

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова**  
**Навчально науковий інститут автоматики та електротехніки**

Кафедра комп'ютеризованих систем управління

«Допущений до захисту»  
Завідувач кафедри



«12» червня 2026 р.

***КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА***

**на здобуття ступеня вищої освіти «бакалавр»**

**на тему: Інформаційно-вимірювальна система оперативного**  
**екологічного моніторингу ґрунту**

Виконав: студент 4347ст3 групи

 Дяченко Д. О.  
(підпис)

Керівник роботи:

К.Т.Н., доцент  
(посада, науковий ступінь, вчене звання)  
 Топалов А.М.  
(підпис)

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова**

**Навчально науковий інститут автоматики та електротехніки**

|                     |                                                                                   |
|---------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| Кафедра             | <u>комп'ютеризованих систем управління</u>                                        |
| Рівень вищої освіти | <u>перший (бакалаврський)</u>                                                     |
| Спеціальність       | <u>174 – «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»</u> |
| ООП                 | <u>«Комп'ютеризовані системи управління та автоматика»</u>                        |

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри



\_\_\_ **Черно О.О.**

«29» квітня 2026 р.

**ЗАВДАННЯ**  
**НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**  
**на здобуття ступеня вищої освіти «бакалавр»**

Студенту Дяченко Денису Олеговичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Інформаційно-вимірвальна система оперативного екологічного моніторингу ґрунту

Керівник роботи Топалов Андрій Миколайович, к.т.н., доцент  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом вищого навчального закладу № 286-уч від «22» квітня 2026 року

2. Термін подання роботи: 12.06.2026 р.

3. Вихідні дані по роботі: автоматичний збір даних із датчиків; обробку та аналіз отриманої інформації; передача результатів вимірювань до центрального пункту моніторингу; зберігання результатів вимірювань; відображення поточного стану контрольованих параметрів; оперативне виявлення перевищення допустимих рівнів забруднення.

4. Перелік питань, що належать до розробки (найменування розділів)  
Принципи і концепти розробки систем збору параметрів ґрунту.  
Архітектура та основні елементи системи збору параметрів ґрунту.  
Програмування та дослідження системи збору параметрів ґрунту.  
Охорона праці.

5. Перелік презентаційних матеріалів (з точним зазначенням обов'язкових креслень)  
Актуальність і мета роботи;  
Функціональна структура інформаційної системи збору параметрів ґрунту;  
Апаратне забезпечення інформаційної системи;  
Алгоритм роботи системи збору параметрів ґрунту;  
Людино-машинний інтерфейс інформаційної системи збору параметрів ґрунту;  
Результати роботи системи;

Висновки.

6. Консультанти розділів роботи

| Розділ        | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата   |                  |
|---------------|-------------------------------------------|----------------|------------------|
|               |                                           | Завдання видав | Завдання прийняв |
| Охорона праці | Топалов А.М., к.т.н., доцент              | 09.02.2026     | 00.00.2026       |

7. Дата видачі завдання: «09» лютого 2026 р.

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

| № з/п | Назва етапів проектування                                        | Термін виконання етапів роботи | Примітка |
|-------|------------------------------------------------------------------|--------------------------------|----------|
| 1.    | Принципи і концепти розробки систем збору параметрів ґрунту.     | 00.00.2026                     | Виконано |
| 2.    | Архітектура та основні елементи системи збору параметрів ґрунту. | 00.00.2026                     | Виконано |
| 3.    | Програмування та дослідження системи збору параметрів ґрунту.    | 00.00.2026                     | Виконано |
| 4.    | Охорона праці.                                                   | 00.00.2026                     | Виконано |

Студент

(підпис)

Дяченко Д. О.  
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Топалов А.М.  
(прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

Актуальність. У сучасних умовах стрімкого розвитку цифрових технологій особливого значення набуває концепція обчислювальної мережі фізичних об'єктів, оснащених вбудованими засобами для взаємодії як між собою, так і з навколишнім середовищем. Однією з провідних технологій сучасності є Інтернет речей (IoT), що являє собою інфраструктуру, сформовану з фізичних пристроїв, сенсорів, контролерів та інших елементів, об'єднаних у єдину мережу для обміну даними та взаємодії з навколишнім середовищем. У загальному випадку IoT включає в себе сукупність гетерогенних пристроїв, які об'єднуються за допомогою різноманітних каналів зв'язку й використовують широкий спектр протоколів для внутрішньої взаємодії. Доступ до глобальної мережі, як правило, забезпечується через Інтернет із застосуванням стандартного мережевого протоколу TCP/IP.

Однією з важливих сфер застосування IoT є екологічний моніторинг, зокрема контроль стану ґрунту. У цьому контексті система датчиків виконує функцію безперервного збору та передачі даних про основні параметри ґрунту, такі як вологість, температура, кислотність та рівень забруднення. Отримані дані надходять до централізованого сервера, де здійснюється їх обробка та аналіз.

Об'єкт дослідження – система оперативного екологічного моніторингу ґрунту.

Предмет дослідження – процес контролю екологічних параметрів ґрунту за допомогою інформаційно-вимірювальної системи.

Мета роботи – розробка інформаційно-вимірювальної системи оперативного екологічного моніторингу ґрунту для збору, обробки та передачі даних про стан ґрунтового середовища.

**Ключові слова:** інформаційно-вимірювальна система, екологічний моніторинг, ґрунт, моніторинг ґрунту, датчики, вимірювання параметрів ґрунту.

## ABSTRACT

In today's rapidly developing digital technologies, the concept of a computing network of physical objects equipped with built-in means for interaction both with each other and with the environment is of particular importance. One of the leading technologies of our time is the Internet of Things (IoT), which is an infrastructure formed from physical devices, sensors, controllers and other elements combined into a single network for data exchange and interaction with the environment. In general, the IoT includes a set of heterogeneous devices that are connected using various communication channels and use a wide range of protocols for internal interaction. Access to the global network is usually provided via the Internet using the standard TCP/IP network protocol. One of the important areas of application of the IoT is environmental monitoring, in particular soil monitoring. In this context, the sensor system performs the function of continuous collection and transmission of data on the main soil parameters, such as humidity, temperature, acidity and pollution level. The received data is sent to a centralized server, where they are processed and analyzed.

The object of the study is the system of operational ecological monitoring of soil.

The subject of the study is the process of monitoring the ecological parameters of soil using an information and measuring system.

The purpose of the work is to develop an information and measuring system of operational ecological monitoring of soil for collecting, processing and transmitting data on the state of the soil environment.

The main tasks of the study are the analysis of modern methods of ecological monitoring of soil, the selection of technical means for measuring soil parameters, the development of the structure of the information and measuring system, the study of the processes of data collection and processing, as well as the assessment of the effectiveness of the functioning of the developed system.

**Keywords:** information and measurement system, environmental monitoring, soil, soil monitoring, sensors, soil parameter measurement.

## ЗМІСТ

|                                                                                                              |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ВСТУП .....                                                                                                  | 8  |
| РОЗДІЛ 1. ПРИНЦИПИ І КОНЦЕПТИ РОЗРОБКИ СИСТЕМ ЗБОРУ ПАРАМЕТРІВ ҐРУНТУ .....                                  | 9  |
| 1.1. Основні типи ґрунтів і їх показники якості.....                                                         | 9  |
| 1.2. Основні екологічні параметри ґрунту.....                                                                | 14 |
| 1.3. Особливості застосування технології Інтернету речей при побудові інформаційних систем збору даних ..... | 25 |
| Висновок за розділом 1 і постановка задачі проектування .....                                                | 33 |
| РОЗДІЛ 2. АРХІТЕКТУРА ТА ОСНОВНІ ЕЛЕМЕНТИ СИСТЕМИ ЗБОРУ ПАРАМЕТРІВ ҐРУНТУ .....                              | 35 |
| 2.1. Аналіз технічних рішень системи збору параметрів ґрунту .....                                           | 35 |
| 2.2. Розроблення функціональної схеми системи збору параметрів ґрунту .....                                  | 40 |
| 2.3. Складові частини функціональної схеми системи збору параметрів ґрунту.....                              | 45 |
| Висновок за розділом 2.....                                                                                  | 55 |
| РОЗДІЛ 3. ПРОГРАМУВАННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ ЗБОРУ ПАРАМЕТРІВ ҐРУНТУ .....                                 | 56 |
| 3.1. Функціональна структура та алгоритм системи оперативного екологічного моніторингу ґрунту .....          | 56 |
| 3.2. Опис обраних бібліотек та мови програмування системи моніторингу параметрів ґрунту.....                 | 62 |
| 3.3. Розробка компонентів веб платформи системи збору параметрів ґрунту ...                                  | 66 |
| Висновки за розділом 3.....                                                                                  | 75 |
| РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ .....                                                                                | 76 |
| 4.1. Нормативно-правова база охорони праці при експлуатації інформаційних систем .....                       | 77 |
| 4.2. Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів при експлуатації інформаційних систем .....          | 78 |

|                                                                           |    |
|---------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.3. Технічні заходи безпеки при експлуатації інформаційної системи ..... | 80 |
| 4.4. Пожежна безпека.....                                                 | 81 |
| Висновки за розділом 4.....                                               | 83 |
| ВИСНОВКИ.....                                                             | 84 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....                                           | 86 |

## ВСТУП

У сучасних умовах стрімкого розвитку цифрових технологій особливого значення набуває концепція обчислювальної мережі фізичних об'єктів, оснащених вбудованими засобами для взаємодії як між собою, так і з навколишнім середовищем. Ця концепція активно впроваджується у різні сфери суспільного життя, сприяючи суттєвій трансформації механізмів управління та організації процесів у соціально-економічних системах.

Однією з провідних технологій сучасності є Інтернет речей (IoT), що являє собою інфраструктуру, сформовану з фізичних пристроїв, сенсорів, контролерів та інших елементів, об'єднаних у єдину мережу для обміну даними та взаємодії з навколишнім середовищем. У загальному випадку IoT включає в себе сукупність гетерогенних пристроїв, які об'єднуються за допомогою різноманітних каналів зв'язку й використовують широкий спектр протоколів для внутрішньої взаємодії. Доступ до глобальної мережі, як правило, забезпечується через Інтернет із застосуванням стандартного мережевого протоколу TCP/IP.

Однією з важливих сфер застосування IoT є екологічний моніторинг, зокрема контроль стану ґрунту. У цьому контексті система датчиків виконує функцію безперервного збору та передачі даних про основні параметри ґрунту, такі як вологість, температура, кислотність та рівень забруднення. Отримані дані надходять до централізованого сервера, де здійснюється їх обробка та аналіз з метою оперативного реагування і прийняття ефективних управлінських рішень.



## **РОЗДІЛ 1. ПРИНЦИПИ І КОНЦЕПТИ РОЗРОБКИ СИСТЕМ ЗБОРУ ПАРАМЕТРІВ ҐРУНТУ**

### **1.1. Основні типи ґрунтів і їх показники якості**

Ґрунт є складною багатокомпонентною системою, що складається з мінеральних частинок, органічних речовин, води, повітря та живих організмів. Його стан визначає продуктивність сільськогосподарських угідь, стійкість природних екосистем та загальний екологічний баланс території [1-3]. Для оцінювання якості та екологічного стану ґрунту використовують низку параметрів, основними з яких є вологість, температура, кислотність (pH), вміст органічних речовин, мінеральний склад, електропровідність та рівень забруднення. Вологість ґрунту характеризує кількість води, що міститься в його структурі, та безпосередньо впливає на розвиток рослин, активність мікроорганізмів і процеси перенесення поживних речовин. Температура ґрунту визначає швидкість біологічних та хімічних процесів, що відбуваються в ньому. Важливим показником також є кислотність ґрунту (pH), від якої залежить доступність поживних речовин для рослин та активність ґрунтової мікрофлори.

Властивості ґрунту значною мірою залежать від його типу та співвідношення основних компонентів – піску, глини та мулу. Саме гранулометричний склад визначає водоутримувальну здатність, повітропроникність, теплопровідність та інші характеристики ґрунту.

Піщані ґрунти характеризуються високим вмістом піску, незначною кількістю глинистих частинок і низьким вмістом гумусу. Вони мають пухку структуру, добре пропускають воду та повітря, швидко прогріваються, проте погано утримують вологу та поживні речовини. Через недостатній запас вологи і органічних компонентів у таких ґрунтах спостерігається низька біологічна активність. Для підтримання родючості необхідне регулярне внесення органічних добрив.

Глинисті ґрунти мають щільну структуру та високий вміст дрібнодисперсних частинок. Вони добре утримують воду, але характеризуються

низькою водо- та повітропроникністю. Надлишок вологи часто призводить до застою води та погіршення умов для розвитку кореневої системи рослин. Після висихання поверхня таких ґрунтів ущільнюється і вкривається твердою кіркою, що ускладнює доступ кисню до коренів та ґрунтових мікроорганізмів.

Кам'яністі ґрунти містять значну кількість каміння та гірських порід. Вони добре прогріваються та швидко відводять надлишок вологи, проте характеризуються низькою родючістю через малий вміст органічних речовин. Поживні елементи та вода в таких ґрунтах затримуються погано, що обмежує можливості їх сільськогосподарського використання.

Торф'яно-болотні ґрунти формуються в умовах надмірного зволоження та містять значну кількість органічних речовин. Вони характеризуються високою вологоємністю та хорошою аерацією, однак часто мають надлишок вологи та нестачу доступних для рослин мінеральних елементів. Такі ґрунти повільно прогріваються через низьку теплопровідність торфу.

Супіщані ґрунти займають проміжне положення між піщаними та суглинними. Вони добре пропускають повітря і воду, водночас здатні утримувати достатню кількість вологи та поживних речовин. Завдяки розвиненій капілярній структурі супіщані ґрунти створюють сприятливі умови для росту та розвитку рослин і характеризуються високою біологічною активністю.

Суглинні ґрунти вважаються найбільш сприятливими для вирощування більшості сільськогосподарських культур. Вони поєднують переваги піщаних і глинистих ґрунтів, маючи оптимальне співвідношення водопроникності, вологоємності та повітропроникності. Суглинні ґрунти багаті на поживні речовини, добре утримують вологу та забезпечують сприятливі умови для життєдіяльності ґрунтових мікроорганізмів.

Для забезпечення ефективного екологічного моніторингу ґрунту необхідно здійснювати постійний контроль його основних параметрів. У сучасних інформаційно-вимірювальних системах для цього використовуються датчики вологості, температури, кислотності та електропровідності ґрунту. Отримані дані дають змогу оперативно оцінювати екологічний стан території, виявляти

негативні зміни та приймати рішення щодо раціонального використання земельних ресурсів.

Порівняння основних компонентів ґрунту наведено у табл. 1.1.

*Таблиця 1.1.*

### **Порівняння Основних Компонентів Ґрунту**

| <b>Пісок (розмір частинок 0,05-2 мм)</b>     | <b>Глина (розмір частинок &lt;0,002 мм)</b>   | <b>Мул (розмір частинок 0,002 – 0,05 мм)</b>                                                               |
|----------------------------------------------|-----------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Легко обробляти                              | Важко обробляти                               | Легко обробляти                                                                                            |
| Бідний поживними речовинами                  | Багатий поживними речовинами                  | Містить достатньо поживних речовин                                                                         |
| Швидко сохне                                 | Сохне повільно, але тріскається при висиханні | Сохне не надто швидко, але тріскається при висиханні і вимагає обробки землі для кращої циркуляції повітря |
| Швидко прогрівається після зими              | Після зими повільно прогрівається             | Швидко прогрівається після зими                                                                            |
| Погано тримає воду                           | Затримує воду занадто довго                   | Добре дренує, але зберігає достатню кількість вологи                                                       |
| Швидкість всмоктування* (0,6 дюйма / годину) | Швидкість всмоктування (0,1 дюйма / годину)   | Швидкість всмоктування (0,3 дюйма / годину)                                                                |
| Ємність поля** (0,1%)                        | Ємність поля (0,357%)                         | Ємність поля (0,255%)                                                                                      |

Для людини ґрунт є найважливішим природним ресурсом. Завдяки живим організмам він забезпечує матеріальну основу нашого існування (продукти харчування, одяг, будівельні матеріали, сировина для багатьох видів промисловості), є фізичним місцем проживання. Ґрунт – це головний засіб сільськогосподарського виробництва і місце поселення людей. Як багатокomпонентна і складно організована екосистема він виконує також ряд різноманітних функцій стосовно живих організмів. Слід зазначити, що багато з цих функцій чітко не зв'язані з відповідними властивостями ґрунту, проте безпосередньо стосуються його родючості та продуктивності біоценозів. На рис. 1.1. показані біогеоценотичні функції ґрунтів.

**Функції ґрунту зумовлені його фізичними властивостями.** Завдяки своїм сприятливим фізичним властивостям ґрунт відіграє роль життєвого простору, житла, сховища, механічної опори, депо насіння тощо. Як на його

поверхні, так і на деякій глибині перезимовує насіння вищих рослин. У ґрунті протягом певного часу зберігаються також цисти, спори багатьох організмів та яйця безхребетних. Навіть при промерзанні ґрунту у ньому тривалий час перебуває багато мікроорганізмів у стані анабіозу. Як середовище для життя ґрунт характеризується значною ізолюваністю і захищеністю від різких змін повітряного середовища. В складі ґрунтового повітря значно менше кисню, ніж в атмосферному повітрі, що створює передумови для окисно-відновних процесів і дає змогу життєздатним структурам функціонувати у властивому їм безкисневому режимі.

У деяких ґрунтах виявлено кількість пулу (запасу) мікробів, не повністю забезпечених органічною речовиною та елементами живлення, що робить їх малоактивними. Однак у такому стані мікроорганізми метаболізують і частково зберігають фізіологічну активність. При надходженні свіжої органічної речовини вони швидко включаються в процеси активної життєдіяльності і починають виконувати властиві їм ґрунтово-екологічні функції. Це явище має велике значення під час інтенсивного розвитку культурних рослин, коли виникає пряма потреба у швидкому процесі мінералізації раніше внесених у ґрунт органічних добрив.

Функції ґрунту зумовлені його хімічними властивостями та фізико-хімічним станом. Фізико-хімічні та агрохімічні властивості ґрунтів виконують ряд функцій у межах біоценозів. Найважливіші з них – сорбція ґрунтовими часточками мікроорганізмів, тонко-дисперсних речовин, а також функція як джерела елементів живлення, енергії та вологи, стимулююча та інгібуюча функції біохімічних процесів. Розглянемо коротко деякі з них.

За речовинним складом ґрунт є гетерогенною системою і складним сорбентом для багатьох організмів. Ця фізико-хімічна властивість забезпечує можливість концентрувати мікроорганізми у величезних кількостях в обмеженому об'ємі. Серед мінералів найбільш сорбційно активними є група монтморилонітів.

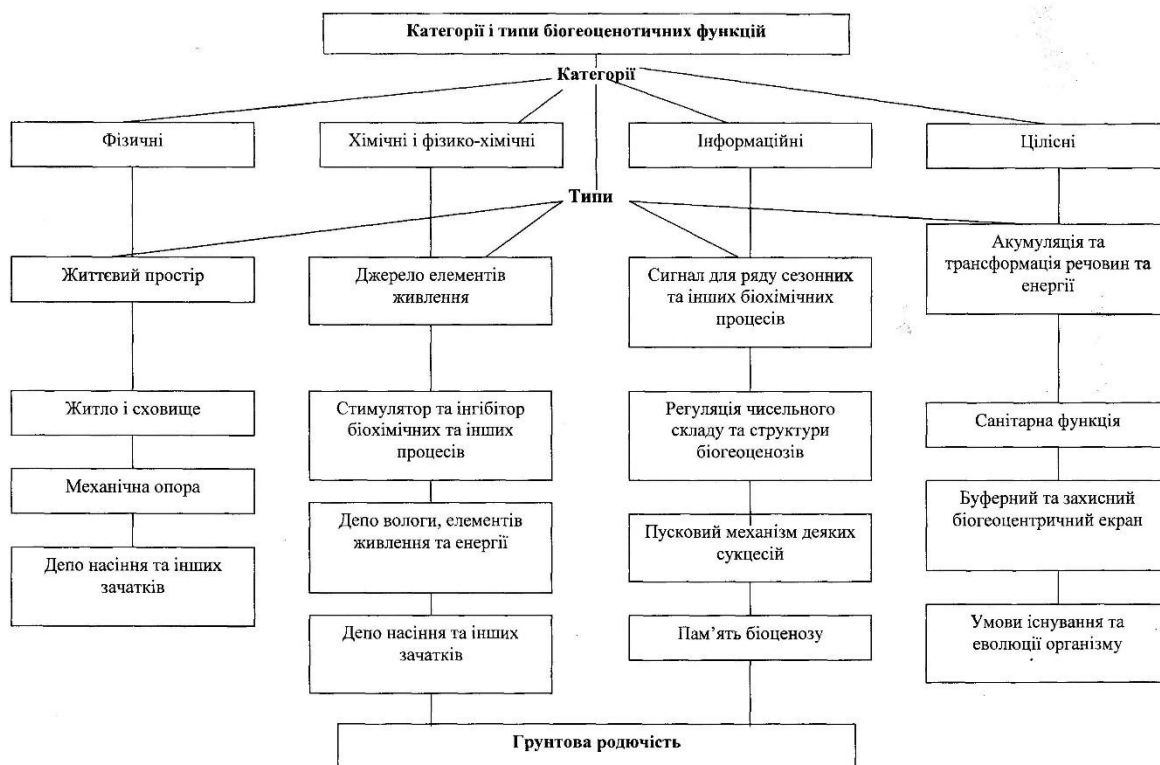


Рис. 1.1. Біогеоцентричні функції ґрунтів

Встановлено, що ґрунти важкого гранулометричного складу із значним вмістом гумусу мають високу сорбційну здатність. Остання залежить як від реакції ґрунтового середовища, так і від рухливості самих організмів. Більш рухливі мікроорганізми зазнають меншої сорбції і навпаки. Ґрунти виявляють сорбційну здатність також відносно тонкодисперсних речовин. Вона пов'язана з величезною активністю поверхні їх елементарних часточок (від кількох до багатьох десятків квадратних метрів на 1 г ґрунту). Колоїдні фракції активно сорбують гази, різні рідини, молекули та іони багатьох речовин. Ґрунт може виявляти здатність до механічної затримки, а також хімічну та обмінну сорбційну здатності. З екологічної точки зору, найбільший інтерес становить остання.

