

**МІНІСТЕРСТВО ВНУТРІШНІХ СПРАВ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВНУТРІШНІХ СПРАВ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ УПРАВЛІННЯ, ПСИХОЛОГІЇ
ТА БЕЗПЕКИ**

Кафедра інформаційних технологій

**РОЗРОБЛЕННЯ ЦИФРОВОГО ПРИСТРОЮ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ
АНОМАЛЬНОЇ ВОЛОГОСТІ І КИСЛОТНОСТІ ҐРУНТУ ПРИ
ПОШУКУ ПРИХОВАНИХ ОБ'ЄКТІВ ПРАЦІВНИКАМИ ПОЛІЦІЇ**

Кваліфікаційна робота
здобувача вищої освіти
4 курсу денної форми навчання
Роман КАРПА

Науковий керівник:
доцент, кандидат технічних наук_
Андрій ГОЛОВАТИЙ

Рецензент:

вчене звання, науковий ступінь

(Ім'я ПРИЗВИЩЕ рецензента)

Кваліфікаційна робота допущена до захисту

«___» _____ 2026 р., протокол № _____

Завідувач кафедри інформаційних технологій
Олег ЗАЧЕК

(підпис)

Львів
2026

СПИСОК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ПК	персональний комп'ютер;
МК	мікроконтролер;
ЕК	електронна схема;
ПЗ	програмне забезпечення;
АЗ	апаратне забезпечення;
САПР (CAD)	система автоматизованого проектування;
Arduino Uno	апаратно-програмна платформа на МК ATmega328;
Arduino IDE	– інтегроване середовище розробки, яке використовується для написання і прошивки програмного коду в МК плати Arduino;
AVR	– лінійка мікроконтролерів фірми Atmel;
PKI/PKD (LCD)	– рідкокристалічний індикатор/дисплей;
АЦП (ADC)	– аналого-цифровий перетворювач;
RAM (ОЗП)	– Random-Access-Memory оперативний запам'ятовуючий пристрій – пам'ять;
Flash (флеш пам'ять)	– енергонезалежна програмована пам'ять;
EEPROM (Electrically [Electrical] Erasable Programmable Read-Only Memory)	– постійна пам'ять, яку можна електричним способом перепрограмувати;
UART	– (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter) універсальний асинхронний приймач та передавач, УАПП;
SPI (Serial Peripheral Interface, SPI bus)	– послідовний периферійний інтерфейс, шина SPI) – послідовний синхронний повнодуплексний стандарт передачі даних, розроблений фірмою Motorola для забезпечення простого підключення мікроконтролера та периферії;
Secure Digital Memory Card (SD)	– формат карт пам'яті (флеш-пам'ять), розроблений SD Association (SDA) для використання в портативних пристроях.

АНОТАЦІЯ

Карпа Р., Головатий А. (керівник). Розроблення цифрового пристрою для визначення аномальної вологості і кислотності ґрунту при пошуку прихованих об'єктів працівниками поліції. Бакалаврська кваліфікаційна робота. – Львівський державний університет внутрішніх справ, Львів, 2026.

У межах кваліфікаційної роботи спроектовано цифровий пристрій, призначений для моніторингу аномальних показників гідратації та кислотного балансу ґрунту. Апаратна частина забезпечує фіксацію температури, рівня вологості та рН середовища з подальшою візуалізацією даних на РК-моніторі. Передбачено функцію архівації отриманих результатів на зовнішній SD-носій, що активується за допомогою клавіші “STORE”.

Проектування апаратної частини системи моніторингу параметрів ґрунту базується на використанні актуальних електронних компонентів. Ключовим вузлом керування обрано платформу Arduino Uno R3, що функціонує на МК ATmega328. До складу вимірювального комплексу інтегровано сенсори температури та вологості ґрунту, а також підсистему збереження даних. Візуалізація результатів реалізована на символьному РК-індикаторі 1602.

Сформульовано та описано методику калібрування сенсора вологості ґрунту. Програмна реалізація проєкту включає функції для взаємодії з вимірювальними датчиками та модулем запису на SD-носій. Керуюче програмне забезпечення розроблено на C/C++ у середовищі Arduino IDE. Валідація працездатності пристрою здійснювалася шляхом імітаційного моделювання в пакеті Proteus ISIS, а також через апробацію на фізичному макеті. Отримані дані підтверджують адекватність обраних алгоритмів та стабільність функціонування пристрою в цілому.

Ключові слова: цифровий пристрій, параметри ґрунту, гігрометр HL-69, прецизійний датчик SHT75, мікроконтролерна платформа Arduino, архітектура ATmega328, логування даних, SD-інтерфейс, комп'ютерне моделювання Proteus, розробка Firmware, середовище програмування.

ABSTRACT

Karpa R., Holovatyy A. (supervisor). Development of a digital device for determining abnormal soil moisture and acidity when searching for hidden objects by police officers. Bachelor's thesis. – Lviv State University of Internal Affairs, Lviv, 2026.

As part of the qualification work, a digital device was designed to monitor abnormal indicators of hydration and acid balance of the soil. The hardware part provides recording of temperature, humidity level and pH of the environment with subsequent visualization of data on the LCD monitor. The function of archiving the obtained results to an external SD-carrier is provided, which is activated using the “STORE” key.

The design of the hardware part of the soil parameter monitoring system is based on the use of current electronic components. The Arduino Uno R3 platform, which operates on the ATmega328 microcontroller, was chosen as the key control node. The measuring complex integrates soil temperature and moisture sensors, as well as a data storage subsystem. The results are visualized on a 1602 symbolic LCD indicator.

A soil moisture sensor calibration method is formulated and described. The software implementation of the project includes functions for interaction with measuring sensors and a recording module on an SD media. The control software is developed in C/C++ in the Arduino IDE environment. Validation of the device's performance was carried out by simulation modeling in the Proteus ISIS package, as well as through testing on a physical model. The obtained data confirm the adequacy of the selected algorithms and the stability of the device's functioning as a whole.

Keywords: digital device, soil parameters, HL-69 hygrometer, SHT75 precision sensor, Arduino microcontroller platform, ATmega328 architecture, data logging, SD interface, Proteus computer modeling, Firmware development, programming environment.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ПРОБЛЕМНОЇ ОБЛАСТІ.....	9
1.1. Теоретичні основи та аналітичні методи визначення водневого показника.....	9
1.2. Огляд вимірювачів вологості та кислотності ґрунту.....	10
РОЗДІЛ 2. ІНСТРУМЕНТАРІЙ ПРОЄКТУВАННЯ ТА ПРОГРАМУВАННЯ ЦИФРОВОГО ПРИСТРОЮ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ АНОМАЛЬНОЇ ВОЛОГОСТІ І КИСЛОТНОСТІ ҐРУНТУ.....	23
2.1. Середовище проєктування та моделювання МК-пристроїв Proteus VSM.....	23
2.2. Інтегроване середовище розробки Arduino IDE.....	25
РОЗДІЛ 3. АПАРАТНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЦИФРОВОГО ПРИСТРОЮ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ АНОМАЛЬНОЇ ВОЛОГОСТІ І КИСЛОТНОСТІ ҐРУНТУ.....	28
3.1 Підбір компонентів для проєктування цифрового пристрою для визначення аномальної вологості і кислотності ґрунту.....	28
3.2. Проєктування цифрового пристрою для визначення аномальної вологості і кислотності ґрунту в САПР Proteus VSM.....	43
РОЗДІЛ 4. ПРОГРАМНО-АЛГОРИТМЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЦИФРОВОГО ПРИСТРОЮ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ АНОМАЛЬНОЇ ВОЛОГОСТІ І КИСЛОТНОСТІ ҐРУНТУ.....	47
4.1. Алгоритм калібрування датчиків вологості і кислотності.....	47
4.2. Програмна бібліотека SD для зберігання даних на карту пам'яті.....	54
4.3. Програмна бібліотека LiquidCrystal для виведення даних на LCD HD44780.....	58
4.4. Програмна реалізація алгоритму роботи цифрового пристрою для визначення аномальної вологості і кислотності ґрунту.....	60
4.5. Моделювання та аналіз результатів роботи цифрового пристрою для визначення аномальної вологості і кислотності ґрунту в Proteus ISIS.....	61
ВИСНОВКИ.....	69
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ.....	71

ВСТУП

Визначення аномальних показників вологості та кислотності ґрунтового покриву є ефективним методом дистанційного детектування прихованих об'єктів під час проведення слідчих дій. Порушення природної структури ґрунту (розкопування) призводить до зміни його гігроскопічності та аерації, що фіксується пристроєм як локальна аномалія вологості. Окрім того, наявність сторонніх предметів або органічних решток ініціює хімічні реакції, що змінюють рівень рН середовища. Використання розробленого цифрового пристрою дозволяє працівникам поліції оперативно виявляти місця ймовірного приховування речових доказів без суцільного розкопування території.

Стрімкий розвиток модульної електроніки дозволяє створювати кастомізовані вимірювальні комплекси за низької собівартості. Завдяки сумісності сучасних датчиків із популярними обчислювальними платформами, стає можливим проектування малогабаритних пристроїв для аналізу вологості та рівня рН ґрунту. Такі системи забезпечують необхідну точність вимірювань при мінімальних витратах на елементну базу, що є важливим для їх широкого впровадження.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженню можливостей використання МК для створення цифрових пристроїв присвячено різноманітні публікації і проєкти, що дають основу для подальшої розробки цифрового пристрої для визначення вологості і кислотності ґрунту при пошуку прихованих об'єктів працівниками поліції.

Сучасна криміналістична тактика потребує впровадження мобільних та високоефективних технічних засобів для оперативного обстеження територій. При пошуку об'єктів, прихованих у товщі ґрунту (речових доказів, зброї або місць несанкціонованих захоронень), традиційні методи часто обмежені трудомісткістю та руйнівним впливом на місце події. Актуальність даної

розробки обумовлена наступними факторами: детектування антропогенних порушень, хімічна індикація сторонніх предметів, цифровізація та доказова база, оптимізація ресурсів поліції.

У зв'язку зі сказаним можемо сформулювати мету та завдання кваліфікаційної роботи.

Метою роботи є проектування та технічна реалізація цифрового пристрою, призначеного для ідентифікації локальних аномалій вологості та кислотного балансу ґрунту під час проведення оперативно-розшукових заходів. Розробка спрямована на забезпечення автоматизованого контролю фізико-хімічних параметрів середовища з можливістю візуалізації поточних даних на ПК-моніторі та їх подальшої архівації у форматі CSV на зовнішньому SD-носії для створення доказової бази.

Для досягнення мети необхідно вирішити наступні **завдання**:

- розробити цифровий пристрій для визначення аномальної вологості і кислотності ґрунту на основі наступних даних:
 - плата Arduino Uno з 8-розрядним МК AVR ATmega328;
 - сенсори вологості і кислотності ґрунту;
 - символьний РКІ-модуль 1602А на контролері HD44780.
- спроектувати цифровий пристрій для визначення аномальної вологості і кислотності ґрунту та створити його модель в САПР Proteus;
- розробити алгоритми калібрування сенсорів вологості і кислотності ґрунту;
- розробити алгоритм роботи цифрового пристрою для визначення аномальної вологості і кислотності ґрунту;
- розробити основний програмний скетч цифрового пристрою для визначення рівня аномальної вологості і кислотності ґрунту при пошуку прихованих об'єктів на мові С в середовищі Arduino IDE;

- провести моделювання роботи цифрового пристрою для визначення аномальної вологості і кислотності ґрунту та проаналізувати отримані результати в симуляторі Proteus ISIS;
- зібрати та протестувати макет цифрового пристрою для визначення аномальної вологості і кислотності ґрунту при пошуку прихованих об'єктів.

Об'єкт дослідження – проектування цифрового пристрою для визначення аномальної вологості і кислотності ґрунту при пошуку прихованих об'єктів працівниками поліції.

Предмет дослідження – моделі та засоби проектування цифрового пристрою для визначення аномальної вологості і кислотності ґрунту при пошуку прихованих об'єктів працівниками поліції.

Методи дослідження. Для досягнення поставленої мети та розв'язання визначених завдань було використано комплекс наукових методів пізнання. Інформаційно-аналітичний та бібліометричний методи застосовувалися під час огляду наукових джерел та патентної документації, що дозволило визначити поточний стан розвитку технологій моніторингу параметрів ґрунту. Теоретичне узагальнення та системний підхід стали основою для аналізу концептуальних засад використання фізико-хімічних параметрів середовища у криміналістичному пошуку. Методи аналізу, синтезу та моделювання були використані при проектуванні архітектури пристрою та верифікації його працездатності в середовищі САПР. Емпіричний метод (експериментальне тестування) дозволив оцінити точність роботи макета пристрою в реальних умовах.

Структура роботи. Кваліфікаційна робота складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел, додатків. Обсяг основного тексту роботи складає 59 сторінок, 23 рисунки, 11 таблиць, 5 додатків і 22 бібліографічних джерела. Загальний обсяг роботи – 82 сторінки.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ПРОБЛЕМНОЇ ОБЛАСТІ

1.1. Теоретичні основи та аналітичні методи визначення водневого показника

Для оцінки активності іонів гідрогену в середовищі використовують водневий показник (pH). Математично цей параметр визначається як від'ємний десятковий логарифм концентрації вільних іонів водню:

$$\text{pH} = -\lg[\text{H}^+]$$

У контексті аналізу ґрунтового розчину значення pH відображає динамічну рівновагу між іонами H^+ та OH^- , що виникають внаслідок електролітичної дисоціації. Саме це кількісне співвідношення дозволяє класифікувати середовище як кисле, нейтральне або лужне, що є критично важливим при детектуванні аномальних хімічних зон.

