибутковість виробництв. В свою чергу, розвиток хмарних технологій і мобільних додатків забезпечує фермерам доступ до реальних даних у онлайн режимі для кращого управління технологічними процесами і використовуваними ресурсами.

Інтеграція програмних компонент на основі штучного інтелекту та машинного навчання

до IoT систем дозволяє точно прогнозувати потреби під час агротехнічних заходів у польових умовах та оптимізації аграрних процесів. Надійність зв'язку через бездротові технології (LoRa, NB-IoT, ZigBee) забезпечує ефективний моніторинг великих територій.

Отже, напрямок розробки інформаційних, комп'ютерних і кіберфізичних технологій з інтеграцією сучасних досягнень у галузі сенсорів, мікропроцесорів, бездротових мереж і програмних продуктів є актуальним і важливим.

Аналіз загальної архітектури систем і технологій. Архітектура системи, яку зображено на рисунку 1, складається з кількох рівнів взаємодії та координації компонентів для оптимізації сільськогосподарських процесів:

- сенсорний рівень включає розміщені по всьому полю або фермі датчики, які збирають критичні дані про стан культур, ґрунту, клімат та інші параметри. Ці датчики дозволяють системі оперативно реагувати на зміни умов під час тривалого терміну вирощування рослин;
- комунікаційний рівень агрегує та передає дані від сенсорів до центральної системи, використовуючи бездротові технології для забезпечення зв'язку на великі відстані з низьким енергоспоживанням;

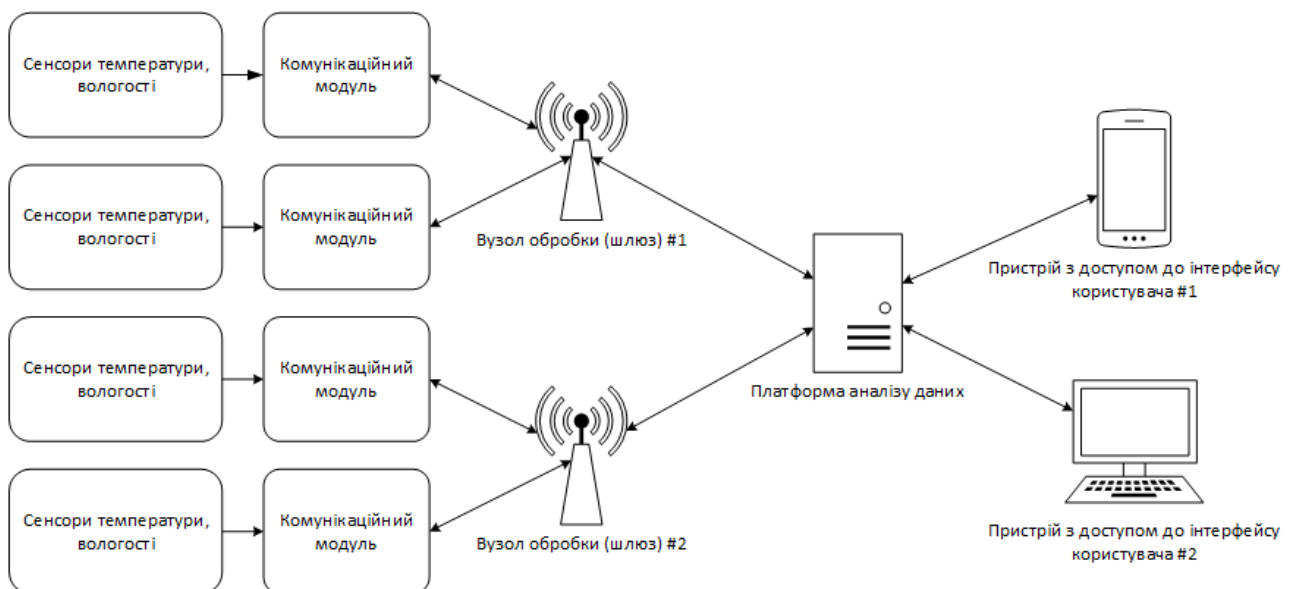


Рис. 1. Загальна архітектура IoT системи для цілей сільського господарства

– рівень обробки включає обчислювальні компоненти та модулі, які аналізують зібрані дані, використовуючи машинне навчання для вироблення рекомендацій по оптимізації аграрних дій, таких як полив і внесення добрив;

– інтерфейс користувача дозволяє фермерам візуалізувати та управляти даними через ергономічні користувацькі програмні застосунки, що сприяє прийняттю обґрунтованих рішень на основі аналітики системи у режимі реального часу.

Аналіз компонентної бази IoT систем. Сенсори. У агротехніці важливу роль відіграють фізико-хімічні параметри, такі як вологість, температура та рН ґрунту, оскільки вони безпосередньо впливають на ефективність вирощування та кінцеву якість рослин.

Вимірювання цих параметрів дозволяє фермерам оптимізувати умови вирощування, що сприяє підвищенню врожайності та якості продукції. Таким чином, сенсори, які вимірюють ці параметри, є основними компонентами будь-якої IoT системи в сільському господарстві. В таблицях 1–2 представлено аналіз популярних бюджетних сенсорів для цілей агротехнічного моніторингу.