Сорбційні функції ґрунтів обумовлюють своєчасне забезпечення рослин елементами живлення. Однак, поряд з позитивним сорбції можуть давати і негативний ефект. Так, деякі ґрунти з високою вбирною здатністю можуть переводити у важкодоступний для рослин стан значну кількість води та елементи

живлення. Тому для нормального функціонування агроценозів важливо, щоб ґрунтовий вбирний комплекс був оптимальним як у кількісному, так і в якісному відношеннях. В. А. Ковда (1973) вважає, що для більшості сільськогосподарських культур помірної зони фізіологічно оптимальне співвідношення увібраних катіонів має бути наступним:  $\text{Ca}^{2+}$  – 60–70 % від ємності вбирання;  $\text{Mg}^{2+}$  – 10–15 %;  $\text{K}^{+}$  – 3–5 %. Бажана також наявність невеликої кількості водню та інших елементів.

Ще одна з важливих екологічних функцій ґрунту виявляється у тому, що для рослин і мікроорганізмів він є головним джерелом елементів живлення. Цим важливим питанням присвячено спеціальні розділи агрохімії, фізіології рослин. Ґрунтовий покрив має у своєму складі відповідний резерв елементів живлення, енергії та вологи, тобто є їх своєрідним депо. Наявність цього важливого резерву життєдіяльності забезпечує існування організмів, незважаючи на можливі періодичні перерви в надходженні у ґрунт вологи, свіжої органіки та інших поживних речовин. Такий резерв можна розглядати як умову сталої ґрунтової родючості і фактор існування живої речовини.

## **1.2. Основні екологічні параметри ґрунту**

У сучасних умовах антропогенне навантаження на навколишнє середовище постійно зростає. Внаслідок діяльності промислових підприємств, транспортної інфраструктури, інтенсивного використання агрохімікатів та несанкціонованого розміщення відходів шкідливі речовини потрапляють не лише у водні ресурси та атмосферне повітря, але й накопичуються у ґрунті. Забруднення ґрунтового покриву становить серйозну екологічну проблему, оскільки ґрунт є основою природних екосистем і головним середовищем вирощування сільськогосподарських культур.

Саме тому проведення аналізу ґрунту є необхідною умовою для оцінювання його екологічного стану, визначення рівня родючості та виявлення потенційно небезпечних забруднювачів. Особливо актуальним аналіз ґрунту є

під час придбання земельної ділянки, планування будівництва житлових споруд, створення фермерських господарств або закладання садів і городів.

Результати аналізу ґрунту дозволяють визначити:

- придатність земельної ділянки для сільськогосподарського використання;
- рівень родючості ґрунту та його агрохімічні характеристики;
- доцільність вирощування певних видів рослин;
- потребу у внесенні добрив або меліоративних заходах;
- безпечність території для будівництва житлових і громадських об'єктів;
- наявність токсичних речовин та інших забруднювачів;
- можливий вплив екологічних факторів на здоров'я людини.

### **Основні показники аналізу ґрунту**

Комплексне дослідження ґрунту включає визначення фізичних, хімічних, біологічних та екологічних характеристик. Найбільш важливими параметрами є кислотність, вміст органічної речовини, концентрація макро- і мікроелементів, а також наявність токсичних домішок.

### **Кислотність ґрунту (рН)**

Одним із найважливіших показників якості ґрунту є рівень кислотності. Значення рН характеризує концентрацію іонів водню в ґрунтовому розчині та визначає його кислотні або лужні властивості.

Від кислотності безпосередньо залежить:

- доступність поживних речовин для рослин;
- активність ґрунтових мікроорганізмів;
- швидкість розкладання органічних речовин;
- ефективність використання добрив.

Кислотність ґрунту є одним із найважливіших показників його екологічного стану та родючості. Вона характеризує концентрацію іонів водню ( $H^+$ ) у ґрунтовому розчині та визначає кислотні або лужні властивості ґрунту. Для оцінювання кислотності використовується водневий показник рН, значення якого змінюється в межах від 0 до 14. При значенні рН менше 7 ґрунт вважається кислим, при рН = 7 – нейтральним, а при рН більше 7 – лужним.

Кислотність безпосередньо впливає на фізичні, хімічні та біологічні процеси, що відбуваються у ґрунті. Від рівня рН залежить доступність поживних речовин для рослин, інтенсивність діяльності ґрунтових мікроорганізмів, швидкість розкладання органічних речовин, а також ефективність використання мінеральних і органічних добрив. Однією з найважливіших функцій кислотності є регулювання доступності макро- та мікроелементів. При надмірно низьких значеннях рН зменшується доступність фосфору, кальцію, магнію та молібдену, тоді як концентрація алюмінію та марганцю може досягати токсичних для рослин рівнів. У результаті пригнічується ріст кореневої системи, знижується інтенсивність фотосинтезу та погіршується розвиток рослин. За підвищеної лужності ґрунту погіршується засвоєння заліза, бору, цинку, міді та інших мікроелементів. Це призводить до виникнення дефіциту поживних речовин навіть за їх достатньої кількості у ґрунті. У рослин можуть спостерігатися пожовтіння листя, уповільнення росту та зниження врожайності.

Важливу роль кислотність відіграє і в діяльності ґрунтових мікроорганізмів. Більшість корисних бактерій та грибів найкраще розвиваються в нейтральному або слабнокислому середовищі. При значному відхиленні рН від оптимальних значень знижується інтенсивність мінералізації органічних залишків, сповільнюються процеси утворення гумусу та погіршується природне відновлення родючості ґрунту. Значення рН також є важливим показником під час екологічного моніторингу ґрунтів. Різкі зміни кислотності можуть свідчити про забруднення території промисловими відходами, кислотними опадами, надмірним використанням мінеральних добрив або іншими антропогенними факторами. Тому контроль кислотності дозволяє своєчасно виявляти негативні зміни стану ґрунтового середовища та вживати заходів щодо їх усунення.

Для більшості сільськогосподарських культур оптимальними є ґрунти з нейтральною або слабнокислою реакцією середовища. Саме в такому діапазоні забезпечуються найкращі умови для засвоєння поживних речовин, розвитку кореневої системи та життєдіяльності ґрунтових мікроорганізмів. Тому вимірювання та постійний контроль показника рН є одним із ключових завдань



інформаційно-вимірювальних систем оперативного екологічного моніторингу ґрунту.

**Вміст органічної речовини та гумусу [4-6].** Органічна речовина є основою родючості ґрунту. Вона представлена рослинними залишками, продуктами життєдіяльності мікроорганізмів та гумусом.

Гумус виконує низку важливих функцій:

- накопичує поживні речовини;
- покращує структуру ґрунту;
- підвищує вологоутримувальну здатність;
- забезпечує сприятливі умови для розвитку ґрунтової мікрофлори;
- сприяє формуванню стійких ґрунтових агрегатів.

Зниження вмісту гумусу призводить до деградації ґрунтів та погіршення їхніх агрофізичних властивостей.

### **Макроелементи живлення рослин**

Для нормального розвитку рослин особливе значення мають азот, фосфор та калій.

**Азот (N)** бере участь у процесах фотосинтезу та синтезі білків. Його нестача спричиняє уповільнення росту рослин, пожовтіння листя та зниження врожайності.

**Фосфор (P)** відповідає за розвиток кореневої системи, енергетичний обмін і формування плодів. Дефіцит фосфору викликає затримку росту та погіршення репродуктивних процесів.

**Калій (K)** регулює водний баланс рослин, підвищує стійкість до посухи, хвороб і несприятливих кліматичних умов. Його нестача знижує якість урожаю та стійкість рослин до зовнішніх впливів.

Сучасні методи аналізу дозволяють визначати рухомі форми цих елементів, які безпосередньо доступні для рослин.

### **Мікроелементи**

Для повноцінного розвитку рослин необхідні також мікроелементи:

- магній;

- бор;
- марганець;
- цинк;
- мідь;
- сірка;
- залізо.

Незважаючи на невелику потребу рослин у цих елементах, їх нестача або надлишок може негативно впливати на врожайність та якість продукції.

Органічна речовина є одним із найважливіших показників родючості ґрунту та його екологічного стану. Вона формується внаслідок накопичення та перетворення рослинних і тваринних залишків, продуктів життєдіяльності ґрунтових мікроорганізмів, а також різноманітних органічних сполук, що утворюються в процесі біохімічних реакцій. Основною складовою органічної речовини є гумус – складний комплекс високомолекулярних органічних сполук, який формується під час розкладання органічних залишків у ґрунті.

Гумус відіграє надзвичайно важливу роль у забезпеченні родючості ґрунту. Він є своєрідним резервуаром поживних речовин, які поступово вивільняються та стають доступними для рослин. Завдяки цьому підтримується стабільне живлення рослин навіть за несприятливих умов навколишнього середовища. Однією з найважливіших функцій гумусу є покращення структури ґрунту. Органічні сполуки сприяють утворенню міцних ґрунтових агрегатів, що забезпечують оптимальне співвідношення між твердою, рідкою та газоподібною фазами ґрунту. У результаті підвищується водопроникність, покращується аерація та створюються сприятливі умови для розвитку кореневої системи рослин.

Гумус також значно підвищує вологоутримувальну здатність ґрунту. Органічні речовини можуть утримувати велику кількість води, що особливо важливо в умовах недостатнього зволоження. Завдяки цьому рослини отримують необхідну вологу навіть під час тривалих посушливих періодів.

Важливою функцією гумусу є підтримка життєдіяльності ґрунтової мікрофлори. Органічна речовина є джерелом енергії та поживних речовин для бактерій, грибів та інших мікроорганізмів, які беруть участь у процесах мінералізації органічних залишків і кругообігу хімічних елементів. Активна мікробіологічна діяльність сприяє природному відновленню родючості ґрунту та підвищенню його екологічної стійкості. Зниження вмісту гумусу є одним із головних проявів деградації ґрунтів. Причинами цього можуть бути інтенсивне землеробство, ерозійні процеси, надмірне використання мінеральних добрив, вирубування лісів та інші антропогенні фактори. Зменшення кількості органічної речовини призводить до погіршення структури ґрунту, зниження його вологостійкості, зменшення запасів поживних речовин та погіршення умов для розвитку рослин. Таким чином, вміст органічної речовини та гумусу є одним із ключових показників екологічного стану ґрунту і повинен враховуватися під час проведення моніторингу земельних ресурсів.

Для нормального росту та розвитку рослин необхідна наявність у ґрунті достатньої кількості поживних речовин. Найбільше значення серед них мають азот, фосфор і калій, які називають основними макроелементами живлення рослин. Вони беруть участь у найважливіших фізіологічних процесах та визначають продуктивність сільськогосподарських культур.

Азот є одним із головних елементів живлення рослин і входить до складу білків, амінокислот, нуклеїнових кислот, ферментів та хлорофілу. Він безпосередньо бере участь у процесах фотосинтезу, росту клітин і формуванні вегетативної маси. За недостатнього вмісту азоту спостерігається уповільнення росту рослин, пожовтіння листків, зменшення площі листової поверхні та зниження врожайності. Надлишок азоту також небажаний, оскільки може призводити до надмірного росту зеленої маси, накопичення нітратів і погіршення якості продукції.

Фосфор бере участь у процесах енергетичного обміну, синтезі білків і нуклеїнових кислот. Він необхідний для розвитку кореневої системи, утворення квіток, плодів та насіння. За дефіциту фосфору сповільнюється ріст рослин,

погіршується розвиток коренів, затримується цвітіння та дозрівання плодів. Рослини стають менш стійкими до несприятливих умов навколишнього середовища, а врожайність значно знижується.

Калій регулює водний баланс рослин, активує роботу багатьох ферментів і сприяє синтезу вуглеводів. Він підвищує стійкість рослин до посухи, низьких температур, хвороб та шкідників. Недостатній вміст калію призводить до порушення водного режиму рослин, погіршення якості плодів та зниження стійкості до стресових факторів. Рослини стають більш вразливими до захворювань і несприятливих кліматичних умов.

У сучасних системах моніторингу стану ґрунту визначення вмісту рухомих форм азоту, фосфору та калію дозволяє оцінювати рівень родючості та прогнозувати ефективність вирощування сільськогосподарських культур.

Окрім макроелементів, для повноцінного розвитку рослин необхідні мікроелементи, які споживаються у значно менших кількостях, проте виконують важливі фізіологічні функції. До найважливіших мікроелементів належать магній, бор, марганець, цинк, мідь, сірка та залізо. Магній входить до складу молекули хлорофілу та бере участь у процесах фотосинтезу. Його нестача призводить до пожовтіння листків і зниження інтенсивності фотосинтетичних процесів.

Бор необхідний для нормального розвитку клітинних стінок, росту кореневої системи та формування репродуктивних органів рослин. Дефіцит бору часто спричиняє деформацію плодів та уповільнення росту.

Марганець бере участь у фотосинтезі, процесах дихання та синтезі ферментів. Його нестача негативно впливає на розвиток листкового апарату.

Цинк необхідний для синтезу фітогормонів та регулювання ростових процесів. За його дефіциту спостерігається затримка розвитку рослин та зменшення врожайності. Мідь бере участь у процесах окиснення та відновлення, а також підвищує стійкість рослин до грибкових захворювань. Сірка входить до складу білків та ферментів і є важливим елементом азотного обміну. Залізо необхідне для синтезу хлорофілу та нормального перебігу фотосинтетичних

процесів. Його нестача призводить до розвитку хлорозу та пригнічення росту рослин. Незважаючи на те, що потреба рослин у мікроелементах є відносно невеликою, їх нестача або надлишок може суттєво впливати на врожайність, якість продукції та загальний екологічний стан ґрунту. Тому контроль вмісту мікроелементів є важливою складовою систем екологічного моніторингу ґрунтів. Окрім показників родючості, важливе значення мають параметри, що характеризують рівень екологічної безпеки території.

До найбільш небезпечних забруднювачів належать:

- свинець;
- кадмій;
- ртуть;
- хром;
- нікель;
- миш'як.

Джерелами їх надходження є промислові підприємства, автомобільний транспорт, спалювання палива та накопичення відходів. Важкі метали можуть накопичуватися в рослинній продукції та через харчовий ланцюг потрапляти до організму людини.

Важкі метали належать до найбільш небезпечних забруднювачів ґрунту, оскільки характеризуються високою токсичністю, здатністю накопичуватися в навколишньому середовищі та тривалий час зберігатися без суттєвого руйнування. На відміну від багатьох органічних забруднювачів, важкі метали практично не розкладаються природним шляхом, а тому можуть накопичуватися у верхніх шарах ґрунту протягом десятків років. Основними джерелами надходження важких металів у ґрунт є промислові підприємства, металургійні комбінати, теплоелектростанції, автомобільний транспорт, звалища твердих побутових відходів, а також використання деяких мінеральних добрив і пестицидів. Особливо високий рівень забруднення спостерігається поблизу великих промислових центрів та транспортних магістралей.

Свинець є одним із найпоширеніших забруднювачів міських територій. Він негативно впливає на нервову систему людини, особливо дітей, а також може накопичуватися в рослинах і потрапляти до харчового ланцюга.

Кадмій характеризується високою токсичністю навіть у незначних концентраціях. Він здатний накопичуватися в організмі людини та викликати ураження нирок, печінки й кісткової тканини.

Ртуть є одним із найнебезпечніших токсичних елементів. Вона легко переходить у біологічно активні форми та може накопичуватися в живих організмах, викликаючи серйозні порушення функціонування нервової системи. Наявність важких металів у ґрунті призводить до пригнічення життєдіяльності корисних мікроорганізмів, зниження родючості та погіршення екологічного стану території. Саме тому контроль їх концентрації є важливим завданням екологічного моніторингу.

Радіонукліди являють собою нестабільні атоми хімічних елементів, які здатні самовільно розпадатися з випромінюванням іонізуючої радіації. Потрапляючи до ґрунту, вони можуть тривалий час зберігатися в його структурі та брати участь у природних біогеохімічних процесах.

Основними джерелами радіоактивного забруднення ґрунтів є:

- аварії на атомних електростанціях;
- діяльність підприємств ядерної промисловості;
- видобування та переробка радіоактивної сировини;
- випробування ядерної зброї;
- природні геологічні процеси.

Особливу небезпеку становлять такі радіонукліди, як цезій-137, стронцій-90 та плутоній. Вони можуть накопичуватися в рослинах, проникати в організм тварин і людини та спричиняти довготривалий радіаційний вплив. Радіоактивне забруднення негативно впливає на біологічну активність ґрунту, пригнічує розвиток мікроорганізмів і може призводити до порушення природних екосистем. Контроль радіаційного фону особливо важливий для земель сільськогосподарського призначення, територій житлової забудови та

рекреаційних зон. У системах екологічного моніторингу радіаційний контроль дозволяє своєчасно виявляти небезпечні зміни та оцінювати рівень радіаційної безпеки територій.

Однією з найпоширеніших причин хімічного забруднення ґрунтів є надмірне використання мінеральних добрив і засобів захисту рослин. У результаті цього в ґрунті накопичуються нітрати, гербіциди, інсектициди, фунгіциди та інші пестициди. Нітрати є природною формою азотного живлення рослин, однак їх надлишок може становити серйозну екологічну небезпеку. Підвищені концентрації нітратів призводять до забруднення підземних вод та накопичення шкідливих сполук у сільськогосподарській продукції. Пестициди використовуються для боротьби зі шкідниками, бур'янами та хворобами рослин. Незважаючи на їх ефективність, значна частина таких речовин може тривалий час зберігатися в ґрунті та негативно впливати на його екологічний стан.

Надлишок нітратів і пестицидів може спричиняти:

- погіршення якості сільськогосподарської продукції;
- пригнічення розвитку корисної ґрунтової мікрофлори;
- порушення процесів гумусоутворення;
- забруднення поверхневих і підземних вод;
- зниження біологічного різноманіття;
- негативний вплив на здоров'я людини.

Контроль вмісту нітратів і залишкових кількостей пестицидів є необхідною умовою забезпечення екологічної безпеки земельних ресурсів та отримання якісної сільськогосподарської продукції.

Аналіз екологічних параметрів ґрунту представлений на рис. 1.2.

Результати агрохімічного аналізу ґрунту

|                    | №  | Показник                      | Одиниця виміру | Результат | Рівень забезпечення |         |          |         |            |
|--------------------|----|-------------------------------|----------------|-----------|---------------------|---------|----------|---------|------------|
|                    |    |                               |                |           | Наднизький          | Низький | Середній | Високий | Надвисокий |
| Макроел-ти         | 1  | Азот нітратний                | мг/кг          | 25,8      |                     |         |          |         |            |
|                    | 2  | Азот лужногідролізований      | мг/кг          | 132       |                     |         |          |         |            |
|                    | 3  | Фосфор рухомий (по Кірсанову) | мг/кг          | 270       |                     |         |          |         |            |
|                    | 4  | Калій рухомий (по Кірсанову)  | мг/кг          | 34        |                     |         |          |         |            |
| Загальні показники | 5  | Органічна речовина            | %              | 9,9       |                     |         |          |         |            |
|                    | 6  | pH водної витяжки             |                | 5,7       |                     |         |          |         |            |
|                    | 7  | pH сольової витяжки           |                | 5,5       |                     |         |          |         |            |
|                    | 8  | Засоленість загальна          | мг/100г        | 67        |                     |         |          |         |            |
|                    | 9  | Питома електропровідність     | мСм/см         | 0,11      |                     |         |          |         |            |
|                    | 10 | Гідролітична кислотність      | ммоль*екв/100г | 1,90      |                     |         |          |         |            |
|                    | 11 | Сума увібраних основ          | ммоль*екв/100г | 24        |                     |         |          |         |            |
| Мезоел-ти          | 12 | Сірка рухома                  | мг/кг          | 0,9       |                     |         |          |         |            |
|                    | 13 | Кальцій обмінний              | ммоль*екв/100г | 24,0      |                     |         |          |         |            |
|                    | 14 | Магній обмінний               | ммоль*екв/100г | 3,70      |                     |         |          |         |            |
| Мікроелементи      | 15 | Цинк                          | мг/кг          | 0,415     |                     |         |          |         |            |
|                    | 16 | Мідь                          | мг/кг          | 0,700     |                     |         |          |         |            |
|                    | 17 | Кобальт                       | мг/кг          | 2,003     |                     |         |          |         |            |
|                    | 18 | Марганець                     | мг/кг          | 70,700    |                     |         |          |         |            |
|                    | 19 | Молібден                      | мг/кг          | 0,251     |                     |         |          |         |            |
|                    | 20 | Бор                           | мг/кг          | 0,202     |                     |         |          |         |            |

Рис. 1.2. Екологічні параметри ґрунту

Нафтопродукти належать до небезпечних органічних забруднювачів ґрунту. Вони потрапляють у навколишнє середовище внаслідок витоків пального, аварій на трубопроводах, діяльності автотранспорту, автозаправних станцій, нафтобаз і промислових підприємств. Після потрапляння до ґрунту нафтопродукти утворюють на поверхні частинок тонку плівку, яка погіршує проникнення води та кисню. Це призводить до порушення водно-повітряного режиму ґрунту, пригнічення життєдіяльності мікроорганізмів і погіршення умов розвитку рослин.