Характер реакції середовища залежить від балансу іонів H^+ та OH^- . Переважання гідроксид-іонів ($\text{pH} > 7$) свідчить про лужне середовище, тоді як висока концентрація вільних іонів водню ($\text{pH} < 7$) вказує на кислу реакцію. Стан нейтральності ($\text{pH} = 7$) досягається за умови повної рівноваги цих іонів, що притаманно дистильованій воді. У криміналістичному контексті розчинення сторонніх хімічних сполук або продуктів розкладання об'єктів у ґрунтовій волозі порушує цей іонний баланс. Моніторинг рівня pH є критично важливим, оскільки навіть незначні девіації від нейтрального фону можуть сигналізувати про наявність сторонніх матеріалів, впливаючи на хімічну стабільність доказів та точність їх ідентифікації.

Для систематизації результатів вимірювань використовується загальноприйнята шкала активності іонів водню. За рівнем кислотності природні розчини поділяють на:

- сильнокислі: $\text{pH} < 3$;
- кислі: $3 \leq \text{pH} \leq 5$;

- слабокислі: $5 \leq \text{pH} < 6,5$;
- нейтральні (близькі до нейтральних): $6,5 \leq \text{pH} \leq 7,5$;
- слаболужні: $7,5 < \text{pH} \leq 8,5$.

При розробці пристрою враховано, що природний рівень рН варіюється залежно від екосистеми: для атмосферних опадів нормативними є значення 4,6–6,1, для заболочених місцевостей — 5,5–6,0, а для річкових систем фоновий показник зазвичай становить 6,5–8,5. Оскільки Всесвітня організація охорони здоров'я (ВООЗ) не встановлює жорстких медичних критеріїв для водневого показника, при пошуку прихованих об'єктів ключовим фактором є не абсолютне значення, а його різке відхилення від типових параметрів конкретної місцевості.

При експлуатації розробленого пристрою слід враховувати фізико-хімічні властивості середовища: за низьких показників рН спостерігається інтенсифікація корозійних процесів (що важливо для збереження металевих об'єктів у ґрунті), а за критично високих ($\text{pH} > 11$) розчини набувають лужної агресивності. Для стабільного функціонування більшості систем оптимальним визначено діапазон від 6 до 9 одиниць. У таблиці нижче наведено фонові значення для різних середовищ, які є базовими при калібруванні системи:

Таблиця 1.1. Фонові значення рН для різних середовищ

Тип середовища	Діапазон рН
Річкові системи	6,5 – 8,5
Атмосферні опади	4,6 – 6,1
Заболочені ділянки	5,5 – 6,0
Морська вода	7,9 – 8,3
Шахтні води	від 1,0

1.2. Огляд вимірювачів вологості та кислотності ґрунту

На сучасному ринку представлено широкий спектр комерційних рішень для прецизійної рН-метрії. Аналіз науково-технічної літератури та спеціалізованих інтернет-ресурсів демонструє значний масив напрацювань у галузі проектування приладів для аналізу кислотності середовищ. Актуальні розробки охоплюють як стаціонарні лабораторні комплекси, так і портативні

системи на базі сучасних мікроконтролерів. На Рис.1.1–1.3 представлено зразки цифрових вимірювачів, які реалізують функцію візуалізації отриманих даних на рідкокристалічних індикаторах [1].

Розгляд існуючих технічних рішень показує, що більшість побутових тестерів мають обмежений функціонал та аналогову індикацію. Зокрема, типовий пристрій (Рис.1.1) забезпечує контроль трьох параметрів: кислотності (3,5 – 8,0 рН), вологості (1 – 10 од.) та освітленості (0 – 2000 лк). Проте такі прилади зазвичай не мають функцій цифрового логування та автоматичного збереження даних, що критично для слідчих дій поліції. У запропонованій дипломній роботі ці недоліки усуваються шляхом впровадження мікроконтролерного керування та використання зовнішніх накопичувачів.



Рис. 1.1. Комбінований аналізатор параметрів ґрунту (вологості, рівня інсоляції та кислотності)

Цифровий гігрометр Walcom PMS-710. Цифровий гігрометр Walcom PMS-710 призначений для оперативного визначення вологовмісту в ґрунтових масивах та будівельних сумішах (зокрема, у цементі). Сфера застосування приладу охоплює агропромисловий комплекс, будівельну галузь, а також науково-дослідну діяльність, де необхідний точний контроль гідратації матеріалів. Пристрій базується на діелектричному методі вимірювання, що забезпечує високу швидкість отримання результатів.

Аналіз моделі PMS-710 дозволяє виділити ряд переваг, притаманних сучасним цифровим вимірювачам. Завдяки використанню методу електричного опору та вбудованій системі температурної компенсації, пристрій демонструє високу точність фіксації параметрів вологості. Основні експлуатаційні показники наведено у таблиці нижче.

Таблиця 1.2. Технічні характеристики вологоміра PMS-710

Найменування параметра	Значення та одиниці вимірювання
Тип індикатора	4-розрядний рідкокристалічний дисплей (РК)
Діапазон визначення вологості	0 – 50%
Температурний режим експлуатації	0 – 60 °C
Допустима вологість середовища	5% – 90% RH (без конденсації)
Роздільна здатність	0,1
Гранична похибка (точність)	+/-2%
Елементи живлення	4 батареї типу AAA (1,5В, типорозмір UM-4)



Рис. 1.2. Цифровий ґрунтовий вологомір Walcom PMS-710

Цифровий вологомір Rapitest Luster Leaf. Цифровий вологомір Rapitest (Luster Leaf) — це компактний вимірювальний пристрій, призначений для швидкої оцінки рівня вологості ґрунту (Рис.1.3). Конструктивною особливістю приладу є використання біметалевого зонда (щупа), що забезпечує прямий контакт із середовищем. Пристрій оснащений РК-дисплеєм для візуалізації поточних показників та інтегрованою системою енергозбереження. Технічні параметри моделі Rapitest:

- діапазон вимірювання: 0 – 9,9 відносних одиниць;

- роздільна здатність: 0,1;
- похибка (точність): $\pm 0,2 - 0,3$;
- живлення: 4,5 В (три елементи типу LR44);
- функціонал: автоматичне вимкнення через 5 хвилин бездіяльності.



Рис. 1.3. Цифровий портативний гігрометр Rapitest Luster Leaf з біметалевим зондом

Малогабаритний цифровий вологомір моделі Rapitest є типовим представником бюджетних експрес-аналізаторів, що використовують контактний метод вимірювання. Основними особливостями даного аналога є цифрова індикація результатів та спрощена конструкція датчика, що, однак, обмежує можливості приладу лише одним параметром моніторингу без можливості збереження отриманих даних.

Вологомір ґрунту Extech MO750. Промисловий вологомір Extech MO750 належить до класу професійних вимірювальних пристроїв підвищеної міцності (Рис.1.4). Прилад оснащений інтегрованим 8-дюймовим (20 см) зондом посиленої конструкції, що дозволяє здійснювати моніторинг вмісту вологи в ґрунті в діапазоні 0–50%. Корпус пристрою має вологозахищене виконання, що критично важливо для роботи у складних польових умовах. Функціональні можливості Extech MO750:

- візуалізація: великоформатний РК-дисплей для зручного зчитування даних;
- аналітичні функції: фіксація мінімальних та максимальних значень (Min/Max), а також функція утримання показників на екрані (Data\Hold);
- конструктив: змінна архітектура вимірювального щупа, що підвищує ремонтпридатність та експлуатаційний термін приладу.



Рис. 1.4. Промисловий вимірювач вологості ґрунту Extech MO750 у вологозахищеному виконанні

На відміну від раніше розглянутих побутових моделей, вимірювальний комплекс Extech MO750 орієнтований на експлуатацію в екстремальних польових умовах, що підтверджується наявністю зміцненого 8-дюймового зонда та герметичного корпусу. Даний аналог демонструє високу надійність при механічних навантаженнях, що є важливим критерієм для інструментарію, який використовується правоохоронними органами при обстеженні важкодоступних ділянок місцевості.

Цифровий аналізатор вологості ґрунту фірми Lutron. Цифровий аналізатор вологості виробництва компанії Lutron призначений для визначення вологовмісту в ґрунті, а також у матеріалах зі схожою структурою (деревина, зернові культури, паперова продукція). Прилад базується на високопродуктивній мікропроцесорній системі, що забезпечує стабільність

метрологічних характеристик та розширений функціонал. Основні параметри та особливості пристрою:

- Діапазон та прецизійність: Вимірювання вологості в межах 0 – 50% із роздільною здатністю 0,1%.
- Функціональні можливості: Наявність режиму *Data Hold* для фіксації поточних результатів на РК-дисплеї.
- Експлуатаційна надійність: Корпус виготовлено з ударостійкого ABS-пластику, що захищає електронні компоненти при використанні в польових умовах.
- Енергозабезпечення: Живлення здійснюється від чотирьох елементів типу AAA (1,5 В) з інтегрованим моніторингом рівня розряду.
- Термічний режим: Стабільна робота гарантується в діапазоні температур від 0 до 50 °С.



Рис. 1.5. Мікропроцесорний вологомір серії Lutron у корпусі з ABS-пластику

Аналізатор вологості ґрунту TDR-100. Аналізатор TDR-100 представляє сегмент прецизійної вимірювальної техніки. Його головною перевагою є здатність визначати не лише поточну вологість, а й проводити комплексну оцінку фізичного стану ґрунту (зокрема, ступеня водонасиченості) (Рис.1.6). Однак, з точки зору криміналістичного застосування та розробки бюджетних мобільних систем, TDR-100 має певні недоліки:

1. висока вартість та складність: використання технології TDR значно здорожчує пристрій;
2. спеціалізація: прилад сфокусований виключно на гідрологічних показниках і не інтегрує датчики для хімічного аналізу (наприклад, pH), що є необхідним для комплексного пошуку прихованих об'єктів;
3. габарити: для польових слідчих дій часто потрібні компактніші рішення на базі мікроконтролерів типу Arduino з можливістю швидкої заміни недорогих сенсорів.



Рис. 1.6. Прецизійна вимірювальна система TDR-100 з послідовним інтерфейсом передачі даних RS-232.

Проте, використання стандарту RS-232 у сучасних польових умовах має певні обмеження: Необхідність використання перехідників для підключення до сучасних ноутбуків/планшетів. Відсутність можливості автономного запису даних безпосередньо на пристрої (на відміну від розробленої системи на базі Arduino, яка використовує SD-слот). Вища складність програмної реалізації обміну даними порівняно з сучасними шинами I2C або UART, що використовуються в даній роботі. Гідрофізичні властивості ґрунтового середовища. Процентний вміст води та повітря суттєво варіюється залежно від гранулометричного складу ґрунту. Крупнозерністі ґрунти характеризуються меншою пористістю (близько 40%), тоді як у дрібнозернистих цей показник сягає 60%. При заповненні вільних пор водою замість повітря ґрунт переходить у стан повного водонасичення. Однак у природних умовах частина води просочується у глибокі шари під дією гравітації. Здатність ґрунту утримувати певну кількість води після стікання

її надлишку визначається як польова вологоємність (FK, %). Для криміналістичного моніторингу важливо враховувати, що не вся волога є доступною: існує поріг, званий точкою в'янення (WP, об.%), нижче якого рослини не здатні поглинати воду через високу силу її зв'язування з частками ґрунту. Різниця між польовою вологоємністю та точкою в'янення визначає діапазон доступної вологи, який і фіксується розробленим вимірювальним пристроєм. Функціональні можливості аналітичної системи TDR-100. Прилад забезпечує комплексний моніторинг гідрологічних параметрів ґрунту, що робить його затребуваним у прецизійному землеробстві, ландшафтному проектуванні та наукових дослідженнях. Особливістю пристрою є підтримка трьох типів змінних зондів різної довжини, що дозволяє проводити вимірювання на різних горизонтах ґрунтового профілю. Система автоматично розраховує та візуалізує наступні критичні показники:

- WWC (Volumetric Water Content): об'ємний вміст вологи — відношення об'єму води до загального об'єму зразка ґрунту.
- RWC (Relative Water Content): відносний вміст води — показник поточної вологості відносно максимально можливої для даного типу ґрунту.
- DEF (Water Deficit): дефіцит вологи — розрахункова величина, що вказує на кількість води, необхідну для досягнення польової вологоємності.
- PWP (Permanent Wilting Point): точка стійкого в'янення — нижня межа доступної для рослин вологи, за якої тиск ґрунту перевищує всмоктувальну силу кореневої системи.

Аналіз системи TDR-100 демонструє високий рівень інтеграції з ПК, проте виявляє певні технологічні обмеження, які усуваються у запропонованому проекті:

1. комунікаційні протоколи: Використання інтерфейсу RS-232 у TDR-100 вимагає специфічного обладнання для з'єднання з сучасними

обчислювальними засобами. У розробці на базі Arduino реалізовано більш універсальний інтерфейс USB (UART) та автономне збереження на SD-карту.