Мікроконтролери та обчислювальні модулі. Результат аналізу популярних бюджетних рішень серед мікроконтролерів, які можуть бути використані під час розробки досліджуваної системи, наведено в таблиці 3.

Модулі зв'язку. Результат аналізу популярних бюджетних рішень серед модулів і технологій бездротового зв'язку, які можуть бути

Таблиця 1

Аналіз сенсорів вологості ґрунту

Сенсор	Ціна (орієнтовно)	Технологія	Точність	Особливості	Посилання
YL-69 Soil Hygrometer	\$2	резистивна	низька	простий у використанні, вимагає калібрування	WEB, a
Vegetronix VH400	\$37	ємнісна	висока	водонепроникний, довговічний, не вимагає калібрування	WEB, b
SoilWatch 10	\$55	ємнісна	дуже висока	висока точність, довговічний, широкий діапазон вимірювань	WEB, c

Таблиця 2

Аналіз сенсорів температури та вологості повітря

Датчик	Ціна (орієнтовно)	Точність	Особливості	Посилання
DHT11	\$3	$\pm 2^{\circ}\text{C}$, $\pm 5\%$ RH	широко доступний, підходить для базових проєктів	WEB, d
DHT22	\$10	$\pm 0,5^{\circ}\text{C}$, $\pm 2\%$ RH	краща точність та більш широкий діапазон у порівнянні з DHT11	WEB, e
Sensirion SHT35	\$20	$\pm 0,1^{\circ}\text{C}$, $\pm 1\%$ RH	висока точність, надійність, стабільність	WEB, f

Таблиця 3

Мікроконтролери та обчислювальні модулі

Назва	Ціна (орієнтовно)	Процесор	ОЗП	Флеш-пам'ять	Особливості	Посилання
Arduino Uno	\$25	ATmega328P	2 KB	32 KB	широко доступний, велика кількість ресурсів та бібліотек, значна кількість реалізованих проєктів у відкритому доступі	WEB, g
ESP32	\$10	Xtensa® Dual-Core	520 KB	4 MB	вбудований Wi-Fi та Bluetooth, висока обчислювальна потужність, низьке енергоспоживання	WEB, h
Raspberry Pi Zero W	\$150	Broadcom BCM2835	512 MB	MicroSD	вбудований Wi-Fi, підтримка Linux, підходить для складних проєктів, може виступати в ролі сервера	WEB, i

використані під час розробки досліджуваної системи, наведено в таблиці 4.

Платформи обробки даних. В результаті аналізу доступних хмарних платформ отримані результати, які можуть бути використані при розробці системи для інтелектуальної обробки даних, як наведено в таблиці 5.

Алгоритми збору та обробки даних. Розробка алгоритмів для системи моніторингу в сільському господарстві зосереджена на ефективності керування агротехнічними процесами та енергоефективності обладнання. Спираючись на дослідження зі статті (Siddiquee et al., 2022, P. 1-16), кольорові порогові значення та CNN мережі коректно виявляють стан культур, сягаючи при цьому точності до 90 %. Центральна обробна система застосовує алгоритми машинного навчання для оптимізації

агротехнічних процесів, мінімізуючи ризики і підвищуючи врожайність.

Також прогнозування стану посівів, зокрема оцінка хвороб рослин, за допомогою когнітивної карти забезпечує високу точність і надає наукову основу для контролю захворювань, враховуючи погодні фактори (Liu and Liu, 2011, Vol. 104). Також використання нечіткої логіки дозволяє ефективно застосовувати мінімальні погодні дані для раціоналізації використання добрив і оптимізації агропроцедур (Tilva et al., 2013, P. 1-5).

Порівняльний аналіз існуючих систем. Компаративний аналіз IoT систем для сільського господарства, наведений в таблиці 6, який дозволив виявити ключові переваги та обмеження, допомагаючи вибрати оптимальне рішення для певних умов під час проєктування та моделювання агротехнічних процесів.

Таблиця 4

Модулі бездротового зв'язку

Технологія зв'язку	Модуль	Дальність	Енергоспоживання	Пропускна здатність	Параметри	Джерело
Wi-Fi	ESP8266	до 50 м (в будівлі)	висока	до 600 МБ/с	широко доступний, ідеальний для передачі даних на високій швидкості	WEB, j
LoRa	Semtech SX1276	до 15 км	низька	до 50 КБ/с	велика дальність, ідеальна для віддалених локацій	WEB, k
ZigBee	XBee	до 100 м	середня	до 250 КБ/с	підтримка меш-мережі, підходить для створення місцевих мереж	WEB, l
NB-IoT	Quectel BC95	залежить від мережі	низька	до 250 КБ/с	висока проникність і покриття, оптимізована для IoT	WEB, m

Таблиця 5

Хмарні платформи для інтеграції з комп'ютерними системами агротехнічного призначення

Платформа	Підтримка протоколів	Безпека даних	Спеціалізовані функції	Примітки	Посилання
AWS IoT	MQTT, HTTPS	висока	масштабування, автоматизоване управління	ідеальна для великих агропромислових операцій	WEB, n
ThingSpeak	MQTT	середня	збір та візуалізація даних у реальному часі	підходить для користувачьких проєктів	WEB, o

