

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: *Комп'ютеризована система для дистанційного моніторингу
родючості ґрунту на основі технологій інтернету речей*

Виконав: студент 4 курсу, групи СІ-41
спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія»

(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

Задорожний Д.М.

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Осухівська Г.М.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Луцик Н.С.

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Осухівська Г.М.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

Небесний Р.М.

(прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії
(повна назва факультету)

Кафедра комп'ютерних систем та мереж
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Осухівська Г.М.
(підпис) (прізвище та ініціали)

«27» січня 2025 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня бакалавр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 123 «Комп'ютерна інженерія»
(шифр і назва спеціальності)

студенту Задорожному Денису Миколайовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Комп'ютеризована система для дистанційного моніторингу родючості ґрунту на основі технологій інтернету речей

Керівник роботи Осухівська Галина Михайлівна, к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «27» січня 2025 року № 4/7-53

2. Термін подання студентом завершеної роботи 16.06.2025 р.

3. Вихідні дані до роботи Технічне завдання

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ

1. Аналіз технічного завдання

2. Проектна частина

3. Практична частина

4. Безпека життєдіяльності, основи охорона праці

Висновки

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

1. Структурна схема системи

2. Схема електрична принципова сенсорного модуля (A2)

3. Схема електрична принципова пристрою для передачі даних на хмарну платформу (A2)

4. Блок-схема алгоритму роботи сенсорного модуля (A2)

5. Блок-схема алгоритму роботи пристрою для передачі даних на хмарну платформу (A2)

6. Результати роботи системи

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Безпека життєдіяльності, основи охорона праці</i>	<i>проф. каф. МТ Пулинець М.І.</i>		

7. Дата видачі завдання 27.01.2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

[illegible]

Студент

(підпис)

Задорожний Д.М.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Осухівська Г.М.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Задорожний Д.М. Комп'ютеризована система для дистанційного моніторингу родючості ґрунту на основі технологій інтернету речей: робота на здобуття освітнього ступеня бакалавра: спец. 123 — комп'ютерна інженерія. Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2025.

Ключові слова: дистанційний моніторинг, родючість ґрунту, комп'ютеризована система, Інтернет речей, апаратне забезпечення, програмне забезпечення, давачі.

Кваліфікаційна робота присвячена розробці комп'ютеризованої системи для дистанційного моніторингу родючості ґрунту. Така система дозволяє автоматизувати процес збору даних про стан ґрунту, що є важливим для підвищення ефективності сільськогосподарських робіт і раціонального використання ресурсів.

У роботі проаналізовано технічне завдання, визначено функціональні та технічні вимоги до системи. Проведено огляд існуючих аналогів для визначення їхніх переваг та недоліків, що дозволило обґрунтувати вибір елементної бази. Розроблено апаратну частину системи, до складу якої входять сенсори для вимірювання вологості, температури та рівня рН ґрунту.

Створено алгоритм роботи системи, який забезпечує збирання, обробку та передачу даних на віддалений сервер. Розроблено програмне забезпечення, яке реалізує ці алгоритми та забезпечує взаємодію між компонентами системи. Виконано тестування розробленої системи для перевірки її працездатності, точності вимірювань та відповідності заданим вимогам.

Результати роботи можуть бути використані для подальшого впровадження в аграрній галузі та адаптовані для моніторингу інших параметрів ґрунту або природного середовища.

ANNOTATION

Zadorozhnyi D.M. Computerized system for remote monitoring of soil fertility based on Internet of Things (IoT) technologies. Bachelor's Graduation Thesis: speciality 123 — computer engineering. Ternopil: Ternopil Ivan Pulyk National Technical University, 2025.

Keywords: remote monitoring, soil fertility, computerized system, Internet of Things, hardware, software, sensors.

The qualification work is devoted to the development of a computerized system for remote monitoring of soil fertility. Such a system allows automating the process of collecting data on soil conditions, which is important for increasing the efficiency of agricultural operations and rational use of resources.

The paper analyzes the terms of reference, defines the functional and technical requirements for the system. A review of existing analogs was conducted to determine their advantages and disadvantages, which allowed us to justify the choice of the element base. The hardware part of the system, which includes sensors for measuring soil moisture, temperature, and pH, was developed.

An algorithm for the system was created to collect, process, and transmit data to a remote server. Software was developed that implements these algorithms and ensures interaction between the system components. The developed system was tested to verify its performance, measurement accuracy, and compliance with the specified requirements.

The results of the work can be used for further implementation in the agricultural sector and adapted to monitor other parameters of the soil or the environment.

ЗМІСТ

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ.....	7
ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ.....	9
1.2 Аналіз вимог до системи дистанційного моніторингу родючості ґрунту.....	10
1.3 Огляд існуючих засобів для моніторингу родючості ґрунту.....	11
1.3.1 Прилад для вимірювання родючості і кислотності ґрунту ETP-307	12
1.3.2 Прилад для вимірювання параметрів ґрунту Leaf Rapitest	14
1.3.3 Бездротовий прилад для догляду за рослинами Parrot Flower Power	16
1.4 Аналіз можливих рішень поставленого завдання.....	18
РОЗДІЛ 2 ПРОЄКТНА ЧАСТИНА	20
2.1 Розробка структури системи дистанційного моніторингу родючості ґрунту ...	20
2.2 Розробка апаратного забезпечення комп'ютеризованої системи дистанційного моніторингу родючості ґрунту.....	21
2.2.1 Платформа ESP32.....	21
2.2.2 Модуль Arduino Nano	24
2.2.3 Давач поживних речовин в ґрунті ABS Soil NPK.....	26
2.2.4 Давач температури DS18B20	28
2.2.5 Давач вологості ґрунту	30
2.2.6 Модуль перетворювача інтерфейсів UART-RS485	32
2.2.7 Бездротовий модуль NRF24L01.....	33
2.3 Розробка електричних схем пристроїв системи.....	35
РОЗДІЛ 3 ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА	38
3.1 Розробка алгоритму роботи системи для дистанційного моніторингу родючості ґрунту	38
3.2 Розробка програмного забезпечення.....	40
3.2.1 Розробка програмного забезпечення для Arduino Nano.....	40

					КС КРБ 123.206.00.00 ПЗ						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							
Розробив		Задорожний Д.М.			Комп'ютеризована система дистанційного моніторингу родючості ґрунту на основі технологій інтернету речей	Літ.		Арк.		Акрушів	
Перевірів		Осуківська Г.М.						5		76	
Рецензент		Небесний Р.М.				ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-41					
Н. Контр.		Луцук Н.С.									
Зав. каф.		Осуківська Г.М.									

3.2.2 Розробка програмного забезпечення для мікроконтролера ESP32.....	45
3.3 Реалізація передачі даних на IoT платформу ThingSpeak.....	49
3.3.1 IoT платформа ThingSpeak	49
3.3.2 Налаштування ThingSpeak	50
3.4 Результати тестування системи	52
РОЗДІЛ 4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	55
4.1 Ергономічні проблеми безпеки життєдіяльності.....	55
4.2 Соціальне значення охорони праці	58
ВИСНОВКИ.....	61
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	62
Додаток А Технічне завдання	
Додаток Б Перелік елементів	
Додаток В Лістинг програми	

					КС КРБ 123.206.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ

IoT – Internet of Things;

SPI – Serial Peripheral Interface;

АЗ – апаратне забезпечення;

БПЛА – безпілотний літальний апарат;

ДМ – дистанційний моніторинг;

ІТ – інформаційні технології;

КС – комп'ютеризована система;

РГ – родючість ґрунту;

МК – мікроконтролер;

ПЗ – програмне забезпечення.

					КС КРБ 123.206.00.00 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Аграрний сектор відіграє ключову роль у забезпеченні продовольчої безпеки та економічного розвитку. Одним із головних факторів, що впливають на врожайність, є родючість ґрунту, яка залежить від рівня його вологості, кислотності та вмісту поживних речовин. Традиційні методи оцінки стану ґрунту є трудомісткими, вимагають значних затрат часу, а також не забезпечують можливості оперативного отримання даних у реальному часі.

У сучасному світі технології Інтернету речей (IoT) забезпечують нові можливості для автоматичного моніторингу параметрів навколишнього середовища, включаючи стан ґрунту. Комп'ютеризовані системи на основі IoT дозволяють не лише здійснювати безперервний контроль ключових показників родючості ґрунту, але й зберігати та аналізувати ці дані для оптимізації агротехнічних заходів. Актуальність задачі розробки такої системи зумовлена необхідністю підвищення ефективності сільськогосподарських процесів та зменшення витрат ресурсів.

Мета роботи – розробити комп'ютеризовану систему для дистанційного моніторингу родючості ґрунту, яка забезпечує автоматизований збір, обробку та передачу даних для аналізу його стану.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі завдання:

- проаналізувати технічне завдання та визначити вимоги до проєктованої системи;
- провести огляд існуючих аналогів і визначити їх переваги та недоліки;
- розробити апаратну частину системи, обґрунтувавши вибір елементної бази;
- розробити алгоритм роботи системи для забезпечення взаємодії між компонентами;
- написати ПЗ для реалізації функцій системи;
- виконати тестування системи.

					КС КРБ 123.206.00.00 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ

1.1 Огляд та аналіз сфер застосування системи моніторингу родючості ґрунту

Комп'ютеризовані системи для моніторингу родючості ґрунту є важливим інструментом у сільському господарстві, забезпечуючи ефективне управління земельними ресурсами та підвищення врожайності. Їх застосування ґрунтується на зборі, аналізі та передачі даних про стан ґрунту, що дозволяє приймати обґрунтовані рішення щодо зрошення, удобрення та обробки земель.

Однією з ключових сфер використання таких систем є точне землеробство. Ця концепція передбачає застосування ІТ технологій для оптимізації сільськогосподарських процесів на основі детального аналізу стану ґрунту. Комп'ютеризовані системи моніторингу родючості ґрунту дозволяють визначати рівень вологи, температуру, концентрацію поживних речовин (калій, фосфор, азот), що дає змогу ефективніше розподіляти ресурси, запобігати виснаженню ґрунтів та покращувати якість врожаю.

Ще однією важливою сферою є автоматизовані системи зрошення. Використання давачів вологості ґрунту та температури у поєднанні з бездротовими технологіями передавання даних дозволяє оптимізувати подачу води, зменшуючи її витрати та мінімізуючи негативний вплив на екосистему. Це актуально для регіонів із посушливим кліматом.

Комп'ютеризовані системи також знаходять застосування у моніторингу стану теплиць. Контроль вологості та температури ґрунту в поєднанні з аналізом навколишнього середовища дає можливість створювати оптимальні умови для вирощування культур. Завдяки бездротовій передачі даних та інтеграції з

					КС КРБ 123.206.00.00 ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Аналіз технічного завдання		
Розробив		Задорожний Д.М.					
Перевірив		Осухівська Г.М.					
Рецензент		Небесний Р.М.					
Н. Контр.		Луцик Н.С.					
Зав. каф.		Осухівська Г.М.					
					Літ.	Арк.	Акрушів
						9	11
					ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-41		

хмарними платформами, аграрії можуть віддалено керувати параметрами мікроклімату та оперативно реагувати на зміни, що забезпечує стабільний ріст рослин і зменшує ризики неврожаю.

Окрім аграрного сектору, комп'ютеризовані системи можуть використовуватися в екологічному моніторингу. Спостереження за станом ґрунтів у природоохоронних зонах, контроль за рівнем забруднення, оцінка змін у хімічному складі ґрунту допомагають у виявленні екологічних проблем та розробці стратегій їх усунення. Такі системи можуть стати основою для довгострокових досліджень впливу діяльності людини на ґрунт та допомагати у створенні ефективних заходів із збереження природних ресурсів.

Загалом, застосування комп'ютеризованих систем моніторингу родючості ґрунту охоплює широкий спектр завдань, починаючи від оптимізації аграрного виробництва до екологічних досліджень. Їх використання дозволяє підвищити ефективність менеджменту земельних ресурсів, зменшити витрати на добрива та зрошення, а також сприяє збереженню довкілля завдяки раціональному використанню природних ресурсів.

1.2 Аналіз вимог до системи дистанційного моніторингу родючості ґрунту

Розробка комп'ютеризованої системи для дистанційного моніторингу родючості ґрунту вимагає визначення ключових вимог, які забезпечать ефективність, надійність та зручність її використання. Вимоги до системи можна розділити на функціональні, технічні та експлуатаційні.

Функціональні вимоги визначають основні можливості системи. Вона повинна забезпечувати безперервний збір даних про параметри ґрунту, зокрема рівень вологості, температуру та кислотність (pH). Отримані дані повинні передаватися на віддалений сервер для подальшого аналізу. Система повинна мати можливість відображення інформації у зручному для користувача форматі, наприклад, у вигляді графіків або таблиць у веб-інтерфейсі чи мобільному додатку.

					КС КРБ 123.206.00.00 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Технічні вимоги охоплюють характеристики програмного та апаратного забезпечення. Система повинна працювати на основі мікроконтролера або одноплатного комп'ютера з низьким енергоспоживанням, що забезпечить тривалу автономну роботу. Вибрані сенсори повинні бути достатньо точними та стійкими до зовнішніх впливів, зокрема змін температури та вологості.

Передача даних повинна здійснюватися за допомогою бездротових технологій, що дозволить розгорнути систему в різних умовах експлуатації. Програмне забезпечення повинно бути оптимізоване для безперебійної роботи, підтримувати зберігання історичних даних та забезпечувати доступ до них у реальному часі.

Експлуатаційні вимоги включають зручність налаштування та обслуговування системи. Встановлення пристроїв має бути простим, а процес калібрування сенсорів – інтуїтивно зрозумілим для користувача. Система повинна мати енергоефективний режим роботи, що дозволить зменшити витрати на обслуговування.

З урахуванням цих вимог, розроблена система повинна забезпечити високу точність моніторингу родючості ґрунту, стабільну передачу даних і зручний доступ до інформації.

1.3 Огляд існуючих засобів для моніторингу родючості ґрунту

Ринок пропонує широкий вибір засобів для моніторингу родючості ґрунту, які відрізняються за функціональністю, точністю вимірювань та способом обробки даних. Основними категоріями таких засобів є портативні аналізатори ґрунту, стаціонарні сенсорні системи та дистанційні методи моніторингу, зокрема супутниковий аналіз і використання БПЛА.

Портативні аналізатори ґрунту – це ручні пристрої, що використовуються для локального вимірювання ключових параметрів ґрунту, таких як вологість, рН, вміст калію, фосфору, азоту. Серед популярних моделей можна виділити Kelway

					КС КРБ 123.206.00.00 ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Soil pH and Moisture Meter, Luster Leaf Rapitest та LaMotte Soil Test Kit. Вони мають переваги у вигляді мобільності та доступності, однак їхні основні недоліки включають необхідність ручного вимірювання, обмежену точність та відсутність можливості автоматизованого збору та аналізу даних.

Стаціонарні сенсорні системи, такі як Decagon 5TE, Parrot Flower Power або Sensoterra, працюють на основі вбудованих датчиків, що встановлюються безпосередньо в ґрунт і передають дані в реальному часі через Wi-Fi, LoRaWAN або GSM. Вони дозволяють здійснювати довготривалий моніторинг на певних ділянках, але мають низку недоліків: високу вартість обладнання, складність встановлення та обмежену зону покриття, що може потребувати значної кількості сенсорів для великих сільськогосподарських угідь.

Дистанційні методи моніторингу включають аналіз супутникових знімків та використання БПЛА з мультиспектральними камерами. Наприклад, CropScan MSR, Sentera NDVI, MicaSense RedEdge – це технології, що застосовуються для оцінювання стану рослинності та вологості ґрунту на великих площах. Вони дозволяють отримати загальну картину стану сільськогосподарських угідь, але їхній головний недолік – низька точність при визначенні локальних параметрів ґрунту. Крім того, супутниковий моніторинг залежить від погоди і не завжди забезпечує необхідний рівень деталізації.

1.3.1 Прилад для вимірювання родючості і кислотності ґрунту ЕТР-307

Серед можливих аналогів проєктованої системи можна розглянути прилад для вимірювання родючості і кислотності ґрунту ЕТР-307 [1]. Цей прилад належить до категорії простих побутових або напівпрофесійних пристроїв для експрес-аналізу властивостей ґрунту в умовах присадибного або дачного господарства (рис. 1.1).

Основними функціями пристрою є вимірювання кислотності ґрунту (pH) та рівня його родючості, що фактично оцінюється через електропровідність, яка може певною мірою свідчити про наявність мінеральних речовин. Прилад не потребує батарейок — його живлення забезпечується за рахунок потенціалів, які виникають

					КС КРБ 123.206.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

у процесі контакту електродів із вологим ґрунтом. Для зчитування значень використовується аналогова шкала на механічному індикаторі. Конструкція пристрою є компактною та зручною для польового використання, оскільки не потребує налаштувань чи програмного забезпечення.



Рисунок 1.1 – Прилад для вимірювання родючості і кислотності ґрунту ЕТР-307

Серед переваг ЕТР-307 можна виділити його доступну ціну, енергонезалежність, простоту використання та швидкість вимірювання. Завдяки механічному індикатору користувач отримує результат без необхідності підключення до будь-яких електронних пристроїв, що зручно в умовах, де немає джерел живлення чи зв'язку.