2. гнучкість налаштувань: Хоча TDR-100 має можливість вибору типів ґрунту, його ПЗ є закритим пропрієтарним продуктом. Власна розробка дозволяє програмно впроваджувати будь-які калібрувальні криві для специфічних типів середовищ, що зустрічаються в експертній практиці.
3. економічна доцільність: При схожих метрологічних показниках (точність $\pm 3\%$, роздільна здатність 1%), вартість компонентної бази на базі мікроконтролера ATmega328 є в рази нижчою за комерційний аналог.

Вимірювач вологості DM300L. Аналіз моделі DM300L дозволяє оцінити переваги безконтактного (високочастотного) методу детектування вологи (Рис.1.7). На відміну від штикових датчиків, цей прилад менш чутливий до якості електричного контакту з ґрунтом, що робить його незамінним для аналізу абразивних матеріалів, таких як пісок. Проте, в контексті розробки системи на базі Arduino, модель DM300L має певні недоліки: відсутність диференціації показників: прилад орієнтований на будівельні нормативи та не враховує специфічні параметри, як-от кислотність (pH), що є критично важливим для агрономічних чи криміналістичних досліджень; низька інтегрованість: закрита архітектура приладу не передбачає можливості експорту сирих даних для статистичної обробки або їх синхронізації з іншими сенсорами; обмежена пам'ять: відсутність вбудованого реєстратора (логгера), що унеможлиблює документування результатів у реальному часі.



Рис. 1.7. Високочастотний цифровий вологомір DM300L моноблочного типу

На Рис.1.7 представлено спеціалізований вологомір DM300L, характерною особливістю якого є поєднання вимірювального щупа та блоку обробки даних у єдиному корпусі. Прилад використовує діелектриметричний метод вимірювання, що дозволяє проводити експрес-аналіз щільних середовищ (різних видів піску та дорожніх основ) з мінімальним часом відгуку. Таке конструктивне рішення забезпечує високу мобільність, проте обмежує можливості дистанційного моніторингу, що реалізовано в розробленій системі на базі Arduino.

Вивчення технічних характеристик вологоміра DM300L дає змогу визначити його ефективність для оперативного моніторингу вмісту вологи. Ключовою перевагою пристрою є два рівні точності, завдяки чому процес вимірювання можна легко налаштувати відповідно до властивостей конкретної сировини.

Таблиця 1.1. Технічні характеристики аналізатора DM300L

Найменування параметра	Значення та одиниці вимірювання
Діапазон вимірювання (режим високої точності)	0 – 2%
Діапазон вимірювання (стандартний режим)	0 – 90%
Роздільна здатність індикації	0,1/0,01
Діапазон робочих температур	-5 °C...+60 °C
Допустима вологість середовища (RH)	5% – 85%
Час відгуку (швидкодія)	1 с
Довжина вимірювального зонда	235 мм (опційно до 600 мм)
Джерело живлення	9 В (батарея типу 6F22 «Крона»)

Цифровий вологомір ґрунту Delmhorst KS-D1. Модель KS-D1 відрізняється від аналогів високою стабільністю калібрування (Рис.1.8). Завдяки напівпровідниковій системі стабілізації, прилад мінімізує похибку, викликану зміною температури ґрунту. Проте, в рамках розробки автоматизованої системи на базі Arduino, слід зазначити такі обмеження Delmhorst KS-D1:

- методологічна обмеженість: орієнтація переважно на роботу з поглинальними блоками, що вимагає тривалого часу для встановлення рівноваги між датчиком і ґрунтом;

- інтерфейс користувача: відсутність цифрових портів для передачі даних (наприклад, USB чи Bluetooth) для побудови автоматизованих карт вологості;
- енергонезалежність даних: прилад не має вбудованої енергонезалежної пам'яті для реєстрації серії вимірювань, що є базовою вимогою для сучасних систем екологічного та криміналістичного моніторингу.



Рис. 1.8. Портативний цифровий аналізатор Delmhorst KS-D1 у захищеному виконанні

На відміну від мультифункціональних пристроїв, вимірювач Delmhorst KS-D1 спеціалізований на роботі з абсорбційними датчиками. Використання корпусу з ABS-пластику та системи температурної компенсації робить його стійким до зовнішніх чинників. Аналіз даної моделі підтверджує необхідність використання міцних матеріалів корпусу та алгоритмів корекції результатів залежно від температури, що було враховано при проектуванні авторського пристрою на базі Arduino.

Цифровий гігрометр ґрунту AcuRite (Рис.1.9) є компактним пристроєм для оперативного моніторингу вологості. На відміну від стрілочних аналогів, дана модель оснащена РК-дисплеєм, що мінімізує похибку зчитування, викликану людським фактором. Технічні особливості: індикація: цифрова шкала від 0 до 10 одиниць або відсоткове відображення (залежно від модифікації); конструкція: інтегрований зонд із корозійностійким покриттям, що забезпечує стабільний електричний контакт із ґрунтовим розчином;

призначення: побутовий та напівпрофесійний контроль вологості в прикореневій зоні.



Рис. 1.9. Вимірювач вологості ґрунту AcuRite

Цифровий аналізатор параметрів ґрунту 4-в-1. Цифровий аналізатор параметрів ґрунту серії “4-в-1” (Рис. 1.10) – це комбінований вимірювальний прилад, призначений для комплексного експрес-моніторингу едафічних та екологічних факторів. Пристрій дозволяє одночасно контролювати чотири критичні параметри: кислотність (рН), температуру, вологість ґрунту та рівень інсоляції (інтенсивність освітлення). Конструктивні та функціональні особливості: сенсорна система: прилад оснащений прецизійним електродом довжиною 200 мм та фотоелектричним датчиком для вимірювання інтенсивності сонячного випромінювання; індикація: великогабаритний РК-дисплей із вбудованим підсвічуванням забезпечує зручність зчитування даних в умовах недостатнього освітлення; енергоефективність: функція автоматичного вимкнення живлення дозволяє оптимізувати витрати заряду батареї; універсальність: можливість перемикання одиниць вимірювання температури ($^{\circ}\text{C}/^{\circ}\text{F}$) та моніторинг параметрів як безпосередньо у ґрунті, так і у приземному шарі атмосфери.



Рис. 1.10. Цифровий аналізатор параметрів ґрунту 4-в-1

Розгляд моделі “4-в-1” дозволяє виокремити як переваги мультисенсорного підходу, так і недоліки бюджетних готових рішень: дискретність вимірювань: використовує грубу шкалу рівнів (Dry/Wet). Це робить його непридатним для точних наукових чи криміналістичних досліджень; діапазон рН: 12-рівнева система вимірювання кислотності не дозволяє фіксувати мікрозміни хімічного складу ґрунту, які можуть бути критично важливими для виявлення місць поховань або аномалій; відсутність логування: прилад працює лише в режимі реального часу.

Аналіз існуючих комерційних рішень показав, що більшість приладів на ринку є або монофункціональними (вимірюють лише один параметр), або позбавлені можливості автоматизованого збереження результатів вимірювань для подальшого аналізу. Це робить їх малоефективними для криміналістичного пошуку, де важлива фіксація динаміки змін та архівування даних. Отже, розробка комбінованого цифрового пристрою з функцією запису на зовнішні носії є актуальним завданням.

РОЗДІЛ 2

ІНСТРУМЕНТАРІЙ ПРОЄКТУВАННЯ ТА ПРОГРАМУВАННЯ ЦИФРОВОГО ПРИСТРОЮ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ АНОМАЛЬНОЇ ВОЛОГОСТІ І КИСЛОТНОСТІ ҐРУНТУ

2.1. Середовище проєктування та моделювання МК-пристроїв Proteus VSM

Proteus VSM – це комплексне програмне рішення, призначене для автоматизації проєктування та інтерактивного аналізу роботи електронних вузлів. Програмний пакет розроблений фахівцями британської компанії Labcenter Electronics. Програмний комплекс Proteus забезпечує повний цикл розробки електронних систем – від ідеї до готового прототипу. Його інструментарій дозволяє виконувати такі ключові завдання: проєктування схем: створення детальних електричних принципових схем будь-якої складності; інтерактивне тестування: проведення симуляції роботи пристрою за допомогою широкого набору віртуальних вимірювальних приладів (осцилографів, логічних аналізаторів тощо); відладка ПЗ: Можливість тестування та корекції прошивок безпосередньо в середовищі моделювання, що мінімізує помилки в коді мікроконтролерів.

Окрім моделювання, пакет Proteus VSM оснащений потужним модулем для трасування та проєктування друкованих плат (PCB). Система дозволяє не лише розробити топологію плати, а й здійснити її тривимірну візуалізацію. Це дає змогу оцінити майбутній вигляд виробу, перевірити розміщення компонентів та їхню сумісність із корпусом пристрою ще до етапу виробництва. Середовище Proteus VSM вирізняється широкою підтримкою сучасних архітектур мікроконтролерів. Програма дозволяє симулювати роботу пристроїв на базі таких сімейств, як: популярні 8-бітні: AVR, PIC, 8051, Motorola (HC11), Basic Stamp; просунуті архітектури: ARM (зокрема ARM7/LPC2000) та цифрові сигнальні процесори.

Система автоматизованого проектування Proteus базується на потужній бібліотеці електронних компонентів. Якщо необхідна модель відсутня в стандартному наборі, розробник має можливість створити її самостійно. Важливою перевагою є повна сумісність зі SPICE-моделями, які розповсюджуються безпосередньо виробниками напівпровідникових приладів для точної симуляції їхніх характеристик. Структурно програмний комплекс поділяється на два ключові модулі:

1. Модуль ISIS (Intelligent Schematic Input System). Це центральне середовище для синтезу та верифікації електронних схем. Його основне призначення: графічне введення та редагування проектів; проведення динамічної імітації роботи пристрою; підготовка та експорт даних для подальшого проектування топології у модулі ARES.
2. Модуль ARES (Advanced Routing and Editing Software). Спеціалізований інструмент для проектування друкованих плат (PCB). Його функціонал включає: вбудований менеджер для керування бібліотеками посадкових місць (footprints); використання інтелектуального автотрасувальника ELECTRA, який здатний автоматично розміщувати компоненти та прокладати доріжки згідно з заданими правилами проектування; забезпечення безшовного переходу від логічної схеми до фізичного втілення пристрою.

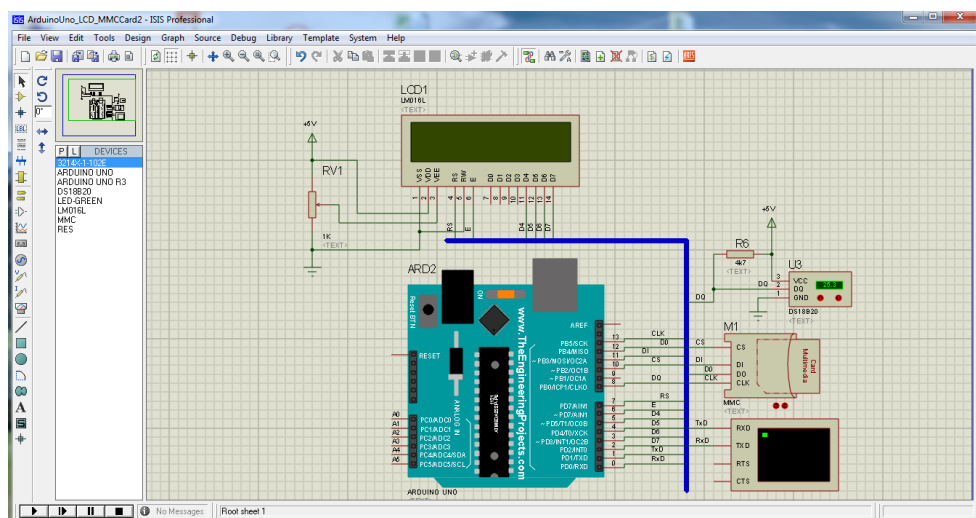


Рис. 2.1. Середовище Proteus ISIS

2.2. Інтегроване середовище розробки Arduino IDE

Arduino IDE – це спеціалізоване інтегроване середовище розробки, призначене для написання керуючих програм (прошивок) та їх подальшої прошивки в пам'ять мікроконтролерів Arduino. Завдяки своїй лаконічності, це ПЗ вважається одним із найдоступніших інструментів для початківців у сфері ембеддед-розробки. Конструктивно середовище Arduino IDE об'єднує кілька ключових робочих зон, що забезпечують повний цикл створення коду:

- текстовий редактор: Основне поле для написання та редагування програмного коду (скетчів);
- область статусних повідомлень: Виводить інформацію про поточні операції (наприклад, стан компіляції чи завантаження);
- консоль виводу (вікно тексту): Слугує для відображення детальних логів, повідомлень про помилки та результатів перевірки коду;
- панель швидкого доступу: Ряд кнопок для виконання пріоритетних команд (компіляція, запис у мікроконтролер, створення нового файлу);
- система меню: Надає доступ до розширених налаштувань, керування бібліотеками та вибору конкретних моделей плат чи портів підключення.