Забруднення нафтопродуктами супроводжується такими негативними наслідками:

- зменшенням родючості ґрунту;
- порушенням процесів газообміну;
- пригніченням ґрунтової мікрофлори;
- погіршенням росту рослин;
- накопиченням токсичних сполук у навколишньому середовищі.

Феноли є токсичними органічними речовинами, які утворюються під час переробки нафти, виробництва пластмас, лакофарбових матеріалів, синтетичних



смола та інших хімічних продуктів. Навіть у невеликих концентраціях феноли можуть негативно впливати на біологічну активність ґрунту та викликати загибель окремих видів мікроорганізмів.

Наявність фенолів і нафтопродуктів у ґрунті є важливим показником техногенного навантаження на територію. Тому їх контроль входить до переліку основних завдань систем оперативного екологічного моніторингу ґрунтів, що дозволяє своєчасно виявляти джерела забруднення та оцінювати ступінь екологічного ризику.

### **1.3. Особливості застосування технології Інтернету речей при побудові інформаційних систем збору даних**

Для своєчасного виявлення негативних змін екологічного стану ґрунту дедалі ширше застосовуються інформаційно-вимірювальні системи моніторингу [7-10]. Такі системи забезпечують автоматичний збір даних від датчиків вологості, температури, кислотності, електропровідності та інших параметрів. Отримана інформація передається до центрального вузла обробки, де виконується її аналіз та формуються висновки щодо поточного стану ґрунту.

Використання сучасних систем моніторингу дозволяє здійснювати безперервний контроль екологічних показників, оперативно виявляти забруднення та підвищувати ефективність управління земельними ресурсами. Під час проєктування інформаційно-вимірювальної системи оперативного екологічного моніторингу ґрунту важливим етапом є вибір технологій передачі, збору та обробки даних. Така система повинна забезпечувати безперервний контроль основних параметрів ґрунту, зокрема вологості, температури, кислотності (рН), електропровідності, а також інших показників, що характеризують екологічний стан досліджуваної території.

Особливістю систем моніторингу ґрунту є те, що вимірювальні вузли часто розміщуються на значній відстані один від одного або у важкодоступних місцях, де відсутня постійна мережева інфраструктура та джерела живлення. У зв'язку з

чим для передачі даних від сенсорних пристроїв до центрального сервера доцільно використовувати бездротові технології з низьким енергоспоживанням.

Одним із найбільш перспективних напрямів для побудови IoT-рішень є технології LPWAN (Low Power Wide Area Network) — бездротові мережі з низькою потужністю передачі даних і великою дальністю дії. Такі мережі орієнтовані на роботу великої кількості автономних пристроїв, які передають невеликі обсяги інформації через значні проміжки часу.

Використання LPWAN у системах екологічного моніторингу дозволяє організувати збір інформації від розподілених датчиків без необхідності створення складної інфраструктури зв'язку. Основними перевагами даної технології є:

- значна дальність передачі даних;
- низьке енергоспоживання сенсорних вузлів;
- можливість автономної роботи пристроїв протягом тривалого часу;
- висока стійкість до перешкод;
- невисока вартість розгортання та обслуговування мережі;
- можливість підключення великої кількості пристроїв.

Для систем моніторингу ґрунту це особливо актуально, оскільки датчики можуть встановлюватися на великих територіях: у сільськогосподарських угіддях, лісових масивах, промислових зонах або територіях із потенційним екологічним ризиком.

До найбільш поширених технологій LPWAN належать протоколи LoRaWAN, Sigfox та NB-IoT, які використовують різні підходи до організації бездротового зв'язку та мають власні технічні особливості. LoRaWAN (Long Range Wide Area Network) є однією з найбільш поширених технологій для створення IoT-мереж. Вона базується на використанні фізичного рівня LoRa, який забезпечує передачу даних на великі відстані при мінімальному енергоспоживанні.

Основною особливістю LoRa є використання методу модуляції CSS (Chirp Spread Spectrum). Такий метод дозволяє підвищити стійкість сигналу до шумів і

перешкод, забезпечуючи стабільний зв'язок навіть за складних умов поширення радіосигналу. У технології LoRaWAN застосовується параметр коефіцієнта розповсюдження (Spreading Factor, SF), який може змінюватися у межах SF7–SF12. Його значення впливає на швидкість передачі та дальність зв'язку:

- низькі значення SF забезпечують більшу швидкість передачі, але меншу дальність;
- високі значення SF збільшують дальність зв'язку, проте знижують швидкість передачі та збільшують час передачі повідомлення.

Для систем екологічного моніторингу ґрунту LoRaWAN є ефективним рішенням, оскільки більшість сенсорів передають невеликі пакети даних (наприклад, значення вологості або pH), що не потребує високої швидкості передачі.

Архітектура LoRaWAN складається з декількох основних компонентів:

- кінцеві пристрої (датчики), які здійснюють вимірювання;
- шлюзи, що приймають сигнали від сенсорів;
- мережевий сервер, який обробляє отриману інформацію;
- сервер додатків, де здійснюється аналіз та візуалізація даних.

Sigfox — це ще одна енергоефективна LPWAN-технологія, орієнтована на передачу невеликих обсягів даних на великі відстані. Вона працює у неліцензованому діапазоні частот ISM та використовує технологію Ultra Narrow Band (UNB).

Основною перевагою Sigfox є дуже низьке енергоспоживання кінцевих пристроїв, що дозволяє використовувати автономні сенсори з тривалим терміном роботи від батарей. Передача даних у Sigfox відбувається у вигляді коротких повідомлень від кінцевого пристрою до базової станції. Такий підхід дозволяє значно зменшити енергетичні витрати, але водночас обмежує обсяг інформації, яку можна передати.

До переваг Sigfox належать:

- простота розгортання мережі;
- низьке енергоспоживання;

- велика зона покриття;
- невисока вартість сенсорних пристроїв.

Недоліком є обмежена кількість повідомлень та невисока швидкість передачі, що може бути критичним для систем, які потребують частого оновлення даних.

NB-IoT (Narrow Band Internet of Things) — це технологія LPWAN, яка працює у ліцензованих частотних діапазонах операторських мереж і базується на технологіях мобільного зв'язку LTE. На відміну від LoRaWAN і Sigfox, NB-IoT використовує вже існуючу інфраструктуру мобільних мереж, що дозволяє забезпечити широке покриття без створення окремої мережі передачі даних.

NB-IoT характеризується:

- високою надійністю передачі інформації;
- захищеним каналом зв'язку;
- можливістю підключення великої кількості пристроїв;
- низьким енергоспоживанням;
- стабільною роботою у міських та промислових умовах.

Технологія може працювати у декількох режимах:

- автономний режим, коли використовується окремий частотний діапазон;
- режим використання захисної смуги LTE;
- режим розміщення всередині LTE-діапазону.

Для систем екологічного моніторингу ґрунту NB-IoT є перспективним рішенням у випадках, коли необхідно забезпечити гарантований зв'язок між віддаленими сенсорними вузлами та сервером обробки даних.

Проведений аналіз показує, що кожна технологія має власну сферу застосування. LoRaWAN є доцільним для приватних мереж моніторингу великих територій, де необхідно контролювати значну кількість датчиків. Sigfox підходить для систем із низькою інтенсивністю передачі даних та максимальною автономністю пристроїв. NB-IoT забезпечує високу надійність та може використовуватися там, де доступна інфраструктура мобільного зв'язку.

Таким чином, вибір конкретної технології передачі даних залежить від умов експлуатації системи, кількості сенсорів, вимог до частоти оновлення інформації та енергоспоживання. Для інформаційно-вимірювальної системи оперативного екологічного моніторингу ґрунту застосування LPWAN-технологій дозволяє створити масштабовану, енергоефективну та надійну IoT-інфраструктуру збору екологічних даних. Порівняння технологій наведено у табл. 1.2.

Таблиця 1.2.

### Порівняння Технологій

|                                         | Технології                                                                     |                                 |                                         |
|-----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------------|
|                                         | LoRaWAN                                                                        | Sigfox                          | NB-IoT                                  |
| Робоча частота                          | 433, 868, 780, 915 МГц                                                         | 865 – 924 МГц                   | 700 – 900 МГц                           |
| Пропускна здатність                     | 7.8 – 500 kHz                                                                  | 100 Hz                          | 180 kHz                                 |
| Максимальний розмір пакета              | до 255 байт                                                                    | 12 байт                         | до 160 байт                             |
| Максимальна швидкість передавання даних | до 50 кбіт/с у режимі пристроїв типу «Class A», до 1 Мбіт/с у режимі «Class C» | до 100 біт/с                    | до 250 кбіт/с                           |
| Зона покриття (відкрита місцевість)     | 18 км                                                                          | 50 км                           | 100 км                                  |
| Зона покриття (щільна забудова)         | 5 км                                                                           | 10 км                           | 10-15 км                                |
| Топологія мережі                        | mesh-топологія, зірка                                                          | зірка                           | зірка                                   |
| Шифрування                              | AES-128                                                                        | AES-128                         | 3GPP 128-256 біт                        |
| Потужність передачі                     | 14 дБм, 27 дБм                                                                 | 14 дБм, 27 дБм                  | 20 – 23 дБм                             |
| Споживання енергії                      | від кількох мкВт до кількох мВт                                                | від кількох мкВт до кількох мВт | від кількох мВт до кількох десятків мВт |
| Радіус дії базової станції/шлюзу        | 2-10 км                                                                        | 3-40 км                         | 5-10 км                                 |

Структура мережі LoRaWAN (Long Range Wide Area Network) має розподілену архітектуру та базується на взаємодії декількох основних компонентів. Загальна структура такої мережі складається з трьох основних рівнів: кінцевих пристроїв, шлюзів та мережевого сервера. Така організація дозволяє розділити функції вимірювання, передачі та обробки інформації, забезпечуючи високу масштабованість і надійність системи. Структуру мережі LoRaWAN подано на рисунку 1.

Перший рівень мережі LoRaWAN утворюють кінцеві пристрої (End Nodes), які безпосередньо виконують збір інформації з навколишнього

середовища. У системі екологічного моніторингу ґрунту такими пристроями можуть бути сенсорні модулі, оснащені датчиками вологості, температури, кислотності (pH), електропровідності та іншими вимірювальними елементами. Кінцевий пристрій здійснює перетворення фізичних параметрів ґрунту у цифрові значення, після чого передає отримані дані за допомогою радіоканалу LoRa. Основною вимогою до таких пристроїв є мінімальне енергоспоживання, оскільки вони часто встановлюються у віддалених місцях і можуть працювати від автономних джерел живлення протягом тривалого часу.

Другим рівнем мережі є шлюзи (Gateways), які забезпечують зв'язок між кінцевими пристроями та серверною частиною системи. Шлюз приймає сигнали від великої кількості сенсорних вузлів, виконує первинну обробку отриманих повідомлень та передає інформацію через мережу Інтернет до мережевого сервера. Особливістю LoRaWAN є те, що один шлюз здатний одночасно обслуговувати велику кількість пристроїв, що робить цю технологію ефективною для моніторингу великих територій, таких як сільськогосподарські угіддя, природні зони або промислові об'єкти. Для системи контролю ґрунту це дозволяє створити розподілену мережу сенсорів, які можуть збирати інформацію з різних ділянок та передавати її до єдиного центру аналізу.

Третім рівнем архітектури LoRaWAN є мережевий сервер (Network Server), який виконує функції управління мережею, контролю передачі даних та забезпечення безпеки інформаційного обміну. Сервер здійснює перевірку отриманих повідомлень, видаляє дублікати, контролює якість сигналу та забезпечує правильну маршрутизацію даних. Після обробки інформація може передаватися до серверів прикладного рівня, де виконується аналіз екологічних показників, зберігання результатів вимірювань та формування звітів для користувача.

Передача даних у мережі LoRaWAN (рис. 1.3.) відбувається за принципом «зірка із зірок», коли кінцеві пристрої не взаємодіють між собою напряму, а передають інформацію через шлюзи. Такий підхід дозволяє знизити складність мережі, зменшити енергоспоживання сенсорів та забезпечити можливість

подальшого розширення системи. Для екологічного моніторингу ґрунту це є важливою перевагою, оскільки кількість контрольованих ділянок може збільшуватися без необхідності значної зміни структури мережі.

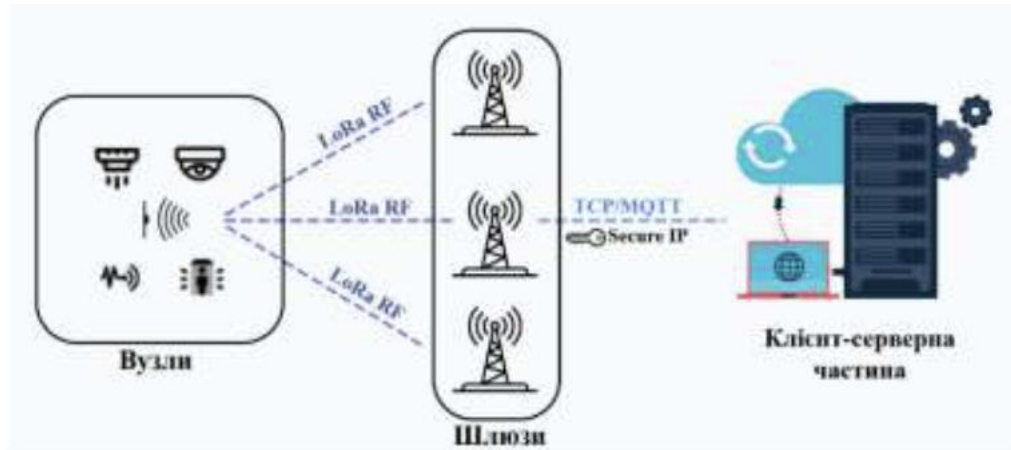


Рис. 1.3. Структура мережі LoRaWAN

Технологія Sigfox також належить до класу LPWAN-рішень та має схожу загальну концепцію побудови мережі. Вона включає кінцеві пристрої з сенсорами, базові станції та серверну платформу для обробки інформації. Сенсорні пристрої Sigfox здійснюють вимірювання параметрів навколишнього середовища та передають короткі повідомлення до базових станцій. Після отримання дані передаються до хмарної інфраструктури, де відбувається їх подальший аналіз.

Основною особливістю Sigfox (рис. 1.4.) є використання технології Ultra Narrow Band, яка дозволяє забезпечити значну дальність передачі при мінімальному енергоспоживанні. Завдяки цьому автономні пристрої можуть працювати протягом декількох років без заміни джерела живлення. Така особливість робить Sigfox придатною для систем, де необхідно періодично передавати невеликі обсяги інформації, наприклад значення вологості або температури ґрунту. Разом із тим обмеження щодо кількості повідомлень та швидкості передачі можуть бути недоліком у випадках, коли необхідно отримувати дані у режимі реального часу.

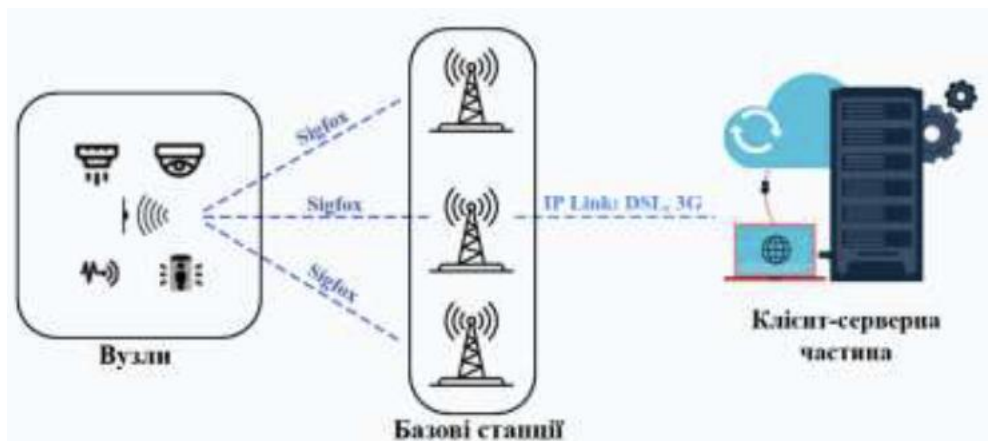


Рис. 1.4. Структура мережі Sigfox

Архітектура мережі NB-IoT (Narrow Band Internet of Things) відрізняється тим, що вона використовує існуючу інфраструктуру мобільного зв'язку. До складу такої мережі входять сенсорні пристрої NB-IoT, базові станції мобільного оператора, ядро мережі та серверна система обробки даних. На відміну від LoRaWAN і Sigfox, NB-IoT працює у ліцензованих частотних діапазонах, що забезпечує більш високий рівень надійності та захищеності передачі інформації.

Для систем екологічного моніторингу ґрунту використання NB-IoT є доцільним у випадках, коли необхідна гарантована доставка даних і територія має покриття мобільної мережі. Перевагами цієї технології є стабільний зв'язок, можливість підключення великої кількості пристроїв та сумісність із сучасною телекомунікаційною інфраструктурою.

Таким чином, технології LoRaWAN, Sigfox та NB-IoT мають різні підходи до організації передачі даних, проте всі вони можуть бути використані як основа для створення інформаційно-вимірювальної системи оперативного екологічного моніторингу ґрунту. Вибір конкретної технології залежить від площі контрольованої території, кількості сенсорних вузлів, необхідної частоти оновлення інформації та вимог до енергоспоживання системи.



## **Висновки за розділом 1 і постановка задачі проектування**

У першому розділі було проведено аналіз сучасних підходів до екологічного моніторингу ґрунтів, досліджено основні показники якості ґрунту та розглянуто сучасні інформаційно-комунікаційні технології, що застосовуються для збору, передачі та обробки екологічних даних. Встановлено, що стан ґрунту є одним із найважливіших факторів, які визначають ефективність сільськогосподарського виробництва, екологічну безпеку територій та якість навколишнього середовища загалом.

Проведений аналіз показав, що для оцінювання екологічного стану ґрунтів необхідно здійснювати контроль комплексу фізичних, хімічних та екологічних параметрів. До основних показників належать кислотність (pH), вологість, температура, вміст органічної речовини та гумусу, концентрація макро- і мікроелементів, а також рівень забруднення важкими металами, нітратами, пестицидами, нафтопродуктами та іншими небезпечними речовинами. Своєчасне виявлення змін цих показників дозволяє оперативно реагувати на негативні процеси деградації ґрунтів і приймати обґрунтовані управлінські рішення.

Аналіз існуючих систем моніторингу показав, що традиційні методи лабораторних досліджень характеризуються високою точністю, проте потребують значних часових і матеріальних витрат та не забезпечують безперервного контролю стану ґрунту. Використання технологій Інтернету речей дозволяє організувати автоматизований збір даних у режимі реального часу, що значно підвищує оперативність отримання інформації та ефективність екологічного моніторингу.

Особливу увагу було приділено технологіям бездротового зв'язку класу LPWAN, серед яких розглянуто LoRaWAN, NB-IoT та Sigfox. Порівняльний аналіз показав, що для побудови розподіленої інформаційно-вимірювальної системи екологічного моніторингу ґрунту найбільш доцільним є використання технології LoRaWAN, яка поєднує значну дальність передачі даних, низьке

енергоспоживання, невисоку вартість впровадження та можливість автономної роботи вимірювальних вузлів протягом тривалого часу.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- провести аналіз основних екологічних параметрів ґрунту, що підлягають моніторингу;
- обґрунтувати вибір архітектури інформаційно-вимірювальної системи та технології передачі даних;
- обрати апаратні компоненти системи, зокрема сенсори, мікроконтролер, модуль бездротового зв'язку та серверне обладнання;
- розробити структурну та функціональну схеми інформаційно-вимірювальної системи;
- розробити програмне забезпечення для збору, передачі, обробки та збереження результатів вимірювань;
- реалізувати засоби візуалізації та аналізу даних екологічного моніторингу;
- дослідити ефективність функціонування системи та оцінити точність отриманих результатів;
- розглянути питання охорони праці під час експлуатації системи.

Реалізація поставлених завдань дозволить створити сучасну інформаційно-вимірювальну систему оперативного екологічного моніторингу ґрунту, яка забезпечить автоматизований контроль екологічного стану земельних ресурсів, підвищить оперативність отримання інформації та сприятиме прийняттю ефективних рішень щодо раціонального використання і охорони ґрунтів.

## **РОЗДІЛ 2. АРХІТЕКТУРА ТА ОСНОВНІ ЕЛЕМЕНТИ СИСТЕМИ ЗБОРУ ПАРАМЕТРІВ ҐРУНТУ**

### **2.1. Аналіз технічних рішень системи збору параметрів ґрунту**

Збір даних із віддалених точок, розташованих на значних територіях, є одним із найефективніших способів здійснення оперативного екологічного моніторингу ґрунтів. Сучасні технології Інтернету речей дозволяють організувати безперервне спостереження за станом ґрунтового покриву, автоматично збирати інформацію з великої кількості вимірювальних вузлів та оперативно передавати її до центрів обробки даних. Особливо актуальними такі системи є для сільськогосподарських угідь, природоохоронних територій, промислових зон та ділянок із підвищеним ризиком техногенного забруднення.