Разом з тим, у порівнянні з функціональністю майбутньої проекрованої системи, прилад має суттєві обмеження. По-перше, він не забезпечує автоматизований збір, збереження або передавання даних, що унеможливорює довготривалий моніторинг чи інтеграцію у системи розумного землеробства. По-

					КС КРБ 123.206.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

друге, відсутні вимірювання інших важливих агрохімічних параметрів, зокрема вмісту азоту, фосфору, калію, температури чи вологості ґрунту. Крім того, аналоговий характер відображення значень та орієнтовна оцінка родючості роблять точність результатів суб'єктивною і недостатньою для наукових або аграрно-комерційних задач.

Аналіз особливостей ЕТР-307 дозволяє сформулювати низку вимог до проєктованої системи, яка повинна передбачати електронне зчитування даних, високу точність вимірювань, можливість віддаленого моніторингу через бездротові мережі, автоматичне збереження та обробку даних, а також масштабованість для використання на великих площах або в умовах інтенсивного сільського господарства. Ці вимоги стануть основою для розробки більш функціонального та технологічного рішення.

1.3.2 Прилад для вимірювання параметрів ґрунту Leaf Rapitest

Серед наявних пристроїв, що можуть бути розглянуті як аналоги майбутньої проєктованої системи моніторингу параметрів ґрунту, доцільно виокремити прилад для вимірювання параметрів ґрунту Leaf Rapitest 1835 [2]. Це цифровий аналізатор, який забезпечує вимірювання рівня кислотності ґрунту (pH), родючості через визначення концентрацій калію, фосфору та азоту, а також температури ґрунту. Він призначений як для аматорського використання, так і для проведення наукових досліджень, оскільки має високий рівень точності завдяки температурній компенсації під час вимірювання (рис. 1.2).

Однією з переваг Leaf Rapitest 1835 є зручність у використанні. Цифровий дисплей чітко відображає результати вимірювань, а сам прилад комплектується батарейкою та інструкцією, що дозволяє швидко розпочати роботу навіть користувачам без спеціальної підготовки. Прилад не потребує підключення до комп'ютера чи іншого додаткового обладнання, що робить його повністю автономним. Також слід відзначити якість та надійність, які гарантуються американським виробником.

					КС КРБ 123.206.00.00 ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 1.2 – Прилад для вимірювання параметрів ґрунту Leaf Rapitest 1835

Водночас, у контексті розробки нової комп'ютеризованої IoT-системи для моніторингу параметрів ґрунту, даний пристрій має і ряд обмежень. Зокрема, відсутня можливість бездротової передачі даних, що унеможлиблює його інтеграцію у хмарні платформи або системи автоматизованого землеробства. Також немає збереження історичних даних, візуалізації параметрів у реальному часі або віддаленого доступу до результатів вимірювання. Прилад працює виключно локально, і не підтримує інтеграцію з іншими сенсорами або модулями, що обмежує його масштабованість і гнучкість у використанні для різних типів сільськогосподарських угідь чи дослідницьких ділянок.

Зважаючи на вищевикладене, під час проєктування майбутньої системи доцільно враховувати як сильні сторони аналогу, такі як зручність користування, мультипараметричність і точність вимірювань, так і виявлені недоліки. Це дозволяє сформулювати ключові вимоги до проєктованої системи, серед яких:

					КС КРБ 123.206.00.00 ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

наявність безпроводного з'єднання, віддалений моніторинг через хмарну платформу, автоматична реєстрація та обробка даних, можливість масштабування системи для покриття більших територій. Такий підхід дозволить створити більш універсальний і функціональний інструмент для ефективного управління станом ґрунтів.

1.3.3 Бездротовий прилад для догляду за рослинами Parrot Flower Power

Ще одним із можливих аналогів проєктованої системи моніторингу параметрів ґрунту є Parrot Flower Power – бездротовий прилад для догляду за рослинами, який використовує сучасні технології для вимірювання основних показників стану рослини та навколишнього середовища [3]. Цей пристрій призначений переважно для домашнього або офісного використання і орієнтований на допомогу користувачеві в правильному догляді за кімнатними або садовими рослинами (рис. 1.3).

Серед ключових особливостей пристрою варто виділити наявність сенсорів для вимірювання вологості ґрунту, температури навколишнього середовища, освітленості та рівня добрив. Дані зчитуються кожні 15 хвилин і передаються через Bluetooth на мобільний пристрій користувача, де відображаються у спеціальному застосунку. Система аналізує отриману інформацію та, з урахуванням вбудованої бази знань про понад 6000 рослин, надає рекомендації щодо поливу, освітлення та підживлення. Додатковою перевагою є зручність встановлення пристрою без будь-яких провідників.

Попри інноваційність і зручність, у порівнянні з функціональністю проєктованої системи прилад Parrot Flower Power має низку обмежень. Передусім, зв'язок із пристроєм здійснюється лише через Bluetooth, що значно зменшує радіус дії та не дозволяє реалізувати дистанційний моніторинг в реальному часі на великих площах. Також пристрій орієнтований більше на побутового користувача, а не на аграрні або польові умови, де важливі такі показники, як концентрація поживних речовин у ґрунті (азоту, фосфору, калію), які в цьому пристрої не вимірюються безпосередньо. Крім того, обробка та зберігання даних реалізована

					КС КРБ 123.206.00.00 ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

лише через фірмовий застосунок, що обмежує гнучкість в інтеграції з іншими сервісами або хмарними платформами.



Рисунок 1.3 – Бездротовий прилад для догляду за рослинами Parrot Flower Power

Аналіз характеристик Parrot Flower Power дозволяє зробити висновок, що хоча пристрій є зручним для догляду за окремими рослинами, для створення універсальної та масштабованої системи моніторингу ґрунту доцільно реалізувати розширений функціонал: збір більшого набору агрономічно значущих параметрів, передавання даних через WiFi або мобільні мережі, можливість інтеграції з платформами IoT, використання хмарного середовища для зберігання історії вимірювань та віддаленого доступу до даних у реальному часі. Саме ці вимоги формуються на основі аналізу наявних аналогів і будуть враховані під час проектування системи.

					КС КРБ 123.206.00.00 ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Хоча сучасні засоби для моніторингу родючості ґрунту пропонують різноманітні можливості, вони мають суттєві обмеження, серед яких висока вартість, обмежена точність у локальних вимірюваннях, складність встановлення та залежність від зовнішніх факторів. Це обґрунтовує необхідність розробки доступної, автоматизованої та ефективно комп'ютеризованої системи для дистанційного моніторингу, яка поєднує високу точність вимірювань, простоту розгортання та можливість безперервного збору даних.

1.4 Аналіз можливих рішень поставленого завдання

Для розроблення системи дистанційного моніторингу родючості ґрунту необхідно вибрати відповідні датчики, модулі обробки даних та засоби бездротової передачі інформації. Основними параметрами, які потрібно вимірювати, є вологість, температура ґрунту і вміст поживних речовин. Для їх визначення можна використати спеціалізовані датчики, що передають дані мікроконтролеру, який далі надсилає інформацію на хмарну платформу для обробки та візуалізації.

Вибір сенсорів є ключовим етапом. Для вимірювання вологості можна використати датчики YL-69 або SEN0193, які забезпечують достатню точність та сумісність із мікроконтролерами. Для визначення температури ефективним варіантом є DS18B20, що має цифровий вихід та може працювати в складних умовах. Для оцінки рівня поживних речовин можна використати сенсор Soil NPK Sensor, який визначає вміст калію, фосфору та азоту у ґрунті. Цей сенсор працює через модуль UART-RS485.

Для обробки отриманих даних пропонується використати мікроконтролер Arduino Nano, який має достатню обчислювальну потужність для роботи одночасно з кількома сенсорами. Він отримуватиме дані від датчиків через відповідні інтерфейси та передаватиме їх за допомогою бездротового модуля NRF24L01. Цей модуль забезпечує стабільну передачу інформації на великі відстані.

					КС КРБ 123.206.00.00 ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Прийом даних буде здійснювати інший модуль NRF24L01, підключений до мікроконтролерного Wi-Fi модуля ESP32. Він дозволяє передавати зібрані дані на хмарну IoT-платформу ThingSpeak, яка надає інструменти для візуалізації, зберігання та обробки параметрів у вигляді графіків та таблиць у реальному часі. Завдяки цьому користувач отримає доступ до інформації про стан ґрунту через веб-інтерфейс або мобільний додаток.

Отже, обране рішення забезпечує автоматизований моніторинг родючості ґрунту, дозволяючи отримувати актуальні та точні дані для оцінки стану ґрунту та прийняття агротехнічних рішень.

					КС КРБ 123.206.00.00 ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2 ПРОЄКТНА ЧАСТИНА

2.1 Розробка структури системи дистанційного моніторингу родючості ґрунту

Система для дистанційного моніторингу родючості ґрунту складається з кількох модулів, які забезпечують збір, обробку, передачу та візуалізацію даних. На рис. 2.1 представлена структурна схема проєктованої системи, яка ілюструє взаємозв'язки між її компонентами.

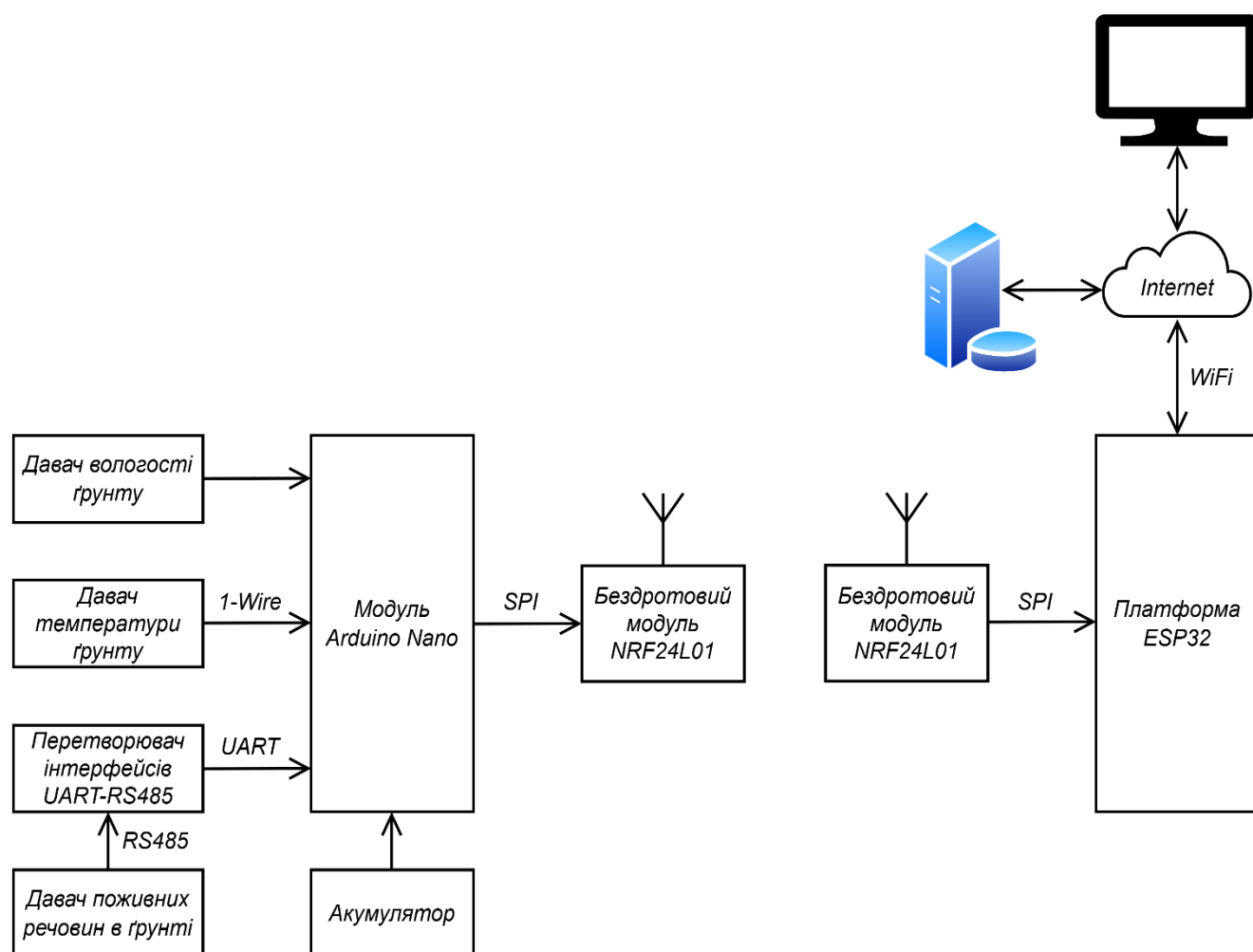


Рисунок 2.1 – Структурна схема комп'ютеризованої системи дистанційного моніторингу родючості ґрунту

					КС КРБ 123.206.00.00 ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розробив		Задорожний Д.М.			Проектна частина	Літ.	Арк.
Перевірив		Осуківська Г.М.					20
Рецензент		Небесний Р.М.				Аркушів	
Н. Контр.		Луцик Н.С.				18	
Зав. каф.		Осуківська Г.М.				ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-41	

Оснoву системи становить набір давачів, що здійснюють вимірювання параметрів ґрунту. Зокрема, використовується давач вологості, цифровий давач температури та сенсор поживних речовин ґрунту. Останній передає дані через модуль UART-RS485, що дозволяє здійснювати стабільну передачу інформації на великі відстані.

Отримані дані передаються на мікроконтролер Arduino Nano, який виконує первинну обробку сигналів та формує пакети даних для подальшої передачі. Для бездротового обміну інформацією між вимірювальним модулем і основним обчислювальним пристроєм використовується радіомодуль NRF24L01, який забезпечує стабільний зв'язок.

На приймальній стороні аналогічний модуль NRF24L01 отримує передані дані та передає їх на мікроконтролер ESP32. Цей модуль, оснащений вбудованим WiFi, забезпечує підключення до мережі Інтернет і передачу зібраної інформації на хмарну IoT-платформу ThingSpeak.

Дані, передані в ThingSpeak, зберігаються в хмарній базі та візуалізуються у вигляді графіків. Користувач отримує доступ до показників через веб-інтерфейс або мобільний додаток, що дозволяє контролювати стан ґрунту в реальному часі.

2.2 Розробка апаратного забезпечення комп'ютеризованої системи дистанційного моніторингу родючості ґрунту

2.2.1 Платформа ESP32

Мікроконтролерна платформа ESP32 є високопродуктивним рішенням для вбудованих систем, що потребують бездротового зв'язку і ефективної обробки даних [4]. Його основною перевагою є вбудовані WiFi і Bluetooth-модулі, які дозволяють створювати розумні IoT-системи без додаткового обладнання. Вибір ESP32 для комп'ютеризованої системи моніторингу родючості ґрунту обґрунтований необхідністю передавання зібраних даних на хмарну платформу ThingSpeak, що забезпечує їх візуалізацію та подальший аналіз (рис. 2.2).

					КС КРБ 123.206.00.00 ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 2.2 – Платформа ESP32

Основу ESP32 складає потужний двоядерний процесор Xtensa LX6 (частота до 240 МГц) і має низьке енергоспоживання. Це дозволяє мікроконтролеру швидко обробляти дані, отримані з датчиків, та надсилати їх через Wi-Fi. Ключові елементи ESP32:

- центральний процесор, який містить два ядра, що дозволяє одночасно виконувати різні завдання (наприклад, збір даних та їх передавання в інтернет);
- до 520 КБ SRAM, що забезпечує стабільну роботу;
- флеш-пам'ять до 16 МБ, достатня для зберігання програмного забезпечення;
- вбудований Wi-Fi 802.11 b/g/n, що дозволяє передавати дані на віддалені сервери або хмарні сервіси;
- підтримка енергозберігаючого Bluetooth (BLE) для комунікації з мобільними пристроями;
- цифрові та аналогові входи/виходи для підтримки підключення широкого спектра сенсорів та виконавчих пристроїв (рис. 2.3).

Принцип роботи ESP32 у системі моніторингу родючості ґрунту полягає в отриманні сигналів від бездротового модуля NRF24L01, обробці отриманих даних та їх передаванні через Wi-Fi на ThingSpeak. Завдяки підтримці мультизадачності, ESP32 може паралельно виконувати різні операції.