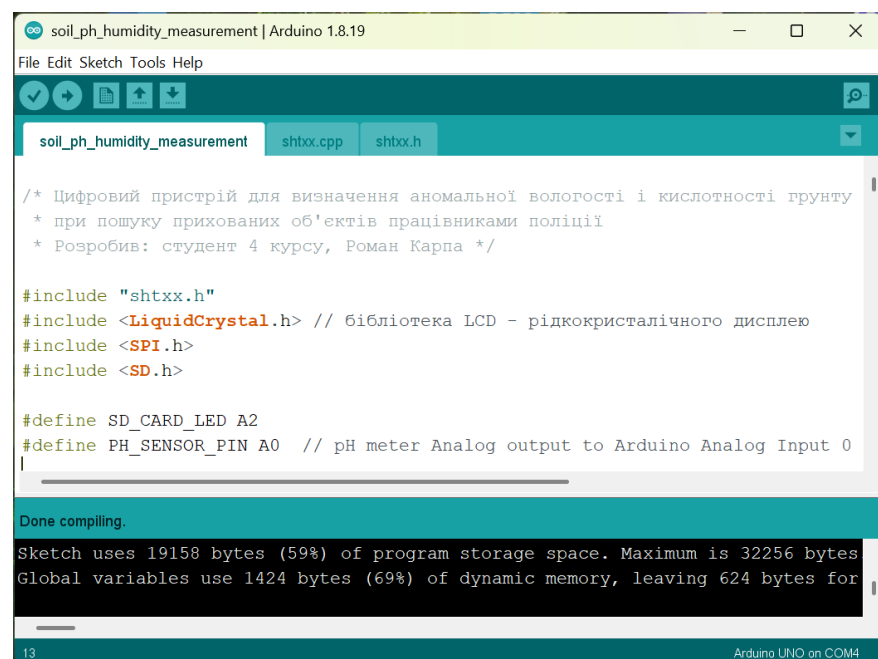


Рис. 2.2. Інтегроване середовище розробки ПЗ для МК платформи Arduino – Arduino IDE

Програмний код для платформи Arduino прийнято називати «скетчем» [4-10]. Робота над ним здійснюється у спеціалізованому текстовому редакторі, що підтримує підсвічування синтаксису. Під час збереження або експортування проєкту користувач отримує зворотний зв'язок через область повідомлень, де відображаються підказки та відомості про помилки. Більш детальна інформація, включно з розширеними звітами про компіляцію, виводиться у консоль (вікно виводу). За допомогою панелі інструментів можна здійснювати перевірку коду, його прошивку в мікроконтролер, керувати файлами та взаємодіяти з монітором порту.

До базової комплектації середовища розробки Arduino IDE входить пакет стандартних бібліотек, таких як Serial, EEPROM, SPI, Wire та інші. За замовчуванням вони розміщені в директорії `libraries` всередині кореневого каталогу інсталяції програми. Користувачі також мають можливість розширювати функціонал, завантажуючи сторонні бібліотеки з зовнішніх джерел. Процес встановлення передбачає копіювання папки з компонентами (файлами форматів `.cpp` та `.h`) до загального каталогу бібліотек. Більшість із них містять готові зразки коду в підпапці `examples`. Коректно інстальована бібліотека автоматично відображається у програмному меню за шляхом `Sketch|Import Library`.

Використання цієї директиви дозволяє інтегрувати в проєкт заголовочний файл, що містить описи функцій, об'єктів та констант обраної бібліотеки. Після підключення середовище Arduino IDE автоматично включає код бібліотеки у процес компіляції разом із основним скетчем. Важливо пам'ятати, що перед прошивкою мікроконтролера необхідно сконфігурувати параметри обладнання: обрати відповідну модель у вкладці `Tools > Board` (Інструменти > Плата) та вказати активний COM-порт у розділі `Tools > Serial Port`.

Більшість актуальних плат Arduino підтримують функцію автоматичного скидання (`reset`) безпосередньо перед початком прошивки. Під

час передачі даних активність портів візуалізується миготінням індикаторів RX та TX. Процес запису коду забезпечується bootloader-ом (завантажувачем) — компактною програмою, що вже зберігається в пам'яті мікроконтролера. Саме завдяки йому стає можливим оновлення прошивки через USB без застосування зовнішніх програматорів. Активну фазу роботи завантажувача зазвичай можна ідентифікувати за світловою індикацією на піні D13. Для спостереження за обміном інформацією між ПК та платою використовується Serial Monitor (Монітор порту).

РОЗДІЛ 3

АПАРATНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЦИФРОВОГО ПРИСТРОЮ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ АНОМАЛЬНОЇ ВОЛОГОСТІ І КИСЛОТНОСТІ ГРУНТУ

3.1 Підбір компонентів для проектування цифрового пристрою для визначення аномальної вологості і кислотності ґрунту

Для розробки апаратної частини цифрового пристрою для визначення аномальної вологості і кислотності ґрунту, призначеного для виявлення аномальних показників стану ґрунту під час проведення оперативно-розшукових заходів, було визначено наступний перелік компонентів:

- центральний блок обробки: мікроконтролерна платформа Arduino Uno (на базі ATmega328), що забезпечує стабільну роботу алгоритмів аналізу;
- модуль візуалізації: символьний рідкокристалічний індикатор LCD1602A (стандарт HD44780), призначений для оперативного відображення результатів вимірювань у польових умовах;
- сенсорна група: прецизійні датчики вологості та водневого показника (рН) ґрунту, що дозволяють фіксувати відхилення від природних норм.
- система реєстрації даних: зовнішній SD-модуль із накопичувачем об'ємом 16 МБ для протоколювання отриманих значень та подальшого аналізу доказової бази.

Огляд платформи Arduino. Arduino представляє собою універсальний програмно-апаратний комплекс, призначений для проектування пристроїв автоматизації та робототехнічних систем [11-16]. Структура платформи базується на двох ключових компонентах:

- програмний інструментарій: безкоштовне інтегроване середовище розробки (IDE), яке забезпечує повний цикл роботи з кодом – від написання та компіляції до безпосереднього завантаження (прошивки) у пам'ять контролера;

- апаратне забезпечення: лінійка готових друкованих плат, які випускаються як оригінальним брендом, так і за ліцензіями сторонніх виробників.

Завдяки концепції *Open Source*, архітектура Arduino є повністю відкритою. Це надає розробникам свободу у відтворенні, модифікації та розширенні існуючого модельного ряду пристроїв.

В основі платформи Arduino Uno (Рис.3.1) лежить мікроконтролер ATmega328. Ключовою конструктивною відмінністю цієї моделі від попередників є відмова від чіпа FTDI для USB-з'єднання на користь програмованого контролера ATmega8U2, що розширює функціональні можливості інтерфейсу.

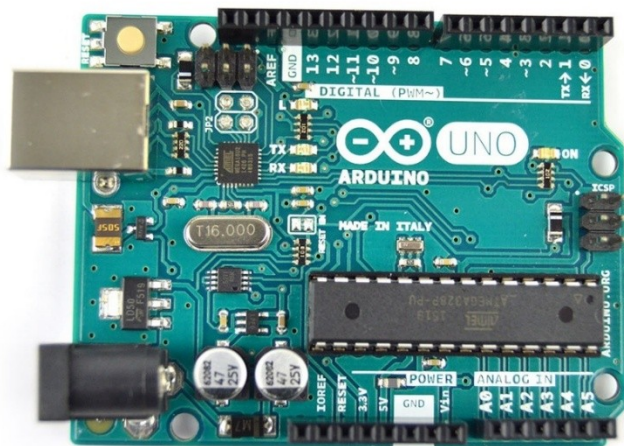


Рис. 3.1. Плата Arduino Uno

Платформа Arduino Uno спроектована на базі МК ATmega328 [17] і оснащена повним набором інтерфейсів для розробки: 14 цифровими (6 з ШІМ) та 6 аналоговими пінами. Для тактування системи використано кварцовий генератор на 16 МГц. Плата готова до роботи одразу після підключення до комп'ютера через USB або до автономного джерела живлення. На відміну від ранніх ітерацій плат, де за зв'язок по USB відповідав контролер FTDI, у цій моделі інтегровано мікросхему ATmega8U2.

Електроживлення Arduino Uno реалізовано з можливістю автоматичного вибору джерела (USB або зовнішній вхід). Зовнішня напруга подається або через спеціальний циліндричний роз'єм (2,1 мм, "плюс" всередині), або через

відповідні контакти на платі – Gnd (земля) та Vin (вхідна напруга). Це дозволяє використовувати як стаціонарні блоки живлення, так і автономні акумулятори.

Допустимий діапазон вхідної напруги для Arduino Uno становить від 6 В до 20 В, проте для забезпечення стабільної роботи системи рекомендується дотримуватися меж 7–12 В. Експлуатація при напрузі менше 7 В призводить до просідання рівня на виводі 5 В, що спричиняє збої в роботі мікроконтролера. Водночас перевищення порогу у 12 В є небезпечним через ризик перегріву стабілізатора напруги, що може вивести платформу з ладу. Контакти живлення платформи:

- VIN: Вхідний порт для підключення зовнішнього джерела енергії (за умови, що живлення не подається через USB або інший стабілізований вхід). Через цей пін здійснюється пряме подання напруги на плату.
- 5V: Вихід стабілізованої напруги 5 В, що забезпечує роботу мікроконтролера та периферійних модулів. На цей вивід напруга може надходити трьома шляхами: через вбудований регулятор від пина VIN, через інтерфейс USB або від стороннього стабілізованого джерела живлення.
- 3V3: Пін, що видає напругу 3,3 В, яка формується внутрішнім регулятором плати. Слід враховувати, що гранично допустимий струм для цього виводу становить 50 мА.
- GND: Загальні виводи (заземлення), що замикають електричне коло.

Пам'ять. Обсяг флешпам'яті мікроконтролера ATmega328 становить 32 КБ, при цьому 0,5 КБ зарезервовано під завантажувач (bootloader). Крім того, пристрій оснащений 2 КБ оперативної пам'яті (SRAM) та 1 КБ енергонезалежної пам'яті (EEPROM). Для взаємодії з останньою (читання та запису даних) застосовується однойменна бібліотека EEPROM.

Входи і виходи. Модель Uno оснащена 14 цифровими пінами, функціонал яких (вхід або вихід) визначається програмно за допомогою команд `pinMode()`, `digitalWrite()` та `digitalRead()`. Робоча напруга цих

виводів становить 5 В. Кожен роз'єм здатен витримувати струм до 40 мА та укомплектований вбудованим підтягувальним резистором номіналом 20–50 кОм (який зазвичай перебуває у деактивованому стані).

Крім стандартних режимів, певні пінні Uno виконують спеціалізовані ролі. Зокрема, виводи 0 та 1 слугують для послідовної передачі даних і взаємодіють із USB-інтерфейсом плати. Для відстеження зовнішніх подій передбачені переривання на пинах 2 та 3. Можливість керувати потужністю навантаження через ШІМ доступна на шести виводах (3, 5, 6, 9, 10, 11). Для роботи зі швидкісною шиною SPI задіяні контакти з 10 по 13. Окремо варто виділити пін 13, до якого підключено штатний світлодіод, що активується високим потенціалом.

На платформі Uno передбачено шість аналогових портів (A0–A5), що здатні розрізняти до 1024 рівнів напруги (10 біт). Стандартна межа вимірювання у 5 В може бути змінена шляхом подачі зовнішнього сигналу на вхід AREF. Окремі аналогові контакти також дублюють функції шини I2C (піни 4 та 5) для роботи з бібліотекою Wire. Крім того, на платі доступний вивід Reset, що перезавантажує процесор при замиканні на землю, що зручно для підключення дублюючих кнопок на платах розширення.

Комунікаційні інтерфейси: Можливості зв'язку Arduino Uno дозволяють організувати обмін даними з ПК, іншими контролерами або периферією. Мікроконтролер ATmega328 оснащений апаратним інтерфейсом UART TTL (5 В), який використовує контакти 0 (RX) та 1 (TX). На платі також присутній допоміжний чип ATmega8U2, що виконує роль мосту між UART та USB-портом. Завдяки цьому комп'ютер розпізнає пристрій як віртуальний COM-порт. Оскільки прошивка ATmega8U2 базується на стандартних драйверах USB COM, встановлення стороннього ПЗ зазвичай не потрібне (за винятком файлу конфігурації `ArduinoUNO.inf` для ОС Windows).

Взаємодія з платформою Uno в Arduino IDE здійснюється через Serial Monitor (“Монітор порту”), що дозволяє обмінюватися даними. Робота USB-

каналу візуалізується світлодіодами RX та TX (це не стосується передачі безпосередньо через піни 0 і 1). Окрім апаратного UART, користувач може налаштувати послідовний зв'язок на інших виводах за допомогою `SoftwareSerial`. Також мікроконтролер підтримує стандарти SPI та I2C (TWI), причому для останнього в середовищі розробки передбачена зручна бібліотека `Wire`.

Програмування Arduino. Прошивка платформи здійснюється в середовищі Arduino IDE. Для коректного завантаження коду в меню Tools > Board необхідно обрати модель “Arduino Uno”, що відповідає встановленому мікроконтролеру. Завдяки попередньо записаному в ATmega328 завантажувачу (bootloader), користувач може завантажувати нові скетчі через USB-порт без застосування зовнішніх програматорів. Обмін даними при цьому відбувається за протоколом STK500. Водночас передбачена можливість обійти завантажувач і прошити мікроконтролер безпосередньо через роз'єм ICSP (In-Circuit Serial Programming).