Ефективне управління земельними ресурсами потребує постійного контролю фізичних, хімічних та екологічних характеристик ґрунту. Традиційні лабораторні методи аналізу забезпечують високу точність результатів, проте вимагають значних часових і фінансових витрат. Натомість сучасні інформаційно-вимірювальні системи дозволяють здійснювати моніторинг у режимі реального часу, що значно підвищує швидкість виявлення небезпечних змін екологічного стану територій. Система моніторингу ґрунту на основі технології Інтернету речей складається з декількох взаємопов'язаних компонентів, які забезпечують повний цикл збору, передачі, обробки та візуалізації інформації. Першим елементом системи є сенсорний рівень, представлений набором датчиків, призначених для вимірювання основних параметрів ґрунту. Залежно від поставлених завдань можуть використовуватися датчики вологості, температури, кислотності (рН), електропровідності, вмісту органічної речовини, концентрації азоту, фосфору та калію, а також сенсори для контролю рівня забруднення важкими металами чи іншими шкідливими речовинами. Отримані значення формують первинну інформацію про поточний стан ґрунту та є основою для подальшого аналізу.

Інформація від сенсорів надходить до пристрою збору та первинної обробки даних. Як правило, цю функцію виконують мікроконтролери або одноплатні комп'ютери, які забезпечують зчитування показників датчиків, їх попередню обробку, фільтрацію випадкових похибок та підготовку до передачі каналами зв'язку. Крім того, на цьому рівні можуть реалізовуватися алгоритми локального аналізу даних та енергозбереження, що особливо важливо для автономних систем, які працюють від акумуляторів або сонячних батарей.

Для передачі інформації від віддалених вимірювальних вузлів до центральної системи моніторингу використовуються бездротові технології зв'язку класу LPWAN (Low Power Wide Area Network). Серед них найбільше поширення отримали LoRaWAN, NB-IoT та Sigfox. Дані технології забезпечують передачу невеликих обсягів інформації на великі відстані при мінімальному енергоспоживанні, що робить їх придатними для побудови екологічних систем моніторингу. Однією з найпоширеніших технологій є LoRaWAN, яка працює у неліцензованому частотному діапазоні та забезпечує значну дальність зв'язку при низькому енергоспоживанні. Завдяки цьому сенсорні вузли можуть функціонувати автономно протягом тривалого часу без заміни джерела живлення. Передача інформації здійснюється через спеціальні шлюзи, які приймають дані від датчиків та передають їх через мережу Інтернет до серверів обробки інформації.

Наступним рівнем системи є хмарне середовище або серверна платформа. Саме тут виконується централізоване зберігання отриманих даних, їх аналіз, архівування та формування статистичних звітів. Хмарні технології забезпечують можливість масштабування системи, підключення великої кількості сенсорних вузлів та доступ до інформації з будь-якої точки світу. Крім того, сервер може реалізовувати алгоритми прогнозування змін екологічного стану ґрунту, автоматичного виявлення аномалій та формування попереджень про перевищення встановлених нормативів.

Завершальним етапом роботи системи є візуалізація інформації для користувача. Для цього використовуються вебінтерфейси або мобільні

застосунки, які дозволяють переглядати поточні показники датчиків, аналізувати історичні дані, будувати графіки зміни параметрів та отримувати повідомлення про критичні ситуації. Такий підхід значно спрощує процес прийняття рішень щодо використання земельних ресурсів та проведення природоохоронних заходів.

У сучасних умовах посилення антропогенного навантаження на довкілля питання оперативного контролю стану ґрунтів набуває особливої актуальності. Забруднення важкими металами, пестицидами, нафтопродуктами, радіонуклідами та іншими токсичними речовинами може суттєво впливати на родючість земель, якість сільськогосподарської продукції та стан здоров'я населення. Використання технологій Інтернету речей дозволяє створювати ефективні системи екологічного моніторингу, які забезпечують своєчасне виявлення негативних змін та сприяють підвищенню екологічної безпеки територій. Порівняльний аналіз сучасних технологій передачі даних показує, що для побудови розподіленої інформаційно-вимірювальної системи моніторингу ґрунту найбільш доцільним є використання технології LoRaWAN. Вона забезпечує оптимальне співвідношення між дальністю зв'язку, енергоспоживанням, вартістю обладнання та можливістю масштабування мережі. Крім того, технологія підтримує роботу великої кількості сенсорних пристроїв та не потребує використання ліцензованих частотних ресурсів.

Для реалізації вимірювальних вузлів доцільно використовувати сучасні мікроконтролери сімейства ESP32 або одноплатні комп'ютери Raspberry Pi, які мають достатню обчислювальну потужність для збору, обробки та передачі даних від сенсорів. Поєднання таких пристроїв із модулями LoRa забезпечує створення надійної та енергоефективної інформаційно-вимірювальної системи оперативного екологічного моніторингу ґрунту.



а



б



Рисунок 1.5 – апаратне забезпечення: а) Raspberry pi; б) ESP32

Така апаратна конфігурація забезпечує 128-бітне шифрування даних, можливість роботи в режимі глибокого сну та великий радіус дії сигналу.

Для побудови сучасної інформаційно-вимірювальної системи оперативного екологічного моніторингу ґрунту важливу роль відіграє вибір обчислювальної платформи, яка забезпечує збір, обробку, зберігання та передачу даних від вимірювальних пристроїв. Одним із найбільш поширених рішень для реалізації таких систем є одноплатні комп'ютери, зокрема сімейство Raspberry Pi. Дані пристрої поєднують компактні розміри, достатню обчислювальну потужність та широкий набір інтерфейсів для взаємодії із сенсорами, модулями зв'язку та зовнішніми інформаційними системами. Одноплатний комп'ютер являє собою повноцінну обчислювальну систему, розміщену на одній друкованій платі, яка містить центральний процесор, оперативну пам'ять, графічний адаптер, інтерфейси введення-виведення та засоби підключення до локальних і глобальних мереж. На відміну від мікроконтролерів, Raspberry Pi підтримує повноцінні операційні системи сімейства Linux, що значно розширює можливості обробки інформації та інтеграції з різноманітними програмними платформами.

У системах екологічного моніторингу ґрунту Raspberry Pi може виконувати функції локального сервера збору даних, шлюзу передачі інформації або центрального вузла обробки результатів вимірювань. Завдяки достатній обчислювальній потужності пристрій здатний одночасно здійснювати

приймання інформації від великої кількості сенсорів, виконувати її попередню обробку, аналіз та передачу до віддалених серверів або хмарних платформ.

Для побудови автономних вимірювальних вузлів поряд із Raspberry Pi широко використовуються мікроконтролери сімейства ESP32. Дані пристрої характеризуються низьким енергоспоживанням, підтримкою бездротових технологій зв'язку та можливістю роботи від автономних джерел живлення. Поєднання ESP32 із модулем LoRa забезпечує створення енергоефективних вузлів збору даних, придатних для довготривалої роботи в польових умовах.

Для контролю екологічного стану ґрунту до складу вимірювального вузла можуть входити різноманітні сенсори. Найбільш поширеними є датчики вологості ґрунту, температури, кислотності (pH), електропровідності, концентрації мінеральних речовин та вмісту поживних елементів. У разі необхідності система може бути доповнена датчиками контролю забруднення важкими металами, нітратами або іншими небезпечними речовинами. Отримані значення передаються до мікроконтролера, де проходять первинну обробку та підготовку до подальшої передачі.

Для забезпечення автономної роботи система може комплектуватися літій-іонними акумуляторами типу 18650, модулями заряджання TP4056 та сонячними панелями. Така конфігурація дозволяє експлуатувати вимірювальні вузли протягом тривалого часу без необхідності регулярного технічного обслуговування. Особливого значення набуває використання режимів енергозбереження та глибокого сну (Deep Sleep), які дозволяють суттєво зменшити споживання електроенергії між циклами вимірювання.

Передача інформації від сенсорних вузлів здійснюється до шлюзу. Шлюз приймає інформацію та передає її до мережі Інтернет через Ethernet, Wi-Fi або мобільний зв'язок стандартів 3G, 4G LTE чи 5G. Завдяки широкому покриттю мобільних мереж та доступності телекомунікаційної інфраструктури такий підхід забезпечує стабільний зв'язок навіть у віддалених районах.

На програмному рівні ефективним рішенням для розгортання мережі LoRaWAN є платформа ChirpStack. Це програмне забезпечення з відкритим

вихідним кодом, яке забезпечує управління шлюзами, реєстрацію кінцевих пристроїв, маршрутизацію повідомлень та інтеграцію із зовнішніми сервісами. Архітектура ChirpStack включає декілька взаємопов'язаних компонентів: Gateway Bridge, який забезпечує обмін даними між шлюзами та сервером; Network Server, що відповідає за обробку пакетів LoRaWAN; та Application Server, який надає доступ до даних користувачам і прикладним програмам. Для обміну повідомленнями між компонентами системи широко використовується протокол MQTT, який характеризується низьким мережевим навантаженням та високою ефективністю під час роботи з IoT-пристроями. Тимчасове зберігання інформації може здійснюватися за допомогою Redis, тоді як довгострокове зберігання результатів вимірювань реалізується в реляційних базах даних, наприклад PostgreSQL.

У процесі роботи сенсорний вузол виконує цикл вимірювання параметрів ґрунту, передає отримані значення до сервера та переходить у режим енергозбереження. Отримані дані надходять до системи моніторингу, де проходять обробку, архівування та візуалізацію. Для представлення результатів можуть використовуватися програмні платформи Node-RED, Grafana або спеціалізовані вебзастосунки. Користувач отримує можливість спостерігати за зміною параметрів ґрунту в режимі реального часу, аналізувати історичні дані, будувати графіки та отримувати сповіщення про перевищення встановлених нормативних значень.

## **2.2. Розроблення функціональної схеми системи збору параметрів ґрунту**

Гідрометеорологічні служби, науково-дослідні установи, природоохоронні організації та сільськогосподарські підприємства постійно здійснюють збір, обробку та аналіз інформації про стан ґрунтів і навколишнього середовища. Традиційні методи моніторингу часто потребують значних трудових ресурсів, регулярного відбору проб та проведення лабораторних досліджень, що збільшує



витрати часу й коштів та не дозволяє оперативно отримувати інформацію про зміни екологічного стану територій.

Сучасний розвиток технологій Інтернету речей (IoT) відкриває нові можливості для автоматизації процесів екологічного моніторингу ґрунту (рисунок 2.1). Використання розподілених мереж сенсорів, бездротових каналів зв'язку та хмарних платформ забезпечує безперервний збір даних без безпосередньої участі людини. Отримана інформація автоматично передається до центрів обробки, де виконується її аналіз, зберігання та візуалізація в режимі реального часу. Такий підхід дозволяє значно зменшити обсяг ручної праці, підвищити оперативність отримання результатів, знизити вартість моніторингу та покращити якість прийняття управлінських рішень.

У системах оперативного екологічного моніторингу ґрунту особливе значення мають вимірювальні вузли, оснащені датчиками контролю основних параметрів ґрунту. До таких параметрів належать вологість, температура, кислотність (pH), електропровідність, вміст поживних речовин та інші показники, що характеризують родючість і екологічний стан земель. Дані з датчиків надходять до мікроконтролерів або одноплатних комп'ютерів, які виконують їх попередню обробку та передають через бездротові мережі WiFi, NB-IoT або інші IoT-технології до серверів моніторингу.

Однією з ключових задач під час створення інформаційно-вимірювальних систем екологічного моніторингу є розробка та вибір надійних датчиків вологості ґрунту. Вологість є одним із найважливіших показників, що впливає на розвиток рослин, активність ґрунтових мікроорганізмів та ефективність використання водних ресурсів. Саме тому забезпечення точного, стабільного та довготривалого вимірювання вологості ґрунту є важливою умовою побудови ефективної IoT-системи оперативного екологічного моніторингу.

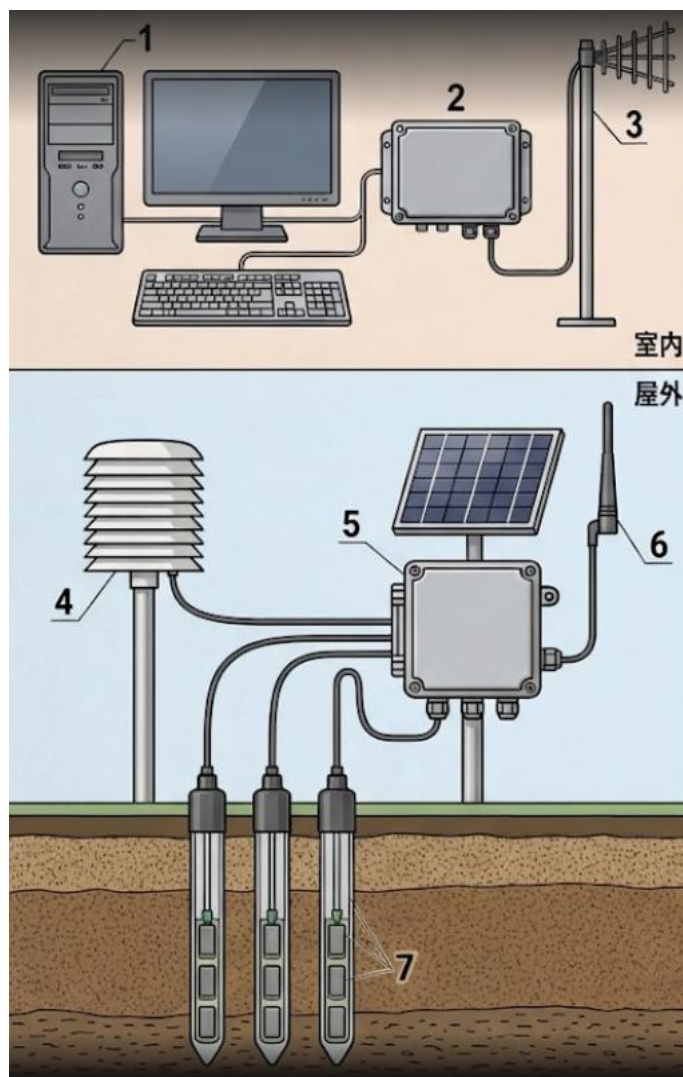


Рис. 2.1 - Автоматизований агрометеорологічний пост (ААП) 1 - ПК , 2 - радіоприймач, 3 - приймальна антена, 4 – блок датчиків вологості і температури повітря, 5 - аналогово-цифровий перетворювач разом з радіопередавачем, 6 - передавальна антена, 7-датчики.

Моніторинг ґрунту є важливою складовою систем екологічного контролю та раціонального використання земельних ресурсів. Стан ґрунту безпосередньо впливає на продуктивність сільського господарства, розвиток рослин, якість вирощуваної продукції та загальну екологічну безпеку територій. Сучасні інформаційно-вимірювальні системи на основі технологій Інтернету речей (IoT) дозволяють здійснювати безперервний контроль основних параметрів ґрунту в режимі реального часу, що забезпечує своєчасне виявлення негативних змін та оперативне прийняття рішень.

Структура IoT-системи моніторингу ґрунту включає сенсорний вузол, мікроконтролер [11-15] або одноплатний комп'ютер, модуль бездротового зв'язку, шлюз передачі даних, сервер обробки інформації та інтерфейс користувача. Сенсорний вузол виконує вимірювання параметрів ґрунту, після чого отримані дані передаються до центрального сервера. На сервері відбувається накопичення, обробка, аналіз та візуалізація інформації. Користувач отримує доступ до результатів вимірювань через вебінтерфейс або мобільний застосунок.

Одним із найважливіших параметрів моніторингу є вологість ґрунту. Вона характеризує кількість води, що міститься у ґрунті, та визначає умови розвитку рослин і ґрунтових мікроорганізмів. Від рівня вологості залежить доступність поживних речовин для кореневої системи, швидкість біохімічних процесів та ефективність використання добрив. Недостатня кількість вологи призводить до уповільнення росту рослин, зниження врожайності та погіршення біологічної активності ґрунту. Надлишок вологи може викликати застій води, дефіцит кисню в кореневій зоні та розвиток процесів гниття.

Для оцінювання стану ґрунту прийнято виділяти декілька рівнів вологості. Значення менше 30 % свідчать про сухий стан ґрунту та потребу в додатковому зрошенні. Діапазон від 30 % до 60 % вважається оптимальним для більшості сільськогосподарських культур. Вологість у межах 60–80 % характеризує підвищений вміст води, тоді як значення понад 80 % можуть вказувати на перезволоження території та порушення водно-повітряного режиму ґрунту.

Не менш важливим показником є кислотність ґрунту, яка характеризується значенням рН. Кислотність впливає на доступність поживних елементів, активність ґрунтової мікрофлори та ефективність використання добрив. Більшість рослин найкраще розвивається у слабнокислих або нейтральних ґрунтах. При низьких значеннях рН збільшується рухливість деяких токсичних сполук, що може пригнічувати розвиток кореневої системи. У лужному середовищі погіршується засвоєння мікроелементів, зокрема заліза, марганцю та цинку.

Ґрунти зі значенням рН нижче 6 вважаються кислими. Інтервал від 6 до 7 є найбільш сприятливим для більшості культурних рослин. Значення від 7 до 8 характеризують слабколужне середовище, а показники понад 8 свідчать про надмірну лужність, яка може негативно впливати на родючість земель.

Температура ґрунту є ще одним важливим параметром моніторингу. Вона визначає швидкість проростання насіння, розвиток кореневої системи, інтенсивність життєдіяльності мікроорганізмів та перебіг біохімічних процесів. Температурний режим впливає на швидкість мінералізації органічних речовин і засвоєння поживних елементів рослинами.

Температура нижче 10 °С вважається низькою та може суттєво уповільнювати розвиток рослин. Діапазон від 10 до 20 °С є сприятливим для більшості польових культур. Температури від 20 до 30 °С забезпечують інтенсивний розвиток рослин за умови достатнього зволоження. Перевищення температури понад 30 °С може призводити до перегрівання кореневої системи, порушення водного балансу та зниження врожайності.

Крім основних фізичних параметрів, сучасні системи моніторингу можуть контролювати електропровідність ґрунту. Цей показник використовується для оцінювання рівня засоленості та концентрації розчинених мінеральних речовин. Підвищена електропровідність може свідчити про надлишкове накопичення солей, що негативно впливає на розвиток рослин і знижує родючість земель.

Важливим напрямом екологічного моніторингу є контроль забруднення ґрунтів небезпечними речовинами. До основних забруднювачів належать важкі метали (свинець, кадмій, ртуть, нікель, хром), нітрати, пестициди, гербіциди, нафтопродукти та радіонукліди. Такі речовини можуть накопичуватися у верхніх шарах ґрунту, потрапляти до рослинної продукції та через харчові ланцюги впливати на здоров'я людини. Для контролю екологічного стану територій інформаційно-вимірювальна система може додатково здійснювати оцінювання вмісту органічної речовини та гумусу. Гумус є основним показником родючості ґрунту та виконує функції накопичення поживних речовин, покращення

структури ґрунту, утримання вологи та забезпечення сприятливих умов для розвитку мікроорганізмів.

Використання технологій Інтернету речей для моніторингу перелічених параметрів забезпечує безперервне отримання достовірної інформації про стан ґрунту, дозволяє створювати архіви вимірювань, прогнозувати зміни екологічного стану земель та оперативно реагувати на появу небезпечних факторів. Це сприяє підвищенню ефективності використання земельних ресурсів, покращенню екологічної безпеки та забезпеченню сталого розвитку аграрного сектору.

### **2.3. Складові частини функціональної схеми системи збору параметрів ґрунту**

Однією з ключових вимог до сучасних систем моніторингу, зокрема IoT-проектів для контролю вологості ґрунту, є можливість безперервного збору даних від датчиків та їх передача до хмарних сервісів або безпосередньо користувачеві в режимі реального часу. Для реалізації таких функцій необхідний мікроконтролер, який поєднує в собі бездротові засоби зв'язку, достатню продуктивність для обробки даних та підтримку енергоощадних режимів роботи. Одним із найбільш вдалих рішень для подібних систем є 32-бітний мікроконтролер ESP32-WROOM-32D компанії Espressif.

Головною перевагою ESP32 є наявність вбудованих модулів Wi-Fi та Bluetooth, що дозволяють передавати результати вимірювань без використання додаткових зовнішніх комунікаційних модулів. Завдяки цьому дані про вологість ґрунту можуть надсилатися безпосередньо до Telegram-бота, вебсервера або різноманітних IoT-платформ [16-21]. Підтримка Bluetooth додатково забезпечує можливість локального налаштування пристрою та обміну даними зі смартфоном чи іншим мобільним пристроєм у випадках, коли доступ до мережі Wi-Fi відсутній або є нестабільним.

Важливою особливістю мікроконтролера є використання двоядерного 32-бітного процесора Tensilica LX6 з тактовою частотою до 240 МГц. Наявність

двох обчислювальних ядер дає змогу ефективно розподіляти завдання між ними. Наприклад, одне ядро може виконувати ресурсоємні операції, такі як фільтрація або попередня обробка даних, тоді як друге забезпечуватиме підтримку мережевого з'єднання та обробку подій у режимі реального часу. Такий підхід дозволяє мінімізувати затримки під час передачі інформації та забезпечує стабільну роботу системи навіть при одночасному виконанні кількох фонових процесів, зокрема запису даних у пам'ять, роботи таймерів або обробки переривань.