Таблиця 6

Порівняльна характеристика IoT систем агротехнічного призначення

Система	Сенсори	Мікроконтролери	Модулі зв'язку	Платформи обробки даних	Масштабованість	Посилання
Precision Agriculture Monitoring System (2018)	вологість ґрунту, температура, pH	Raspberry Pi, Arduino	Wi-Fi	AWS IoT	висока	Ali et al., 2018, P. 481-487
Smart Agriculture Monitoring System (2020)	вологість ґрунту, температура, вологість повітря	Raspberry Pi	Wi-Fi	Google Cloud IoT	середня	Jain, 2020, P. 366-372
IoT based Smart Agriculture Monitoring System (2023)	вологість ґрунту, температура	Arduino	LoRa	ThingSpeak	висока	Nayyar et al., 2023, P. 1442-1452

Аналізуючи інформацію з таблиці 6, можна помітити, що кожна аграрна IoT система пропонує унікальні переваги для різних умов використання. Система 2018 року ідеальна для великих агрокомплексів через свої можливості масштабування і тривалий термін служби акумуляторів (Ali et al., 2018, P. 481-487). Система 2020 року, з коротшим терміном служби акумуляторів, пропонує збалансованість ціни і функціональності для середніх ферм (Jain, 2020, P. 366-372). Найновіша система 2023 року з технологією LoRa забезпечує значні переваги в енергозбереженні, що є ідеальним для розподілених аграрних угідь (Nayyar et al., 2023, P. 1442-1452). Враховуючи ці фактори, вибір системи залежить від специфічних потреб та масштабів виробництва кожного аграрного підприємства. Оцінка тривалості батареї, потенціалу масштабування, дальності передачі радіосигналу та інших ключових характеристик є суттєвими для забезпечення високої ефективності під час впровадження та використання системи.

Детальний опис програмно-технічної реалізації. Інтеграція IoT в агротехніці дозволяє реалізовувати адаптивний до конкретних цілей моніторинг та управління фермерськими процесами з високою точністю в режимі реального часу, сприяючи стійкому розвитку фермерських підприємств. Архітектура системи, що зображена на рисунку 2, запропонована для проведення відповідних досліджень і розробок методами

комп'ютерного моделювання. Вона орієнтована на модульність, включає в себе блок сенсорів для збору даних, мікроконтролери для їх первинної обробки, модулі бездротового зв'язку для передачі даних, і хмарні платформи для детального аналізу та зберігання інформації. На рисунку 2 зображена архітектура з урахуванням потреб в оптимізації використання ресурсів як енергетичних, так і економічних, саме тому система побудована на простих і бюджетних та відносно прецизійних і надійних сенсорах і мікроконтролерах, що дозволить у разі необхідності швидко замінити сенсор або масштабувати та адаптувати існуючу систему до різних розмірів полів під час вирощування різних видів сільськогосподарських культур з урахуванням мінливих агрокліматичних умов.

Рисунок 3 детально відображає алгоритм збору даних і їх передачі для подальшої обробки включно з кількома етапами перевірки, які дозволяють користувачу бути впевненим, що дані агреговані в повному обсязі і правильному форматі, а також успішно доставлені для подальшої обробки.

Результати розробки та валідації комп'ютерної моделі. Для візуалізації і тестування комп'ютерної моделі досліджуваної IoT системи, яка складається з сенсорів температури, вологості ґрунту, мікроконтролера Arduino Uno та індикаторних пристроїв (Icd-дисплей та світлодіоди), була створена імітаційна модель, як показано на рисунку 4.