Автоматичне (програмне) перезавантаження. Конструкція Arduino Uno передбачає можливість дистанційного скидання мікроконтролера програмним забезпеченням ПК, що позбавляє користувача необхідності вручну натискати кнопку Reset перед кожним прошиванням. Це реалізовано шляхом з'єднання лінії DTR чипа ATmega8U2 із входом скидання основного контролера через конденсатор ємністю 100 нФ. Коли лінія DTR переходить у стан низького рівня, відбувається короткочасне перезавантаження ATmega328. Така синхронізація дозволяє середовищу Arduino IDE ініціювати завантаження скетчу миттєво після натискання кнопки Upload, мінімізуючи час очікування завантажувача.

Механізм автоскидання спрацює щоразу, коли Uno підключається до ПЗ на macOS або Linux. Оскільки в перші пів секунди після цього працює бутлоадер, він навмисно ігнорує початкові байти даних, щоб запобігти збоям. Це означає, що для успішного обміну даними (наприклад, під час передачі

команд зі скрипта на ПК) програма-відправник повинна зачекати принаймні секунду після відкриття порту.

Розробниками передбачена можливість деактивації автоматичного програмного скидання. Це реалізується через розмикання лінії з маркуванням “RESET-EN”. Повторне відновлення функціоналу можливе шляхом замикання відповідних контактних майданчиків. Також для тимчасового блокування перезавантаження допускається використання шунтувального резистора номіналом 110 Ом, увімкненого між виводом 5 В та ланцюгом скидання, що дозволяє уникнути механічних пошкоджень плати.

Струмівий захист порта USB. Плата Arduino Uno оснащена вбудованим самовідновлювальним запобіжником, який слугує додатковим рівнем безпеки для USB-порту комп’ютера. Він запобігає пошкодженням, спричиненим короткими замиканнями або критичними перевантаженнями за струмом. Незважаючи на наявність внутрішніх систем захисту в сучасних ПК, цей запобіжник діє як незалежний бар’єр. При перевищенні порогового значення струму в 500 мА пристрій автоматично розриває коло, відновлюючи живлення лише після усунення несправності та стабілізації параметрів струму.

Опис датчика вологості ґрунту YL-69 (HL-69). Вимірювач вологості ґрунту моделі YL-69 (HL-69) призначений для визначення рівня вмісту вологи в субстраті. Принцип роботи передбачає підключення сенсора до мікроконтролера (наприклад, Arduino) та його занурення у досліджуване середовище. Для моніторингу стану пристрою на платі керування передбачено два індикатори: синій світлодіод — сигналізує про наявність напруги живлення; червоний світлодіод — активується під час передачі вихідного сигналу до контролера. Налаштування порогу чутливості (моменту спрацьовування) здійснюється за допомогою встановленого на платі потенціометра (змінного резистора).

Модуль оснащений штирьовими роз'ємами для зручного монтажу. Передача даних і живлення відбувається через 4-контактну групу (VCC – живлення, GND – земля, D0 – цифровий вихід, A0 – аналоговий вихід). Чутливий елемент (зонд) приєднується до окремого 2-контактного порту на платі компаратора. Наявність одночасно аналогового та цифрового виходів розширює можливості використання датчика як для простої сигналізації, так і для точних вимірювань.

Модуль підтримує різні варіанти електроживлення: безпосередньо від шини мікроконтролера (наприклад, Arduino), від автономних джерел (акумулятори, батареї) або стаціонарних блоків живлення. Допустимий діапазон вхідної напруги для коректної роботи сенсора становить від 3,3 до 5 В, що забезпечує його сумісність із більшістю сучасних мікропроцесорних систем. Конструктивні особливості модуля з сенсором вологості ґрунту YL-69 (HL-69) наведено в Табл.3.1.

Таблиця 3.1. Конструктивні особливості модуля гігрометра YL-69 (HL-69)

Параметр	Значення
Тип пристрою	Датчик вологості ґрунту (гігрометр)
Мікросхема обробки	Подвійний компаратор LM393
Типи сигналів	Аналоговий (A0) та Цифровий (D0)
Живлення	3,3 В ... 5 В
Розміри модуля/щупа	38,1x15,6 мм/63,8x20 мм
Довжина шлейфу	200 мм
Вага	~3 грами

Конструкція вимірювача вологості ґрунту включає два основні компоненти: безпосередньо сенсор та електронний блок обробки сигналу [18]. Сенсорна частина виконана у вигляді двох струмопровідних щупів (зондів), які занурюються у ґрунт. Принцип їхньої роботи базується на вимірюванні провідності середовища, що дозволяє визначити рівень вмісту води в субстраті.

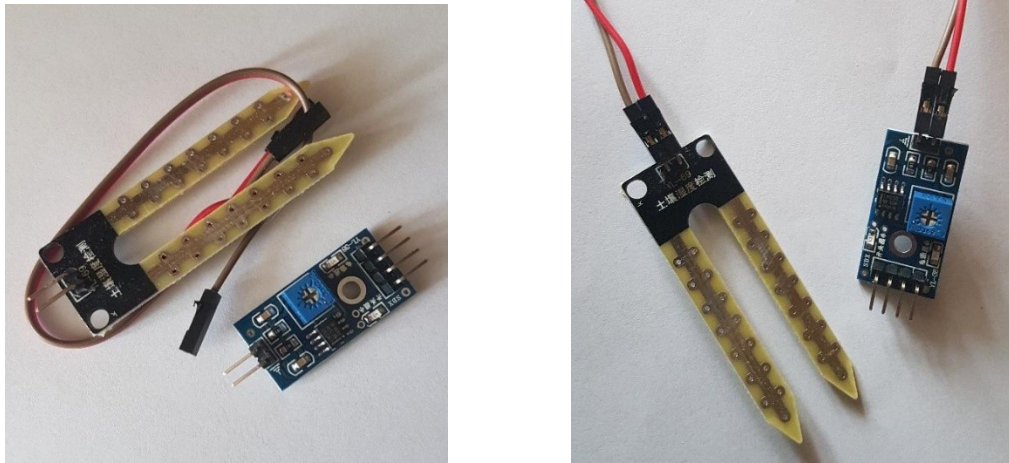


Рис. 3.2. Модуль гігрометра YL-69 (HL-69)

Основою блоку обробки сигналів є компаратор напруги, реалізований на мікросхемі LM393. Друкована плата також містить повний набір допоміжних елементів: інтерфейсні роз'єми, світлодіодні індикатори станів та пасивні компоненти (резистори тощо). Окремою функціональною перевагою модуля є можливість точного регулювання порогу спрацьовування за допомогою вбудованого потенціометра, що дозволяє адаптувати сенсор під конкретний тип ґрунту.

Принцип роботи гігрометра YL-69 (HL-69). Функціонування сенсора ґрунтової вологи YL-69 (HL-69) ґрунтується на порівнянні електричних потенціалів. Фактично пристрій діє як аналоговий компаратор, що зіставляє поточну напругу, отриману від зондів, із еталонним значенням. Наведена нижче електрична схема демонструє логіку роботи типового вимірювального модуля (Рис.3.3).

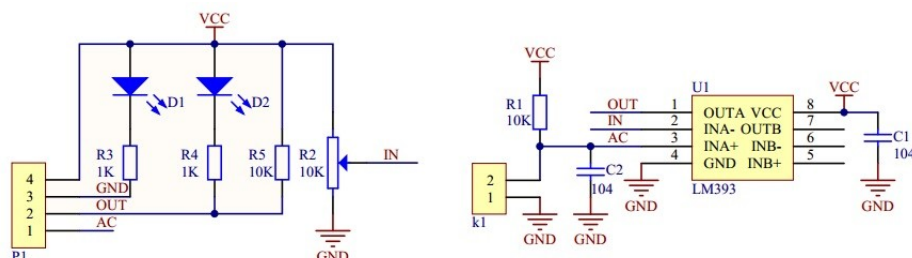


Рис.3.3. Схема опрацювання сигналу з сенсора вологості ґрунту

Аналіз наведеної схеми демонструє, що інвертувальний вхід компаратора LM393 сполучений із регульованим дільником на базі

потенціометра R2 (10 кОм). Водночас на неінвертувальний вхід подається сигнал із ділянки напруги, сформованого постійним резистором R1 (10 кОм) та змінним опором сенсорного зонда k1, що занурений у ґрунт.

Електропровідність зонда безпосередньо залежить від концентрації вологи в субстраті. При низькому рівні вологості опір між електродами зростає, а провідність падає, що призводить до формування високого рівня напруги на вході компаратора. У такому стані на виході мікросхеми зберігається високий логічний рівень, і індикатор D2 залишається вимкненим. Навпаки, при достатньому зволоженні провідність між контактами k1 збільшується, що змушує компаратор LM393 змінити стан виходу на низький, активуючи світлодіод D2.

Підключення сенсора вологості ґрунту до МК Arduino. Ключовою особливістю даного сенсора є наявність аналогового інтерфейсу. Завдяки отриманню безперервного аналогового сигналу та його подальшій обробці через АЦП (аналого-цифровий перетворювач) плати Arduino, стає можливим не просто фіксувати факт наявності вологи, а й здійснювати прецизійний моніторинг її вмісту у відсотковому еквіваленті.

На Рис.3.4 представлена схема електричних з'єднань між датчиком вологості та контролером Arduino. Підключення здійснюється за допомогою чотирьох стандартних ліній: виводи живлення (VCC та GND) з'єднуються з відповідними шинами на платі Arduino (5V та GND), а аналоговий вихід датчика (A0) підключається до одного з аналогових входів контролера (наприклад, A0). Це забезпечує передачу сигналу про рівень зволоження для його подальшої цифрової обробки.

з'єднання з контролером. Процес експлуатації передбачає послідовне підключення: спочатку рН-зонд приєднується до інтерфейсного модуля через BNC-порт, після чого плата комутується з аналоговим входом Arduino для зняття показників.



Рис. 3.5. рН-модуль для плат Arduino

На Рис.3.6 продемонстровано схему електричних з'єднань модуля рН-метра з мікроконтролером Arduino. Для коректної передачі даних використовується трипровідний інтерфейс (стандарт PH2.0/Gravity):

- VCC підключається до шини живлення +5V на Arduino.
- GND з'єднується із загальним виводом (GND).
- Аналоговий вихід (Signal) подається на один із вільних аналогових портів (наприклад, A1). Така конфігурація дозволяє контролеру зчитувати вихідну напругу модуля, яка прямо пропорційна значенню кислотності досліджуваного розчину.

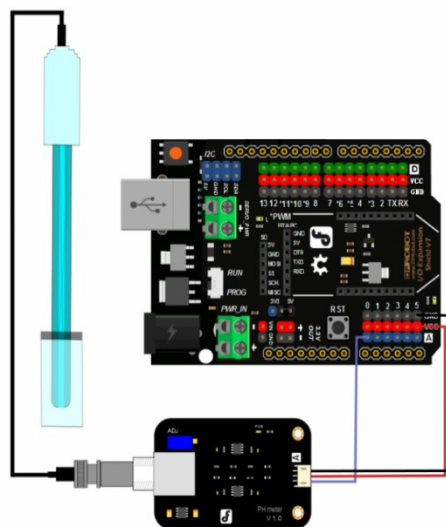


Рис. 3.6. Схема підключення рН метра до плати Arduino

Комплект аналогового рН-метра складається з вимірювального електрода (зонда), оснащеного коаксіальним кабелем із BNC-конектором, та спеціалізованого модуля узгодження сигналів. Інтерфейсна плата виконує роль підсилювача та перетворювача: вона приймає слабкий сигнал від сенсора і формує на виході аналогову напругу в діапазоні кількох сотень мілівольт. Цей вихідний сигнал подається безпосередньо на аналоговий вхід мікроконтролера Arduino для подальшої цифрової обробки. Основні параметри вимірювального модуля рН наведено у Табл.3.2.

Таблиця 3.2. Основні параметри вимірювального модуля рН

Параметр	Значення/Опис
Робоча напруга	5,0 В (DC)
Межі вимірювання	0 – 14 рН
Похибка	$\pm 0,1$ рН (при 25 °С)
Температурний режим	0 – 60 °С
Швидкодія	≤ 60 секунд
Тип роз'ємів	BNC (сенсор), PH2.0 (Arduino)
Довжина дроту зонда	66 см
Розміри плати	43×32 мм
Додаткові функції	Регулювання підсилення, LED-індикація

На Рис.3.7 представлено конструкційні параметри та габаритні розміри рН-електрода. Фізичний принцип роботи сенсора базується на генерації електричного потенціалу, величина якого виражається в мілівольтах (мВ). Характер залежності вихідної напруги від рівня кислотності середовища (рН) при еталонній температурі 25 °С деталізовано у Табл.3.3.