					КС КРБ 123.206.00.00 ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

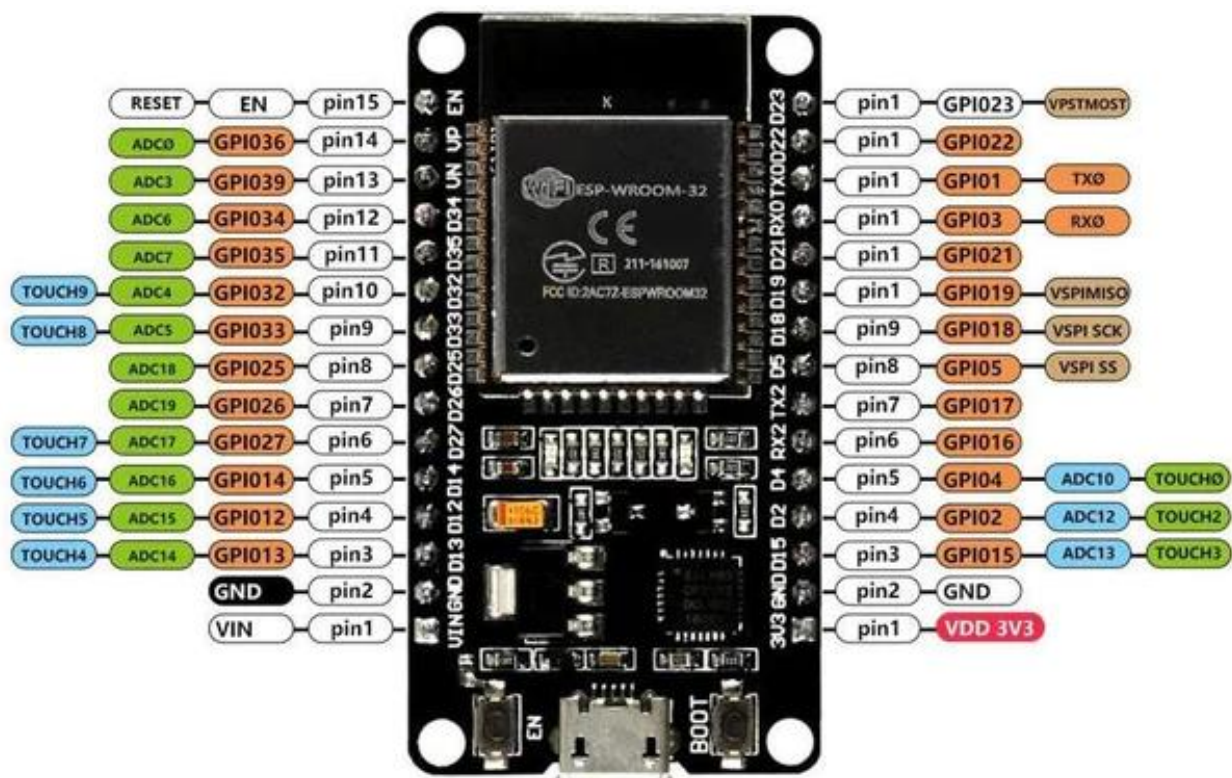


Рисунок 2.3 – Розміщення виводів на платформі ESP32

Вибір ESP32 для реалізації комп'ютеризованої системи моніторингу родючості ґрунту обумовлений кількома факторами. По-перше, вбудований Wi-Fi дозволяє передавати дані на віддалені сервери без додаткових модулів, що зменшує складність системи та її вартість. Це особливо важливо для інтеграції з ThingSpeak, оскільки Wi-Fi-з'єднання забезпечує стабільний обмін даними.

По-друге, висока продуктивність двоядерного процесора ESP32 дає змогу обробляти багато інформації. Це корисно при аналізі даних з кількох сенсорів, оскільки мікроконтролер може швидко виконувати розрахунки та ухвалювати рішення.

По-третє, гнучкість у підключенні периферійних пристроїв через UART, SPI, I2C дозволяє інтегрувати ESP32 з бездротовим модулем NRF24L01 для отримання даних із польових сенсорів.

Отже, використання ESP32 у комп'ютеризованій системі моніторингу родючості ґрунту забезпечує швидке та ефективне передавання даних, гнучкість підключення сенсорів і низьке енергоспоживання.

2.2.2 Модуль Arduino Nano

Мікроконтролерний модуль Arduino Nano має всі необхідні функції для розробки вбудованих систем, зокрема IoT-проектів, автоматизації та моніторингу [5]. Завдяки невеликим розмірам та низькому енергоспоживанню, Arduino Nano добре підходить для розміщення в обмеженому просторі, що є важливим фактором у проєктованій комп'ютеризованій системі для моніторингу родючості ґрунту (рис. 2.4).

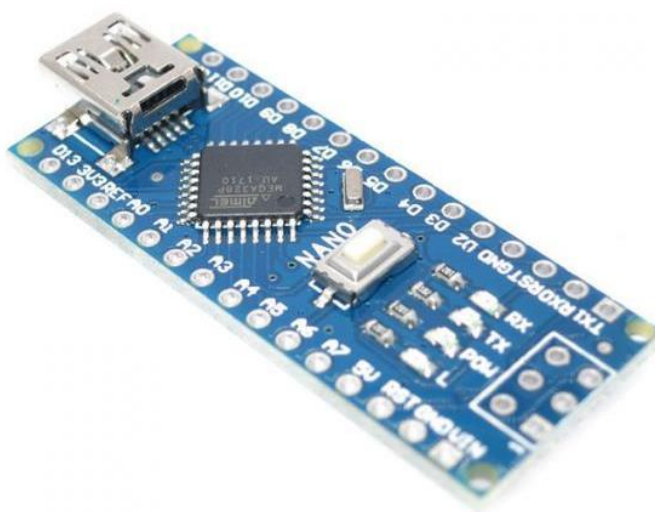


Рисунок 2.4 – Модуль Arduino Nano

Основою Arduino Nano є мікроконтролер ATmega328P, який виконує всі обчислювальні операції. Плата містить необхідні компоненти для стабільної роботи і взаємодії з периферією. Центральний мікроконтролер ATmega328P обробляє сигнали з датчиків і керує передачею даних. USB-інтерфейс використовується для програмування мікроконтролера і обміну даними з комп'ютером. 14 цифрових виводів використовуються для підключення різних сенсорів та модулів. 8 аналогових входів (розрядність 10 біт) забезпечують зчитування аналогових сигналів від сенсорів (рис. 2.5).

Принцип роботи Arduino Nano полягає у зчитуванні даних із підключених датчиків, обробці отриманої інформації за допомогою прошитої програми і передачі даних на інші пристрої.

					КС КРБ 123.206.00.00 ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вибір Arduino Nano для реалізації комп'ютеризованої системи моніторингу родючості ґрунту обґрунтований кількома ключовими факторами. По-перше, його компактні розміри дозволяють інтегрувати плату у невеликі герметичні корпуси, що важливо для використання у польових умовах. На відміну від Arduino Uno, ця плата займає менше місця, але має аналогічну продуктивність. По-друге, Arduino Nano має достатню кількість портів для підключення всіх необхідних компонентів:

Аналогові входи дозволяють отримувати сигнали з ємнісного давача вологості ґрунту. Цифрові входи/виходи потрібні для зв'язку з давачем температури DS18B20 та інтерфейсним модулем MAX485 UART-RS485, який приймає дані з давача поживних речовин. Інтерфейс SPI забезпечує підключення до бездротового модуля NRF24L01 для передавання інформації.

Плата легко програмується через середовище Arduino IDE, що спрощує розробку програмного забезпечення для проєктованої системи. Arduino Nano працює на низькій потужності.

Використання Arduino Nano у цій комп'ютеризованій системі дозволяє реалізувати компактне, енергоефективне та надійне рішення для збору і обробки даних про стан ґрунту.

2.2.3 Давач поживних речовин в ґрунті ABS Soil NPK

Давач поживних речовин у ґрунті ABS Soil NPK призначений для вимірювання концентрації основних макроелементів у ґрунті: калію, фосфору та азоту [6]. Він використовується у системах моніторингу стану ґрунту для точного визначення його родючості (рис. 2.6).

Сенсор має герметичний корпус класу IP68, що забезпечує його захист від вологи і забруднень, що особливо важливо для застосування в польових умовах. Його корпус виготовлений з ABS-пластику, що забезпечує довговічність та стійкість до агресивних середовищ.

					КС КРБ 123.206.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26



Рисунок 2.6 – Зовнішній вигляд давача ABS Soil NPK

В табл. 2.2 приведені характеристики давача ABS Soil NPK.

Таблиця 2.2 – Характеристики давача ABS Soil NPK

Характеристика	Значення
Вимірювані параметри	концентрація N (азот), P (фосфор), K (калій) у ґрунті
Діапазон вимірювання	Азот (N): 0–1999 мг/кг Фосфор (P): 0–1999 мг/кг Калій (K): 0–1999 мг/кг
Точність	±5%
Робочий діапазон температур	-40°C до +80°C
Напруга живлення	+12 В
Інтерфейс зв'язку	RS485 (Modbus RTU)
Рівень захисту	IP68 (пило- та водонепроникність)
Час відгуку	≤ 10 с

Принцип роботи давача ґрунтується на електрохімічному методі аналізу. Вбудовані електроди здійснюють вимірювання електропровідності ґрунту, що залежить від концентрації іонів поживних речовин. Отримані дані перетворюються в цифровий сигнал і передаються через інтерфейс RS485 (Modbus), що забезпечує стабільність зв'язку на великих відстанях і мінімізує електромагнітні перешкоди.

Вибір ABS Soil NPK Sensor для реалізації комп'ютеризованої системи дистанційного моніторингу родючості ґрунту обумовлений його високою точністю, надійністю та можливістю інтеграції з мікроконтролерами через інтерфейс RS485.

По-перше, сенсор забезпечує точне вимірювання ключових поживних елементів, що дозволяє контролювати родючість ґрунту та оптимізувати процес удобрення. По-друге, завдяки захисту IP68 він може працювати в складних погодних умовах. По-третє, підтримка протоколу Modbus через інтерфейс RS485 забезпечує стабільний зв'язок із мікроконтролерами та мінімізує втрати даних під час передавання.

Крім того, автоматична температурна компенсація гарантує коректні вимірювання, незалежно від змін середовища. Це дозволяє використовувати давач у будь-яку пору року без додаткового калібрування.

Отже, ABS Soil NPK Sensor є оптимальним вибором для реалізації системи моніторингу родючості ґрунту, оскільки забезпечує точні вимірювання, надійність у важких умовах експлуатації та стабільний зв'язок з іншими компонентами.

2.2.4 Давач температури DS18B20

Давач температури DS18B20 є цифровим сенсором, що використовується для точного вимірювання температури в різних умовах, включаючи аграрні системи моніторингу [7]. Він підтримує інтерфейс 1-Wire, що дозволяє підключати кілька таких сенсорів до одного мікроконтролера, використовуючи лише 1 лінію зв'язку (рис. 2.7).

					КС КРБ 123.206.00.00 ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 2.7 – Давач температури DS18B20

DS18B20 підтримує два режими живлення: паралельний (від джерела 3,0–5,5 В) і паразитний (отримання енергії з лінії даних), що дозволяє застосовувати його у малопотужних автономних системах. В табл. 2.3 наведені характеристики давача температури DS18B20.

Таблиця 2.3 – Характеристики давача температури DS18B20

Параметр	Значення
Діапазон вимірювання температури	-55°C до +125°C
Точність вимірювання	±0.5°C у діапазоні від -10°C до +85°C
Роздільна здатність	програмована (9–12 біт)
Інтерфейс	1-Wire
Напруга живлення	3,0–5,5 В
Час вимірювання	93.75 мс (при 9 бітах) до 750 мс (при 12 бітах)

Давач DS18B20 складається з кремнієвого термочутливого елемента, аналогово-цифрового перетворювача (АЦП) і вбудованого мікропроцесора, який

обробляє отримані дані та передає їх у цифровому вигляді. Сенсор має три виводи: VCC (живлення), GND (земля) та DQ (лінія даних).

Принцип роботи сенсора полягає у вимірюванні температури за допомогою термочутливого елемента, який змінює свій внутрішній опір залежно від температури. Вбудований АЦП перетворює аналоговий сигнал у цифровий код, після чого він передається через інтерфейс 1-Wire у вигляді 9- або 12-бітного числа.

Для реалізації комп'ютеризованої системи дистанційного моніторингу родючості ґрунту вибір DS18B20 є виправданим з кількох причин. По-перше, сенсор має високу точність і широкий температурний діапазон, що дозволяє застосовувати його в різних кліматичних умовах. По-друге, підтримка інтерфейсу 1-Wire значно спрощує підключення кількох датчиків до одного мікроконтролера без використання додаткових аналогових входів. По-третє, можливість роботи в паразитному режимі живлення дозволяє зменшити енергоспоживання системи, що є важливим для автономних польових станцій.

Отже, DS18B20 є оптимальним вибором для реалізації системи моніторингу, оскільки забезпечує точність вимірювань, простоту підключення та енергоефективність.

2.2.5 Датчик вологості ґрунту

Ємнісний датчик вологості ґрунту є ефективним рішенням для вимірювання рівня вологості в ґрунті, оскільки він не схильний до корозії та забезпечує стабільні результати навіть за тривалого використання [8]. На відміну від резистивних датчиків, цей сенсор не має відкритих металевих електродів, що робить його надійнішим у вологих середовищах (рис. 2.8).

Ємнісний датчик вологості ґрунту складається з друкованої плати з електродами, що формують конденсатор, та підсилювача сигналу. Електроди покриті захисним діелектричним шаром, який запобігає їхньому окисненню та впливу зовнішніх факторів.

					КС КРБ 123.206.00.00 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 2.8 – Давач вологості ґрунту

Принцип роботи базується на зміні діелектричної проникності ґрунту залежно від його вологості. Вода має значно вищу діелектричну проникність, ніж сухий ґрунт, тому при збільшенні вологості ємність конденсатора змінюється. Вбудована схема перетворює зміну ємності на аналоговий сигнал, який можна зчитувати за допомогою мікроконтролера.

Вибір ємнісного давача вологості ґрунту для реалізації комп'ютеризованої системи дистанційного моніторингу родючості ґрунту обумовлений кількома факторами. Стійкість до корозії забезпечує довготривалу експлуатацію навіть у постійно вологому середовищі. На відміну від резистивних сенсорів, які швидко втрачають точність через окислення металевих електродів, ємнісний сенсор має захисне покриття. Сенсор працює з мікроконтролерами, що дозволяє інтегрувати його у систему моніторингу. Аналоговий вихід дає змогу отримувати плавні значення рівня вологості, а не просто сигнал "сухо/вологість", що підвищує точність вимірювань.

Отже, використання ємнісного давача вологості ґрунту у комп'ютеризованій системі моніторингу забезпечить точні, надійні та довговічні вимірювання рівня вологості, що дозволить ефективно контролювати стан ґрунту та оптимізувати аграрні процеси.

					КС КРБ 123.206.00.00 ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.2.6 Модуль перетворювача інтерфейсів UART-RS485

Інтерфейсний модуль UART-RS485 є ключовим компонентом у системах, що потребують довготривалої та надійної передачі даних між пристроями через інтерфейс RS485 [9]. Завдяки своїм характеристикам, він широко використовується в промислових, автоматизованих та IoT-системах для обміну даними між мікроконтролерами та різними датчиками або виконавчими пристроями (рис. 2.9).

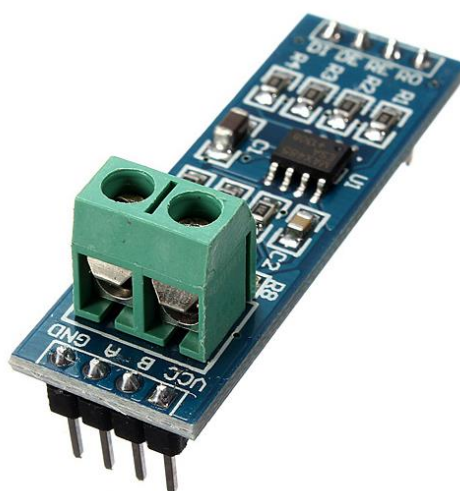


Рисунок 2.9 – Модуль перетворювача інтерфейсів UART-RS485

Модуль заснований на мікросхемі MAX485, яка є низькопотужним, малошумним трансивером, що дозволяє конвертувати стандартний послідовний сигнал UART у сигнал RS485.

Принцип роботи модуля полягає у перетворенні сигналів UART, які використовують логічний рівень TTL (0–5 В), у сигнали RS485, що забезпечують стійкий диференціальний сигнал для передачі на значні відстані (до 1200 м). Вбудована схема дозволяє працювати в режимах прийому та передавання даних, які перемикаються сигналами DE (Data Enable) та RE (Receive Enable).

Вибір інтерфейсного модуля MAX485 UART-RS485 для реалізації комп'ютеризованої системи моніторингу родючості ґрунту ґрунтується на його стійкості до завад та сумісності з промисловими давачами.

					КС КРБ 123.206.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

Багато сенсорів для аграрного моніторингу, зокрема ABS Soil NPK Sensor, використовують протокол RS485, оскільки він дозволяє передавати дані на великі відстані без суттєвих втрат сигналу. RS485 забезпечує диференціальну передачу даних, що мінімізує вплив електромагнітних завад, характерних для польових умов.

MAX485 дозволяє легко підключати сенсори до мікроконтролерів, таких як Arduino Nano або ESP32, використовуючи простий UART-інтерфейс. Це спрощує інтеграцію системи та знижує вимоги до апаратного забезпечення.

Використання MAX485 UART-RS485 у цій системі дозволяє забезпечити надійний зв'язок між давачами та мікроконтролером, підвищити стійкість до завад, зменшити втрати сигналу при передачі на великі відстані та зробити систему більш ефективною та гнучкою у використанні.

2.2.7 Бездротовий модуль NRF24L01

Бездротовий модуль NRF24L01 з зовнішньою антеною є потужним рішенням для організації бездротового зв'язку між мікроконтролерами на частоті 2,4 ГГц [10]. Завдяки вбудованому підсилювачу потужності (PA) та малошумному підсилювачу (LNA), модуль забезпечує високу дальність передачі та стабільний прийом сигналу (рис. 2.10).

Основою модуля є чіп nRF24L01+, який підтримує багатоканальний бездротовий зв'язок у діапазоні 2,4 ГГц за допомогою протоколу SPI для комунікації з мікроконтролером.