Для автономних систем моніторингу особливе значення має енергоефективність. ESP32 підтримує режим глибокого сну (Deep Sleep), у якому споживання струму знижується до кількох мікроамперів. Це дозволяє значно збільшити тривалість роботи пристрою від акумулятора без необхідності частого підзаряджання. Мікроконтролер може автоматично виходити з режиму сну за сигналом таймера або зовнішнього входу GPIO, виконувати вимірювання вологості ґрунту, передавати отримані дані користувачеві та знову переходити в енергозберігаючий режим. Такий принцип роботи є оптимальним для систем, які здійснюють періодичний моніторинг, наприклад один раз на 30 хвилин.

Ще однією перевагою ESP32 є велика кількість периферійних інтерфейсів та універсальних входів-виходів. Мікроконтролер має близько 30 доступних GPIO, а також підтримує до 18 аналогових входів ADC із 12-бітною роздільною здатністю. Крім того, доступні інтерфейси SPI, I<sup>2</sup>C та UART, що забезпечують широкі можливості для підключення різноманітних датчиків і зовнішніх модулів. Це дозволяє використовувати не лише ємнісний датчик вологості ґрунту HW-390, але й у майбутньому розширювати функціональність системи шляхом додавання датчиків температури, освітленості, дисплеїв або інших периферійних пристроїв.

Важливим фактором при виборі ESP32 також є широка підтримка програмних засобів розробки та велика спільнота користувачів. Мікроконтролер підтримується як у середовищі Arduino IDE через Arduino Core for ESP32, так і у фірмовому фреймворку ESP-IDF (Espressif IoT Development Framework). Це

дозволяє обрати найбільш зручний інструментарій залежно від рівня підготовки розробника та складності проєкту. Завдяки високій популярності платформи існує значна кількість готових бібліотек, прикладів програмного коду, технічної документації та обговорень на спеціалізованих форумах і ресурсах, що значно спрощує процес розробки та впровадження IoT-систем моніторингу вологості ґрунту.

Мікроконтролерна платформа ESP32 (рис. 2) є сучасним високопродуктивним рішенням для створення вбудованих систем, які потребують бездротового зв'язку, ефективної обробки даних та підтримки технологій Інтернету речей (IoT). Її основною перевагою є наявність вбудованих модулів Wi-Fi та Bluetooth, що дозволяє реалізовувати мережеву взаємодію без використання додаткових комунікаційних пристроїв. Для системи моніторингу стану ґрунту застосування ESP32 є доцільним завдяки можливості оперативного передавання зібраних даних на хмарні платформи для подальшого зберігання, візуалізації та аналізу. Такий підхід забезпечує користувачеві віддалений доступ до результатів вимірювань та дозволяє здійснювати контроль параметрів ґрунту в режимі реального часу. Апаратною основою ESP32 є двоядерний процесор Xtensa LX6 із тактовою частотою до 240 МГц, який поєднує високу продуктивність із низьким рівнем енергоспоживання. Наявність двох ядер дає можливість одночасно виконувати декілька завдань, що є важливим для систем моніторингу. Наприклад, одне ядро може здійснювати опитування датчиків та обробку отриманих результатів, тоді як друге відповідає за підтримку мережевого з'єднання та передачу даних до віддаленого сервера. Така архітектура підвищує швидкодію системи та забезпечує стабільну роботу навіть за умов виконання кількох процесів одночасно.



Рис. 2.2. Платформа ESP32

Для зберігання даних і виконання програмного коду ESP32 оснащений оперативною пам'яттю обсягом до 520 КБ SRAM та флеш-пам'яттю обсягом до 16 МБ. Цього достатньо для реалізації складних алгоритмів обробки інформації, роботи з мережевими протоколами та підтримки функцій віддаленого моніторингу. Значний обсяг пам'яті також дозволяє реалізовувати буферизацію даних та зберігати налаштування системи без необхідності використання зовнішніх модулів пам'яті.

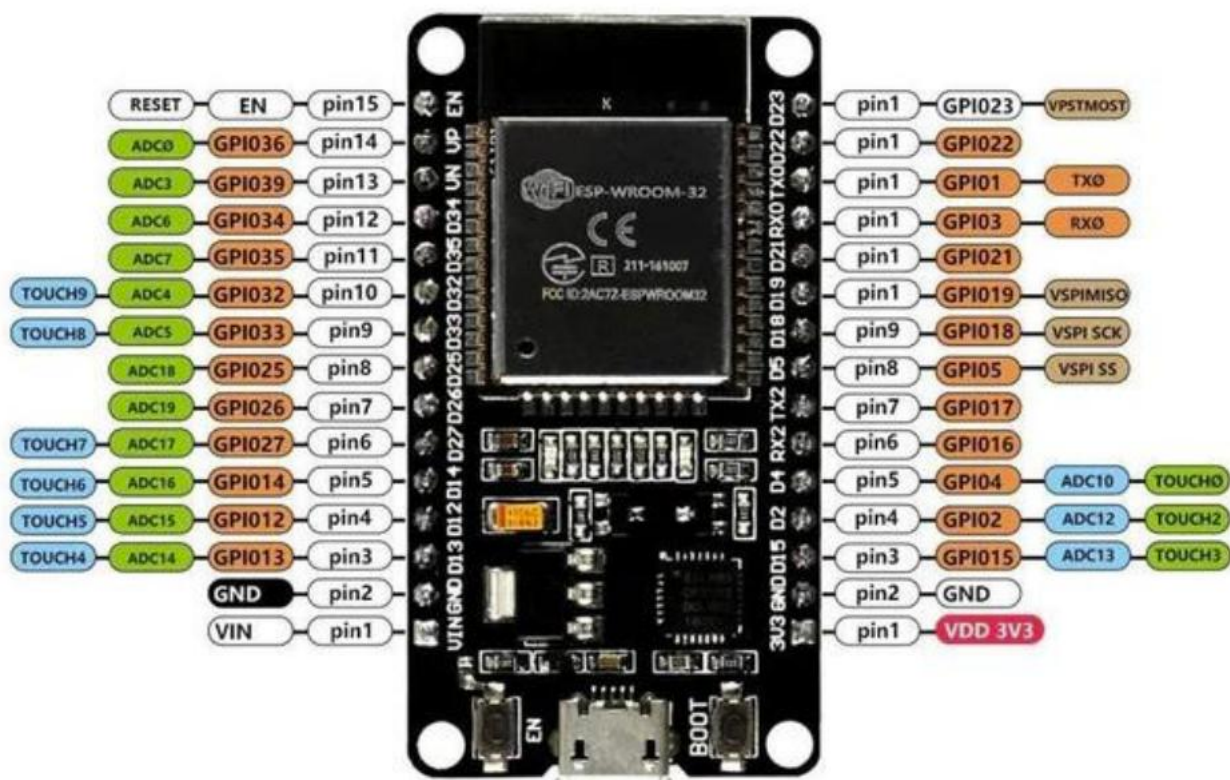
Однією з ключових переваг платформи є вбудований модуль Wi-Fi стандарту IEEE 802.11 b/g/n, який забезпечує бездротове підключення до локальної мережі та доступ до мережі Інтернет. Завдяки цьому зібрані дані можуть автоматично передаватися на віддалені сервери або хмарні сервіси для подальшого аналізу. Додатково ESP32 підтримує технологію Bluetooth Low Energy (BLE), що дозволяє здійснювати локальну взаємодію з мобільними пристроями та виконувати налаштування системи без необхідності використання дротового з'єднання.

Важливою характеристикою ESP32 є наявність великої кількості цифрових та аналогових входів-виходів, що забезпечує підключення широкого спектра датчиків і виконавчих пристроїв. Мікроконтролер підтримує популярні



інтерфейси UART, SPI та I<sup>2</sup>C, завдяки чому може взаємодіяти як із сенсорами моніторингу параметрів ґрунту, так і з додатковими периферійними модулями. У розроблюваній системі це дозволяє організувати обмін даними з бездротовим модулем NRF24L01, який використовується для приймання інформації від віддалених вузлів збору даних.

Принцип роботи ESP32 у системі моніторингу полягає в отриманні інформації від бездротового модуля NRF24L01, подальшій обробці вимірних параметрів та передачі результатів через Wi-Fi до хмарного сервісу. Завдяки підтримці багатозадачності мікроконтролер здатний одночасно виконувати приймання даних, їх аналіз, формування пакетів для передачі та підтримання мережевого з'єднання. Це забезпечує безперервну роботу системи та оперативне оновлення інформації для користувача.



зменшує складність конструкції та її собівартість. Крім того, висока продуктивність двоядерного процесора забезпечує швидку обробку інформації від декількох джерел даних, що особливо важливо при розширенні функціональних можливостей системи. Не менш важливою є підтримка поширених інтерфейсів зв'язку, які дозволяють легко інтегрувати нові датчики та модулі без суттєвої зміни апаратної частини пристрою.

Таблиця 2.1.

### Основні технічні характеристики ESP32-WROOM-32D

| Назва параметра               | Значення / Опис                                               |
|-------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| Мікропроцесор                 | Tensilica LX6, двоядерний, 32-бітний                          |
| Пам'ять (SRAM)                | 520 КБ (512 КБ для користувача + 8 КБ RTC)                    |
| Флеш-пам'ять (Flash)          | 4 МБ                                                          |
| Живлення                      | Напруга: 3,0–3,6 В; струм постачання $\geq 500$ мА            |
| Wi-Fi                         | 802.11 b/g/n                                                  |
| Bluetooth® / BLE              | Bluetooth 4.2 BR/EDR та Bluetooth 5 LE                        |
| ADC (АЦП)                     | Внутрішній 12-бітний, до 18 каналів                           |
| DAC (ЦАП)                     | 2 канали, 8-бітні                                             |
| GPIO                          | 30 пінів                                                      |
| SPI / I <sup>2</sup> C / UART | SPI, I <sup>2</sup> C, UART, I <sup>2</sup> S, PWM, CAN, SDIO |
| Flash-кеш                     | 16 КБ                                                         |
| RTC (реальний час)            | Вбудований RTC з 8 КБ SRAM                                    |
| Режими енергозбереження       | Modem Sleep, Light Sleep, Deep Sleep                          |
| Живлення                      | 2.3 В ... 3.6 В                                               |
| Робочі температури            | –40 °C ... +85 °C                                             |
| Розміри модуля                | 28x51 мм                                                      |

Таким чином, використання мікроконтролерної платформи ESP32 у системі моніторингу параметрів ґрунту забезпечує високу швидкість обробки та передачі даних, широкі можливості підключення периферійних пристроїв, підтримку сучасних бездротових технологій та низьке енергоспоживання, що робить її ефективною основою для побудови сучасних IoT-рішень.

**Давач поживних речовин у ґрунті NPKPHSTH-S.** Для забезпечення ефективного екологічного моніторингу ґрунту важливим є контроль вмісту основних поживних елементів, які визначають рівень родючості земель та впливають на розвиток рослин. Одним із сучасних засобів контролю таких показників є давач поживних речовин у ґрунті NPKPHSTH-S, призначений для вимірювання концентрації азоту (N), фосфору (P) та калію (K) безпосередньо у ґрунтовому середовищі та інших параметрів (рисунок 2.4).



Рис. 2.4. Датчик для ґрунту NPKPHSTH-S

Азот, фосфор і калій належать до основних макроелементів живлення рослин. Азот бере участь у процесах фотосинтезу та формуванні рослинної біомаси, фосфор забезпечує розвиток кореневої системи та енергетичний обмін, а калій регулює водний баланс рослин і підвищує їхню стійкість до несприятливих умов навколишнього середовища. Недостатній або надлишковий вміст цих елементів негативно впливає на врожайність та якість сільськогосподарської продукції, тому їх постійний контроль є важливим завданням сучасних систем моніторингу ґрунту.

Конструктивно сенсор NPKPHSTH-S виконаний у герметичному корпусі з ударостійкого ABS-пластику, який забезпечує високий рівень механічної міцності та стійкість до впливу вологи, пилу й агресивних хімічних сполук.

Завдяки ступеню захисту IP68 датчик може тривалий час працювати безпосередньо в ґрунті навіть за складних кліматичних умов, що є важливою перевагою для використання в системах польового моніторингу.

Основні технічні характеристики сенсора наведено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2.

### Основні технічні характеристики ESP32-WROOM-32D

| Параметр                       | Характеристика       | Значення                                           |
|--------------------------------|----------------------|----------------------------------------------------|
| <b>Живлення</b>                | Напруга живлення     | 5–30 В (DC)                                        |
| <b>Споживання</b>              | Споживна потужність  | До 0,5 Вт при 24 В                                 |
| <b>Інтерфейс зв'язку</b>       | Передача даних       | RS485 (Modbus RTU), 4–20 мА, 0–5 В, 0–10 В         |
| <b>Габарити</b>                | Розміри              | 45 × 15 × 123 мм                                   |
| <b>Температура</b>             | Діапазон вимірювання | –40 °C ... +80 °C                                  |
|                                | Точність             | ±5 °C при 25 °C                                    |
|                                | Час відгуку          | ≤ 15 с                                             |
| <b>Вологість ґрунту</b>        | Діапазон вимірювання | 0–100 % RH                                         |
|                                | Точність             | ±2 % (0–50 % RH), ±3 % (50–100 % RH)               |
|                                | Час відгуку          | ≤ 4 с                                              |
| <b>Електропровідність (ЕС)</b> | Діапазон вимірювання | 0–20000 мкСм/см                                    |
|                                | Точність             | ±3 % (0–10000 мкСм/см), ±5 % (10000–20000 мкСм/см) |
|                                | Час відгуку          | ≤ 1 с                                              |
| <b>Кислотність (pH)</b>        | Діапазон вимірювання | 3–9 pH                                             |
|                                | Точність             | ±0,3 pH                                            |
|                                | Час відгуку          | ≤ 10 с                                             |
| <b>Азот (N)</b>                | Діапазон вимірювання | 1–1999 мг/кг                                       |
|                                | Точність             | ±2 % від повної шкали                              |
|                                | Час відгуку          | < 1 с                                              |
| <b>Фосфор (P)</b>              | Діапазон вимірювання | 1–1999 мг/кг                                       |
|                                | Точність             | ±2 % від повної шкали                              |
|                                | Час відгуку          | < 1 с                                              |
| <b>Калій (K)</b>               | Діапа                |                                                    |

Принцип роботи датчика базується на електрохімічному методі аналізу ґрунтового середовища. Вбудовані електроди взаємодіють із ґрунтовим розчином та визначають концентрацію іонів поживних речовин. Отримані сигнали обробляються внутрішньою електронною схемою та перетворюються у цифровий формат. Передача результатів вимірювання здійснюється за

допомогою промислового інтерфейсу RS485 із використанням протоколу Modbus RTU, що забезпечує високу завадостійкість і можливість передачі даних на значні відстані.

Важливою перевагою сенсора є наявність автоматичної температурної компенсації, яка дозволяє мінімізувати вплив температурних коливань на результати вимірювань. Це забезпечує стабільність показників та підвищує достовірність отриманих даних незалежно від пори року або погодних умов. Застосування давача РКРНСТН-S у складі IoT-системи моніторингу дозволяє автоматизувати процес контролю родючості ґрунту, своєчасно виявляти дефіцит або надлишок поживних речовин, оптимізувати внесення добрив та зменшувати негативний вплив надлишкової хімізації на навколишнє середовище. Крім того, накопичення історичних даних створює можливість для аналізу довгострокових змін стану ґрунту та прогнозування його родючості.

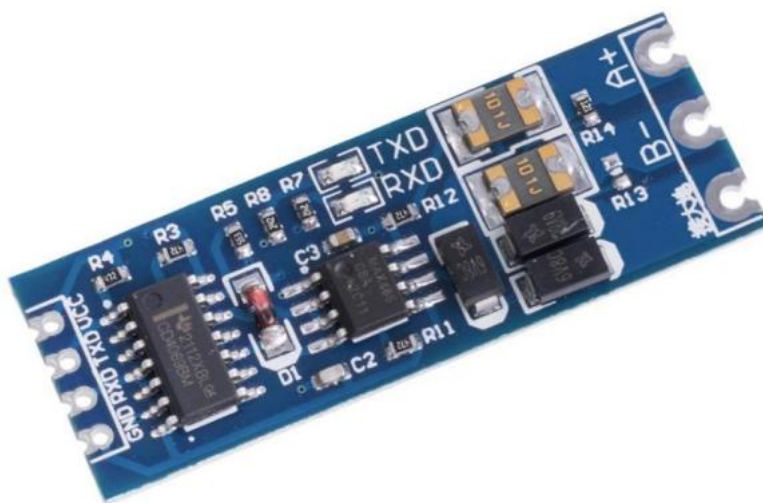


Рис. 2.5. RS485-UART TTL перетворювач

Таким чином, давач РКРНСТН-S є ефективним засобом контролю агрохімічного стану ґрунтів і доцільно використовується у складі інформаційно-вимірювальної системи оперативного екологічного моніторингу ґрунту. Поєднання високої точності вимірювань, надійної конструкції, підтримки промислових протоколів обміну даними та можливості інтеграції з IoT-технологіями робить його перспективним рішенням для сучасних систем

екологічного контролю. У складі інформаційно-вимірювальної системи оперативного екологічного моніторингу ґрунту давач РКРНСТН-S може підключатися до мікроконтролера ESP32 або одноплатного комп'ютера Raspberry Pi через відповідний перетворювач інтерфейсу. Отримані дані про вміст азоту, фосфору та калію можуть передаватися до центрального сервера за допомогою технології LoRaWAN, що забезпечує віддалений контроль параметрів ґрунту в режимі реального часу.

Для забезпечення обміну даних між датчиком і мікроконтролером, необхідний перетворювач RS485 – UART TTL (рис. 2.5), що узгоджує електричні рівні сигналів і протоколів, дозволяючи ESP32 коректно отримувати та передавати Modbus-пакети. Технічні характеристики наведено у таблиці 2.3.

Таблиця 2.3.

Технічні характеристики перетворювача RS485 – UART TTL

|                               |                                                                                                                                |
|-------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Модель                        | HW-0519                                                                                                                        |
| Інтерфейс TTL                 | Роз'єм: 4-контактний ряд (GND, RXD, TXD, VCC); рівні сигналів: сумісні з 3,3 В та 5 В логікою                                  |
| Інтерфейс RS485               | Роз'єми: 2 контакти для пайки проводів (A+, B-); отвори для встановлення клемника; тип сигналу: диференціальний, збалансований |
| Режим роботи                  | Напівдуплексний                                                                                                                |
| Максимальна дальність зв'язку | До 800 м (з використанням витії пари)                                                                                          |
| Напруга живлення              | 3,3 В.. 5 В                                                                                                                    |
| Споживаний струм              | < 5 мА в режимі прийому, < 10 мА в режимі передачі                                                                             |
| Захист                        | TVS-діоди для захисту від перенапруг та статичної електрики                                                                    |
| Робоча температура            | -40 °C.. +85 °C                                                                                                                |



## **Висновки за розділом 2**

У даному розділі було розглянуто питання охорони праці під час експлуатації інформаційно-вимірювальної системи оперативного екологічного моніторингу ґрунту. Проведено аналіз нормативно-правових вимог щодо безпечної роботи з електронним обладнанням, засобами автоматизації та комп'ютерною технікою, що входять до складу системи.

Виконано оцінювання небезпечних і шкідливих виробничих факторів, які можуть виникати під час монтажу, налаштування та експлуатації системи. Основну увагу приділено ризикам ураження електричним струмом, впливу несприятливих мікрокліматичних умов, недостатньому освітленню робочого місця, а також можливим пожежним небезпекам, пов'язаним з використанням електронних пристроїв та джерел живлення.

На основі проведеного аналізу запропоновано комплекс технічних та організаційних заходів безпеки, що включає застосування захисного заземлення, використання справних джерел живлення та комутаційного обладнання, дотримання вимог електробезпеки, забезпечення нормативних параметрів мікроклімату й освітлення, а також використання первинних засобів пожежогасіння. Розглянуті заходи спрямовані на підвищення надійності роботи системи та створення безпечних умов праці для обслуговуючого персоналу.

Таким чином, реалізація запропонованих рішень забезпечує безпечну та ефективну експлуатацію інформаційно-вимірювальної системи моніторингу параметрів ґрунту, знижує ризик виникнення аварійних ситуацій і сприяє підвищенню загального рівня виробничої безпеки.

## **РОЗДІЛ 3. ПРОГРАМУВАННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ ЗБОРУ ПАРАМЕТРІВ ҐРУНТУ**

### **3.1. Функціональна структура та алгоритм системи оперативного екологічного моніторингу ґрунту**

Проектована інформаційно-вимірювальна система призначена для автоматизованого контролю основних екологічних параметрів ґрунту в режимі реального часу. Система повинна забезпечувати безперервний моніторинг вологості, температури, кислотності (pH), електропровідності, а також концентрації основних поживних елементів ґрунту — азоту, фосфору та калію. Отримані дані використовуються для оцінювання екологічного стану ґрунту, визначення рівня його родючості та своєчасного виявлення негативних змін, що можуть впливати на продуктивність земельних ресурсів.