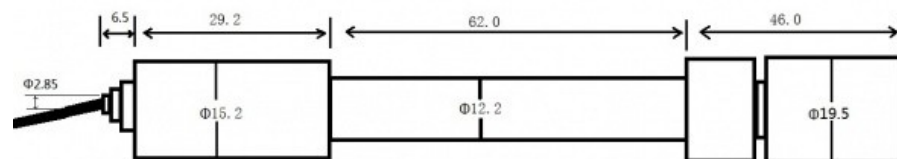


Рис. 3.7. Конструкційні параметри рН-електрода

Табл. 3.3. Кореляція вихідного потенціалу електрода та рН (при 25 °С)

Напруга (мВ)	Значення рН	Тип середовища
414,12	0,00	Сильнокисле
354,96	1,00	
295,80	2,00	
236,64	3,00	Кисле
177,48	4,00	

118,32	5,00	
59,16	6,00	Слабокисле
0,00	7,00	Нейтральне
-59,16	8,00	Слаболужне
-118,32	9,00	
-177,48	10,00	
-236,64	11,00	Лужне
-295,80	12,00	
-354,96	13,00	
-414,12	14,00	Сильнолужне

З наведеної таблиці можна виділити кілька важливих закономірностей для програмування Arduino:

1. Крок напруги: На кожну одиницю рН напруга змінюється приблизно на 59,16 мВ. Це значення є класичним для рівняння Нернста при температурі 25 °С, $E = E_0 - 2.303RT/F \cdot \text{pH}$.
2. Точка нейтральності: При рН = 7,00 ідеальний електрод видає 0 мВ. Це “точка спокою”, яку використовують при калібруванні.
3. Полярність: Додатна напруга відповідає кислому середовищу (рН<7), від’ємна – лужному (рН>7).

Алгоритм застосування рН- метра. Для забезпечення максимальної точності вимірювань напруга живлення контролера Arduino має бути встановлена на позначці +5,00 В. Оскільки вихідний сигнал рН-сенсора вимірюється в мілівольтах, будь-які коливання напруги живлення безпосередньо впливають на похибку розрахунків. З огляду на це, рекомендується використовувати зовнішнє стабілізоване джерело живлення, номінал якого максимально наближений до ідеальних +5,00 В.

Процедура метрологічного калібрування: Для досягнення високої достовірності результатів кожен сеанс вимірювань має супроводжуватися попереднім калібруванням рН-електрода за допомогою сертифікованих буферних розчинів. Оптимальні умови для проведення цієї процедури передбачають температуру навколишнього середовища близько 25 °С.

Вибір еталона залежить від характеру досліджуваних зразків: Для кислих середовищ: використовується стандарт-титр із номіналом рН 4,00. Для

лужних середовищ: застосовується буферний розчин із показником рН 9,18. Така адаптація датчика до конкретного діапазону вимірювань мінімізує похибку та забезпечує стабільність показників.

Для забезпечення точності вимірювань, перед початком роботи з новими розчинами рН-електрод необхідно ретельно очистити. Найкраще використовувати для промивання сенсора дистильовану або деіонізовану воду.

Спершу необхідно виконати монтаж компонентів згідно із запропонованою схемою. Датчик рН приєднується до відповідного модуля за допомогою роз'єму BNC. Наступним кроком є з'єднання плати рН-метра з аналоговим входом (A0) мікроконтролера Arduino за допомогою сполучних дротів. Ознакою коректного підключення та подачі електроживлення на контролер є активація синього світлодіодного індикатора на платі модуля.

Прошивка мікроконтролера: Завантаження відповідного ПЗ (скетча) у пам'ять плати Arduino.

Процедура калібрування: Поміщення вимірювального рН-електрода у калібрувальний розчин із нейтральним показником (рН 7,00). Використовуючи інструмент “Монітор послідовного порту” в середовищі Arduino IDE, відстежите поточні показники. Припустиме відхилення має бути в межах 0,3.

Корекція помилки: Фіксація отриманого значення та обчислення його різниці відносно еталонних 7,00 одиниць. Знайдену дельту необхідно внести у програмний код. Наприклад, якщо монітор відображає 6,88, різниця становить 0,12. Відповідно, рядок коду `#define Offset 0.00` слід замінити на `#define Offset 0.12`.

Наступним етапом є калібрування системи в кислому середовищі. Для цього рН-електрод занурюють у буферний розчин із фіксованим показником 4,00. Після експозиції тривалістю близько однієї хвилини проводиться регулювання підсилення за допомогою потенціометра на платі до моменту

стабілізації показників на позначці 4,00. Після завершення цього процесу пристрій готовий до аналізу кислотних середовищ. Важливою умовою точних вимірювань є ретельне промивання електрода дистильованою водою перед кожним новим дослідженням.

Завдяки лінійній залежності характеристик рН-електрода, виконання попередніх етапів калібрування дозволяє проводити вимірювання в лужних середовищах. Проте для підвищення точності результатів рекомендується виконати додаткове калібрування за відповідним еталоном. Для цього використовується стандартний розчин із показником рН 9,18. Процес передбачає повторне регулювання коефіцієнта підсилення за допомогою потенціометра до моменту стабілізації вихідних даних на рівні 9,18. Після завершення цього етапу пристрій вважається повністю адаптованим для роботи з лужними розчинами.

Огляд символічних РК-індикаторів. Рідкокристалічні індикатори (Liquid Crystal Display або LCD) базуються на унікальних властивостях рідких кристалів. Під час розробки мікроконтролерних систем часто постає потреба у бюджетному засобі візуалізації даних. Серед доступних рішень найбільш популярним є модуль РКІ 1602А (Рис.3.8). Його функціонал дозволяє виводити ASCII-символи у два рядки, по 16 знакомісць у кожному. Структура одного символу представлена матрицею розмірністю 5×7 пікселів.

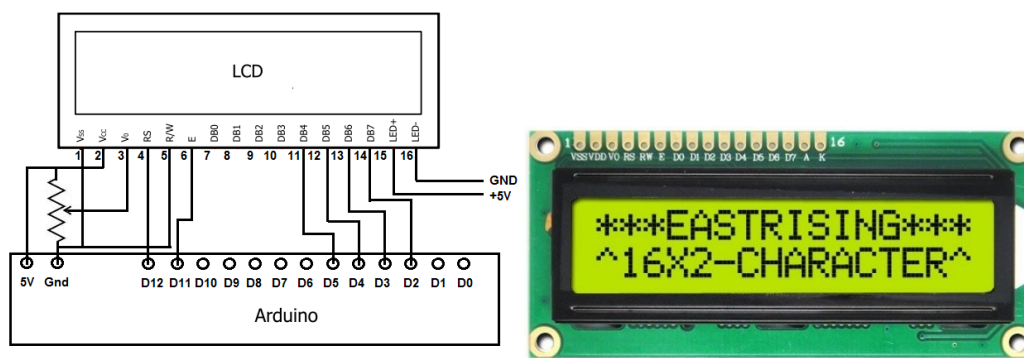


Рис. 3.8. Модуль символічного РКІ 1602А

У Табл.3.4 приведено технічні характеристики РКІ-модуля LCD1602А.

Таблиця 3.4. Технічні характеристики РКІ-модуля 1602А

Параметр	Значення
Електроживлення	5 VDC
Конфігурація екрана	16x2 символи
Візуалізація	Чорний текст/Зелене тло (LED)
Розмір панелі	2,6"
Зовнішні габарити	80x35x11 мм

В основі РКІ-модуля 1602А лежить класичний драйвер HD44780 від компанії Hitachi (або його сучасні аналоги). Конструкція передбачає 16 контактів для зв'язку з мікроконтролером. Модуль підтримує два типи інтерфейсів: економічний 4-бітний (задіює лише 4 лінії даних) та повношвидкісний 8-бітний (використовує всі 8 ліній). На фронтальній стороні плати розміщено сам рідкокристалічний екран та контактну групу. Зворотний бік містить керуючу електроніку – два чипи у безкорпусному виконанні (“краплі”), зокрема ST7066U та ST7065S, разом із необхідними пасивними компонентами обв'язки.

Представлення списку контактів модуля LCD 1602А наведено у Табл.3.5.

Таблиця 3.5. Розпіновка (pinout) модуля LCD 1602А

Контакт	Позначення	Опис функцій
1, 2	VSS/VDD	Земля (GND) та живлення логіки (+5В) відповідно.
3	VO	Налаштування чіткості відображення (контрастності).
4	RS	Керування вибором регістру (команди або дані).
5	RW	Вибір напрямку передачі. Заземлення перемикає модуль у режим запису.
6	E (Enable)	Сигнал стробування (активація за спадом імпульсу).
7-14	DB0 – DB7	Шина даних (лінії інтерфейсу).
15, 16	A/K	Анод (+) та катод (-) світлодіодного підсвічування.

3.2. Проектування цифрового пристрою для визначення аномальної вологості і кислотності ґрунту в САПР Proteus VSM

Проектований цифровий пристрій, призначений для виявлення аномальних показників вологості та кислотності ґрунту під час проведення оперативно-розшукових заходів, забезпечує комплексний моніторинг фізико-хімічних параметрів середовища. Пристрій здійснює збір даних про вологість, рН-рівень та температуру, з подальшою візуалізацією результатів на рідкокристалічному дисплеї та передачею на персональний комп'ютер через

Serial-інтерфейс. Також реалізовано функцію логування даних у форматі *.CSV на зовнішній SD-носії. Структуру мікроконтролерної системи, що поєднує апаратну та програмну складові, представлено на функціональній схемі (рис. 3.9). Апаратна частина базується на платформі Arduino Uno R3 (мікроконтролер ATmega328) і включає набір сенсорів (вологості з комбінованим виходом, рН-метрії та термометрії), модуль зчитування SD-карт пам'яті об'ємом 16 МБ, а також текстовий LCD-екран формату 16×2 на базі контролера HD44780.

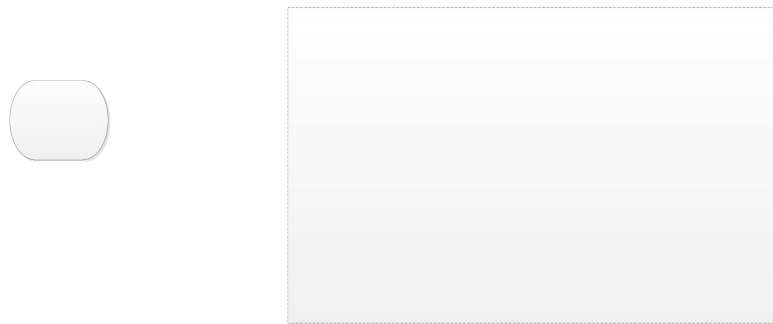


Рис. 3.9. Функціональна схема цифрового пристрою для визначення аномальної вологості і кислотності ґрунту

На Рис. 3.10 представлена апаратна конфігурація цифрового приладу, розроблена в середовищі Proteus VSM. Даний пристрій призначений для виявлення прихованих об'єктів шляхом аналізу неоднорідностей (аномалій) вологості та кислотності ґрунту. У процесі моделювання сенсори рН та вологості імітуються за допомогою змінних резисторів (потенціометрів). Модуль гігрометра включає каскад обробки сигналу на базі компаратора LM393. Конструктивно сенсор вологості реалізований у вигляді двох зондів, принцип дії яких базується на вимірюванні електропровідності середовища залежно від вмісту в ньому води.

Інтерфейс взаємодії датчиків із контролером Arduino Uno реалізовано наступним чином: аналоговий сигнал від модуля вологості (вихід АС)

подається на вхід A3 (ADC3), тоді як вимірювач кислотності інтегровано через порт A0 (ADC0). Для роботи з цифровим сенсором температури та вологості SHT75 задіяні дискретні піни: лінію тактування SHT_SCK під'єднано до виводу 3, а лінію обміну даними SHT_DATA – до виводу 2 мікроконтролерної плати.

Комунікація з периферійними пристроями реалізована через цифрові порти мікроконтролера. Текстовий дисплей 1602A використовує 4-бітну схему підключення: керуючі лінії RS та E з'єднані з пінами 9 та 8, а шина даних (D4–D7) – з виводами від 7 до 4 відповідно. Модуль SD-кардридера інтегрований через стандартний інтерфейс SPI, де вибір пристрою (CS) закріплений за піном 10, а лінії передачі даних та синхронізації (DI, DO, CLK) займають піни 11, 12 та 13. Для зовнішнього зв'язку використовується послідовний порт із перехресним з'єднанням ліній TxD та RxD. Функціональне керування здійснюється двома кнопками: Calibration ініціює налаштування датчика вологості, а STORE активує запис результатів у форматі CSV на карту пам'яті.