Основні компоненти модуля включають:

- чіп nRF24L01, який керує бездротовим зв'язком та обробкою даних;
- підсилювач потужності (PA), що підвищує потужність передавача, що дозволяє збільшити дальність передачі;
- малошумний підсилювач (LNA), який підвищує чутливість приймача для стабільного прийому сигналів;
- зовнішня SMA-антена, що значно покращує якість сигналу порівняно з вбудованими антенами.

					КС КРБ 123.206.00.00 ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 2.10 – Зовнішній вигляд бездротового модуля NRF24L01

Принцип роботи модуля полягає у відправленні та прийомі радіосигналів у діапазоні 2,4 ГГц. Він підтримує режим точка-точка та мережеві топології "зірка" або "сітка", що дозволяє об'єднувати кілька пристроїв у єдину систему зв'язку. В табл. 2.4 наведені характеристики бездротового модуля NRF24L01.

Таблиця 2.4 – Характеристики бездротового модуля NRF24L01

Параметр	Значення
Робоча частота	2,4 ГГц
Дальність зв'язку	до 1000 м (на відкритому просторі)
Максимальна швидкість передачі	2 Мбіт/с
Напруга живлення	3,3 В
Споживана потужність	до 115 мА під час передачі
Рівень вихідної потужності	+20 дБм

Вибір NRF24L01 для реалізації комп'ютеризованої системи моніторингу родючості ґрунту базується на його високій дальності зв'язку, низькому енергоспоживанні та стабільності передачі даних.

В умовах польового моніторингу давачі можуть бути розташовані на значних відстанях від центрального вузла, тому необхідний потужний бездротовий модуль, який забезпечить стабільну передачу даних без втрат сигналу. Завдяки PA та LNA, цей модуль здатен працювати на відстанях до 1 км на відкритому просторі, що значно розширює можливості системи.

					КС КРБ 123.206.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

Модуль підтримує одночасний зв'язок з кількома пристроями, що дозволяє об'єднати кілька датчиків у мережу та централізовано передавати інформацію на головний вузол.

Отже, використання NRF24L01 у проєктованій системі забезпечує надійний бездротовий зв'язок та покращує гнучкість розташування сенсорів, що є критично важливим для ефективного моніторингу родючості ґрунту.

2.3 Розробка електричних схем пристроїв системи

Система моніторингу родючості ґрунту складається з двох окремих модулів: сенсорного модуля збору даних та пристрою для передавання інформації в хмарну платформу на основі ESP32. На рис. 2.11 зображена електрична принципова схема сенсорного модуля на базі Arduino Nano.

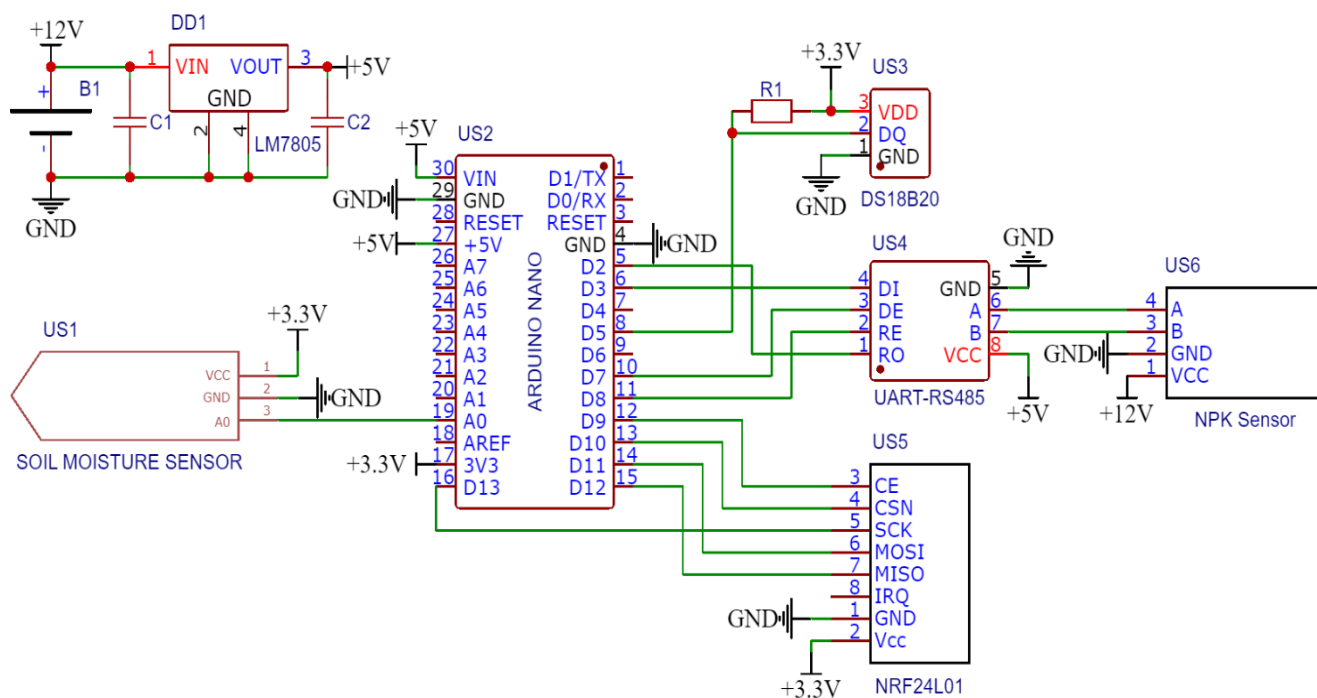


Рисунок 2.11 – Електрична принципова схема сенсорного модуля системи для дистанційного моніторингу родючості ґрунту

До мікроконтролера US2 підключено аналоговий датчик вологості ґрунту US1, який з'єднаний із аналоговим входом A0 для зчитування рівня вологості. Для

вимірювання температури ґрунту використано цифровий давач DS18B20 (US3), що підключений до одного з цифрових входів через інтерфейс OneWire. Для отримання даних про вміст калію, фосфору і азоту у ґрунті використовується давач родючості (US6) з інтерфейсом RS-485.

З'єднання із цим сенсором реалізовано за допомогою програмної послідовної шини, а передача даних по лінії RS-485 контролюється сигналами на виводах RE та DE, підключених до цифрових виходів Arduino. Для бездротової передачі даних до шлюзу застосовано модуль nRF24L01 (US5), який підключається до Arduino Nano через стандартний інтерфейс SPI.

Електрична схема, яка наведена на рис. 2.12, розроблена для пристрою для передавання інформації в хмарну платформу на базі мікроконтролера ESP32 (UG2). У цьому пристрої також використовується бездротовий модуль nRF24L01 (UG1), який приймає дані від сенсорного модуля. Підключення модуля nRF24L01 до ESP32 також здійснюється через інтерфейс SPI.

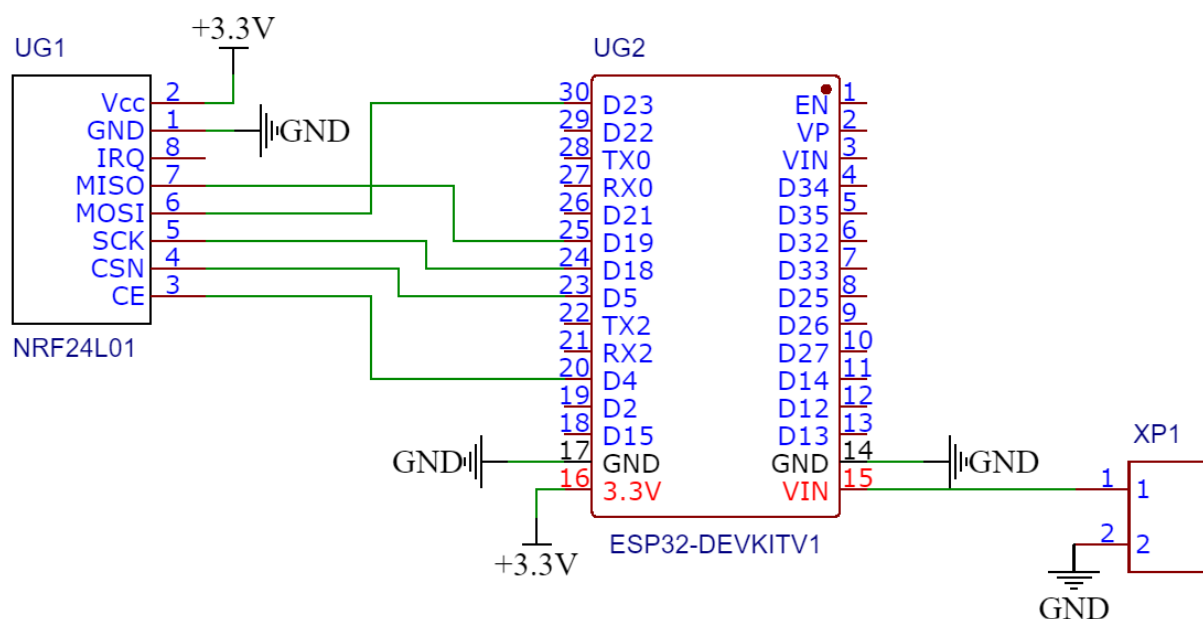


Рисунок 2.12 – Електрична принципова схема пристрою для передавання інформації в хмарну платформу на базі мікроконтролера ESP32

ESP32 підключений до мережі Wi-Fi для подальшої передачі зібраних даних у хмарну платформу ThingSpeak. Живлення системи забезпечується

стабілізованим джерелом живлення 3,3 В для модуля nRF24L01 та 5 В для ESP32, яке подається через роз'єм ХР1.

Розроблені електричні принципові схеми забезпечують повноцінне зчитування необхідних параметрів ґрунту, їх бездротову передачу і завантаження в хмарний сервер. Сенсорний модуль виконує збір і попередню обробку даних, а шлюз на основі ESP32 забезпечує прийом інформації та відправку на платформу для подальшого аналізу й візуалізації. Компактність, надійність та енергоефективність обраної конфігурації роблять систему придатною для застосування реальних польових умовах.

					КС КРБ 123.206.00.00 ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3 ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

3.1 Розробка алгоритму роботи системи для дистанційного моніторингу родючості ґрунту

Основна мета проєктованої системи – забезпечити регулярний та безперебійний збір даних про параметри ґрунту, їх бездротову передачу, обробку та візуалізацію на IoT-платформі в режимі реального часу. Система складається з двох основних частин: сенсорного модуля для збору даних і центрального пристрою для передавання інформації в хмару.

На першому етапі роботи системи мікроконтролер Arduino Nano здійснює ініціалізацію всіх підключених сенсорів: ємнісного давача вологості ґрунту, цифрового давача температури DS18B20 та давача поживних речовин Soil NPK Sensor. Після ініціалізації виконується опитування кожного сенсора з певною періодичністю (наприклад, раз на 10 хвилин). Значення вологості та температури зчитуються безпосередньо через аналоговий та цифровий входи, а дані про вміст калію, фосфору і азоту передаються по інтерфейсу RS-485 через модуль UART-RS485, який перетворює сигнали для сумісності з мікроконтролером.

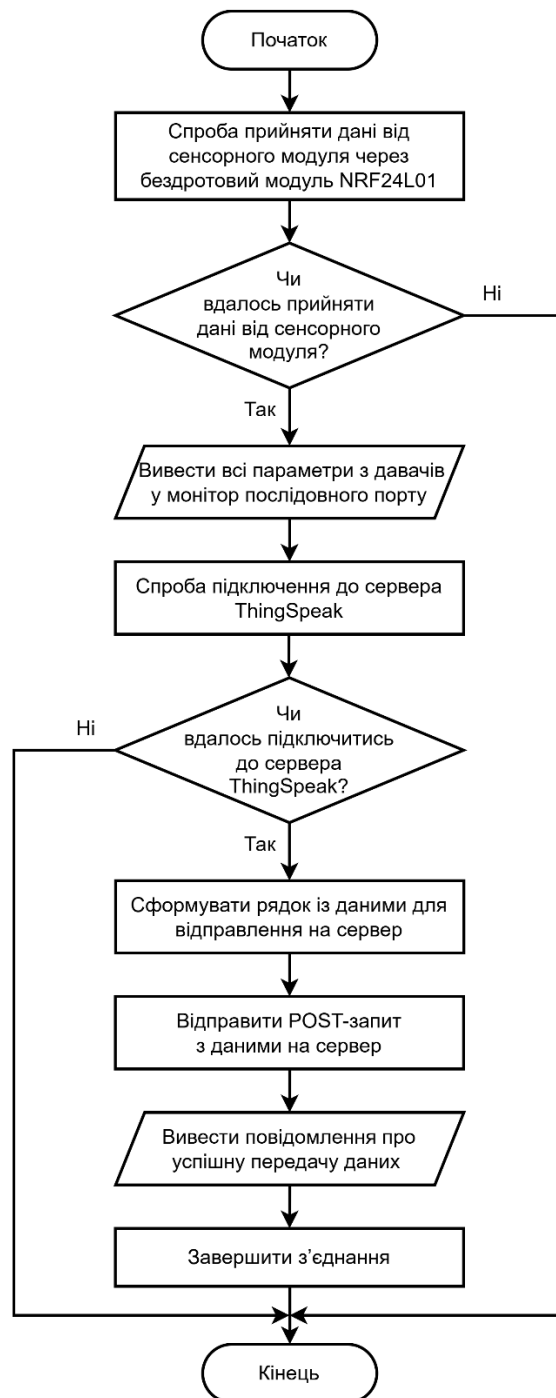
Зібрані дані формуються у пакет та передаються бездротовим радіомодулем NRF24L01 до приймача. Для забезпечення надійності передавання застосовується механізм підтвердження прийому, що дозволяє уникнути втрат пакетів під час передачі. Радіомодуль-приймач, підключений до ESP32, приймає пакети, виконує їхню перевірку цілісності та готує до передачі у мережу Інтернет. Блок-схеми алгоритмів основних функцій loop системи для дистанційного моніторингу родючості ґрунту зображені на рис. 3.1.

ESP32 забезпечує підключення до мережі, автентифікацію та обмін даними з хмарною IoT-платформою ThingSpeak за допомогою протоколу HTTP або MQTT.

					КС КРБ 123.206.00.00 ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розробив		Задорожний Д.М.			Практична частина	Літ.	Арк.
Перевірив		Осухівська Г.М.					Аркушів
Рецензент		Небесний Р.М.					38
Н. Контр.		Луцик Н.С.				ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-41	
Зав. каф.		Осухівська Г.М.					



а)



б)

Рисунок 3.1 – Блок-схеми алгоритмів роботи циклічних підпрограм у системі моніторингу родючості ґрунту: а) сенсорного модуля на основі Arduino Nano; б) пристрою для передавання інформації в хмарну платформу на базі ESP32.

Дані передаються у вигляді структурованого запиту, що містить ідентифікатор пристрою, часову мітку та значення параметрів. У випадку втрати з'єднання, ESP32 зберігає останні дані у буфері пам'яті та намагається повторити передачу через певний інтервал часу.

Після успішної відправки даних вони автоматично зберігаються у базі даних ThingSpeak, де кожен параметр відображається на окремому графіку. Користувач має можливість переглядати дані у веб-інтерфейсі платформи, аналізувати історію вимірювань та отримувати сповіщення при досягненні критичних значень (наприклад, надто низький вміст вологи чи поживних речовин).

Алгоритм роботи системи також передбачає циклічний режим функціонування з можливістю енергозбереження. У проміжках між вимірюваннями Arduino Nano переходить у режим сну, з якого виходить по таймеру. Це дозволяє значно зменшити енергоспоживання, що особливо важливо при автономному живленні вузлів. Аналогічно, ESP32 також підтримує енергозберігаючі режими, включаючи light sleep та deep sleep, що застосовуються при відсутності потреби в постійній активності.

Описаний алгоритм є гнучким і дозволяє легко адаптувати систему до нових умов. Зокрема, можливе додавання нових сенсорів або розширення кількості польових вузлів. Завдяки використанню протоколів з відкритим кодом та популярних апаратних рішень забезпечується масштабованість і підтримка різноманітних конфігурацій системи.

Розроблений алгоритм охоплює всі ключові аспекти функціонування комп'ютеризованої системи моніторингу родючості ґрунту: від збирання фізичних параметрів до їх передачі, обробки та візуалізації. Його реалізація дозволяє оперативно реагувати на зміни умов у ґрунті, забезпечує ефективне управління сільськогосподарськими процесами та закладає основу для впровадження сучасних технологій точного землеробства.

3.2 Розробка програмного забезпечення

3.2.1 Розробка програмного забезпечення для Arduino Nano

У процесі розробки програмного забезпечення в середовищі Arduino IDE для мікроконтролера модуля Arduino Nano було використано низку спеціалізованих бібліотек, які забезпечують коректну роботу з підключеними сенсорами та

					КС КРБ 123.206.00.00 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

бездротовими модулями (рис. 3.2). Вони спрощують взаємодію з апаратними компонентами, дозволяють реалізувати стабільну передачу та обробку даних, а також сприяють зменшенню обсягу коду та часу розробки.

```
#include <SoftwareSerial.h>
#include <SPI.h>
#include <DallasTemperature.h>
#include <OneWire.h>
#include <RF24.h>
#include <nRF24L01.h>
```

Рисунок 3.2 – Лістинг коду з підключенням бібліотек

Бібліотека <SoftwareSerial.h> дозволяє створити додатковий програмний послідовний порт UART, що є надзвичайно корисним у випадках, коли на мікроконтролері Arduino Nano потрібно працювати одночасно з кількома пристроями, наприклад, для налагодження або зв'язку з іншими модулями.