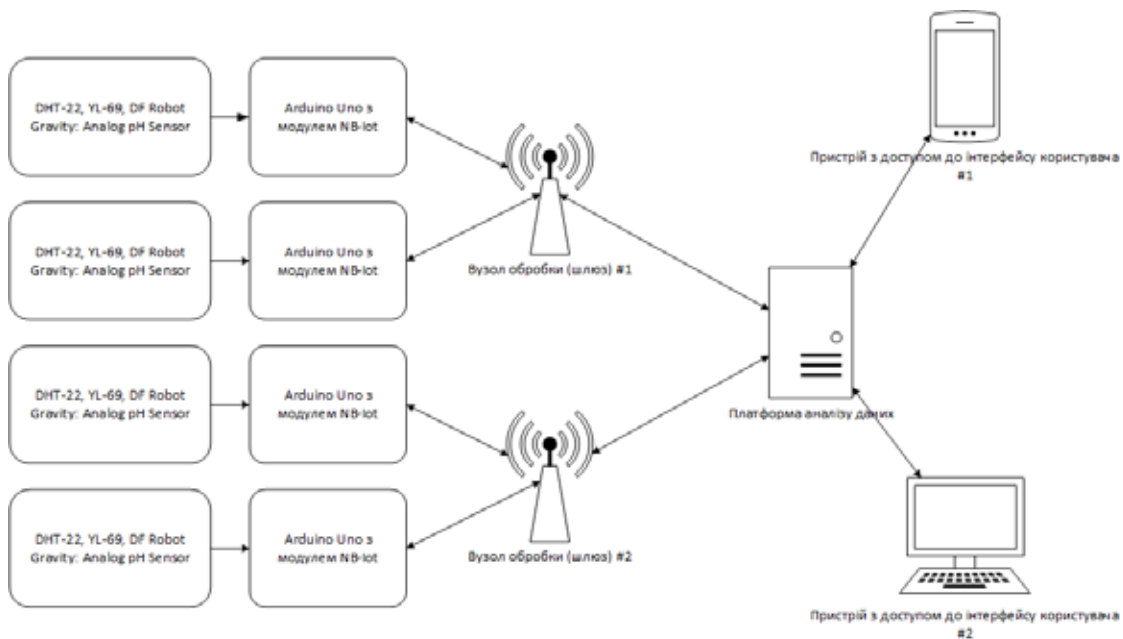


Рис. 2. Деталізована структура досліджуваної системи

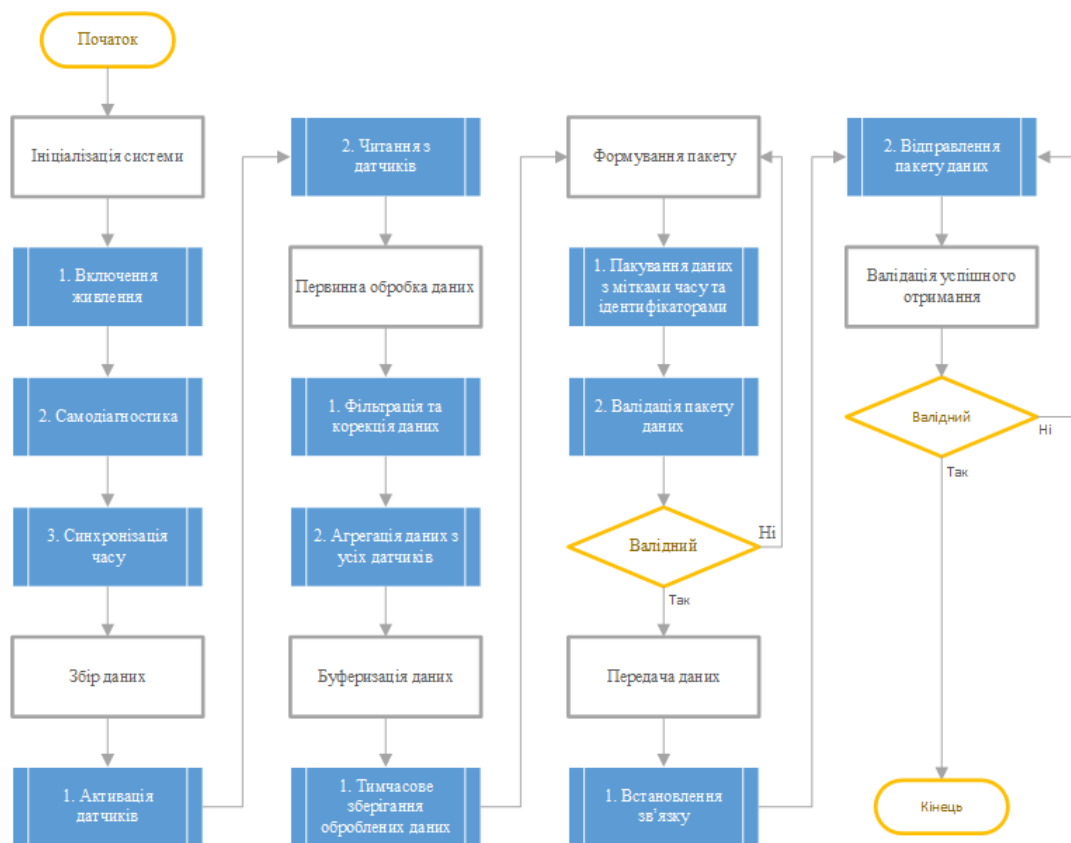


Рис. 3. Алгоритм збору даних з сенсорів

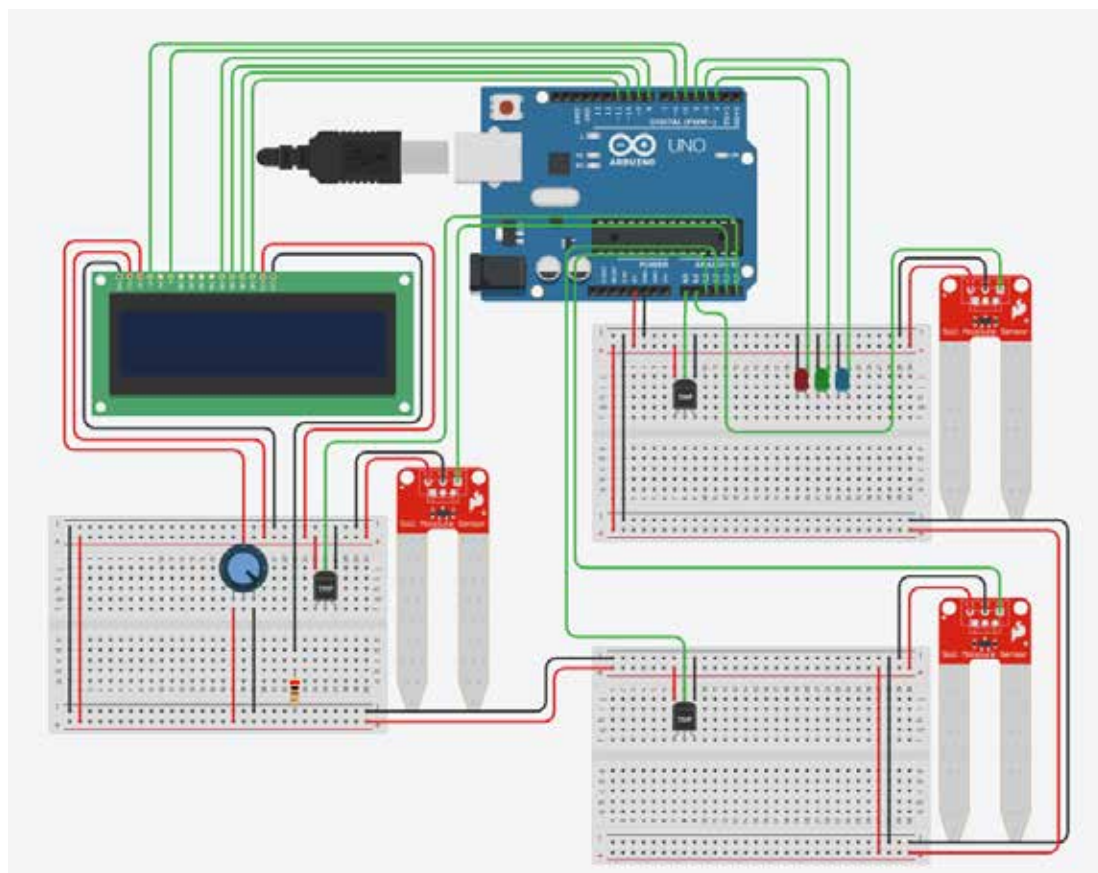


Рис. 4. Розроблена комп'ютерна модель контролю технологічних процесів аграрних виробництв

Основні етапи реалізації програмних компонент моделі є наступними:

1. Налаштування портів і послідовного зв'язку: у стандартній функції `setup()` налаштовано порти для підключення сенсорів та індикаторних пристроїв, а також послідовний зв'язок для виведення даних на комп'ютер (див. рис. 5)

2. Зчитування даних з сенсорів: у стандартній функції `loop()` здійснено виклик функцій зчитування даних з сенсорів, їх обробка (аналоґо-цифрове перетворення, нормування та знаходження середніх у просторі результатів моніторингу), а також виведення отриманих значень у розмірних фізичних величинах на LCD-дисплей і монітор послідовного порту для відображення на персональному комп'ютері з подальшою можливістю формування бази даних результатів агротехнічного контролю. Ці дані в подальшому можуть бути використані для планування процедур і дій з оптимізації агротехнічної практики. Результати розробки програмної компоненти функції зчитування даних сенсорів наведено на рисунку 6.

3. Функція керування пристроями індикації: в залежності від поточних вимірів сенсорів світлодіодні індикатори змінюють свій колір для

оперативної візуальної індикації стану системи. Це допомагає швидко оцінити рівень температури та вологості, як показано на рисунку 7.