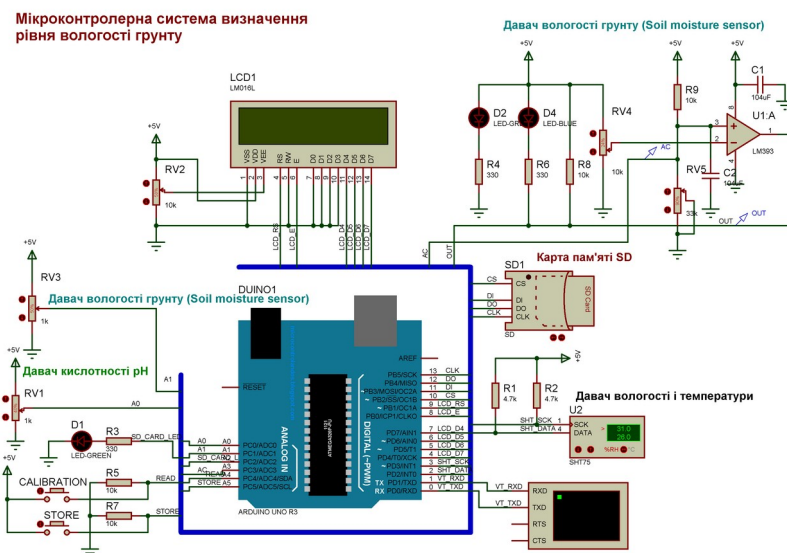


Рис. 3.10. Спроектоване A3 цифрового пристрою для визначення аномальної вологості і кислотності ґрунту в САПР Proteus VSM

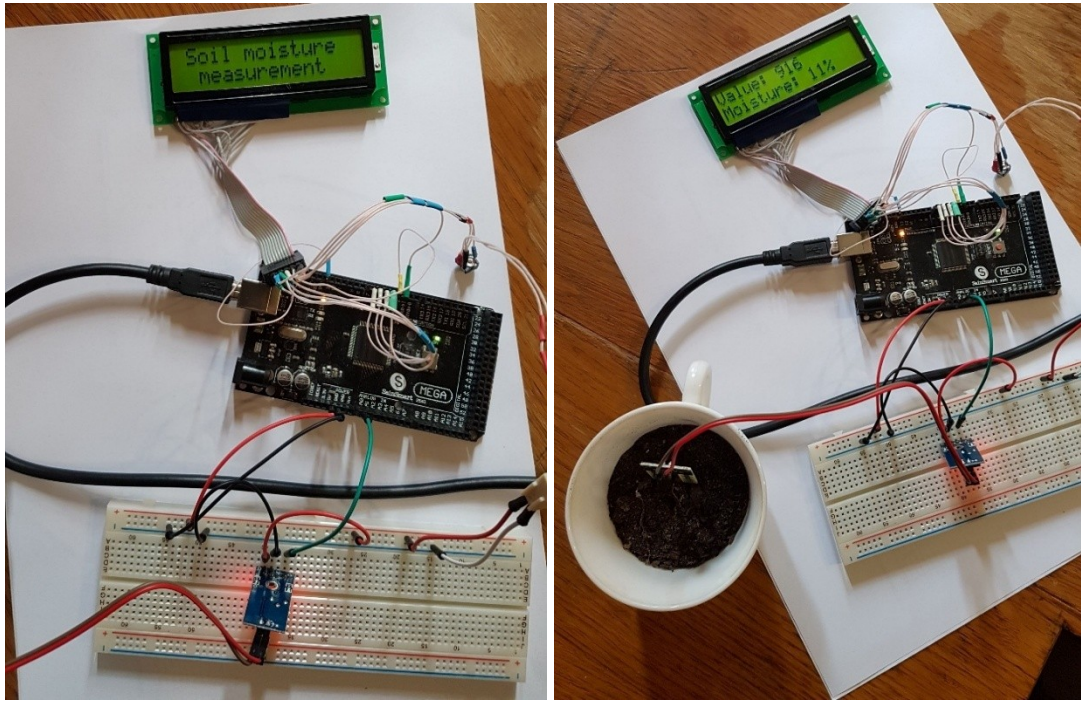


Рис. 3.11. Макет цифрового модуля для визначення аномальної вологості і ґрунту

Обробка даних із сенсора вологості здійснюється шляхом перетворення аналогового сигналу в цифровий код за допомогою 10-бітного АЦП. Отримані дискретні значення (від 0 до 1023) масштабуються у відсоткове співвідношення. Оскільки датчик працює за принципом зворотної залежності, максимальний показник АЦП (1023) відповідає стану повної відсутності води (0%). Розрахунок напруги на вході контролера та підсумкового рівня вологості виконується за наступними залежностями:

$$V_{out} = \frac{N_{ADC} \cdot 5.0}{1023}$$

$$Humidity(\%) = \left(1 - \frac{N_{ADC}}{1023}\right) \cdot 100\%$$

Оцифровані дані у відсотковому еквіваленті транслюються в інтерфейс Serial Monitor для подальшого аналізу.

РОЗДІЛ 4

ПРОГРАМНО-АЛГОРИТМЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЦИФРОВОГО ПРИСТРОЮ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ АНОМАЛЬНОЇ ВОЛОГОСТІ І КИСЛОТНОСТІ ҐРУНТУ

4.1. Алгоритм калібрування давачів вологості і кислотності



Рис. 4.1. Алгоритм калібрування сенсора вологості ґрунту

Функціонування рН-метра для ґрунту полягає у визначенні концентрації $[H]^+$ шляхом реєстрації електрорушійної сили (ЕРС), що виникає між вимірювальним та опорним електродами. Складна мембрана сенсора реагує на зміну кислотності, створюючи потенціал відносно стабільного хлорсрібного електрода. Отримані дані охоплюють діапазон від 0 (сильнокисле середовище) до 14 (сильнолужне середовище). Для інтеграції датчика в систему на базі Arduino використовується проміжна плата перетворювача, яка адаптує

слабкий сигнал сенсора до рівнів, придатних для обробки аналого-цифровим перетворювачем.

Нижче наведено основні параметри найбільш поширених типів рН-зондів, що застосовуються в аналітичних системах:

Таблиця 4.1. Основні параметри найбільш поширених типів рН-зондів

Модель електрода	Робочий діапазон (рН)	Температурний режим (°C)	Ізопотенціальна точка (рН)	Час реакції (хв)	Рівень шуму (мВ)
65-1	0–14	0–80	7+/-1	<2	-
VX-5	0–14	0–80	7+/-1	<2	<0,5
E-201	0–14	0–80	7+/-0,5	<2	<0,5
E-201-C	0–14	0–80	7+/-0,5	<2	<0,5
95-1	0–14	0–80	7+/-0,5	<2	<0,5
E-900	0–14	0–80	7+/-0,5	<2	-

Аналіз специфікацій найбільш поширених типів рН-зондів:

- Універсальність: Усі представлені моделі працюють у повному діапазоні кислотності (0–14 рН) та мають однаковий температурний поріг експлуатації (до 80°C).
- Точність нульової точки: Моделі серій E-201, 95-1 та E-900 вирізняються вищою стабільністю ізопотенціальної точки (7+/-0,5), що зменшує похибку при калібруванні.
- Шумові характеристики: Електроди VX-5, E-201 та 95-1 мають мінімальний рівень шумів (менше 0,5 мВ), що критично важливо при підключенні до високочутливих АЦП (наприклад, у зв'язці з Arduino).
- Динамічні показники: Час відгуку для всіх пристроїв не перевищує 2 хвилини, що дозволяє використовувати їх для оперативного моніторингу стану ґрунту або розчинів.

Таблиця 4.2. Технічні параметри інтерфейсного модуля рН

Параметр	Значення
Напруга живлення	5 В (DC)
Струм споживання	5–10 мА
Потужність (макс.)	≤ 0,5 Вт
Діапазон робочих температур	від +10 до +50 °C
Індикація живлення	Світлодіод зеленого кольору
Індикація граничного значення	Світлодіод червоного кольору (поріг рН)

Таблиця 4.3. Призначення інтерфейсних виводів модуля pH

Маркування	Тип сигналу	Функціональне призначення
V+	Живлення	Вхідна напруга живлення (+5 В)
G	GND	Спільний вивід (земля) для живлення та аналогової частини
Po	Аналоговий	Вихідний сигнал, пропорційний вимірюваному значенню pH
Do	Цифровий	Вихід тригера (пороговий індикатор стану pH)
To	Аналоговий	Вихід вбудованого температурного датчика

Інтерфейс модуля представлений шістьма основними виводами. Електроживлення пристрою здійснюється через контакти V+ (+5В) та G (земля). Для передачі даних на мікроконтролер передбачено два типи виходів: аналоговий Po, що транслює поточний рівень кислотності, та цифровий Do, який сигналізує про досягнення заданого порогу. Крім того, контакт To дозволяє отримувати дані про температуру середовища, а окремий вивід G (Analog GND) забезпечує стабільну роботу вимірювальної частини схеми.

Калібрування давача. Конструкція інтерфейсного модуля передбачає наявність двох підстроювальних резисторів (потенціометрів) для прецизійного налаштування системи. Перший регулятор, розташований безпосередньо біля BNC-роз'єму, відповідає за корекцію зміщення (Offset Regulation), що дозволяє нівелювати системну похибку. Другий потенціометр призначений для встановлення граничного значення (pH Limit), при досягненні якого спрацьовує цифровий вихід модуля.

Процедура калібрування зміщення (Offset) є критичною для коректної роботи системи, оскільки вихідна напруга pH-зонда варіюється у від'ємному та додатному діапазонах, де нейтральному середовищу (pH 7) відповідає нульовий потенціал. Оскільки АЦП мікроконтролера Arduino сприймає лише позитивні значення напруги (0...5В), у схему вводиться опорна напруга зміщення. Для налаштування серединної точки необхідно тимчасово від'єднати сенсор і замкнути центральний та зовнішній контакти роз'єму BNC. За допомогою мультиметра на виході Po встановлюється напруга 2,5 В шляхом регулювання відповідного потенціометра. Це дозволяє змістити

робочий діапазон зонда (від -414,12 мВ до +414,12 мВ) у позитивну область значень, що відповідатиме вихідному сигналу модуля від 0 до 5 В.

Налаштування параметрів модуля передбачає встановлення граничного значення (pH Limit). За допомогою відповідного потенціометра задається поріг спрацювання, при досягненні якого на цифровому виході Do формується сигнал високого рівня, а на платі активується червоний світлодіодний індикатор. Для коректної програмної обробки даних необхідно розрахувати функцію перетворення напруги у значення рН. Ця процедура вимагає визначення опорної точки: вимірювання напруги на виході P_o при зануренні електрода в еталонний буферний розчин. У лабораторній практиці найчастіше застосовуються стандартизовані розчини з показниками рН 4,01, рН 6,86 та рН 9,18, що дозволяють побудувати точну калібрувальну криву.

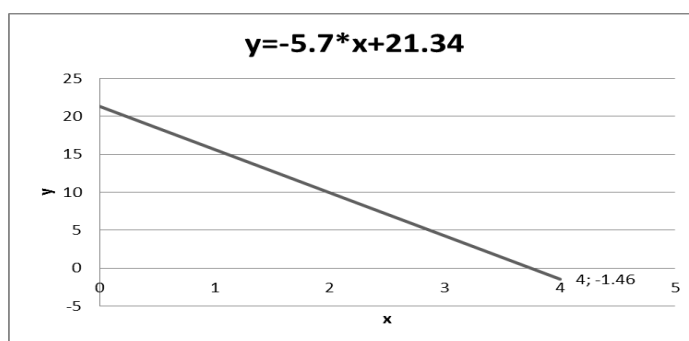


Рис. 4.2. Графік залежності між вимірюваною напругою і значенням рН:

$$y = -5,70 \cdot x + 21,34$$

На Рис. 4.2 представлено графічну залежність вихідної напруги модуля від показника кислотності середовища. Математична модель датчика описується рівнянням лінійної регресії виду $y = -5,70 \cdot x + 21,34$, де y – обчислене значення рН, а x – напруга на аналоговому виході P_o (у вольтах). Від’ємний коефіцієнт регресії (-5,70) підтверджує зворотну залежність між вхідною напругою та рівнем рН: при зростанні напруги показник кислотності зменшується.

Для математичного опису роботи рН-датчика використовується лінійна апроксимація за двома еталонними точками. Експериментальним шляхом за допомогою буферних розчинів було отримано наступні координати: для рН

4,01 вихідна напруга становить 3,04 В, а для рН 6,86 – 2,54 В. Оскільки залежність між потенціалом та кислотністю є лінійною, функція перетворення описується рівнянням виду $y=mx+b$. У цій моделі x – це виміряна напруга на виході P_o , а y – розрахунковий показник рН. Обчислення коефіцієнтів m (нахил) та b (зміщення) дозволяє програмно інтерпретувати аналоговий сигнал у реальні одиниці кислотності.

$$[pH_1 = mV_1 + b] \quad m = \frac{2,85}{V_{\square_2} - V_{\square_1}} \quad b = 4,01 - \frac{2,85}{V_{\square_2} - V_{\square_1}} V_{\square_1}$$

$$pH_1 = 4,01; pH_2 = 6,86; V_1 = 3,04 \text{ В}; V_2 = 2,54 \text{ В}.$$

$$[b = 4,01 - 3,04 \cdot m] \quad m = -5,7 \quad b = 21,338$$

Результатом є формула $y = -5,7 \cdot x + 21,34$.

Алгоритм підготовки та інтеграції системи вимірювання рН. Порядок підготовки та інтеграції системи вимірювання рН включає наступні кроки:

1. Комутація інтерфейсного модуля: Підключення здійснюється до плати Arduino Uno. Використовуються лінії живлення (5В) та два розділених контури заземлення (GND), передбачені схемотехнікою модуля для мінімізації наводок. Інформаційний сигнал подається на аналоговий вхід A0 (ADC0).
2. Підключення сенсора: рН-електрод з'єднується з інтерфейсною платою за допомогою високочастотного роз'єму BNC. Після цього модуль інтегрується з аналоговим портом мікроконтролера.
3. Програмна ініціалізація: Завантаження розробленого програмного коду (скетчу) у пам'ять мікроконтролера Arduino для активації алгоритму зчитування та обробки даних.
4. Процедура передпускового калібрування рН-електрода є обов'язковою для забезпечення точності вимірювань. Процес передбачає використання стандартного буферного розчину (наприклад, з фіксованим значенням рН 7,00). Після занурення датчика в еталонне середовище результати моніторингу аналізуються через Serial Monitor в середовищі Arduino IDE. При виявленні відхилення від еталона (в межах

допустимої похибки 0,3) розраховується поправка. Отримана різниця між фактичним показником (наприклад, 6,88) та номінальним (7,00) вноситься в програмний код як калібрувальна константа (у даному випадку – +0,12).