Бібліотека <SPI.h> є стандартною бібліотекою Arduino, яка використовується для організації обміну даними за протоколом SPI. Цей протокол є ключовим для роботи з радіомодулями NRF24L01, які використовуються в системі для бездротового зв'язку. SPI забезпечує високошвидкісний обмін даними між Arduino Nano та модулем NRF24L01+.

Для зчитування температури за допомогою цифрового сенсора DS18B20 використано бібліотеки <DallasTemperature.h> та <OneWire.h>. Перша бібліотека надає високорівневі функції для ініціалізації, зчитування даних та керування сенсором температури. Друга бібліотека – реалізує роботу з протоколом OneWire, який використовується давачем DS18B20 для передачі даних по одному дроту.

Бібліотеки <RF24.h> та <nRF24L01.h> є основними для реалізації бездротового зв'язку через модуль NRF24L01+. Вони дозволяють налаштовувати параметри радіозв'язку, такі як адресація, потужність передавача, швидкість передачі, а також забезпечують простий спосіб надсилання та прийому пакетів даних. Ці бібліотеки є критично важливими для організації мережі обміну даними між вузлами системи, зокрема для передавання інформації про параметри ґрунту до центрального вузла з ESP32.

					КС КРБ 123.206.00.00 ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Використання цих бібліотек дозволило реалізувати ефективне зчитування даних з сенсорів, обробку та бездротову передачу інформації з високою стабільністю та точністю, що є ключовим для надійної роботи комп'ютеризованої системи дистанційного моніторингу родючості ґрунту.

Функція `setup()` у програмі для мікроконтролера Arduino Nano виконує ініціалізацію всіх необхідних апаратних і програмних компонентів системи. Вона викликається один раз після завантаження або перезавантаження мікроконтролера та готує пристрій до основного циклу роботи (рис. 3.3).

```
void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  mod.begin(9600);
  radio.begin();
  radio.openWritingPipe(address);
  radio.setPALevel(RF24_PA_MIN);
  radio.stopListening();
  sensors.begin();
  pinMode(RE, OUTPUT);
  pinMode(DE, OUTPUT);
}
```

Рисунок 3.3 – Лістинг функції `setup()` для Arduino Nano

На початку функції виконується ініціалізація послідовного інтерфейсу. Далі команда `mod.begin()` відкриває програмний послідовний порт, який використовується для зв'язку з зовнішнім UART-пристроєм – модулем зв'язку RS-485. Це розширює можливості Arduino Nano щодо кількості одночасно підключених пристроїв із послідовним інтерфейсом.

Наступні рядки функції пов'язані з налаштуванням бездротового зв'язку за допомогою модуля nRF24L01. Команда `radio.begin()` ініціалізує радіомодуль. Потім викликається функція `radio.openWritingPipe()`, яка встановлює адресу передавача, тобто адресу, на яку буде надсилатись інформація. Адреса передається у вигляді масиву байтів. Після цього встановлюється потужність передавання. Значення `RF24_PA_MIN` обирається для короткої дистанції, що дозволяє зменшити споживання енергії. Команда `radio.stopListening()` переводить модуль у

					КС КРБ 123.206.00.00 ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

режим передавача, оскільки саме Arduino Nano у даній конфігурації надсилає дані, а не приймає. Далі викликається команда `sensors.begin()`, яка ініціалізує бібліотеку для роботи з давачем температури DS18B20, підключеним через шину OneWire. Це дає змогу пізніше зчитувати температуру ґрунту.

Останні два рядки задають відповідні виводи як виходи. Ці виводи використовуються для керування напрямком передавання/приймання через мікросхему MAX485, що є важливою частиною організації зв'язку між вузлами системи.

Загалом функція `setup()` забезпечує стартову конфігурацію всіх ключових компонентів системи, гарантуючи їх готовність до виконання основної логіки програми у функції `loop()`.

Функція `loop()` у програмі для мікроконтролера модуля Arduino Nano є основним циклом, що безперервно виконується після ініціалізації (рис. 3.4).

```
void loop()
{
    byte val;
    digitalWrite(DE, HIGH);
    digitalWrite(RE, HIGH);
    delay(10);
    if (mod.write(code, sizeof(code)) == 8)
    {
        digitalWrite(DE, LOW);
        digitalWrite(RE, LOW);
        for (byte i = 0; i < 11; i++)
        {
            //Serial.print(mod.read(),HEX);
            values[i] = mod.read();
            Serial.print(values[i], HEX);
        }
        Serial.println();
    }
    nitrogen = values[4];
    phosphorous = values[6];
    potassium = values[8];
    delay(1500);
}
```

Рисунок 3.4 – Початок коду функції `loop` для вимірювання вмісту макроелементів у ґрунті

					КС КРБ 123.206.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

У цій реалізації вона відповідає за зчитування показників родючості ґрунту, вологості та температури, обробку отриманих даних, а також формування структури змінної variable, яка зберігає ці параметри для подальшої передачі.

На початку циклу виконуються операції з модулем зв'язку RS-485. Для активації передавача встановлюються високі рівні на контактах DE та RE. Після короткої затримки надсилається запит до сенсора, що вимірює вміст макроелементів у ґрунті. Функція `mod.write()` надсилає команду на зчитування, і якщо повертається правильна довжина відповіді (8 байт), мікроконтролер переходить у режим прийому, вимикаючи передавач. У циклі `for` зчитуються 11 байтів із буфера прийому і зберігаються в масиві `values[]`. Після цього значення калію, фосфору та азоту витягуються з відповідних позицій масиву.

Далі виконується зчитування вологості ґрунту за допомогою аналогового сенсора, підключеного до порту A0. Значення аналогового сигналу зчитується функцією `analogRead(A0)` і зберігається в змінній `soilMoistureValue`. Це значення потім перетворюється у відсотковий еквівалент за допомогою функції `map()`, де `AirValue` та `WaterValue` є межами калібрування для сухого та вологого ґрунту відповідно. Для уникнення виходу за межі від 0 до 100% реалізовано перевірку і корекцію отриманого значення (рис. 3.5).

```
soilMoistureValue = analogRead(A0);
soilmoisturepercent = map(soilMoistureValue, AirValue, WaterValue, 0, 100);
{
    if (soilmoisturepercent >= 100)
    {
        soilmoisturepercent = 100;
    }
    else if (soilmoisturepercent <= 0)
    {
        soilmoisturepercent = 0;
    }
    else if (soilmoisturepercent > 0 && soilmoisturepercent < 100)
    {
        soilmoisturepercent = soilmoisturepercent;
    }
}
```

Рисунок 3.5 – Фрагмент коду для вимірювання вологості ґрунту

					КС КРБ 123.206.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

Після чергової затримки delay(1500) виконується зчитування температури з давача DS18B20. Отримані значення температури, вологості ґрунту і вмісту макроелементів записуються до структури variable, яка використовується як буфер для передачі даних через бездротовий канал. Значення присвоюються полям структури: variable.soilmoisturepercent, variable.nitrogen, variable.phosphorous, variable.potassium, variable.temperature.

Наприкінці циклу для зручності виводяться основні параметри на монітор порту: вологість, температура, калій, фосфор і азот. Це дозволяє розробнику в реальному часі спостерігати за станом сенсорів і аналізувати їхню роботу, що є важливою частиною процесу налагодження та тестування системи моніторингу родючості ґрунту.

3.2.2 Розробка програмного забезпечення для мікроконтролера ESP32

Функція setup() у програмі для мікроконтролера ESP32 відповідає за початкову ініціалізацію бездротового зв'язку, зокрема через модуль nRF24L01, а також за підключення до мережі Wi-Fi (рис. 3.6).

```
void setup()
{
  Serial.begin(115200);
  radio.begin();
  radio.openReadingPipe(0, address);
  radio.setPALevel(RF24_PA_MIN);
  radio.startListening();

  Serial.println("Receiver Started....");
  Serial.print("Connecting to ");
  Serial.println(ssid);
  Serial.println();
  WiFi.begin(ssid, password);
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED)
  {
    delay(500);
    Serial.print(".");
  }
  Serial.println("");
  Serial.println("WiFi connected");
}
```

Рисунок 3.6 – Лістинг функції setup() для мікроконтролера ESP32

					КС КРБ 123.206.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

Першим кроком у функції є ініціалізація послідовного порту. Далі ініціалізується модуль бездротового зв'язку nRF24L01 через виклик методу `radio.begin()`, який активує модуль і готує його до роботи.

Після цього виконується налаштування адреси прийому даних за допомогою `radio.openReadingPipe()`. Це означає, що ESP32 буде слухати канал з вказаною адресою, на яку передає Arduino Nano. Далі встановлюється рівень потужності сигналу передавача. Для даного випадку обрано мінімальний рівень потужності, що є доцільним, коли пристрої розташовані на незначній відстані один від одного. Нарешті, функція `radio.startListening()` переводить модуль nRF24L01 у режим приймача, готового приймати пакети даних.

Після налаштування модуля nRF24L01, мікроконтролер переходить до підключення до мережі Wi-Fi. Команда `WiFi.begin()` ініціює з'єднання з вказаною Wi-Fi мережею. У циклі `while` мікроконтролер очікує встановлення з'єднання, періодично затримуючись на 500 мс і виводячи крапки в монітор порту, що дає змогу бачити процес підключення в реальному часі.

Коли з'єднання з мережею успішно встановлено, виводиться відповідне повідомлення. Таким чином, на цьому етапі мікроконтролер готовий приймати дані по бездротовому каналу від Arduino Nano та передавати їх до хмарної платформи через Wi-Fi, що створює основу для подальшого функціонування всієї системи дистанційного моніторингу родючості ґрунту.

Функція `loop()` для мікроконтролера ESP32 реалізує безперервний цикл прийому та передачі даних, отриманих від передавача на базі Arduino Nano. Основна логіка полягає у перевірці наявності нових даних, їхньому виведенні в консоль і відправленні на платформу віддаленого моніторингу ThingSpeak.

На початку функції викликається функція `recvData()`, яка перевіряє, чи були отримані нові дані через модуль nRF24L01 (рис. 3.7). Якщо дані успішно надійшли, в серійний монітор виводиться значення основних параметрів: вологості ґрунту, вмісту азоту, фосфору, калію і температури.

					КС КРБ 123.206.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

```

int recvData()
{
    if ( radio.available() )
    {
        radio.read(&variable, sizeof(MyVariable));
        return 1;
    }
    return 0;
}

```

Рисунок 3.7 – Лістинг функції recvData()

Ці значення зберігаються у структурі variable, яка була сформована на стороні передавача та передана через бездротовий канал (рис. 3.8).

```

if(recvData())
{
    Serial.println("Data Received:");
    Serial.print("Soil Moisture: ");
    Serial.print(variable.soilmoisturepercent);
    Serial.println("%");
    Serial.print("Nitrogen: ");
    Serial.print(variable.nitrogen);
    Serial.println(" mg/kg");
    Serial.print("Phosphorous: ");
    Serial.print(variable.phosphorous);
    Serial.println(" mg/kg");
    Serial.print("Potassium: ");
    Serial.print(variable.potassium);
    Serial.println(" mg/kg");
    Serial.print("Temperature: ");
    Serial.print(variable.temperature);
    Serial.println("°C");
    Serial.println();
}

```

Рисунок 3.8 – Фрагмент коду для зчитування та виведення параметрів родючості ґрунту

Після виводу параметрів на екран здійснюється перевірка з'єднання з сервером ThingSpeak. Якщо з'єднання встановлено, формується рядок postStr, який містить API-ключ користувача та значення п'яти полів, кожне з яких відповідає одному з параметрів: вологість ґрунту, калій, фосфор, азот і температура. Кожне поле додається послідовно, після чого формується HTTP-запит POST.

					КС КРБ 123.206.00.00 ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Далі цей запит надсилається на сервер платформи за допомогою команди `client.print()`. Вказується адреса ресурсу, заголовки з API-ключем, типом вмісту та довжиною повідомлення. Після відправлення запиту виконується затримка, що дозволяє стабілізувати передачу і уникнути перевантаження сервера. На завершення виводиться повідомлення, яке підтверджує, що передача даних успішно відбулася (рис. 3.9).

```

if (client.connect(server, 80))
{
    String postStr = apiKey;
    postStr += "&field1=";
    postStr += String(variable.soilmoisturepercent);
    postStr += "&field2=";
    postStr += String(variable.nitrogen);
    postStr += "&field3=";
    postStr += String(variable.phosphorous);
    postStr += "&field4=";
    postStr += String(variable.potassium);
    postStr += "&field5=";
    postStr += String(variable.temperature);
    postStr += "\r\n\r\n\r\n\r\n\r\n\r\n\r\n\r\n\r\n";
    client.print("POST /update HTTP/1.1\n");
    client.print("Host: api.thingspeak.com\n");
    client.print("Connection: close\n");
    client.print("X-THINGSPEAKAPIKEY: " + apiKey + "\n");
    client.print("Content-Type: application/x-www-form-urlencoded\n");
    client.print("Content-Length: ");
    client.print(postStr.length());
    client.print("\n\n");
    client.print(postStr);
    delay(1000);
    Serial.println("Data Sent to Server");
}
client.stop();

```

Рисунок 3.9 – Фрагмент коду для надсилання даних на IoT платформу ThingSpeak

Отже, функція `loop()` реалізує цикл прийому, обробки та надсилання аграрних даних, забезпечуючи постійний моніторинг параметрів родючості ґрунту з відображенням інформації як на локальному рівні, так і у хмарному середовищі.

					КС КРБ 123.206.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

3.3 Реалізація передачі даних на IoT платформу ThingSpeak

3.3.1 IoT платформа ThingSpeak

Для реалізації дистанційного моніторингу родючості ґрунту в межах розробленої системи було обрано IoT-платформу ThingSpeak, яка забезпечує зручний і надійний спосіб візуалізації, зберігання, обробки та аналізу даних з різноманітних сенсорів у режимі реального часу. ThingSpeak є хмарним сервісом, що надає API для обміну інформацією між IoT пристроями, а також можливість створення власних каналів для зберігання та перегляду інформації.

Однією з переваг ThingSpeak є її простота інтеграції з мікроконтролерами, зокрема ESP8266 та ESP32, які широко використовуються у сучасних IoT-рішеннях. Сервіс підтримує протоколи HTTP і MQTT, що дозволяє легко надсилати дані з польових пристроїв безпосередньо на платформу за допомогою простих HTTP-запитів. Також ThingSpeak має вбудовану підтримку MATLAB для обробки даних, що відкриває можливості для моделювання та виявлення залежностей між показниками.

Для розробленої системи було створено окремий канал на платформі ThingSpeak, який містить поля для збереження температури, вологості, а також вмісту основних поживних речовин у ґрунті — калію, фосфору та азоту. Після отримання чергових значень із сенсорів, контролер ESP32 або ESP8266 формує відповідний HTTP-запит із ключем доступу до каналу та відправляє дані у хмару.

Ще однією вагомою причиною вибору ThingSpeak є можливість зручної візуалізації даних. Це дозволяє в реальному часі переглядати графіки зміни параметрів у вигляді лінійних діаграм, що значно спрощує моніторинг ситуації без потреби створювати власний інтерфейс. Крім того, можна налаштовувати порогові значення та отримувати сповіщення при їх перевищенні, що є актуальним для аграрних застосувань.

Також ThingSpeak підтримує відкритий або приватний доступ до каналів. Це є важливим з точки зору захисту інформації та приватності. Для тестування та

					КС КРБ 123.206.00.00 ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

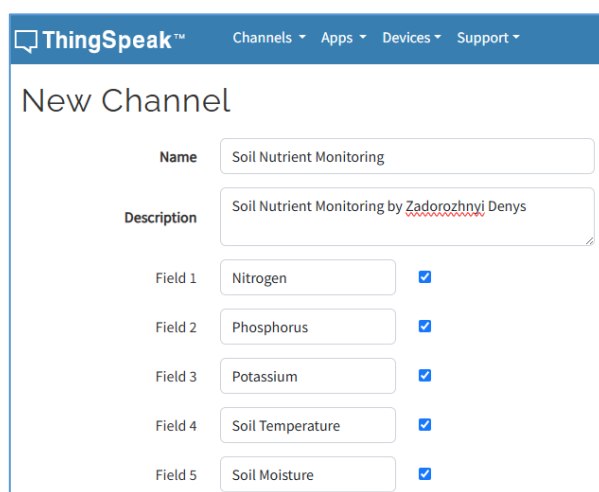
освітніх цілей існує безкоштовний тарифний план, а для комерційного використання — платні пакети з розширеними можливостями.

Отже, ThingSpeak є оптимальним вибором для реалізації системи дистанційного моніторингу родючості ґрунту, оскільки поєднує в собі простоту використання, гнучкість у налаштуванні, підтримку популярних IoT-пристроїв, надійне зберігання та наочну візуалізацію даних. Усі ці переваги дозволяють зменшити витрати часу на розробку серверної частини та сконцентрувати зусилля на технічному вдосконаленні самої системи.