Запропоновані апаратні та програмні компоненти досліджуваної комп'ютерної моделі (див. рис. 4–7) дозволили провести комп'ютерний експеримент із оцінки техніко-функціональних характеристик розробки. Ця комп'ютерна модель для збору та обробки даних про критичні фізико-хімічні параметри повітря та ґрунту розроблена для забезпечення ефективного контролю аграрних процесів у реальному форматі часу. В результаті тестування (див. рис. 8) у онлайн-середовищі Tinkercad (WEB, р), було використано компоненти, які є аналогами бюджетних рішень, наведених в таблицях 1–2, що вплинуло на деякі аспекти точності та стабільності вимірювань.

Отже, можна зазначити, що розроблена і протестована модель продемонструвала здатність ефективно збирати та обробляти дані про температуру і вологість повітря та ґрунту, забезпечуючи базовий рівень комп'ютерного контролю агротехнічного призначення. Зібрані дані були виведені на LCD-дисплей, що дозволило візуалізувати результати в режимі реального часу.

```
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  lcd.begin(16,2);
  lcd.print("Start!");
  // Встановлення режиму пінів для датчиків
  pinMode(tempSensorPin1, INPUT);
  pinMode(soilMoisturePin1, INPUT);
  pinMode(tempSensorPin2, INPUT);
  pinMode(soilMoisturePin2, INPUT);
  pinMode(tempSensorPin3, INPUT);
  pinMode(soilMoisturePin3, INPUT);
  delay(1000);
  // Налаштування тексту на дисплеї
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("Avg T=");
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("Avg H=");
  // Встановлення режиму для світлодіодів
  pinMode(red, OUTPUT);
  pinMode(green, OUTPUT);
  pinMode(blue, OUTPUT);
}
```