Для вимірювання комплексу основних параметрів ґрунту обрано багатофункціональний датчик NPKPHCTH-S, який дозволяє одночасно визначати температуру, вологість, кислотність (pH), електропровідність (EC), а також концентрацію азоту (N), фосфору (P) та калію (K). Використання одного багатопараметричного сенсора дозволяє спростити конструкцію вимірювального вузла, зменшити енергоспоживання системи та підвищити надійність моніторингу. Для забезпечення взаємодії між датчиком і контролером використовується перетворювач інтерфейсу RS485–UART TTL, який дозволяє підключити датчик до мікроконтролера ESP32.

З урахуванням необхідних параметрів контролю обираються апаратні засоби та запропонована функціональна структурна схема системи моніторингу (рис. 3.1).

Архітектура системи складається з трьох основних рівнів. Перший рівень – рівень користувача. До нього належать вебінтерфейс та мобільний або персональний пристрій користувача, за допомогою яких здійснюється перегляд поточних показників стану ґрунту, аналіз архівних даних, формування звітів та



отримання повідомлень про відхилення контрольованих параметрів від допустимих значень.

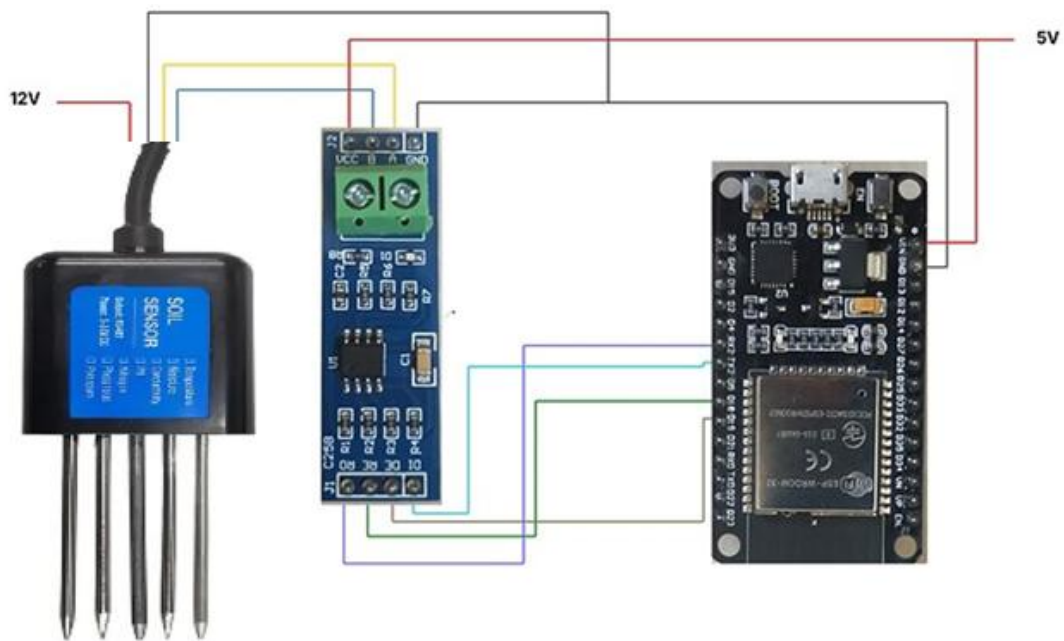


Рис. 3.1. Функціональна схема системи моніторингу параметрів ґрунту

Другий рівень – серверний рівень. Він включає сервер збору та обробки інформації, базу даних і програмні засоби візуалізації. На цьому рівні відбувається прийом даних від польових вимірювальних вузлів, їх зберігання, аналіз та формування інформації для користувача. Серверна частина може бути реалізована на базі платформ Node-RED, ChirpStack, MQTT Broker та PostgreSQL.

Третій рівень – рівень польових вимірювальних вузлів. До нього входять датчик NPKPHSTH-S, мікроконтролер ESP32, перетворювач RS485–UART TTL та LoRa-модуль для бездротової передачі даних. Цей рівень забезпечує безпосередній збір інформації про стан ґрунту, первинну обробку результатів вимірювання та передачу даних до серверної частини системи.

Запропонована архітектура дозволяє організувати безперервний дистанційний моніторинг екологічного стану ґрунту на великих територіях, забезпечує високу масштабованість системи, низьке енергоспоживання

вимірювальних вузлів та можливість інтеграції з сучасними технологіями Інтернету речей.

У процесі моніторингу екологічного стану ґрунту вимірювальні вузли розміщуються на контрольованих земельних ділянках, сільськогосподарських угіддях, природоохоронних територіях або інших об'єктах спостереження. Кожний вузол оснащується комплексом сенсорів, призначених для визначення основних фізико-хімічних параметрів ґрунту. До таких параметрів належать вологість, температура, кислотність (pH), електропровідність (EC), а також концентрації азоту (N), фосфору (P) та калію (K), які характеризують родючість і екологічний стан земельних ресурсів.

Зібрані дані від датчика NPKPHCTH-S через інтерфейс RS485 надходять до перетворювача RS485–UART TTL, а далі передаються до одноплатного комп'ютера Raspberry Pi, який виконує функції центрального обчислювального вузла локальної системи моніторингу. Raspberry Pi забезпечує опитування сенсорів, приймання результатів вимірювань, первинну обробку даних та їх підготовку до подальшої передачі.

Після отримання інформації від сенсорного вузла виконується перевірка коректності прийнятих пакетів даних, декодування повідомлень протоколу Modbus RTU та перетворення вимірюваних значень у фізичні величини. Подальша обробка здійснюється за допомогою програмного забезпечення, розробленого мовою Python. На цьому етапі проводиться фільтрація випадкових відхилень, аналіз отриманих показників та формування структури даних для збереження і передачі. Поточні результати вимірювань архівуються у локальній базі даних, розташованій на Raspberry Pi, що забезпечує можливість збереження інформації навіть у разі тимчасової відсутності мережевого з'єднання. За необхідності дані можуть відображатися на локальному дисплеї або використовуватися для формування попереджувальних повідомлень у випадку виходу контрольованих параметрів за встановлені межі.

Для організації дистанційного моніторингу оброблена інформація передається через LoRa-модуль на найближчий шлюз LoRaWAN. Використання

технології LoRaWAN дозволяє забезпечити передачу даних на значні відстані при мінімальному енергоспоживанні, що особливо важливо для автономних польових вимірювальних станцій. Шлюз здійснює приймання інформації від сенсорних вузлів та передає її до мережевого сервера через Ethernet або мобільний зв'язок.

На серверному рівні виконується додаткова обробка та аналіз отриманих даних. Результати вимірювань зберігаються у централізованій базі даних, що забезпечує накопичення історичної інформації про стан ґрунту та можливість проведення довгострокових досліджень. Сервер також реалізує функції візуалізації даних, побудови графіків зміни параметрів у часі та формування звітів для користувачів. Алгоритм функціонування інформаційно-вимірювальної системи розпочинається з ініціалізації Raspberry Pi, LoRa-модуля та підключеного датчика NPKPHSTH-S. Після перевірки працездатності обладнання здійснюється встановлення параметрів зв'язку та конфігурація вимірювального вузла. Далі запускається циклічний процес опитування датчика.

Під час кожного циклу контролер формує запит до сенсора через інтерфейс RS485. Отримана відповідь проходить перевірку контрольної суми, аналіз структури пакета та перевірку правильності адресації пристрою. У разі успішного завершення процедури перевірки виміряні значення температури, вологості, кислотності, електропровідності та концентрації поживних речовин записуються до локальної бази даних. Після завершення локальної обробки формується пакет телеметричної інформації, який передається мережею LoRaWAN до центрального сервера. На сервері дані проходять остаточне архівування, аналіз та відображення у вебінтерфейсі системи моніторингу. Користувач отримує можливість у режимі реального часу переглядати поточний стан ґрунту, аналізувати історичні дані та своєчасно виявляти негативні зміни екологічних показників.

Таким чином, запропонована система забезпечує автоматизований збір, передачу, обробку та зберігання інформації про стан ґрунту, що дозволяє

здійснювати оперативний екологічний моніторинг земельних ресурсів із використанням сучасних технологій Інтернету речей.

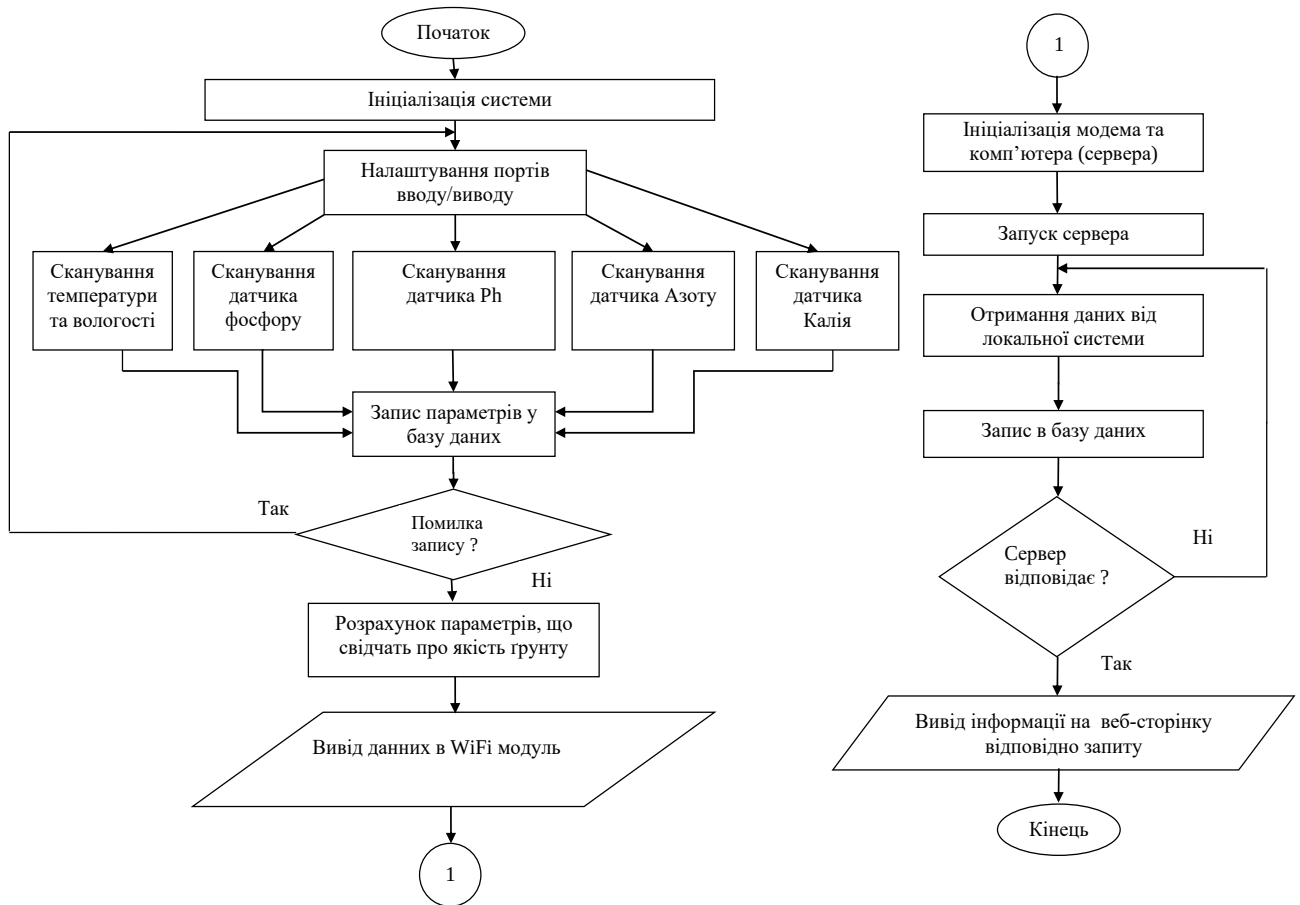


Рис. 3. 2. Алгоритм роботи системи збору параметрів ґрунту

Функціонування віддаленого сегмента інформаційно-вимірювальної системи моніторингу ґрунту розпочинається з ініціалізації серверної платформи, яка забезпечує приймання, обробку, зберігання та візуалізацію даних, що надходять від польових вимірювальних вузлів. На сервері попередньо налаштовуються мережеві служби, база даних та вебінтерфейс користувача, доступ до якого здійснюється через стандартні вебтехнології з використанням протоколів HTTP або HTTPS.

Після встановлення з'єднання між користувацьким пристроєм та сервером активується людино-машинний інтерфейс системи. За допомогою веббраузера користувач отримує доступ до поточних значень контрольованих параметрів ґрунту, результатів попередніх вимірювань, графіків зміни показників у часі та

аналітичних звітів. У випадку тимчасового порушення зв'язку система автоматично здійснює повторні спроби підключення, забезпечуючи безперервний доступ до актуальної інформації.

Основою польового вимірювального вузла є одноплатний комп'ютер Raspberry Pi, який виконує функції локального збору та попередньої обробки даних. Після запуску операційної системи відбувається ініціалізація інтерфейсів зв'язку та підключених сенсорних модулів. Контролер здійснює опитування багатофункціонального датчика NPKPHSTH-S, який забезпечує вимірювання температури ґрунту, вологості, кислотності (pH), електропровідності (EC), а також концентрацій основних поживних елементів — азоту, фосфору та калію.

Отримані результати вимірювань проходять процедуру перевірки достовірності та первинної обробки. На цьому етапі виконується контроль правильності прийнятих пакетів даних, перевірка контрольних сум, фільтрація можливих помилок та формування структурованих записів для подальшого зберігання. Оброблена інформація тимчасово зберігається у локальній базі даних, що дозволяє уникнути втрати інформації при короткочасних збоях зв'язку.

Далі сформовані пакети телеметричних даних передаються через бездротову мережу LoRaWAN на шлюз, який забезпечує їх доставку до центрального сервера через мережу Інтернет. На серверному рівні відбувається остаточна обробка, архівування та аналіз отриманої інформації. Усі результати вимірювань зберігаються в централізованій базі даних, що дозволяє накопичувати історичну інформацію про стан ґрунтів на контрольованих територіях.

Вебсервер взаємодіє з базою даних і формує динамічні сторінки для відображення поточних та архівних результатів моніторингу. Користувач має можливість переглядати значення вологості, температури, кислотності, електропровідності та концентрації поживних речовин у ґрунті, а також аналізувати їх зміни за різні часові проміжки. Для підвищення зручності роботи

можуть використовуватися графіки, діаграми, таблиці та інтерактивні карти розташування вимірювальних вузлів.

Додатково система підтримує функції автоматичного аналізу стану ґрунту. У разі виявлення критичних відхилень контрольованих параметрів від установлених нормативних значень сервер автоматично формує попередження та надсилає повідомлення відповідальним користувачам. Це дозволяє оперативно реагувати на погіршення екологічного стану ґрунту, дефіцит поживних речовин, надмірну кислотність або нестачу вологи.

Запропонована архітектура забезпечує реалізацію концепції Інтернету речей у сфері екологічного моніторингу земельних ресурсів. Вона характеризується високою масштабованістю, можливістю підключення великої кількості віддалених вимірювальних вузлів, низьким енергоспоживанням польового обладнання та ефективною інтеграцією з сучасними інформаційними системами екологічного контролю.

### **3.2. Опис обраних бібліотек та мови програмування системи моніторингу параметрів ґрунту**

Важливою складовою інформаційно-вимірювальної системи оперативного екологічного моніторингу ґрунту є програмне забезпечення, яке забезпечує автоматизований збір, передавання, обробку, зберігання та візуалізацію результатів вимірювань. Саме програмна частина об'єднує всі апаратні компоненти системи в єдиний інформаційний комплекс та забезпечує взаємодію користувача з мережею віддалених вимірювальних вузлів. Від ефективності програмного забезпечення залежить швидкість отримання інформації, можливість аналізу великих масивів даних та оперативність прийняття рішень щодо стану ґрунтового середовища.

У сучасних системах екологічного моніторингу переважає використання веборієнтованих технологій, що забезпечують доступ до інформації незалежно від місця розташування користувача. Такий підхід дозволяє здійснювати

централізоване керування мережею вимірювальних пристроїв, переглядати результати спостережень у режимі реального часу та аналізувати накопичені дані через звичайний веббраузер без необхідності встановлення спеціалізованого програмного забезпечення.

Для реалізації клієнтської частини системи було обрано мову програмування JavaScript. На сьогодні JavaScript є однією з найпоширеніших мов програмування для створення вебзастосунків і підтримується всіма сучасними браузерами. Основною перевагою цієї мови є можливість виконання програмного коду безпосередньо на стороні користувача, що забезпечує високу швидкість роботи інтерфейсу та зменшує навантаження на серверне обладнання.

JavaScript належить до високорівневих інтерпретованих мов програмування та підтримує об'єктно-орієнтований, функціональний і подієво-орієнтований підходи до розробки програмного забезпечення. Завдяки цьому розробник може створювати складні інтерактивні інформаційні системи, які забезпечують миттєве оновлення даних, інтерактивну взаємодію з користувачем та ефективну роботу з мережевими сервісами.

Розвиток JavaScript регламентується міжнародним стандартом ECMAScript, який визначає синтаксис мови та основні механізми її функціонування. Сучасні версії стандарту підтримують модульну архітектуру програм, асинхронне виконання операцій за допомогою механізмів Promise та async/await, роботу з великими масивами даних, а також інтеграцію із зовнішніми сервісами через програмні інтерфейси API. Це особливо важливо для систем моніторингу, де необхідно регулярно отримувати дані від віддалених пристроїв та оперативно відображати їх користувачеві.

Для реалізації графічного інтерфейсу системи моніторингу ґрунтів використовується бібліотека React. Вона дозволяє створювати складні односторінкові вебзастосунки (Single Page Application, SPA), які забезпечують високу швидкодію та зручність роботи користувача. React базується на компонентному підході, відповідно до якого інтерфейс розбивається на окремі незалежні модулі. Кожен компонент відповідає за відображення конкретної

частини інформації та може повторно використовуватися в різних частинах системи.

Компонентна архітектура значно спрощує процес розробки програмного забезпечення, оскільки дозволяє незалежно модифікувати окремі елементи інтерфейсу без необхідності зміни всієї структури застосунку. Крім того, такий підхід полегшує тестування програмного забезпечення та подальшу модернізацію системи під час розширення її функціональних можливостей.

Однією з головних переваг React є використання технології Virtual DOM (віртуальної моделі документа). На відміну від традиційного механізму оновлення вебсторінок, React формує в пам'яті віртуальне представлення інтерфейсу та виконує порівняння між попереднім і новим станом даних. У результаті оновлюються лише ті елементи сторінки, які дійсно змінилися. Це дозволяє значно знизити навантаження на браузер та забезпечити плавне відображення даних навіть при великій кількості одночасно підключених вимірювальних вузлів.

Для побудови користувацького інтерфейсу використовується бібліотека Material UI, яка реалізує принципи дизайну Material Design. Бібліотека містить значний набір готових програмних компонентів, серед яких таблиці, кнопки, меню, форми введення, панелі навігації, графічні індикатори, діалогові вікна та інші елементи інтерфейсу. Використання Material UI дозволяє забезпечити єдиний стиль оформлення програмного забезпечення, покращити ергономіку системи та скоротити час її розробки.

У розробленій системі вебінтерфейс забезпечує відображення результатів моніторингу у вигляді інтерактивних таблиць, часових графіків, гістограм та інформаційних панелей. Користувач може переглядати як поточні значення параметрів ґрунту, так і аналізувати історичні дані за довільний період спостережень.

Основними контрольованими параметрами є:

- температура ґрунту;
- вологість ґрунту;



- кислотність ґрунту (pH);
- електропровідність ґрунту (EC);
- концентрація азоту (N);
- концентрація фосфору (P);
- концентрація калію (K);
- рівень органічної речовини та гумусу;
- концентрація потенційно небезпечних забруднювачів (за наявності відповідних сенсорів).

Передавання даних від польових вимірювальних вузлів здійснюється за допомогою мережі LoRaWAN. Після надходження інформації на сервер виконується її перевірка, фільтрація та збереження у базі даних. Для кожного вимірювання фіксуються дата та час отримання даних, ідентифікатор вузла, географічні координати точки контролю та значення вимірюваних параметрів.

Важливою функцією програмного забезпечення є автоматичне формування повідомлень про перевищення допустимих меж контрольованих показників. У разі виявлення критичних значень вологості, кислотності або концентрації поживних речовин система генерує попередження та відображає його в операторському інтерфейсі. Це дозволяє оперативно реагувати на зміни стану ґрунту та своєчасно виконувати необхідні агротехнічні заходи.

Додатково система підтримує формування аналітичних звітів, експорт результатів у формати CSV, XLSX та PDF, а також побудову статистичних залежностей між різними параметрами ґрунту. Завдяки цьому користувач отримує можливість виконувати комплексний аналіз родючості земельних ділянок та прогнозувати зміни їх екологічного стану.

Таким чином, використання сучасних вебтехнологій JavaScript, React та Material UI дозволяє створити високопродуктивний програмний комплекс для дистанційного моніторингу ґрунтів. Розроблене програмне забезпечення забезпечує ефективний збір та обробку даних від IoT-пристроїв, підтримує роботу в режимі реального часу, має високу масштабованість та забезпечує

зручний доступ до інформації для фахівців аграрної, екологічної та будівельної галузей.