3.3.2 Налаштування ThingSpeak

У процесі реалізації комп'ютеризованої системи для дистанційного моніторингу родючості ґрунту було здійснено налаштування IoT-платформи ThingSpeak, яка стала центральною ланкою для прийому, зберігання та візуалізації даних з сенсорів у режимі реального часу. Налаштування цієї платформи дозволило забезпечити безперебійну передачу інформації з сенсорного пристрою, організувати її обробку та зробити доступною для аналізу.

Перш за все, було створено обліковий запис на офіційному сайті ThingSpeak. Після авторизації було створено новий канал, який містив окремі поля для кожного типу сенсорних даних: температура, вологість ґрунту, концентрація азоту, фосфору та калію (рис. 3.10).



The screenshot shows the 'New Channel' page on the ThingSpeak website. The header includes the ThingSpeak logo and navigation links: Channels, Apps, Devices, and Support. The main form has the following fields:

- Name:** Soil Nutrient Monitoring
- Description:** Soil Nutrient Monitoring by Zadorozhnyi Denys
- Field 1:** Nitrogen (checked)
- Field 2:** Phosphorus (checked)
- Field 3:** Potassium (checked)
- Field 4:** Soil Temperature (checked)
- Field 5:** Soil Moisture (checked)

Рисунок 3.10 – Процес налаштування каналу на платформі ThingSpeak

					КС КРБ 123.206.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

Кожному полю було присвоєно відповідну назву, яка відповідає фізичній величині, що вимірюється, а також вказано одиниці вимірювання. Для зручності було додано короткий опис каналу, що містив інформацію про тип системи, місце встановлення сенсорів і періодичність надсилання даних.

Після створення каналу було згенеровано унікальний ключ API для запису даних. Цей ключ надалі використовується в мікроконтролері ESP32 для формування запитів і безпечної взаємодії з платформою. У коді прошивки контролерів було реалізовано механізм формування HTTP-запитів з урахуванням API-ключа та даних сенсорів, що надходили з модулів у відповідні поля (рис. 3.11).

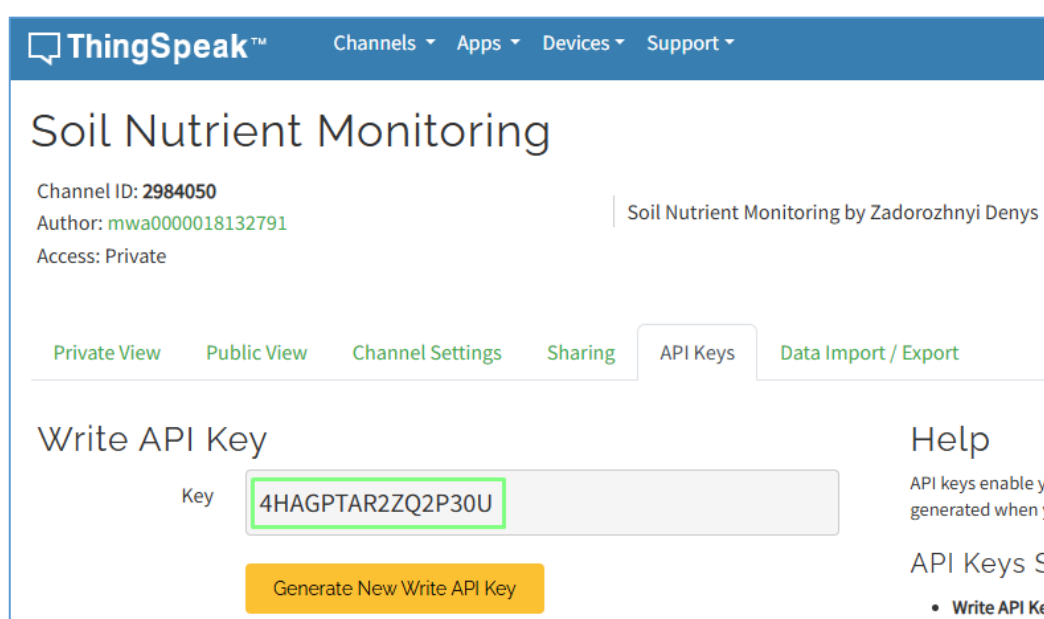


Рисунок 3.11 – Процес генерування API ключа для запису даних

Також було налаштовано графічне відображення даних у вигляді лінійних графіків для кожного показника. Це дало змогу відслідковувати зміни параметрів у динаміці, а також легко виявляти відхилення від нормальних значень. Було встановлено частоту оновлення графіків та визначено часовий інтервал для візуалізації.

Отже, процес налаштування IoT-платформи ThingSpeak був повністю реалізований і успішно інтегрований у загальну структуру комп'ютеризованої системи. Він забезпечив стабільний обмін даними між пристроями та хмарною

					КС КРБ 123.206.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

платформою, що дозволило здійснювати надійний та зручний моніторинг параметрів родючості ґрунту.

3.4 Результати тестування системи

Процес тестування розробленої комп'ютеризованої системи для дистанційного моніторингу родючості ґрунту було проведено з метою перевірки її працездатності, стабільності роботи, точності вимірювань і коректності передачі даних до IoT-платформи ThingSpeak. Тестування здійснювалося в лабораторних умовах із використанням усіх компонентів системи, зокрема сенсорів, мікроконтролерів Arduino Nano та ESP32, бездротових модулів NRF24L01.

На першому етапі тестування було перевірено працездатність кожного сенсорного елемента окремо. Давач температури DS18B20 стабільно передавав значення температури з точністю $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$. Ємнісний сенсор вологості ґрунту також продемонстрував адекватну реакцію на зміни вологості в ґрунті. Для оцінки точності давача NPK було використано контрольні зразки ґрунту з відомими характеристиками, і отримані результати показали задовільну відповідність очікуваним значенням. Наступним етапом стало інтегрування всіх сенсорів із мікроконтролером Arduino Nano, який збирав дані і передавав їх до центрального вузла ESP32 через модуль NRF24L01 (рис. 3.12).

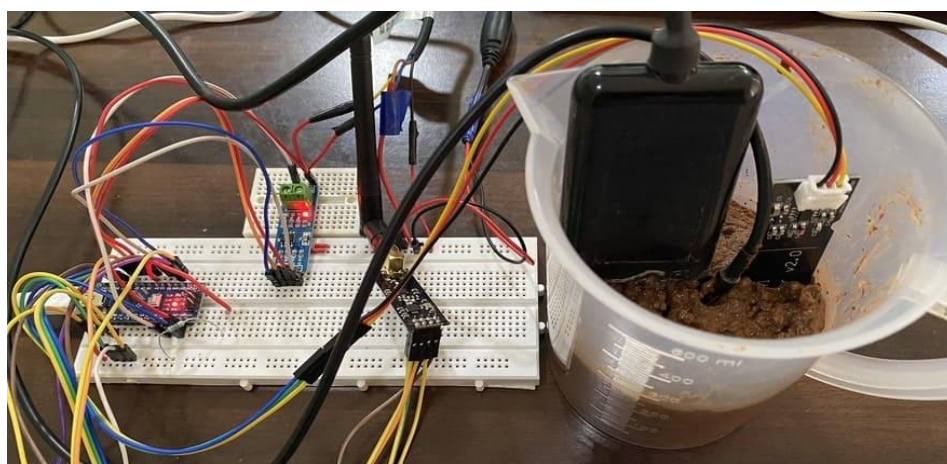


Рисунок 3.12 – Прототип сенсорного модуля комп'ютеризованої системи для дистанційного моніторингу родючості ґрунту на основі Arduino Nano

					КС КРБ 123.206.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

Сигнал передавався стабільно без втрат. Потім мікроконтролер ESP32 надсилав зібрані дані на платформу ThingSpeak через WiFi. На цьому етапі тестування перевірялися затримки у передачі, частота оновлення, обробка помилок зв'язку та повторна відправка даних при збоях (рис. 3.13).

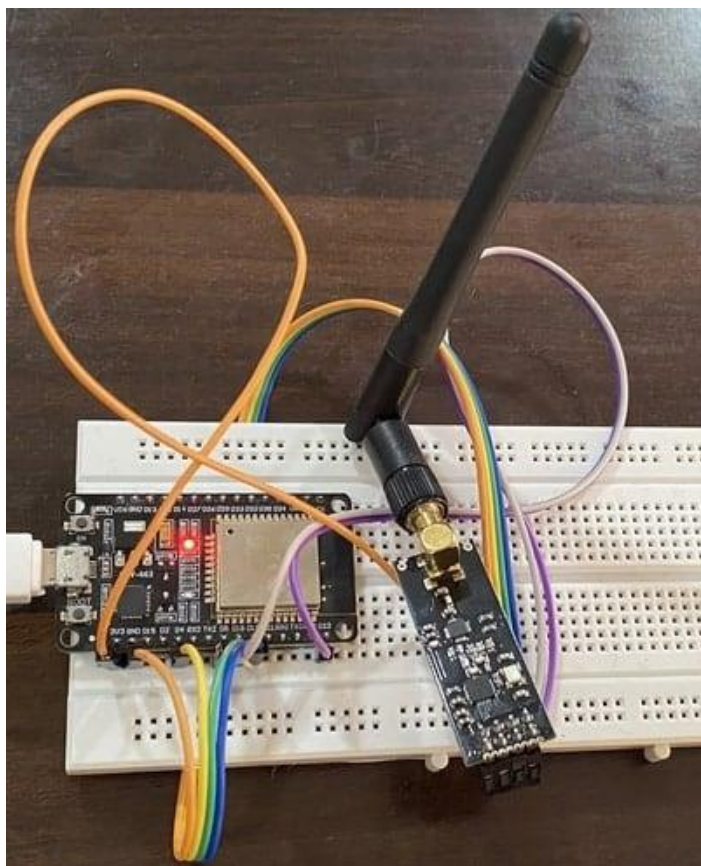
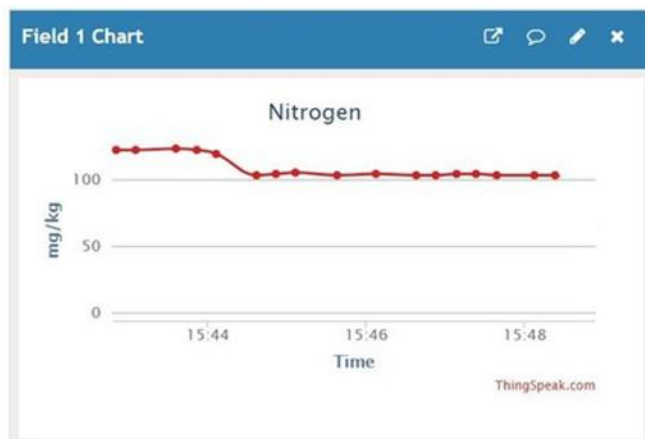


Рисунок 3.13 – Прототип пристрою для передачі даних в хмарну платформу на основі ESP32

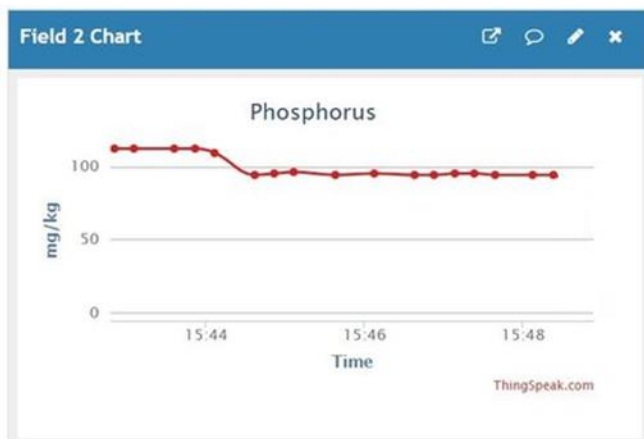
Особливу увагу було приділено аналізу переданих даних на платформі ThingSpeak. Усі сенсорні дані виводилися у вигляді графіків у реальному часі. Було протестовано стабільність оновлення графіків, правильність відображення полів і загальну динаміку зміни параметрів. Протягом тестового періоду не було виявлено серйозних збоїв у роботі системи, що свідчило про її надійність та відповідність поставленим вимогам.

На рис. 3.14 зображено графіки платформи ThingSpeak, які демонструють зміну ключових параметрів родючості ґрунту.

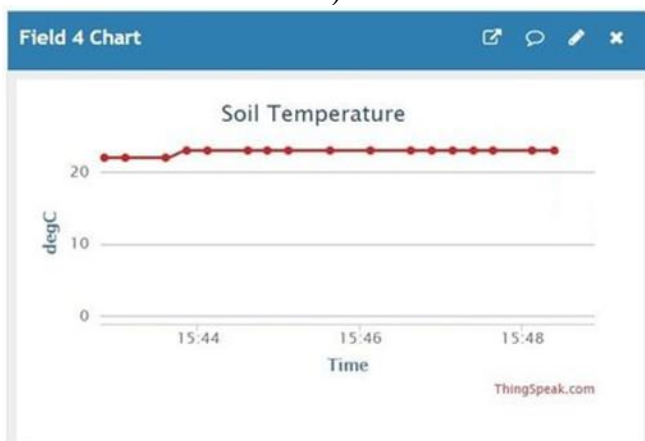
					КС КРБ 123.206.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53



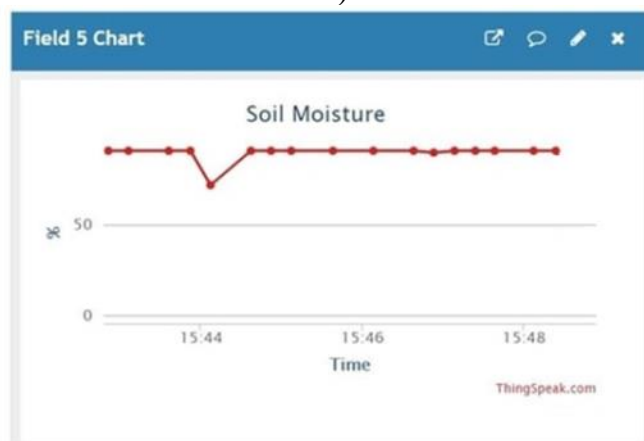
а)



б)



в)



г)

Рисунок 3.14 – Результати моніторингу параметрів родючості ґрунту на платформі ThingSpeak

На рис. 3.14а показано зміну концентрації азоту в ґрунті, на рис. 3.14б – коливання вмісту фосфору в ґрунті, а на рис. 14в і рис. 14г – температури та вологості ґрунту відповідно. Графіки підтверджують стабільну роботу системи та її здатність точно фіксувати і передавати динаміку змін параметрів у ґрунті.

РОЗДІЛ 4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Ергономічні проблеми безпеки життєдіяльності

Основним завданням ергономіки є забезпечення ефективної взаємодії людини і техніки, щоб перейти від техніки безпеки до безпечної техніки, яку ми використовуємо як у виробничій, так і побутовій сферах. Це один з основних напрямків ергономіки.

Основним об'єктом ергономіки є «людино-машинні» системи. Тому основне завдання ергономіки – вивчення зв'язків між елементами «людиномашинних» систем, розробка методів сумісності основного її компонента – людини з іншими середовищами та машинами, технікою.

Завдання ергономіки:

- вивчення закономірностей взаємодії людини з технічними системами та навколишнім середовищем;
- формування принципів побудови системи «людино-машинних» систем та алгоритмів дії у них людини-оператора;
- розробка основ проектування діяльності людини-оператора з врахуванням специфіки експлуатації технічних систем та факторів навколишнього середовища;
- розробка перспективних форм праці людини і пов'язаних з нею технічних систем, факторів навколишнього середовища;
- розробка методів дослідження, проектування та експлуатації «людиномашинних» систем, які забезпечують безпеку людини, ефективність праці.

					КС КРБ 123.206.00.00 ПЗ					
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						
Розробив		Задорожний Д.М.			Безпека життєдіяльності, основи охорони праці			Літ.	Арк.	Акрушів
Перевірив		Осуківська Г.М.								
Консульт.		Пилипець М.І.							55	6
Н. Контр.		Луцик Н.С.						ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-41		
Зав. каф.		Осуківська Г.М.								

Проблемами взаємодії людини та машини займається також інженерна психологія, яка вивчає закономірності процесів інформаційної взаємодії людини у системі «людино-машинних» систем [31].

У системі «людино-машинних» систем завжди є 3 елементи:

- предмет праці;
- засоби праці;
- суб'єкт праці.

Найменшою цільною одиницею, де наявні вказані елементи, є місце праці. Місце праці – це зона, де відбувається трудова діяльність людини. Місце праці обладнане засобами відображення інформації, органами керування та допоміжним обладнанням.

Організацією місця праці називається проведення системи заходів щодо його обладнання засобами та предметами праці і їх розташуванням у визначеному порядку з метою досягнення [31]:

- оптимізації умов трудової діяльності;
- безпеки праці;
- максимальної ефективності;
- комфортності роботи людини.

До робочого місця ставляться такі вимоги:

- достатній робочий простір, який дає змогу працюючій людині здійснювати необхідні рухи та переміщення;
- достатні фізичні, зорові та слухові зв'язки між людиною та обладнанням, а також між людьми під час виконання спільного трудового завдання;
- необхідний рівень освітлення;
- наявність необхідних засобів захисту;
- оптимальне розташування робочих місць, а також безпечні та достатні проходи для працюючих людей.