Рис. 5. Програмна компонента функції налаштування модулів і інтерфейсів


```

void loop() {
    // Зчитування даних з Temperature Sensor
    float temperature1 = readTemperature(tempSensorPin1);
    float temperature2 = readTemperature(tempSensorPin2);
    float temperature3 = readTemperature(tempSensorPin3);
    // Зчитування даних з Soil Moisture Sensor
    float soilMoisture1 = readSoilMoisture(soilMoisturePin1);
    float soilMoisture2 = readSoilMoisture(soilMoisturePin2);
    float soilMoisture3 = readSoilMoisture(soilMoisturePin3);
    // Розрахунок середніх значень
    float avgTemperature = (temperature1 + temperature2 + temperature3) / 3.0;
    float avgSoilMoisture = (soilMoisture1 + soilMoisture2 + soilMoisture3) / 3.0;
    // Вивід середніх значень на дисплей
    lcd.setCursor(6, 0);
    lcd.print(avgTemperature);
    lcd.print(" C");
    lcd.setCursor(6, 1);
    lcd.print(avgSoilMoisture);
    lcd.print(" %");
    // Вивід даних у серійний монітор
    Serial.print("Average Temperature: ");
    Serial.print(avgTemperature);
    Serial.print(" *C\t");
    Serial.print("Average Soil Moisture: ");
    Serial.print(avgSoilMoisture);
    Serial.println(" %");
    // Оновлення світлодіодів на основі даних
    updateControls(avgSoilMoisture, avgTemperature);
    delay(2000); // Затримка між зчитуваннями
}

```

Рис. 6. Програмна компонента функції зчитування даних з сенсорів

Модель також включала візуальну індикацію за допомогою світлодіодів, які змінювали колір залежно від показників сенсорів.

Висновки. В результаті досліджень статті створено та протестовано комп'ютерну модель контролю технологічних процесів аграрних виробництв, яка реалізує базовий функціонал у відповідності до вимог сільськогосподарського призначення. Ця модель продемонструвала задовільну ефективність у зборі та обробці даних, підтверджуючи свою придатність для застосування в аграрних проєктах. Використання бюджетних сенсорів дозволило знизити витрати, зберігаючи при цьому достатній рівень точності для задач аграрного контролю. Синтезована модель демонструє високу потенційну придатність для фермерів, забезпечуючи можливість швидкої адаптації до змін умов та оптимізації аграрних процесів. Створена модель

є важливим етапом перед подальшим впровадженням системи у більших масштабах. Основні результати досліджень є наступними:

1. Використання бюджетних сенсорів типу YL-69 та DHT22 забезпечило необхідний рівень точності вимірювань. Після налаштування та попередньої обробки (нормалізації) отриманих даних сенсори показали стабільні результати, що дозволило використовувати модель для базового агротехнічного контролю.

2. Комп'ютерна модель є ергономічною у налаштуванні та експлуатації. Використання одного мікроконтролера Arduino Uno спрощує процедуру інтеграції апаратних і програмних компонент системи.

3. Логіка керування світлодіодними індикаторами забезпечує швидку оцінку стану фізико-хімічних параметрів аналізованих аграрних середовищ.


```
void updateControls(float Humidity, float Temperature) {
    // Визначення рівня вологості
    int humLevel = (Humidity >= 75) ? 2 :
                  (Humidity >= 50) ? 1 : 0;
    // Визначення рівня температури
    int tempLevel = (Temperature >= 35) ? 2 :
                  (Temperature >= 10) ? 1 : 0;
    // Визначення кольору світлодіодів на основі рівнів вологості та температури
    if (humLevel == 0) {
        updateLEDs(2); // Червоний
    } else if (humLevel == 1 && tempLevel != 2) {
        updateLEDs(1); // Зелений
    } else {
        updateLEDs(0); // Синій
    }
}
```

а) керування світлодіодною індикацією

```
float readTemperature(int sensorPin) {
    int tempValue = analogRead(sensorPin);
    float voltage = tempValue * (5.0 / 1024.0);
    return (voltage - 0.5) * 100.0;
}

float readSoilMoisture(int sensorPin) {
    int soilMoistureValue = analogRead(sensorPin);
    return (soilMoistureValue / 1023.0) * 100.0;
}
```