### **3.3. Розробка компонентів веб платформи системи збору параметрів ґрунту**

На початковому етапі розробки веборієнтованої інформаційної системи моніторингу ґрунтів здійснюється створення програмного проєкту на основі бібліотеки React. Для цього використовується середовище Node.js та менеджер пакетів npm, які забезпечують встановлення необхідних залежностей і автоматизують процес складання застосунку. Ініціалізація нового проєкту виконується за допомогою спеціальної команди командного рядка, після чого автоматично формується базова структура вебзастосунку, що містить конфігураційні файли, каталоги вихідного коду, службові модулі та початкові шаблони інтерфейсу користувача (рис. 3.3).

Сформована структура проєкту забезпечує зручну організацію програмного коду та дозволяє реалізувати модульний підхід до розробки програмного забезпечення. Усі функціональні елементи системи розподіляються між окремими каталогами відповідно до їх призначення: компоненти інтерфейсу, сторінки застосунку, сервіси роботи з даними, стилі оформлення та допоміжні програмні модулі. Такий підхід спрощує процес модернізації програмного забезпечення, полегшує пошук помилок та підвищує масштабованість системи при подальшому розширенні її функціональних можливостей.

Після створення базової структури проєкту виконується проєктування архітектури вебзастосунку відповідно до вимог інформаційно-вимірювальної системи моніторингу ґрунту. Основою програмної реалізації є компонентний підхід React, згідно з яким кожна функціональна частина інтерфейсу реалізується у вигляді окремого незалежного компонента. Компоненти можуть багаторазово використовуватися в різних частинах застосунку, що значно скорочує обсяг програмного коду та спрощує його супровід.

На наступному етапі розробляються основні сторінки вебплатформи. Зокрема, створюється компонент `Home.jsx`, який виконує функції головної сторінки системи та забезпечує відображення загальної інформації про стан мережі моніторингу. На цій сторінці користувач отримує доступ до актуальних показників ґрунту, інформації про підключені вимірювальні вузли, поточний стан системи та основні навігаційні елементи. Головна сторінка виступає центральною точкою взаємодії користувача з інформаційною системою та забезпечує швидкий доступ до всіх функцій програмного комплексу.

Для візуалізації результатів моніторингу розробляється окремий компонент `Graphs.jsx`, призначений для побудови графіків, діаграм та аналітичних залежностей. Даний компонент отримує дані із серверної частини системи через програмний інтерфейс API та відображає їх у зручному для аналізу вигляді. За допомогою графічних засобів користувач може аналізувати зміни вологості ґрунту, температури, кислотності (pH), електропровідності (EC), концентрації азоту, фосфору та калію протягом обраного проміжку часу. Використання інтерактивних графіків значно спрощує виявлення тенденцій та аномалій у зміні екологічних показників.

Для забезпечення зручної навігації між сторінками застосунку використовується механізм маршрутизації `React Router`. Завдяки цьому користувач може швидко переходити між окремими розділами системи без повного перезавантаження вебсторінки. Такий підхід покращує продуктивність вебзастосунку та забезпечує комфортну роботу з великими обсягами інформації.

Особлива увага під час розробки приділяється організації обміну даними між клієнтською та серверною частинами системи. Для отримання актуальної інформації від серверної платформи використовуються HTTP-запити та REST API. Після надходження нових даних інтерфейс автоматично оновлюється без участі користувача, що дозволяє реалізувати режим моніторингу в реальному часі. У випадку зміни стану контрольованих параметрів користувач миттєво отримує оновлену інформацію через графічний інтерфейс.

Крім сторінок відображення даних, у структурі вебзастосунку реалізуються допоміжні компоненти навігації, інформаційні панелі, таблиці результатів вимірювань, форми фільтрації даних та модулі сповіщень. Це дозволяє організувати зручний доступ до архівних даних, здійснювати пошук інформації за часовими інтервалами та формувати звіти за результатами моніторингу.

Таким чином, використання React під час розробки вебінтерфейсу системи моніторингу ґрунтів дозволяє реалізувати сучасну модульну архітектуру програмного забезпечення, забезпечити високу швидкодію інтерфейсу, зручність супроводу програмного коду та можливість подальшого масштабування інформаційної системи відповідно до потреб користувачів.

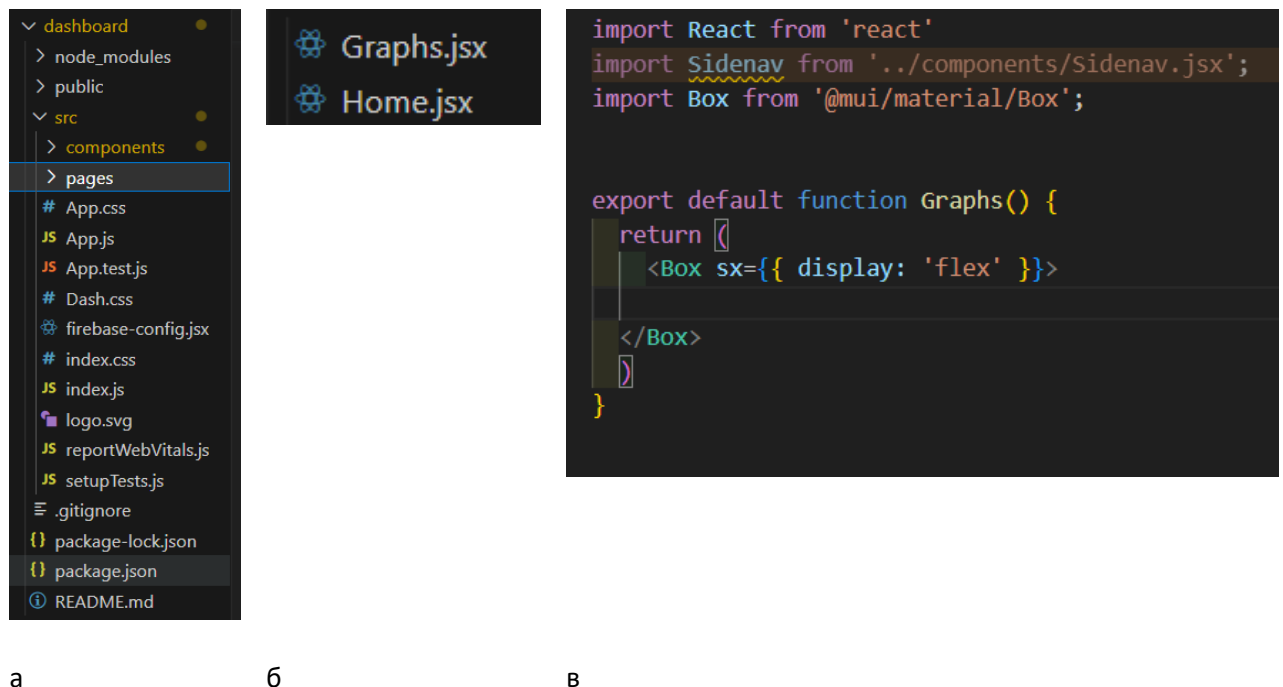


Рис. 3.3. Основні компоненти програми: а) директорія створеного застосунку; б) створені компоненти сторінок; в) приклад коду компоненту сторінки.

Після реалізації основних функціональних сторінок вебзастосунку наступним етапом розробки є створення системи навігації, яка забезпечує зручне переміщення користувача між окремими розділами інформаційної системи моніторингу ґрунту. Для вирішення цього завдання розробляється компонент

Sidenav, який виконує функції бічної навігаційної панелі та забезпечує швидкий доступ до всіх основних модулів програмного комплексу.

Бічна панель навігації є одним із ключових елементів користувацького інтерфейсу, оскільки забезпечує логічну структурування функціональних можливостей системи та спрощує взаємодію користувача з великим обсягом інформації. За допомогою компонента Sidenav користувач може швидко переходити між сторінками перегляду поточних показників ґрунту, аналітичними графіками, архівом вимірювань, картою розташування вимірювальних вузлів, налаштуваннями системи та іншими функціональними модулями.

Для реалізації графічної частини навігаційної панелі використовується бібліотека Material UI, яка містить широкий набір готових компонентів інтерфейсу та підтримує принципи дизайну Material Design. Використання даної бібліотеки дозволяє створити сучасний, інтуїтивно зрозумілий та адаптивний інтерфейс, який коректно відображається як на персональних комп'ютерах, так і на мобільних пристроях. Крім того, Material UI забезпечує єдиний стиль оформлення всіх елементів вебзастосунку, що позитивно впливає на ергономіку та сприйняття інформації користувачем.

Під час розробки компонента Sidenav використовуються такі елементи Material UI, як Drawer, List, ListItem, IconButton та Typography, що дозволяють реалізувати структуроване меню навігації з підтримкою іконок, текстових підписів та адаптивного відображення. За необхідності навігаційна панель може автоматично згортатися або розгортатися залежно від розміру екрана користувача, що забезпечує ефективне використання робочого простору вебінтерфейсу.

Після створення навігаційної панелі виконується реалізація механізму маршрутизації між окремими сторінками застосунку. Для цього до програмного проєкту інтегрується бібліотека **React Router DOM**, яка є стандартним засобом організації навігації в односторінкових вебзастосунках, побудованих на основі

React. Встановлення бібліотеки здійснюється через менеджер пакетів npm за допомогою відповідної команди (рис. 3.4).

Використання React Router DOM дозволяє створити набір маршрутів, кожен із яких пов'язується з певним програмним компонентом або сторінкою вебзастосунку. Після переходу користувача за відповідним маршрутом система автоматично завантажує необхідний компонент без повного перезавантаження сторінки. Такий підхід відповідає концепції Single Page Application (SPA), відповідно до якої взаємодія з вебзастосунком відбувається в межах однієї вебсторінки, а зміна вмісту реалізується динамічно за допомогою JavaScript.

Для системи моніторингу ґрунтів маршрутизація забезпечує доступ до основних функціональних модулів, серед яких головна сторінка моніторингу, сторінка аналітичних графіків, журнал вимірювань, карта розташування сенсорних вузлів, сторінка налаштувань користувача та модуль формування звітів. Завдяки цьому користувач може оперативно отримувати доступ до необхідної інформації та виконувати аналіз екологічного стану ґрунтів без затримок і додаткових завантажень сторінок.

Важливою перевагою використання React Router DOM є підтримка вкладених маршрутів, динамічної передачі параметрів та захищених сторінок із системою авторизації користувачів. Це дозволяє реалізувати багаторівневу структуру доступу до інформації та забезпечити захист даних моніторингу від несанкціонованого доступу.

Таким чином, використання компонента Sidenav у поєднанні з бібліотеками Material UI та React Router DOM дозволяє реалізувати ефективну систему навігації вебзастосунку моніторингу ґрунтів. Запропоноване рішення забезпечує високу зручність користування, швидкий доступ до функціональних модулів системи, адаптивність інтерфейсу та відповідність сучасним вимогам до розробки веборієнтованих інформаційних систем.

```

dashboard > src > JS App.js > ...
1  import React from 'react';
2  import {Routes, Route, BrowserRouter} from 'react-router-dom';
3  import Home from './pages/Home';
4  import Graphs from './pages/Graphs';
5  import Statistics from './pages/Statistics';
6  import './Dash.css';
7
8  function App() {
9    return (
10     <>
11     <BrowserRouter>
12     <Routes>
13     <Route path="/" exact element={<Home />}></Route>
14     <Route path="/graphs" exact element={<Graphs />}></Route>
15     <Route path="/statistics" exact element={<Statistics />}></Route>
16     </Routes>
17     </BrowserRouter>
18     </>
19   );
20 }
21
22 export default App;
23

```

Рис. 3.4. Навігація між сторінками react-router

Після реалізації системи навігації вебзастосунку наступним етапом розробки є створення функціональних компонентів, призначених для відображення результатів моніторингу ґрунту. Саме ці компоненти забезпечують представлення вимірювальної інформації у зрозумілому та зручному для користувача вигляді, надаючи можливість оперативно оцінювати поточний стан контрольованих параметрів. Загальну структуру взаємодії компонентів представлено на рисунку 3.5.

Одним із базових елементів інтерфейсу є компонент **Comp.jsx**, який реалізовано у вигляді інформаційної картки. Даний компонент використовується для відображення окремого параметра моніторингу ґрунту, зокрема вологості, температури, кислотності (pH), електропровідності (ЕС), а також концентрації азоту, фосфору чи калію. Картка містить назву контрольованого показника, його поточне значення та відповідну одиницю вимірювання, що забезпечує зручне сприйняття та аналіз отриманих даних користувачем.

```

dashboard > src > components > Comp.jsx > ...
1  import React from 'react';
2  import Typography from '@mui/material/Typography';
3  import Card from '@mui/material/Card';
4  import CardContent from '@mui/material/CardContent';
5  import "../Dash.css";
6
7  export default function Comp (props) {
8    return (
9      <Card sx={{ minWidth: 260 }} className={props.style}>
10     <CardContent>
11       <div>
12         {props.icon}
13         <Typography gutterBottom variant="body2" color="text.secondary" sx={{ color: "#000000"}}>
14           {props.name}
15         </Typography>
16         <Typography
17           gutterBottom
18           variant="body2"
19           component="div"
20           sx={{ color: "#676b6a"}}
21         >
22           {props.data}
23         </Typography>
24       </div>
25     </CardContent>
26   </Card>
27 )
28 }

```

Рис. 3.5. Код розробленого компоненту

Використовуючи компонентний підхід бібліотеки React, було реалізовано модуль відображення даних, який складається з окремих інформаційних карток. Кожна картка призначена для візуалізації одного з контрольованих параметрів стану ґрунту, таких як вологість, температура, кислотність (рН), електропровідність або концентрація поживних речовин (рис. 3.6).

Завдяки компонентній архітектурі React кожен елемент інтерфейсу розробляється як незалежний програмний модуль, що спрощує його налаштування, тестування та подальше використання в інших частинах вебзастосунку. Для відображення даних було створено спільний контейнер, у межах якого розміщуються інформаційні картки з уніфікованим оформленням та єдиними принципами взаємодії з користувачем.

Для підвищення наочності та зручності аналізу отриманих результатів картки було згруповано у вигляді структурованої таблиці, реалізованої в окремому компоненті Dash.jsx. Така організація інтерфейсу забезпечує впорядковане розташування параметрів на сторінці, покращує візуальне сприйняття інформації та полегшує оперативний контроль показників моніторингу ґрунту.



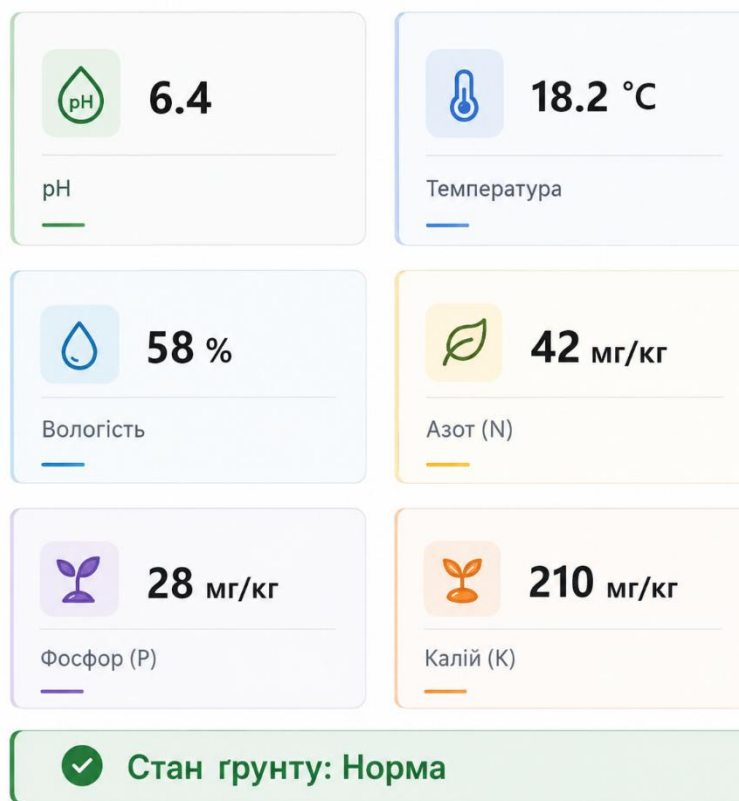


Рис. 3.6. Модульність React

Для покращення візуального сприйняття інформації та підвищення зручності роботи користувача в інтерфейсі системи було застосовано два варіанти оформлення інформаційних карток, які по чергово розташовуються в структурі сторінки. Такий підхід дозволяє візуально відокремити сусідні блоки даних, полегшує орієнтацію серед великої кількості параметрів моніторингу та сприяє швидшому пошуку необхідної інформації. Крім того, використання узгодженої кольорової схеми забезпечує сучасний вигляд інтерфейсу та покращує загальну ергономіку вебзастосунку.

Після реалізації модуля відображення поточних значень параметрів ґрунту було розроблено засоби графічної візуалізації результатів моніторингу. Для цього в структурі вебзастосунку створено окрему сторінку «Статистика», яка призначена для аналізу змін контрольованих показників у часі та оцінювання тенденцій стану ґрунтового середовища.

Побудову графіків реалізовано за допомогою бібліотеки Recharts, яка є одним із найбільш поширених інструментів візуалізації даних для React-застосунків. Використання цієї бібліотеки дозволяє створювати інтерактивні графіки та діаграми, що автоматично адаптуються до розмірів екрана користувача. На сторінці статистики відображаються часові залежності основних параметрів моніторингу, зокрема вологості ґрунту, температури, кислотності (pH), електропровідності (ЕС), а також концентрацій азоту, фосфору та калію. Це забезпечує можливість детального аналізу отриманих даних та виявлення змін екологічного стану ґрунту протягом обраного періоду спостережень (рис. 3.5).

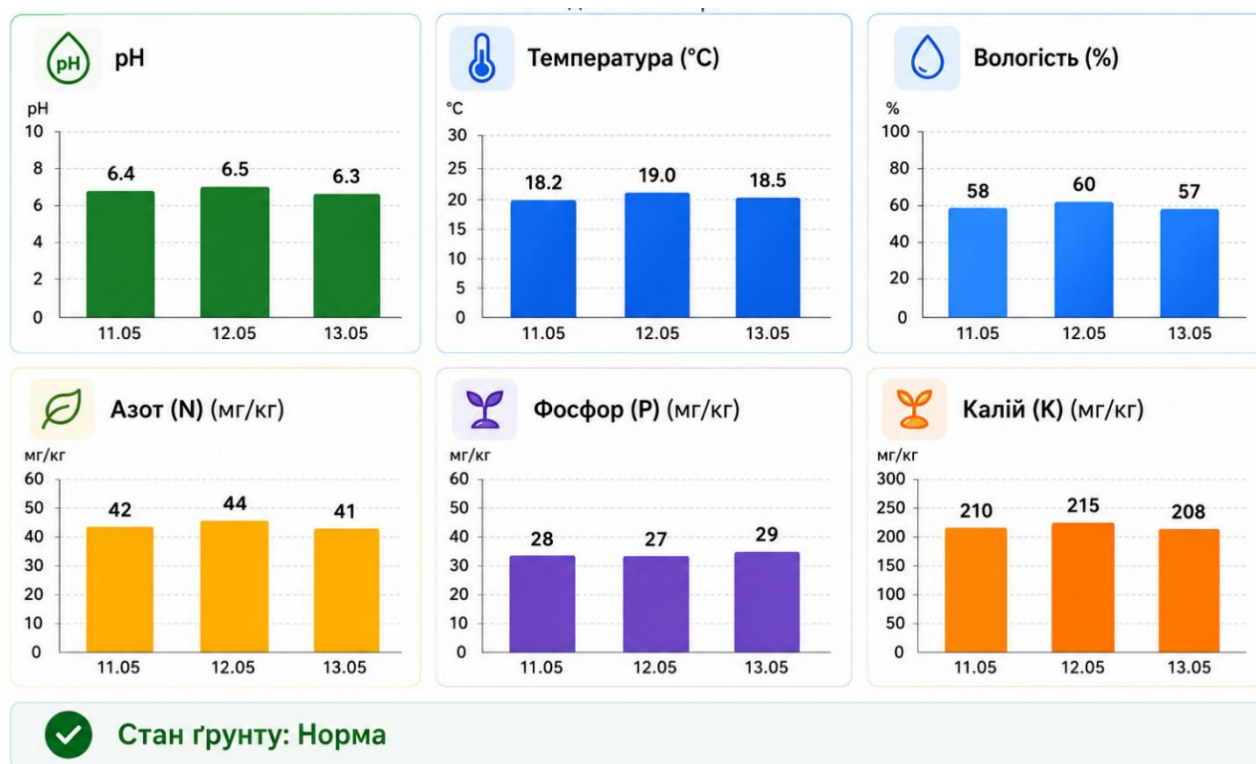


Рис. 3.7. Основні параметри ґрунту

Графічна візуалізація результатів моніторингу значно підвищує інформативність системи та спрощує аналіз отриманих даних. На відміну від табличного подання, графіки дозволяють оперативно оцінювати зміни контрольованих параметрів ґрунту в часі, виявляти тенденції їх зміни та визначати відхилення від нормативних або оптимальних значень. За допомогою

візуального аналізу користувач може відстежувати коливання вологості, температури, кислотності (pH), електропровідності (ЕС), а також концентрацій азоту, фосфору та калію. Це забезпечує можливість своєчасного виявлення негативних процесів у ґрунті, оцінювання ефективності агротехнічних заходів та прийняття обґрунтованих рішень щодо подальшого використання земельної ділянки. Крім того, графічне подання даних сприяє більш наочному порівнянню результатів вимірювань за різні часові періоди та підвищує ефективність роботи користувачів із системою моніторингу.