					КС КРБ 123.206.00.00 ПЗ	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При організації робочого місця враховують основні антропометричні дані людини. Найважливішою характеристикою робочого місця є зона досягнення моторного поля. Моторне поле – це простір робочого місця, в якому розміщені органи керування та інші технічні засоби, в якому людина здійснює рухові дії для виконання робочого завдання.

Ергономіка виробила конкретні вимоги до антропометричних показників обладнання [31].

Характеристика пульта:

- загальна висота: «сидячи» – 1650 мм, «стоячи» – не більше ніж 1300 мм;
- висота розміщення органів керування для положення «сидячи» 530 - 1040 мм, стоячи - 1000 - 1500 мм.

Характеристики крісла:

- форма сидіння-квадратна;
- форма спинки - прямокутна вгнута;
- розмір сидіння - 400x400 мм, спинки - 300x120 мм;
- кут нахилу сидіння назад - 50 - 60°;
- кут нахилу спинки - 50 - 100°.

Розміри вільного місця для ніг:

- висота - не менше 600 мм;
- ширина - не менше 500 мм;
- глибина - не менше 400 мм.

Досягнення органів керування по горизонталі – півколо радіусом 600 мм. Встановлені також відстань між органами керування, їх розміри, зусилля переміщення, величина переміщення, напрямок переміщення.

Для операторів, які працюють з екранами дисплеїв та інших індикаторів, можуть бути рекомендовані такі режими праці та відпочинку. Тривалість безперервної праці не повинна перевищувати 4-6 год. В іншому випадку працездатність через втому зору раптово знижується.

					КС КРБ 123.206.00.00 ПЗ	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Оператор, який стежить за екраном індикатора, найуважніше працює протягом перших 30 хв чергування. А далі, внаслідок втоми зорового аналізатора, кількість помилок зростає майже в два рази та залишається незмінною до кінця другої години. Потім спостерігається нове зростання кількості помилок через загальну втому оператора. Тому для підтримки високої ефективності праці може бути рекомендований 30-хвилинний період чергування з наступною 30-хвилинною перервою.

4.2 Соціальне значення охорони праці

Закон України «Про охорону праці» визначає «Охорона праці – це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних та лікувально-профілактичних заходів і засобів, спрямованих на збереження здоров'я та працездатності людини в процесі праці».

Завдання охорони праці – забезпечення безпечних, нешкідливих і сприятливих умов праці через вирішення багатьох складних завдань [32].

Соціальне значення охорони праці включає в себе різні аспекти, пов'язані з безпекою та благополуччям працівників на робочому місці. Основні аспекти соціального значення охорони праці включають: здоров'я та безпеку працівників, покращення умов праці, зниження виробничого травматизму і профзахворювань, збільшення продуктивності, захист прав працівників, збереження людського капіталу, підвищення задоволеності працівників, зміцнення соціального діалогу, що – забезпечення сталого розвитку суспільства.

Охорона праці спрямована на запобігання травмам, хворобам та іншим негативним наслідкам, пов'язаним з виконанням трудових обов'язків. Це допомагає зберегти фізичне та психологічне здоров'я працівників, покращує їх якість життя та сприяє загальному благополуччю [32].

					КС КРБ 123.206.00.00 ПЗ	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Охорона праці сприяє створенню безпечних та здорових умов праці. Це може включати належне оснащення робочого місця, забезпечення належної вентиляції, освітлення та ергономіки, а також зменшення шкідливих чинників, таких як шум, вібрація та отруйні речовини. Здорові та безпечні робочі умови сприяють збільшенню продуктивності працівників, тобто, коли працівники мають можливість працювати в безпечному та комфортному середовищі, вони здатні бути більш ефективними та зосередженими на своїх обов'язках.

Заходи з охорони праці сприяють зменшенню відсутності працівників на робочому місці через травми або хвороби, що в свою чергу забезпечує більшу стабільність та ефективність роботи. Охорона праці сприяє захисту прав працівників, зокрема щодо безпеки, здоров'я, працевлаштування та рівного ставлення на робочому місці. Вона включає в себе нормативно-правові акти, які гарантують права працівників і встановлюють відповідальність роботодавців за забезпечення безпеки й охорони праці. Забезпечення безпеки та здоров'я працівників допомагає уникнути втрати кваліфікованої робочої сили, зменшує витрати на підготовку та навчання нових працівників, а безпечне та здорове робоче середовище сприяє покращенню задоволеності працівників [33].

Охорона праці також є важливою складовою корпоративної відповідальності. Підприємства, які вкладають зусилля у створення безпечних умов праці, демонструють свою готовність нести відповідальність за добробут своїх працівників та сприяють створенню позитивного іміджу. Також охорона праці допомагає в розвитку соціального діалогу між роботодавцями та працівниками. Забезпечення безпеки й охорони праці вимагає співпраці всіх зацікавлених сторін, включаючи роботодавців, профспілки та урядові органи. Це сприяє створенню конструктивного діалогу, вирішенню проблем та покращенню умов праці.

Забезпечення безпеки й охорони праці має значний вплив на економіку та суспільство в цілому, оскільки сприяє зниженню соціального навантаження на

					КС КРБ 123.206.00.00 ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

суспільство. Заходи з охорони праці сприяють зниженню витрат на медичне обслуговування та страхування. Впровадження ефективних заходів з охорони праці може допомогти зменшити витрати на компенсацію травм та хвороб, пов'язаних з роботою, а також на відшкодування матеріальних збитків, пов'язаних з недбалістю або порушеннями у сфері безпеки. Це сприяє оптимізації виробничих процесів та підвищенню рентабельності [33].

Охорона праці є важливою складовою сталого розвитку. Заходи з безпеки й охорони праці спрямовані на забезпечення екологічної, соціальної та економічної сталості. Також охорона праці може стимулювати інновації та покращення робочих процесів. Коли компанії зосереджуються на створенні безпечного та здорового робочого середовища, вони сприяють розвитку нових технологій, методів роботи та інноваційних рішень, які покращують якість та продуктивність праці.

Загалом, соціальне значення охорони праці полягає в забезпеченні безпеки, здоров'я та благополуччя працівників, підвищенні якості життя та рівня задоволення від праці, сприянні сталому розвитку та підвищенню конкурентоспроможності підприємств та суспільства в цілому.

					КС КРБ 123.206.00.00 ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі розроблено систему моніторингу родючості ґрунту, яка дозволяє автоматизовано контролювати рівень вологості, вміст поживних речовин та температуру. Розроблена система включає сенсорні модулі, мікроконтролери та засоби бездротового зв'язку, що забезпечує її ефективну роботу в реальному часі та можливість передавання даних на віддалений сервер.

На основі аналізу вимог до системи було обґрунтовано вибір основних апаратних компонентів. Використано давач температури DS18B20, ємнісний давач вологості ґрунту та сенсор для визначення рівня поживних речовин. В якості керуючих елементів було обрано мікроконтролери Arduino Nano та ESP32, що дозволило реалізувати ефективну обробку даних. Для зв'язку між компонентами застосовано MAX485 UART-RS485, а для бездротової передачі інформації – модуль NRF24L01.

Розроблена система відзначається модульною структурою, що дає змогу її подальшого масштабування та модернізації. Передбачена можливість інтеграції додаткових сенсорів та розширення функціональних можливостей за рахунок застосування інших типів зв'язку.

Практичні випробування підтвердили працездатність системи та відповідність поставленим вимогам. Отримані результати свідчать про ефективність використання запропонованого підходу для моніторингу стану ґрунту, що є корисним у точному землеробстві, тепличному господарстві та екологічних дослідженнях.

Отже, реалізована система забезпечує автоматизований збір та аналіз агрономічних даних, що дозволяє оптимізувати процеси удобрення та зрошення, зменшити витрати ресурсів і підвищити врожайність.

					КС КРБ 123.206.00.00 ПЗ	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Вимірювач кислотності і родючості ґрунту (2 в 1) ЕТП-307. URL: <https://svoypribor.com.ua/ua/p1382167164-izmeritel-kislotnosti-plodorodiya.html> (дата звернення: 10.03.2025).
2. Прилад контролю параметрів ґрунту 3 в 1 Luster Leaf Rapitest 1835. URL: https://snpk.in.ua/prilad_kontrolyu_parametriv_gruntu_3_v_1_luster_leaf_rapitest_1835/ (дата звернення: 10.03.2025).
3. Parrot Flower Power: активний помічник квітникаря-любителя. URL: <https://www.istore.ua/ua/blog/article/flower-power/> (дата звернення: 11.03.2025).
4. Wi-Fi модуль DevKit V1 з ESP-32 (30 pin). URL: <https://arduino.ua/prod3990-wi-fi-modul-devkit-v1-s-esp-32> (дата звернення: 12.03.2025).
5. Arduino Nano V3.0. URL: <https://arduino.ua/prod166-arduino-nano-v3-0-avr-atmega328p-s-raspayannimi-razemami> (дата звернення: 13.03.2025).
6. Soil NPK Sensor, ABS High Soil Nutrient Intelligent Fertilizer Detector Tester Meter NPK Sensor. URL: <https://www.amazon.ca/Sensor-Nutrient-Intelligent-Fertilizer-Detector/dp/B0DB29X8SH> (дата звернення: 14.03.2025).
7. Температурний давач DS18B20. URL: <https://arduino.ua/prod414-temperaturnii-datchik-vodonepronikaemii-ds18b20> (дата звернення: 15.04.2025).
8. Ємнісний датчик вологості ґрунту. URL: <https://arduino.ua/prod2755-emkostnii-datchik-vlajnosti-pochvi> (дата звернення: 15.04.2025).
9. Інтерфейсний модуль MAX485 UART-RS485. URL: <https://arduino.ua/prod1343-interfeisnii-modul-max485-uart-rs485> (дата звернення: 16.03.2025).
10. Ai-Thinker Бездротовий модуль NRF24L01+PA+LNA з зовнішньою SMA антеною. URL: <https://arduino.ua/prod4214-ai-thinker-besprovodnoi-modul-nrf24l01palna-s-vneshnei-sma-antennai> (дата звернення: 17.03.2025).
11. Жаровський Р.О., Луцик Н.С., Осухівська Г.М., Паламар А.М., Тиш Є.В. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за спеціальністю 123 «Комп'ютерна інженерія» усіх форм навчання. Тернопіль: ТНТУ, 2024. 39 с.

					КС КРБ 123.206.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

12. Луцків А., Лупенко С., Пасічник В. Паралельні та розподільнені обчислення. Навчальний посібник. Львів: Видавництво «Магнолія 2006», 2024. 566 с.

13. Микитишин А.Г., Митник М.М., Стухляк П.Д., Пасічник В.В. Комп'ютерні мережі. Книга 1. Львів: «Магнолія 2006», 2024. 256 с.

14. Velychko D., Osukhivska H., Palaniza Y., Lutsyk N., Sobaszek L. Artificial Intelligence Based Emergency Identification Computer System. Advances in Science and Technology Research Journal, 18 no. 2, 2024, P. 296-304.

15. Voloshchuk A., Velychko D., Osukhivska H., Palamar A. Computer system for energy distribution in conditions of electricity shortage using artificial intelligence. CEUR Workshop Proceedings, 2nd International Workshop on Computer Information Technologies in Industry 4.0 (CITI 2024), Ternopil, Ukraine, June 12-14, 2024. Vol. 3742 P. 66-75.

16. Voloskyi V., Leshchyshyn Y., Romanyshyn N., Palamar A., Tarasenko L. Method and algorithm for efficient cell balancing in the lithium-ion battery control system. CEUR Workshop Proceedings, The 1st International Workshop on Bioinformatics and Applied Information Technologies (BAIT 2024), Zboriv, Ukraine, October 02-04, 2024. Vol. 3842. P. 258-267.

17. Погребенник В. Д., Клим Г. І., Бордун І. М., Пташник В. В., Паламар А. М. Системи оперативного контролю інтегральних параметрів водного середовища. Т. 2. Елементи комп'ютерних систем оперативного контролю: колективна монографія. Житомир: Видавничий дім «Бук-Друк», 2021. 180 с.

18. Palamar A., Palamar M., Osukhivska H. Real-time Health Monitoring Computer System Based on Internet of Medical Things. CEUR Workshop Proceedings, 3rd International Workshop on Information Technologies: Theoretical and Applied Problems (ITTAP 2023), Ternopil, Ukraine, Opole, Poland, November 22–24, 2023. Vol. 3628. P. 106-115.

19. Vasylykivskyi I., Ishchenko V., Pohrebennyk V., Palamar M., Palamar A. System of water objects pollution monitoring. International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management (SGEM 2017), Vienna, Austria, November, 27–29, 2017. Vol. 17, No. 33. P. 355-362.

					КС КРБ 123.206.00.00 ПЗ	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

20. Palamar A., Karpinski M., Palamar M., Osukhivska H., Mytnyk M. Remote Air Pollution Monitoring System Based on Internet of Things. CEUR Workshop Proceedings, 2nd International Workshop on Information Technologies: Theoretical and Applied Problems, Ternopil, Ukraine, November 22–24, 2022. Vol. 3309. P. 194-204.

21. Palamar A. Intelligent control and monitoring module for uninterruptible power supply system. II International Scientific and Practical Conference «Theoretical and Applied Aspects of Device Development on Microcontrollers and FPGAs» (MC&FPGA-2020), Kharkiv, Ukraine. 2020. P. 12-13.

22. Palamar A. Control system simulation by modular uninterruptible power supply unit with adaptive regulation function. Scientific Journal of TNTU, Ternopil, Ukraine, 2020. Vol. 98, No 2. P. 129–136.

23. Palamar A. Methods and means of increasing the reliability of computerized modular uninterruptible power supply system. Scientific Journal of TNTU, Ternopil, Ukraine, 2020. Vol. 99, No 3. P. 133–141.

24. Stadnyk M., Palamar A. Project management features in the cybersecurity area. Scientific Journal of TNTU, Ternopil, Ukraine, 2022. Vol. 106, No 2. P. 54–62.

25. Palamar A., Palamar M. Fire Safety Monitoring System Based on Internet of Things. CEUR Workshop Proceedings, 2023. 1st International Workshop on Computer Information Technologies in Industry 4.0 (CITI 2023), Ternopil, Ukraine, June 14-16, 2023. Vol. 3468. P. 164-172.

26. Ясінський Р.В., Осухівська Г.М., Паламар А.М., Величко Д.В. Комп'ютерна система для контролю параметрів мікроклімату теплиць на основі інтернету речей. Актуальні задачі сучасних технологій : збірник тез доповідей XI міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів (Тернопіль, 7-8 грудня 2022 року), Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2022. С. 177.

27. Ясінський Р.В., Осухівська Г.М., Паламар А.М. Апаратно-програмна система для регулювання мікроклімату теплиць. Матеріали X науково-технічної конференції «Інформаційні моделі, системи та технології» Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя (Тернопіль, 7-8 грудня 2022 року), Тернопіль: ТНТУ, 2022. С. 102.

					КС КРБ 123.206.00.00 ПЗ	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

28. Palamar A., Stadnyk M., Palamar M. Adaptive PID regulation method of uninterruptible power supply battery charge current based on artificial neural network. Scientific Journal of TNTU, Ternopil, Ukraine, 2022. Vol. 107, No 3. P. 5–13.

29. Palamar M., Horyn T., Palamar A., Batuk V. Method of calibration MEMS accelerometer and magnetometer for increasing the accuracy determination angular orientation of satellite antenna reflector. Scientific Journal of TNTU, Ternopil, Ukraine, 2022. Vol. 108, No 4. P. 79–88.

30. Yatsyshyn V., Pastukh O., Kukharska V., Palamar A., Kulikov S. Method and tool of detecting software architecture patterns in the process of computer systems development. CEUR Workshop Proceedings, 4th International Workshop on Information Technologies: Theoretical and Applied Problems (ITTAP 2024), Ternopil, Ukraine, Opole, Poland, October 23-25, 2024. Vol. 3896. P. 12-24.

31. Бедрій І.Я., Нечай В.Я. Безпека життєдіяльності. Навчальний посібник. – Львів: Манголія 2006, 2007. 499 с.

32. Желібо Є. П. Заверуха Н.М., Зацарний В.В. Безпека життєдіяльності. Навчальний посібник. К.: Каравела, 2004. 328 с.

33. Зеркалов Д.В. Безпека життєдіяльності. Навчальний посібник. К.: Основа. 2011. 526 с.

					КС КРБ 123.206.00.00 ПЗ	Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Додаток А

Технічне завдання

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії

Кафедра комп'ютерних систем та мереж

“Затверджую”

Завідувач кафедри КС

_____ Осухівська Г.М.

“ ____ ” _____ 2025 р.

КОМП'ЮТЕРИЗОВАНА СИСТЕМА ДЛЯ ДИСТАНЦІЙНОГО
МОНІТОРИНГУ РОДЮЧОСТІ ҐРУНТУ НА ОСНОВІ ТЕХНОЛОГІЙ
ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на 9 листках

Вид робіт: Кваліфікаційна робота

На здобуття освітнього ступеня «Бакалавр»

Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»

«УЗГОДЖЕНО»

Керівник кваліфікаційної роботи

_____ к.т.н. Осухівська Г.М.

“ ____ ” _____ 2025 р.

«ВИКОНАВЕЦЬ»

Студент групи СІ-41

_____ Задорожний Д.М.

“ ____ ” _____ 2025 р.

Тернопіль 2025

1 Загальні відомості

1.1 Повна назва та її умовне позначення

Повна назва теми кваліфікаційної роботи: «Комп'ютеризована система для дистанційного моніторингу родючості ґрунту на основі технологій інтернету речей».