б) оновлення показів сенсорів

Рис. 7. Програмна компонента функції керування пристроями індикації

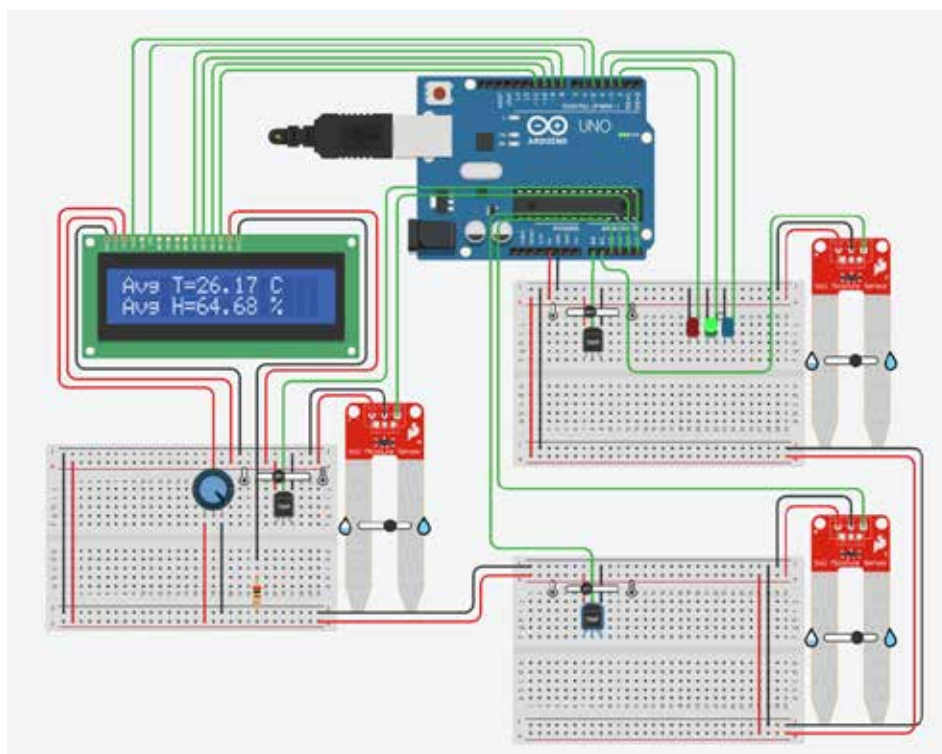


Рис. 8. Графічний вигляд результату тестування розробленої моделі

4. Модель може бути адаптована та розширена для підтримки додаткових сенсорів або програмних функцій, що робить її придатною для різних аграрних проєктів, дозволяючи адаптувати систему під специфічні вимоги.

Дослідження статті виконані в рамках науково-дослідної теми «Розвиток програмно-апаратного забезпечення інтелектуальних технологій для сталого вирощування сільсько-господарських культур у воєнний та повоєнний час» (номер держреєстрації 0124U000289).

ЛІТЕРАТУРА:

1. Web a. Random Nerd Tutorials: Guide for Soil Moisture Sensor YL-69 or HL-69 with Arduino. URL: <https://randomnerdtutorials.com/guide-for-soil-moisture-sensor-yl-69-or-hl-69-with-the-arduino/> (дата звернення: 16.04.2024).
2. Web b. Vegetronix: Stop Over-Watering with Soil Moisture Sensors. URL: <https://vegetronix.com/Products/VH400/> (дата звернення: 17.04.2024).
3. Web c. PINO-TECH: SoilWatch 10 – Soil Moisture Sensor. URL: <https://pino-tech.eu/soilwatch10/> (дата звернення: 16.04.2024).
4. Web d. Components101: DHT11–Temperature and Humidity Sensor. URL: <https://components101.com/sensors/dht11-temperature-sensor> (дата звернення: 17.04.2024).
5. Web e. Components101: DHT22 – Temperature and Humidity Sensor. URL: <https://components101.com/sensors/dht22-pinout-specs-datasheet> (дата звернення: 19.04.2024).
6. Web f. SENSIRION: SHT35-DIS-F. URL: <https://sensirion.com/products/catalog/SHT35-DIS-F/> (дата звернення: 19.04.2024).
7. Web g. Arduino DOCS: UNO R3. URL: <https://docs.arduino.cc/hardware/uno-rev3/> (дата звернення: 20.04.2024).
8. Web h. Random Nerd Tutorials: Getting Started with the ESP32 Development Board URL: <https://randomnerdtutorials.com/getting-started-with-esp32/> (дата звернення: 20.04.2024).
9. Web i. Raspberry Pi: Raspberry Pi Zero W. URL: <https://raspberrypi.com/products/raspberry-pi-zero-w/> (дата звернення: 21.04.2024).
10. Web j. Wikipedia: Wi-Fi. URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/Wi-Fi> (дата звернення: 25.04.2024).
11. Web k. LoRa Alliance: What is LoRaWAN. URL: https://loro-alliance.org/resource_hub/what-is-lorawan/ (дата звернення: 26.04.2024).
12. Web l. Wikipedia: Zigbee. URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/Zigbee> (дата звернення: 26.04.2024).
13. Web m. Wikipedia: Narrowband IoT. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Narrowband_IoT (дата звернення: 26.04.2024).
14. Web n. AWS IoT: What is AWS IoT? URL: <https://docs.aws.amazon.com/iot/latest/developerguide/what-is-aws-iot.html> (дата звернення: 28.04.2024).
15. Web o. ThingSpeak: ThingSpeak IoT Platform. URL: https://thingspeak.com/pages/learn_more (дата звернення: 30.04.2024).
16. Kazy Noor-e-Alam Siddiquee et al. Development of Algorithms for an IoT-Based Smart Agriculture Monitoring System. *Wireless Communications and Mobile Computing*. 2022. Vol. 2022. P. 1–16. <https://doi.org/10.1155/2022/7372053>
17. Liu, Y., Liu, Y. The Weather Disease Prediction Model Based on the Cognitive Map. In: Jin, D., Lin, S. (eds) *Advances in Computer Science, Intelligent System and Environment. Advances in Intelligent and Soft Computing*. Berlin, 2011. Vol. 104. https://doi.org/10.1007/978-3-642-23777-5_10
18. Tilva, V., Patel, J., Bhatt, C. Weather based plant diseases forecasting using fuzzy logic. In: 2013 *Nirma University International Conference on Engineering*. Ahmedabad, 2013. P. 1–5. <https://doi.org/10.1109/NUICONE.2013.6780173>
19. Ali, T. A. A., Choksi, V., Potdar, M.B. Precision Agriculture Monitoring System Using Green Internet of Things (G-IoT). In: 2018 *2nd International Conference on Trends in Electronics and Informatics (ICOEI)*. Tirunelveli, 2018. P. 481–487, <https://doi.org/10.1109/ICOEI.2018.8553866>
20. Jain, A. Smart Agriculture Monitoring System using IoT. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*. 2020. Vol. 8 (VII). P. 366–372. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2020.7060>
21. Nayyar, A., Choudhury, T., Kumar, A., Hasteer, N., Bedi, A., Pragya, G. IoT based Smart Agriculture Monitoring System. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*. 2023. Vol. 10 (4). P. 1442–1452. URL: <https://www.irjet.net/archives/V10/i4/IRJET-V10I4215.pdf>.
22. Web p. Autodesk Tinkercad. URL: <https://www.tinkercad.com/dashboard> (дата звернення: 15.05.2024).