### **Висновки за розділом 3**

У третьому розділі було розроблено програмне забезпечення інформаційно-вимірювальної системи оперативного моніторингу параметрів ґрунту. Проведено обґрунтування вибору програмних засобів для реалізації веборієнтованого інтерфейсу користувача, зокрема мови програмування JavaScript, бібліотеки React та набору компонентів Material UI.

У ході роботи створено структуру вебзастосунку, реалізовано систему навігації між сторінками, інформаційні картки для відображення поточних значень параметрів ґрунту та сторінку статистичного аналізу з графічною візуалізацією результатів вимірювань. Для побудови графіків використано бібліотеку Recharts, що забезпечує наочне відображення динаміки зміни контрольованих показників.

Розроблений інтерфейс дозволяє здійснювати моніторинг температури, вологості, кислотності ґрунту (pH), а також концентрацій азоту, фосфору та калію в режимі реального часу. Користувач отримує можливість переглядати поточні значення параметрів, аналізувати історичні дані та оцінювати тенденції зміни стану ґрунту за допомогою графічних засобів візуалізації.

Таким чином, розроблене програмне забезпечення забезпечує зручний доступ до вимірювальної інформації, підвищує оперативність контролю стану ґрунту та створює основу для подальшого розвитку функцій аналізу й підтримки прийняття рішень у системі екологічного моніторингу.

## РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ

Охорона праці є важливою складовою будь-якої інженерної розробки та передбачає комплекс заходів, спрямованих на забезпечення безпечних і нешкідливих умов праці під час експлуатації технічних засобів та інформаційно-вимірювальних систем. Особливого значення питання безпеки набувають під час проєктування та впровадження систем моніторингу параметрів ґрунту, які функціонують на основі технологій Інтернету речей (IoT), бездротових мереж передачі даних та електронних засобів вимірювання.

Розроблена система моніторингу ґрунту включає мікроконтролер ESP32, датчик NPKPHSTH-S, перетворювач інтерфейсу RS485–UART, засоби бездротового зв'язку LoRaWAN та серверне програмне забезпечення для збору й обробки даних. Під час монтажу, налаштування та експлуатації системи можуть виникати небезпечні фактори, пов'язані з використанням електричного обладнання, джерел живлення, комунікаційних пристроїв та комп'ютерної техніки.

Особливістю IoT-систем є їхня розподілена структура, що передбачає розміщення вимірювальних вузлів на відкритій місцевості. У таких умовах необхідно враховувати вплив атмосферних явищ, підвищеної вологості, перепадів температури та механічних пошкоджень обладнання. Тому під час проєктування системи необхідно передбачити використання захищених корпусів, надійних джерел живлення та засобів захисту електронних компонентів від несприятливих зовнішніх факторів.

Метою даного розділу є аналіз потенційно небезпечних і шкідливих факторів, що можуть виникати під час експлуатації системи моніторингу ґрунту, а також розроблення комплексу організаційних і технічних заходів, спрямованих на забезпечення безпечних умов праці персоналу під час роботи з апаратними та програмними компонентами системи.

#### **4.1. Нормативно-правова база охорони праці при експлуатації інформаційних систем**

Система нормативно-правових актів з охорони праці в Україні включає закони, державні стандарти, санітарні норми, правила безпечної експлуатації електрообладнання та внутрішні нормативні документи підприємств. Основною метою цих документів є забезпечення безпечних і нешкідливих умов праці під час розробки, монтажу, налагодження та експлуатації технічних систем.

Розроблена інформаційно-вимірювальна система оперативного моніторингу стану ґрунту належить до класу електронних та телекомунікаційних пристроїв, що використовують мікроконтролери, сенсорні модулі, засоби бездротового зв'язку та серверне обладнання. Тому під час її проєктування необхідно враховувати вимоги щодо електробезпеки, пожежної безпеки, електромагнітної сумісності обладнання, а також безпечної організації робочих місць користувачів і обслуговуючого персоналу.

Під час експлуатації системи джерелами потенційної небезпеки можуть бути електричні кола живлення датчиків та контролерів, акумуляторні батареї автономних вузлів моніторингу, комутаційне обладнання мереж передачі даних, а також серверні пристрої, що забезпечують обробку та зберігання інформації. Особливу увагу необхідно приділяти захисту обладнання від коротких замикань, перенапруг, атмосферних розрядів та впливу несприятливих погодних умов.

Для забезпечення безпечної роботи персоналу під час монтажу та обслуговування вимірювальних вузлів необхідно дотримуватися правил роботи з електротехнічним обладнанням, використовувати справні засоби індивідуального захисту та виконувати технічне обслуговування лише після відключення живлення обладнання.

Оскільки система передбачає використання технологій Інтернету речей (IoT), важливим аспектом є також інформаційна безпека. Передавання даних між віддаленими вузлами моніторингу та серверною частиною повинно здійснюватися із застосуванням засобів автентифікації, шифрування та

контролю доступу, що забезпечує захист інформації від несанкціонованого втручання.

Таким чином, під час проєктування та експлуатації інформаційно-вимірювальної системи моніторингу ґрунту необхідно враховувати вимоги електробезпеки, пожежної безпеки, виробничої санітарії та інформаційного захисту. Виконання зазначених вимог забезпечує надійну та безпечну роботу системи, а також створює належні умови праці для персоналу, який здійснює її обслуговування.

#### **4.2. Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів при експлуатації інформаційних систем**

Згідно з класифікацією небезпечні та шкідливі виробничі фактори поділяються на фізичні, хімічні, біологічні та психофізіологічні. Під час розробки, монтажу та експлуатації інформаційно-вимірювальної системи оперативного моніторингу стану ґрунту найбільше значення мають фізичні фактори, пов'язані з використанням електронного обладнання, засобів зв'язку та комп'ютерної техніки.

**Ураження електричним струмом.** До складу системи входять мікроконтролер ESP32, датчик NPKPHCTH-S, перетворювач інтерфейсів RS485–UART, модулі живлення, акумуляторні батареї та серверне обладнання. Під час монтажу, налагодження або технічного обслуговування можливе випадкове торкання струмопровідних частин, пошкодження ізоляції провідників або виникнення короткого замикання. Це може призвести до ураження електричним струмом, пошкодження обладнання або виникнення пожежонебезпечних ситуацій.

**Несприятливі метеорологічні умови.** Вузли моніторингу встановлюються безпосередньо на відкритій місцевості, тому обладнання піддається впливу атмосферних опадів, підвищеної вологості, пилу, перепадів температур та сонячного випромінювання. Тривала дія таких факторів може

спричинити погіршення характеристик електронних компонентів, корозію контактів та зниження надійності системи.

**Запиленість та забруднення навколишнього середовища.** Під час експлуатації системи в польових умовах електронні пристрої можуть піддаватися впливу пилу, частинок ґрунту та агресивних хімічних речовин, що містяться у добривах або засобах захисту рослин. Це може призводити до забруднення контактних з'єднань, погіршення теплообміну та передчасного виходу обладнання з ладу.

**Електромагнітні завади.** Передавання даних у системі здійснюється через інтерфейс RS485 та бездротову мережу LoRaWAN. Поблизу ліній електропередач, силового обладнання або радіопередавальних пристроїв можуть виникати електромагнітні завади, які здатні впливати на точність вимірювань і коректність передавання даних між вузлами системи.

**Пожежна небезпека.** Джерелами потенційної пожежної небезпеки є акумуляторні батареї, блоки живлення та електронні модулі. Порушення режимів експлуатації, короткі замикання або механічні пошкодження елементів живлення можуть призвести до перегрівання обладнання та виникнення пожежі.

**Недостатнє освітлення робочого місця.** Монтаж, налаштування та ремонт обладнання часто виконуються в польових умовах або технічних приміщеннях. Недостатня освітленість може спричинити помилки під час підключення електронних компонентів, збільшити втому працівника та підвищити ймовірність виробничого травматизму.

**Психофізіологічні фактори.** Робота оператора системи пов'язана з тривалим спостереженням за інформацією на екрані комп'ютера, аналізом великої кількості вимірювальних даних та необхідністю швидкого реагування на аварійні повідомлення. Це може викликати зорове перенапруження, втому та зниження концентрації уваги.

Аналіз умов експлуатації показує, що найбільшу небезпеку для персоналу становлять електротехнічні фактори, несприятливі погодні умови та ризики, пов'язані з використанням автономних джерел живлення. Тому під час

проектування системи особливу увагу необхідно приділити захисту електричних кіл, герметизації обладнання, забезпеченню електромагнітної сумісності та впровадженню засобів контролю технічного стану вузлів моніторингу.

#### **4.3. Технічні заходи безпеки при експлуатації інформаційної системи**

За результатами аналізу небезпечних та шкідливих виробничих факторів для інформаційно-вимірювальної системи оперативного моніторингу стану ґрунту обґрунтовано комплекс технічних заходів, спрямованих на забезпечення безпечної та надійної експлуатації обладнання.

**Захист від ураження електричним струмом.** Усі електронні модулі системи, зокрема контролер ESP32, датчик NPKPHCTH-S, RS485–UART перетворювач та блоки живлення, повинні живитися від низьковольтних джерел постійного струму. Для захисту від коротких замикань та перевантажень передбачаються запобіжники, автоматичні вимикачі та схеми захисту від перенапруг.

**Герметизація обладнання.** Оскільки вимірювальні вузли функціонують у польових умовах, електронні компоненти розміщуються у герметичних корпусах із відповідним ступенем захисту від вологи та пилу. Це запобігає потраплянню атмосферних опадів, ґрунтових частинок та конденсату на електронні елементи.

**Захист від атмосферних впливів.** Для забезпечення стабільної роботи системи передбачено захист обладнання від прямих сонячних променів, різких перепадів температури та грозових перенапруг. За необхідності використовуються блискавкозахисні пристрої та обмежувачі перенапруги.

**Контроль стану живлення.** Система здійснює моніторинг рівня заряду акумуляторних батарей та параметрів живлення. У разі зниження напруги нижче допустимого рівня користувач отримує відповідне повідомлення через вебінтерфейс.

**Контроль достовірності даних.** Під час обміну інформацією між датчиком NPKPHCTH-S та контролером ESP32 через інтерфейс RS485 виконується перевірка адреси пристрою, коду функції та контрольної суми



повідомлень. Це дозволяє виявляти помилки передавання даних та підвищує надійність роботи системи.

**Захист каналів зв'язку.** Передавання даних мережею LoRaWAN здійснюється із застосуванням вбудованих механізмів шифрування та автентифікації, що запобігає несанкціонованому доступу до інформації та підвищує рівень кібербезпеки системи.

**Світлова індикація та діагностика.** Для оперативного контролю стану обладнання передбачено використання світлодіодної індикації режимів роботи, наявності живлення та передачі даних. У разі виникнення несправностей система формує повідомлення про помилки для подальшої діагностики та усунення причин відмов.

Запропоновані технічні заходи дозволяють забезпечити безпечну експлуатацію інформаційно-вимірювальної системи моніторингу ґрунту, підвищити надійність функціонування обладнання та мінімізувати ризики виникнення аварійних ситуацій під час роботи в польових умовах.

#### **4.4. Пожежна безпека**

Розроблена система моніторингу родючості ґрунту містить електронні компоненти, зокрема мікроконтролер ESP32, перетворювач RS485–UART, блок живлення та комунікаційне обладнання. Основними причинами виникнення пожежонебезпечних ситуацій можуть бути короткі замикання в електричних колах, перевантаження джерел живлення, пошкодження ізоляції провідників, перегрів електронних компонентів, а також порушення правил експлуатації електрообладнання.

Для забезпечення пожежної безпеки системи передбачаються такі заходи:

- застосування стабілізованих джерел живлення із захистом від короткого замикання та перевантаження;
- використання якісних кабелів і з'єднувальних елементів з надійною ізоляцією;

- розміщення електронних модулів у захисних корпусах із негорючих або важкогорючих матеріалів;
- регулярний контроль технічного стану електричних з'єднань та елементів живлення;
- дотримання вимог електробезпеки під час монтажу та обслуговування обладнання;
- забезпечення приміщень засобами пожежогасіння та вільним доступом до них.

У разі встановлення серверного або мережевого обладнання в приміщенні доцільним є використання автоматичних вимикачів, пристроїв захисного відключення та систем контролю температури обладнання. Для гасіння можливих загорянь електрообладнання рекомендується використовувати вуглекислотні або порошкові вогнегасники, які не проводять електричний струм та не пошкоджують електронні компоненти. Використання води для гасіння обладнання, що перебуває під напругою, не допускається через небезпеку ураження електричним струмом.

Дотримання наведених заходів дозволяє мінімізувати ризик виникнення пожеж, забезпечити безпечну експлуатацію інформаційно-вимірювальної системи моніторингу родючості ґрунту та зберегти працездатність її апаратних і програмних компонентів.

## **Висновки за розділом 4**

У даному розділі розглянуто питання охорони праці під час експлуатації інформаційно-вимірювальної системи оперативного моніторингу стану ґрунту. Проаналізовано основні нормативно-правові вимоги щодо забезпечення безпечних умов праці при роботі з електронним обладнанням, засобами бездротового зв'язку та інформаційними системами.

Виконано аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів, які можуть виникати під час монтажу, налаштування та експлуатації системи. Встановлено, що найбільшу небезпеку становлять ризики ураження електричним струмом, вплив несприятливих погодних умов, електромагнітних завад, пожежонебезпечних факторів та несприятливих умов праці оператора.

Для зниження рівня ризиків запропоновано комплекс технічних заходів безпеки, що включає використання низьковольтного живлення, захист від коротких замикань і перенапруг, герметизацію електронних модулів, контроль параметрів живлення, перевірку достовірності переданих даних, захист каналів зв'язку та впровадження засобів діагностики обладнання. Окрему увагу приділено питанням пожежної безпеки, зокрема застосуванню захищених джерел живлення, негорючих матеріалів корпусів та відповідних засобів пожежогасіння.

Запропоновані технічні та організаційні рішення забезпечують безпечну, надійну та безперервну роботу інформаційно-вимірювальної системи моніторингу стану ґрунту, а також створюють належні умови праці для персоналу під час її експлуатації та обслуговування.

## ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі було розроблено інформаційно-вимірювальну систему оперативного моніторингу стану ґрунту на основі технологій Інтернету речей. Актуальність роботи обумовлена необхідністю постійного контролю агрохімічних параметрів ґрунту для підвищення ефективності сільськогосподарського виробництва, раціонального використання добрив та збереження родючості земельних ресурсів.

У ході виконання роботи проведено аналіз сучасних методів і технічних засобів моніторингу ґрунтів, розглянуто особливості застосування бездротових технологій передачі даних та IoT-рішень у системах екологічного контролю. На основі проведеного аналізу сформовано вимоги до інформаційно-вимірювальної системи та обґрунтовано вибір її апаратних і програмних компонентів.

Для реалізації вимірювального вузла обрано мікроконтролер ESP32, який забезпечує збір, обробку та передачу даних, а також багатофункціональний датчик NPKPHSTH-S, що дозволяє контролювати температуру, вологість, кислотність ґрунту (pH), а також концентрації азоту, фосфору та калію. Для взаємодії між датчиком і контролером використано перетворювач інтерфейсу RS485–UART, який забезпечує надійний цифровий обмін даними. Розроблено структурну схему системи та алгоритми функціонування локальної і віддаленої частин комплексу.

Особливу увагу приділено створенню програмного забезпечення системи. Для реалізації веборієнтованого інтерфейсу користувача використано сучасні технології JavaScript, React та Material UI. Розроблений вебзастосунок забезпечує відображення поточних значень параметрів ґрунту, формування інформаційних панелей, графічне представлення результатів вимірювань, аналіз історичних даних та зручний доступ до інформації через мережу Інтернет. Для побудови графіків використано бібліотеку Recharts, що дозволяє візуалізувати зміни контрольованих параметрів у часі.

У роботі також розглянуто питання охорони праці під час експлуатації розробленої системи. Проведено аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів, визначено основні ризики, пов'язані з використанням електронного обладнання, автономних джерел живлення та бездротових каналів зв'язку. Запропоновано комплекс технічних та організаційних заходів щодо забезпечення електробезпеки, пожежної безпеки, захисту обладнання від несприятливих погодних умов і підвищення надійності функціонування системи.

У результаті виконання роботи створено апаратно-програмний комплекс оперативного моніторингу стану ґрунту, який забезпечує автоматизований збір, передавання, зберігання та візуалізацію даних про основні агрохімічні параметри. Розроблена система характеризується простотою впровадження, низькою вартістю, масштабованістю та можливістю подальшого розширення функціональних можливостей шляхом підключення додаткових датчиків і сервісів аналізу даних. Використання запропонованого рішення сприятиме підвищенню ефективності контролю стану ґрунтів, своєчасному прийняттю агротехнічних рішень та впровадженню сучасних технологій точного землеробства.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Панас Р. М. Екологія ґрунтів : навч. посіб. Львів : Новий світ-2000, 2026. 481 с. ISBN 978-617-7519-10-1.
2. Савосько В. М. Ґрунтознавство : опорний конспект лекцій / уклад. В. М. Савосько. Кривий Ріг : Криворізький державний педагогічний університет, 2021. 306 с.
3. Купчик В., Іваніна В., Нестеров Г., Тонха О., Лі М., Метьюз Г. Ґрунти України. Властивості, генезис, менеджмент родючості. Київ : Кондор, 2016. 414 с. ISBN 978-966-351-103-0.
4. Клименко М. О., Прищепа А. М., Вознюк Н. М. Моніторинг довкілля: підручник. 2-ге вид., допов. та перероб. Рівне : НУВГП, 2023. 350 с. ISBN 978-966-327-557-4.
5. Ткачук О. П. Моніторинг довкілля : курс лекцій та практичні заняття: навч.-метод. посіб. Вінниця : РВВ ВНАУ, 2014. 411 с.
6. Рома В. В., Степова О. В. Моніторинг довкілля : навч.-метод. посіб. для вивчення дисципліни «Моніторинг довкілля» для студентів напряму підготовки 6.040106 «Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування» освітньо-кваліфікаційного рівня «бакалавр». Полтава : ПолтНТУ, 2016. 117 с.
7. Азарова, А. О. А35 Інформаційні системи і технології. Частина 1 : навчальний посібник [Електронний ресурс] / Азарова А. О., Юрчук Н. П., Муращенко О. Г. – Вінниця : ВНТУ, 2024. – 152 с.
8. Грицунов О. В. Інформаційні системи та технології : навч. посіб. для студентів за напрямом підготовки «Транспортні технології». Харків : ХНАМГ, 2010. 222 с.
9. Струтинська О. В. Інформаційні системи та мережеві технології : навч. посіб. Київ : Університет «Україна», 2008. 211 с.
10. Шило С. Г., Щербак Г. В., Огурцова К. В. Інформаційні системи та технології : навч. посіб. Харків : Вид. ХНЕУ, 2013. 220 с. (Укр. мов.).

11. Цирульник С. М., Азаров О. Д., Крупельницький Л. В., Трояновська Т. І. Програмування мікроконтролерів AVR : навч. посіб. Вінниця : ВНТУ, 2018. 111 с.
12. Татарчук Д. Д., Діденко Ю. В. [Назва посібника] : навч. посіб. для студ. спеціальності 153 «Мікро- та наносистемна техніка», освітньої програми «Мікро- та наноелектроніка». Київ : КПП ім. Ігоря Сікорського, 2020. 238 с.
13. Квашнін В. О., Бабаш А. В., Квашнін В. В. Програмування та застосування мікроконтролерів STM32F4Discovery : монографія. Краматорськ : ЦТПІ «Друкарський дім», 2017. 143 с.
14. Cameron N. Electronics Projects with the ESP8266 and ESP32: Building Web Pages, Applications, and WiFi Enabled Devices. New York : Apress, 2021. 703 p. ISBN 978-1-4842-6335-8. DOI: 10.1007/978-1-4842-6336-5.
15. Monk S. Programming ESP32: Learn MicroPython Coding and Electronics. MonkMakes Embedded Programming Series. Taunton : MonkMakes Press, 2024. 172 p. ISBN 978-1739487454.
16. DeRose J. F. The Wireless Data Handbook. New York : John Wiley & Sons, 1999. 416 p. ISBN 978-0471316510.
17. Грінгард С. Інтернет речей / пер. з англ. Л. Герасимчука. Харків : КСД, 2018. 176 с. ISBN 978-617-12-4657-7.
18. Баранов О. А. Інтернет речей: теоретико-методологічні основи правового регулювання. Т. 1 : Сфери застосування, ризики і бар'єри, проблеми правового регулювання : монографія / О. А. Баранов ; Науково-дослідний інститут інформатики і права НАПрН України. 2-ге вид. Харків : Право, 2018. 344 с.
19. Невлюдов І. Ш., Андрусевич В. А., Новоселов С. П., Резніченко О. Г. Технології Інтернету речей в управлінні пристроями на мікроконтролерах : навч. посіб. [Електронний ресурс]. Електрон. вид. Харків : ХНУРЕ, 2023. 214 с. PDF, 2,88 МБ.
20. Ачкасов І. А., Козир Б. Ю., Тімінський О. Г. Інтернет речей і смарт технології : конспект лекцій. Київ : КНУБА, 2022. 64 с.

21. Жураковський Б. Ю., Зенів І. О. Технології інтернету речей : навч. посіб. для студ. спеціальності 126 «Інформаційні системи та технології», спеціалізація «Інформаційне забезпечення робототехнічних систем» [Електронний ресурс]. Електрон. текст. дані (1 файл : 12,5 Мбайт). Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 271 с.