Умовне позначення кваліфікаційної роботи: КС КРБ 123.206.00.00.

1.2 Виконавець

Студент групи СІ-41, факультету комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії, кафедри комп'ютерних систем та мереж, Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, Задорожний Денис Миколайович.

1.3 Підстава для виконання роботи

Підставою для виконання кваліфікаційної роботи бакалавра є наказ по університету (№ 4/7-53 від 27.01.2025 р.).

1.4 Планові терміни початку та завершення роботи

Плановий термін початку виконання кваліфікаційної роботи – 27.01.2025 р.

Плановий термін завершення виконання кваліфікаційної роботи – 23.06.2025 р.

1.5 Порядок оформлення та пред'явлення результатів роботи

Порядок оформлення пояснювальної записки та графічного матеріалу здійснюється у відповідності до чинних норм та правил ISO, ЕСКД, ЕСПД та ДСТУ.

Пред'явлення проміжних результатів роботи з виконання кваліфікаційної роботи здійснюється у відповідності до графіку, затвердженого керівником роботи. Попередній захист кваліфікаційної роботи відбувається при готовності роботи – наявності пояснювальної записки та графічного матеріалу.

Пред'явлення результатів кваліфікаційної роботи відбувається шляхом захисту на відповідному засіданні ЕК, ілюстрацією основних досягнень за допомогою графічного матеріалу.

2 Призначення і цілі створення системи

2.1 Призначення системи

Комп'ютеризована система призначена для моніторингу родючості ґрунту шляхом збору, аналізу та передачі даних про вологість, температуру та рівень поживних речовин у ґрунті. Система складається з датчиків, мікроконтролерних модулів для обробки даних та бездротових засобів зв'язку для передавання інформації на хмарну IoT-платформу. Вона буде застосовуватися у точному землеробстві, автоматизованих системах зрошення, тепличному господарстві та екологічному моніторингу.

Система призначена для моніторингу параметрів ґрунту в режимі реального часу. Вона забезпечує збір даних із сенсорів, їх передачу на віддалений сервер та подальший аналіз для ухвалення агротехнічних рішень.

2.2 Мета створення системи

Метою кваліфікаційної роботи є розробка ефективної та доступної системи контролю родючості ґрунту, яка допоможе оптимізувати процеси удобрення та зрошення, зменшити витрати ресурсів і підвищити врожайність.

2.3 Характеристика об'єкту

Об'єктом дослідження є ґрунтовий покрив у сільськогосподарських угіддях, теплицях та природоохоронних зонах. Основні параметри, що підлягають контролю: вологість, температура та вміст поживних речовин (азот, фосфор, калій).

3 Вимоги до системи

3.1 Вимоги до системи в цілому

Комп'ютеризована система для дистанційного моніторингу родючості ґрунту повинна бути модульною, масштабованою, енергоефективною та надійною у роботі в умовах польових випробувань.

3.1.1 Вимоги до структури та функціонування системи

Система повинна складатися з давачів, мікроконтролерів та модулів бездротового зв'язку. Передбачено можливість додавання нових сенсорів та модулів. Необхідно забезпечити доступність даних через хмарну IoT-платформу. В загальному випадку, структура системи повинна реалізовувати функції дистанційного моніторингу родючості ґрунту. Основні функціональні вимоги характеризуються наступними критеріями:

- надійність;
- чутливість;
- автоматизація;

- керованість;
- сумісність.

3.1.2 Вимоги до способів та засобів зв'язку між компонентами системи

Обмін даними між компонентами системи для дистанційного моніторингу родючості ґрунту повинен здійснюватися з використанням бездротових технологій передачі інформації.

3.1.3 Вимоги до режимів функціонування системи

Вимоги до режимів функціонування визначаються для забезпечення зручного та ефективного використання системи дистанційного моніторингу родючості ґрунту. Система повинна мати можливість працювати в таких режимах:

- автономний режим збору даних із періодичним передаванням інформації;
- операційний режим реального часу при необхідності миттєвого контролю;
- режим калібрування для налаштування давачів.

3.1.4 Вимоги по діагностуванню системи

Для діагностування системи використовуються інструменти діагностування основних процесів системи, які вмонтовані програмне забезпечення, а також засоби для діагностики апаратного забезпечення.

Інструменти повинні забезпечувати зручний інтерфейс для можливості перегляду діагностичних подій, моніторингу процесу виконання програм.

3.1.5 Перспективи розвитку, проектування системи

Система дистанційного моніторингу родючості ґрунту має значний потенціал для подальшого розвитку та модернізації. Зокрема, система може розширити список вимірюваних параметрів. Використання альтернативних модулів зв'язку, зокрема LoRa або NB-IoT.

3.2 Показники призначення

Система повинна передбачати можливість масштабування. Можливості масштабування повинні забезпечуватися засобами використовуваного базового програмного і технічного забезпечення.

3.2.1 Вимоги до надійності

Система повинна бути захищена від фізичних чи механічних пошкоджень на рівні апаратного та програмного забезпечення. Надійність системи повинна забезпечувати відновлюваність функціонування у випадку збою апаратного чи програмного забезпечення. Система повинна безперервно працювати у польових умовах при різних температурах. Вона має бути стійкою до пилу, вологи та механічних впливів.

Показники надійності системи дистанційного моніторингу родючості ґрунту повинні відповідати вимогам ДСТУ 50136-1. Ймовірність безвідмовної роботи системи повинна складати не менше 99,8 %.

3.3 Вимоги до безпеки

Зовнішні елементи технічних засобів системи, що перебувають під напругою, повинні мати захист від випадкового дотику, а самі технічні засоби мати занулення або захисне заземлення .

Система електроживлення повинна забезпечувати захисне вимикання при перевантаженнях і коротких замиканнях в колах навантаження, а також аварійне ручне вимикання.

Загальні вимоги пожежної безпеки повинні відповідати нормам на побутове електрообладнання. У разі пожежі не мають виділятися отруйні гази і дим. Після зняття електроживлення має бути доступне застосування будь-яких засобів пожежогасіння.

3.3.1 Вимоги до експлуатації, технічного обслуговування, ремонту і зберігання компонентів системи

Мікроклімат в приміщеннях повинен відповідати нормам виробничого мікроклімату по ДСН 3.3.6.042-99:

- температуру повітря в межах від +10°C до +35°C;
- відносну вологість повітря при 25°C в межах від 30% до 80%;
- атмосферний тиск 760 ± 25 мм рт. ст.

Періодичне технічне обслуговування використовуваних технічних засобів має проводитися відповідно до вимог технічної документації, але не рідше ніж один раз на рік.

Періодичне технічне обслуговування і тестування технічних засобів повинні включати обслуговування і тестування всіх використовуваних засобів, давачі, мікроконтролери, системи передачі даних, пристрої безперебійного живлення.

На підставі результатів тестування технічних засобів повинні проводитися аналіз причин виникнення виявлених дефектів і прийматися заходи по їх ліквідації.

3.4 Вимоги до захисту інформації від несанкціонованого доступу

Система повинна забезпечувати захист від несанкціонованого доступу на рівні не нижче встановленого вимогами, що пред'являються до категорії 1Д по класифікації документа, що діє, “Автоматизовані системи. Захист від несанкціонованого доступу до інформації. Класифікація автоматизованих систем”.

Компоненти підсистеми захисту від НСД повинні забезпечувати:

- ідентифікацію користувача;
- перевірку повноважень користувача при роботі з системою;
- розмежування доступу користувачів.

Рівень захищеності від несанкціонованого доступу засобів обчислювальної техніки, що здійснюють обробку конфіденційної інформації,

повинен відповідати вимогам класу захищеності згідно вимогам документу “Засоби обчислювальної техніки. Захист від несанкціонованого доступу до інформації. Показники захищеності від несанкціонованого доступу до інформації”.

3.4.1 Вимоги по збереженню інформації при аваріях

Інформація, при виникненні аварійних ситуацій повинна бути збережена на резервних носіях.

3.4.2 Вимоги по стандартизації і уніфікації

Система повинна відповідати вимогам ергономіки і зручності користування за умови комплектування високоякісним обладнанням, що має необхідні сертифікати відповідності і безпеки.

3.4.3 Вимоги до функцій (завдань), що виконуються системою:

- збір інформації про вологість, температуру та рівень поживних речовин;
- обробка отриманих даних мікроконтролером;
- передача результатів вимірювань на сервер та їх візуалізація на веб-інтерфейсі.

4 Вимоги до документації

Документація повинна відповідати вимогам ЄСКД та ДСТУ.

Комплект документації повинен складатись з:

- пояснювальної записки;
- графічного матеріалу:
 - а) структурна схема системи;
 - б) схеми електричні принципів;
 - в) блок-схеми алгоритмів роботи;
 - г) результати роботи системи.

*Примітка: В комплект документації можуть вноситися зміни та доповнення в процесі розробки.

5 Стадії та етапи проектування

Таблиця 1 – Стадії та етапи виконання КРБ

№ етапу	Назва етапу виконання КРБ	Термін виконання
1.	Розробка технічного завдання	27.01.2025 – 02.02.2025
2.	Аналіз технічного завдання, вимог до комп'ютерної системи, та можливих рішень поставленого завдання	03.02.2025 – 10.02.2025
3.	Розроблення структури, вибір апаратного забезпечення, проєктування комп'ютеризованої системи	11.02.2025 – 28.02.2025
4.	Реалізація алгоритму, написання програмного забезпечення, тестування комп'ютеризованої системи	01.03.2025 – 01.05.2025
5.	Безпека життєдіяльності, основи охорони праці	02.05.2025 – 11.05.2025
6.	Оформлення пояснювальної записки та графічного матеріалу	12.05.2025 – 08.06.2025
7.	Перевірка на академічний плагіат, перевірка керівником та консультантами	09.06.2025 – 15.06.2025
8.	Попередній захист кваліфікаційної роботи бакалавра	16.06.2025 – 22.06.2025
9.	Захист кваліфікаційної роботи бакалавра	23.06.2025

6 Додаткові умови виконання кваліфікаційної роботи бакалавра

Під час виконання кваліфікаційної роботи в дане технічне завдання можуть вноситися зміни та доповнення.

Додаток Б

Перелік елементів

Додаток В

Лістинг програми

Лістинг В.1 – Код програми мікроконтролера модуля Arduino Nano для реалізації системи дистанційного моніторингу родючості ґрунту.

```
#include <SPI.h>
#include <SoftwareSerial.h>
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>
#include <nRF24L01.h>
#include <RF24.h>

RF24 radio(9, 10); // CE, CSN on Blue Pill
const uint64_t address = 0xF0F0F0F0E1LL;

#define ONE_WIRE_BUS 5

#define RE 8
#define DE 7

const byte code[] = {0x01, 0x03, 0x00, 0x1e, 0x00, 0x03, 0x65,
0xCD};
byte values[11];
SoftwareSerial mod(2, 3);

const int AirValue = 645;    //you need to replace this value with
Value_1
const int WaterValue = 254;  //you need to replace this value with
Value_2
int soilMoistureValue = 0;
int soilmoisturepercent = 0;

float  temperature;
int nitrogen;
int phosphorous;
int potassium;

OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);
DallasTemperature sensors(&oneWire);

struct MyVariable
```

```

{
    byte soilmoisturepercent;
    byte nitrogen;
    byte phosphorous;
    byte potassium;
    byte temperature;
};
MyVariable variable;

void setup()
{
    Serial.begin(9600);
    mod.begin(9600);
    radio.begin(); //Starting the Wireless
communication
    radio.openWritingPipe(address); //Setting the address where we
will send the data
    radio.setPALevel(RF24_PA_MIN); //You can set it as minimum or
maximum depending on the distance between the transmitter and
receiver.
    radio.stopListening(); //This sets the module as
transmitter
    sensors.begin();
    pinMode(RE, OUTPUT);
    pinMode(DE, OUTPUT);
}

void loop()
{
    byte val;
    digitalWrite(DE, HIGH);
    digitalWrite(RE, HIGH);
    delay(10);
    if (mod.write(code, sizeof(code)) == 8)
    {
        digitalWrite(DE, LOW);
        digitalWrite(RE, LOW);
        for (byte i = 0; i < 11; i++)
        {
            //Serial.print(mod.read(), HEX);
            values[i] = mod.read();
            Serial.print(values[i], HEX);
        }
        Serial.println();
    }
}

```

```

    }
    nitrogen = values[4];
    phosphorous = values[6];
    potassium = values[8];
    delay(1500);

    soilMoistureValue = analogRead(A0); //put Sensor into soil
    //Serial.println(soilMoistureValue);
    soilmoisturepercent = map(soilMoistureValue, AirValue, WaterValue,
0, 100);
    {
        if (soilmoisturepercent >= 100)
        {
            soilmoisturepercent = 100;
        }
        else if (soilmoisturepercent <= 0)
        {
            soilmoisturepercent = 0;
        }
        else if (soilmoisturepercent > 0 && soilmoisturepercent < 100)
        {
            soilmoisturepercent = soilmoisturepercent;
        }
    }
    delay(1500);

    sensors.requestTemperatures();
    temperature = sensors.getTempCByIndex(0);

    variable.soilmoisturepercent = soilmoisturepercent;
    variable.nitrogen = nitrogen;
    variable.phosphorous = phosphorous;
    variable.potassium = potassium;
    variable.temperature = temperature;
    delay(1500);

    Serial.print("Soil Moisture: ");
    Serial.print(variable.soilmoisturepercent);
    Serial.println("%");
    Serial.print("Nitrogen: ");
    Serial.print(variable.nitrogen);
    Serial.println(" mg/kg");
    Serial.print("Phosphorous: ");
    Serial.print(variable.phosphorous);
    Serial.println(" mg/kg");

```

```

Serial.print("Potassium: ");
Serial.print(variable.potassium);
Serial.println(" mg/kg");
Serial.print("Temperature: ");
Serial.print(variable.temperature);
Serial.println("*C");
Serial.println();
radio.write(&variable, sizeof(MyVariable));

Serial.println("Data Packet Sent");
Serial.println("");
delay(10000);
}

```

Лістинг В.2 – Код програми мікроконтролера ESP32 модуля для реалізації системи дистанційного моніторингу родючості ґрунту.

```

#include <WiFi.h>
#include <SPI.h>
#include <nRF24L01.h>
#include <RF24.h>

String apiKey = "FTY1Txxxxxxxx1NGU";

const char* ssid = "*****";
const char* password = "*****";

const char* server = "api.thingspeak.com";

RF24 radio(4, 5);
const uint64_t address = 0xF0F0F0F0E1LL;

struct MyVariable
{
    byte soilmoisturepercent;
    byte nitrogen;
    byte phosphorous;
    byte potassium;
    byte temperature;
};
MyVariable variable;

WiFiClient client;

```

```

void setup()
{
    Serial.begin(115200);
    radio.begin();           //Starting the Wireless
communication
    radio.openReadingPipe(0, address); //Setting the address at
which we will receive the data
    radio.setPALevel(RF24_PA_MIN);    //You can set this as minimum
or maximum depending on the distance between the transmitter and
receiver.
    radio.startListening();           //This sets the module as
receiver

    Serial.println("Receiver Started....");
    Serial.print("Connecting to ");
    Serial.println(ssid);
    Serial.println();
    WiFi.begin(ssid, password);
    while (WiFi.status() != WL_CONNECTED)
    {
        delay(500);
        Serial.print(".");
    }
    Serial.println("");
    Serial.println("WiFi connected");
}

int recvData()
{
    if ( radio.available() )
    {
        radio.read(&variable, sizeof(MyVariable));
        return 1;
    }
    return 0;
}

void loop()
{
    if(recvData())
    {
        Serial.println("Data Received:");
        Serial.print("Soil Moisture: ");
        Serial.print(variable.soilmoisturepercent);
        Serial.println("%");
    }
}

```

```

Serial.print("Nitrogen: ");
Serial.print(variable.nitrogen);
Serial.println(" mg/kg");
Serial.print("Phosphorous: ");
Serial.print(variable.phosphorous);
Serial.println(" mg/kg");
Serial.print("Potassium: ");
Serial.print(variable.potassium);
Serial.println(" mg/kg");
Serial.print("Temperature: ");
Serial.print(variable.temperature);
Serial.println("*C");
Serial.println();

if (client.connect(server, 80))
{
    String postStr = apiKey;
    postStr += "&field1=";
    postStr += String(variable.soilmoisturepercent);
    postStr += "&field2=";
    postStr += String(variable.nitrogen);
    postStr += "&field3=";
    postStr += String(variable.phosphorous);
    postStr += "&field4=";
    postStr += String(variable.potassium);
    postStr += "&field5=";
    postStr += String(variable.temperature);
    postStr += "\r\n\r\n\r\n\r\n\r\n\r\n\r\n\r\n\r\n";
    client.print("POST /update HTTP/1.1\n");
    client.print("Host: api.thingspeak.com\n");
    client.print("Connection: close\n");
    client.print("X-THINGSPEAKAPIKEY: " + apiKey + "\n");
    client.print("Content-Type: application/x-www-form-
urlencoded\n");
    client.print("Content-Length: ");
    client.print(postStr.length());
    client.print("\n\n");
    client.print(postStr);
    delay(1000);
    Serial.println("Data Sent to Server");
}
    client.stop();
}
}

```