REFERENCES:

1. Web a. Random Nerd Tutorials: Guide for Soil Moisture Sensor YL-69 or HL-69 with Arduino. Retrieved from: <https://randomnerdtutorials.com/guide-for-soil-moisture-sensor-yl-69-or-hl-69-with-the-arduino/> (accessed: 16.04.2024).
2. Web b. Vegetronix: Stop Over-Watering with Soil Moisture Sensors. Retrieved from: <https://vegetronix.com/Products/VH400/> (accessed: 17.04.2024).
3. Web c. PINO-TECH: SoilWatch 10 – Soil Moisture Sensor. Retrieved from: <https://pino-tech.eu/soilwatch10/> (accessed: 16.04.2024).
4. Web d. Components101: DHT11–Temperature and Humidity Sensor. Retrieved from: <https://components101.com/sensors/dht11-temperature-sensor> (accessed: 17.04.2024).
5. Web e. Components101: DHT22 – Temperature and Humidity Sensor. Retrieved from: <https://components101.com/sensors/dht22-pinout-specs-datasheet> (accessed: 19.04.2024).
6. Web f. SENSIRION: SHT35-DIS-F. Retrieved from: <https://sensirion.com/products/catalog/SHT35-DIS-F/> (accessed: 19.04.2024).
7. Web g. Arduino DOCS: UNO R3. Retrieved from: <https://docs.arduino.cc/hardware/uno-rev3/> (дата звернення: 20.04.2024).
8. Web h. Random Nerd Tutorials: Getting Started with the ESP32 Development Board Retrieved from: <https://randomnerdtutorials.com/getting-started-with-esp32/> (accessed: 20.04.2024).
9. Web i. Raspberry Pi: Raspberry Pi Zero W. Retrieved from: <https://raspberrypi.com/products/raspberry-pi-zero-w/> (accessed: 21.04.2024).
10. Web j. Wikipedia: Wi-Fi. Retrieved from: <https://en.wikipedia.org/wiki/Wi-Fi> (accessed: 25.04.2024).
11. Web k. LoRa Alliance: What is LoRaWAN. Retrieved from: https://lora-alliance.org/resource_hub/what-is-lorawan/ (accessed: 26.04.2024).
12. Web l. Wikipedia: Zigbee. Retrieved from: <https://en.wikipedia.org/wiki/Zigbee> (accessed: 26.04.2024).
13. Web m. Wikipedia: Narrowband IoT. Retrieved from: https://en.wikipedia.org/wiki/Narrowband_IoT (accessed: 26.04.2024).
14. Web n. AWS IoT: What is AWS IoT? Retrieved from: <https://docs.aws.amazon.com/iot/latest/developerguide/what-is-aws-iot.html> (accessed: 28.04.2024).
15. Web o. ThingSpeak: ThingSpeak IoT Platform. Retrieved from: https://thingspeak.com/pages/learn_more (accessed: 30.04.2024).
16. Kazy Noor-e-Alam, Siddiquee et al. (2022). Development of Algorithms for an IoT-Based Smart Agriculture Monitoring System. *Wireless Communications and Mobile Computing*. Vol. 2022. P. 1–16. <https://doi.org/10.1155/2022/7372053>
17. Liu, Y., Liu, Y. (2011). The Weather Disease Prediction Model Based on the Cognitive Map. In: *Jin, D., Lin, S. (eds) Advances in Computer Science, Intelligent System and Environment. Advances in Intelligent and Soft Computing*. Berlin, Vol. 104. https://doi.org/10.1007/978-3-642-23777-5_10
18. Tilva, V., Patel, J., Bhatt, C. (2013). Weather based plant diseases forecasting using fuzzy logic. In: *2013 Nirma University International Conference on Engineering*. Ahmedabad, P. 1–5. <https://doi.org/10.1109/NUICONE.2013.6780173>
19. Ali, T. A. A., Choksi, V., Potdar, M.B. (2018). Precision Agriculture Monitoring System Using Green Internet of Things (G-IoT). In: *2018 2nd International Conference on Trends in Electronics and Informatics (ICOEI)*. Tirunelveli, P. 481–487, <https://doi.org/10.1109/ICOEI.2018.8553866>
20. Jain, A. (2020). Smart Agriculture Monitoring System using IoT. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*. Vol. 8 (VII). P. 366–372. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2020.7060>
21. Nayyar, A., Choudhury, T., Kumar, A., Hasteer, N., Bedi, A., Pragma, G. (2023). IoT based Smart Agriculture Monitoring System. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*. Vol. 10 (4). P. 1442–1452. Retrieved from: <https://www.irjet.net/archives/V10/i4/IRJET-V10I4215.pdf>.
22. Web p. Autodesk Tinkercad. Retrieved from: <https://www.tinkercad.com/dashboard> (accessed: 15.05.2024).