5. Процедура калібрування в кислому середовищі проводиться за допомогою еталонного буферного розчину з показником рН 4,00. Після занурення електрода необхідно витримати паузу близько однієї хвилини для стабілізації хімічних процесів на мембрані. Налаштування підсилення сигналу здійснюється відповідним потенціометром на інтерфейсній платі до моменту, поки вихідне значення не досягне позначки 4,00. Важливою умовою чистоти експерименту є ретельне промивання рН-електрода в дистильованій або деіонізованій воді перед кожним новим заміром. Це дозволяє уникнути перехресного забруднення розчинів та гарантує достовірність результатів.
6. Завдяки лінійності характеристик рН-електрода, завершення калібрування в кислому та нейтральному середовищах дозволяє перейти до верифікації в лужному діапазоні. Для цього використовується еталонний буферний розчин із показником 9,18. Процедура передбачає точне підстроювання коефіцієнта підсилення за допомогою потенціометра до моменту стабілізації вихідного сигналу на позначці 9,18. Виконання цього етапу гарантує високу точність вимірювань водневого показника в лужних середовищах та підтверджує коректність роботи датчика в усьому робочому діапазоні.

Після подачі напруги живлення активується виконання вбудованого програмного забезпечення мікроконтролера архітектури AVR. Робочий цикл розпочинається з виклику ініціалізаційної функції `setup()`, яка конфігурує периферійні пристрої: рідкокристалічний дисплей (LCD 16×2), інтерфейс UART для обміну даними з ПК (на швидкості 9600 біт/с) та модуль накопичувача (SD-карти). По завершенню ініціалізації на РК-дисплей

виводиться інформаційне повідомлення “* Soil measurement * (C) Roman Kapa” з експозицією тривалістю 2 секунди. Основний алгоритм функціонування реалізований у нескінченному циклі loop(), де здійснюється циклічне опитування датчиків, розрахунок показників вологості та кислотності (pH) ґрунту. Отримані результати візуалізуються на локальному дисплеї та дублюються у термінал послідовного порту для подальшого моніторингу.



Рис. 4.3. Логічна структура процесу калібрування рН-сенсора

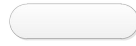


Рис. 4.4. Алгоритм визначення кислотності ґрунту

4.2. Програмна бібліотека SD для зберігання даних на карту пам'яті

Для організації енергонезалежного зберігання даних у системах на базі Arduino використовуються спеціалізовані модулі розширення – SD-картрідери. Програмна взаємодія з цими пристроями реалізується за допомогою стандартної бібліотеки SD, яка забезпечує повноцінний цикл операцій читання та запису. Бібліотека сумісна з файловими системами FAT16 та FAT32, проте має обмеження щодо іменування файлів: підтримується лише формат 8.3 (вісім символів для імені та три для розширення). Апаратна реалізація базується на інтерфейсі SPI, що використовує піни 11, 12 та 13 (для

більшості плат) або 50, 51, 52 (для сімейства Arduino Mega). Для вибору пристрою на шині (Slave Select) за замовчуванням задіюється цифровий вивід 4. Основний клас SD надає розробнику набір методів для керування файловою структурою, зокрема: перевірка наявності файлу (`exists()`), створення директорій (`mkdir()`), відкриття (`open()`), а також видалення об'єктів (`remove()`, `rmdir()`). Методи класу SD:

Метод `SD.begin()` слугує для запуску бібліотеки та резервування піна SS. Якщо параметр `pin` не вказано, система використовує стандартний вивід. Функція повертає `true` при успішному розпізнаванні карти пам'яті та `false`, якщо ініціалізація не вдалася. Це дозволяє програмно перевірити наявність носія перед початком запису даних.

Метод `exists()` призначений для верифікації наявності об'єкта (файлу або директорії) у файловій системі SD-карти. Ця функція є критично важливою для запобігання помилкам при спробі відкриття неіснуючих файлів або для перевірки необхідності створення нових лог-файлів перед початком запису результатів вимірювань.

Метод `mkdir()` призначений для формування ієрархічної структури папок на SD-карті. Особливістю цієї функції є підтримка рекурсивного створення директорій: якщо вказаний шлях містить вкладені каталоги, які ще не існують у файловій системі, бібліотека автоматично створить усі проміжні рівні.

Метод `rmdir()` призначений для видалення існуючої директорії з файлової структури SD-карти. Важливою технічною умовою успішного виконання операції є відсутність у каталозі будь-яких файлів або підпапок (директорія має бути порожньою).

Метод `open()` є базовим інструментом для взаємодії з файловою структурою SD-карти. Він дозволяє ініціалізувати доступ до конкретного файлу для виконання операцій введення-виведення. Важливою особливістю

функції є автоматичне створення файлу, якщо вказане ім'я відсутнє в системі, а режим доступу передбачає запис.

Метод `remove()` призначений для безповоротного видалення файлів із файлової системи SD-карти. Ця функція є важливою для керування вільним простором на носії, наприклад, для очищення застарілих логів або тимчасових даних вимірювань. Синтаксис: `SD.remove(filepath)`.

Клас `File` виступає основним інструментом для взаємодії з об'єктами на SD-карті. Він забезпечує повний цикл роботи з даними: від відкриття та навігації по структурі папок до безпосереднього зчитування чи запису інформації. Функціональні можливості класу включають:

- управління потоком: `available()`, `close()`, `flush()`;
- робота з даними: `read()`, `write()`, `print()`, `println()`;
- навігація та позиціонування: `seek()`, `position()`, `size()`, `peek()`;
- робота з директоріями: `isDirectory()`, `openNextFile()`, `rewindDirectory()`.

Метод `available()` призначений для визначення кількості байтів, які залишилися доступними для зчитування з поточного файлу. Синтаксис: `file.available()`.

Метод `close()` завершує роботу з об'єктом файлу та забезпечує гарантоване збереження всіх внесених змін на SD-карту. Синтаксис: `file.close()`.

Метод `flush()` використовується для примусового перенесення даних із програмного буфера безпосередньо на фізичний носій (SD-карту). Це дозволяє зберегти записану інформацію, не закриваючи сам файл. Синтаксис: `myFile.flush()`.

Метод `peek()` дозволяє отримати значення наступного байта у файлі без зміщення внутрішнього покажчика позиції. Це дає змогу побачити дані, які будуть прочитані наступною командою `read()`, залишаючи поточне положення у файлі незмінним. Синтаксис: `int data=myFile.peek()`.

Метод `position()` дозволяє визначити поточне розташування внутрішнього покажчика (курсора) у відкритому файлі. Це значення вказує на зміщення (у байтах) від початку файлу, де відбудеться наступна операція зчитування або запису даних. Синтаксис: `unsigned long pos = myFile.position()`.

Метод `print()` служить для виведення даних у попередньо відкритий файл на SD-карті. На відміну від бінарного запису, ця функція перетворює вхідні значення у текстовий формат (ASCII), що робить файл зручним для читання людиною. Синтаксис: `myFile.print(data)` або `myFile.print(data, BASE)`.

Метод `println()` виконує запис даних у текстовому форматі до файлу на SD-карті, автоматично додаючи в кінці символи повернення каретки `\r` та переведення рядка `\n`. Це дозволяє структурувати інформацію у файлі, розділяючи записи за логічними блоками (рядками). Синтаксис: `myFile.println(data)` або `myFile.println(data, BASE)`.

Метод `seek()` дозволяє примусово змінити положення внутрішнього покажчика (курсора) у файлі на задану позицію. Це забезпечує довільний доступ до даних, дозволяючи переходити до конкретного байта для подальшого зчитування або дозапису інформації. Синтаксис: `myFile.seek(pos)`.

Метод `size()` використовується для визначення загального обсягу даних у відкритому файлі. Функція повертає точну кількість байтів від початку до кінця файлу, що дозволяє програмі оцінити об'єм накопиченої інформації. Синтаксис: `unsigned long fileSize=myFile.size()`.

Метод `read()` призначений для послідовного зчитування даних із відкритого файлу. При кожному виклику функція повертає значення одного байта, на який вказує внутрішній курсор, після чого автоматично зсуває цей покажчик на наступну позицію. Синтаксис: `int data = myFile.read()`.

Метод `write()` призначений для запису бінарних даних у файл, відкритий у режимі `FILE_WRITE`. На відміну від методу `print()`, ця функція записує дані у вигляді сирих байтів, що є ефективним для збереження структур, масивів або

бінарних логів датчиків. Синтаксис: `myFile.write(data)` – запис одного байта, `myFile.write(buf, len)` – запис послідовності байтів (буфера).

Метод `isDirectory()` використовується для ідентифікації типу об'єкта у файловій системі SD-карти. Функція дозволяє визначити, чи є поточний відкритий елемент директорією (папкою), чи звичайним файлом. Синтаксис: `bool result=myFile.isDirectory()`.

Метод `openNextFile()` призначений для ітераційного перегляду вмісту директорії. При кожному виклику функція звертається до наступного об'єкта (файлу або папки) у відкритому каталозі та створює для нього новий екземпляр класу `File`. Синтаксис: `File entry = myFile.openNextFile()`.

Метод `rewindDirectory()` призначений для скидання внутрішнього покажчика ітератора каталогу на його початок. Це дозволяє повторно почати перегляд списку файлів і папок у певній директорії, використовуючи функцію `openNextFile()`. Синтаксис: `myFile.rewindDirectory()`. Об'єкт: Викликається для екземпляра класу `File`, який є директорією (папкою). Результат: Функція не повертає значень (тип `void`), але змінює внутрішній стан об'єкта так, що наступний виклик `openNextFile()` поверне перший елемент у списку.

4.3. Програмна бібліотека `LiquidCrystal` для виведення даних на LCD HD44780

Для організації візуального інтерфейсу та виведення даних на рідкокристалічний дисплей (РКД) у середовищі Arduino використовується стандартна бібліотека `LiquidCrystal`. Вона забезпечує програмну підтримку дисплеїв на базі контролера Hitachi HD44780 або його повних аналогів.

Ключові можливості бібліотеки: гнучкість підключення: підтримка роботи як через 8-бітну шину даних (максимальна швидкість), так і через 4-бітну (економія пінів контролера); управління інтерфейсом: використання ліній вибору регістра (RS), синхронізації (Enable) та читання/запису (RW);

сумісність: Робота з більшістю текстових дисплеїв (наприклад, 16x2 або 20x4 символів).

1. Функції виведення тексту та позиціювання. Ці методи відповідають за безпосереднє відображення символів та керування положенням «курсора» на екрані.

- `lcd.print(data)` – виводить текстовий рядок або значення змінної на дисплей, починаючи з почного положення курсора.
- `lcd.setCursor(col, row)` – переміщує курсор у вказану колонку (`col`) та рядок (`row`).
- `lcd.home()` – миттєво повертає курсор у початкову позицію (верхній лівий кут: колонка 0, рядок 0).
- `lcd.clear()` – повністю очищає вміст екрана та повертає курсор у позицію `home`.

2. Керування станом дисплея та курсора. Методи для налаштування візуальних ефектів та видимості елементів.

- `lcd.display()/lcd.noDisplay()` Активує або деактивує відображення тексту (дані при цьому зберігаються в пам'яті).
- `lcd.cursor()/lcd.noCursor()` Вмикає або вимикає видиме підкреслення під поточною позицією друку.
- `lcd.blink()/lcd.noBlink()` Активує або вимикає миготіння курсора (символ у поточній позиції чергується з повним прямокутником).

3. Функції зсуву та напрямку друку. Дозволяють створювати ефекти рухомого рядка або змінювати логіку заповнення екрана.

- `lcd.scrollDisplayLeft()` – зсуває весь вміст дисплея (разом із курсором) на один символ ліворуч.
- `lcd.scrollDisplayRight()` – зсуває весь вміст на один символ праворуч.
- `lcd.leftToRight()` – встановлює стандартний режим виводу (текст додається зліва направо).

- `lcd.rightToLeft()` – встановлює реверсивний режим (новий символ з’являється зліва від попереднього).

4. *Створення власних символів.* Бібліотека дозволяє розширити стандартний набір знаків за допомогою користувацьких піктограм. `lcd.createChar(num, data[])` – записує у пам’ять контролера (CGRAM) унікальний символ під індексом від 0 до 7, `num` – адреса комірки (0–7), `data[]` – масив із 8 байтів, де кожен байт описує один рядок пікселів (5 молодших бітів кожного байта формують візерунок).

4.4. Програмна реалізація алгоритму роботи цифрового пристрою для визначення аномальної вологості і кислотності ґрунту

Наступний фрагмент програмного коду є реалізацією алгоритму роботи цифрового пристрою для визначення аномальної вологості і кислотності ґрунту:

```
void loop() {
  // --- 1. Вимірювання параметрів SHT11 (Температура та Вологість) ---
  error = 0;
  // Використовуємо явне приведення типів для коректної передачі адреси
  error += s_measure((unsigned char*)&humi_val.i, &checksum, HUMI);
  error += s_measure((unsigned char*)&temp_val.i, &checksum, TEMP);
  if (error != 0) {
    s_connectionreset(); // Скидання шини при помилці зчитування
  } else {
    // Конвертація отриманих цілих значень у рухому кому
    humi_val.f = (float)humi_val.i;
    temp_val.f = (float)temp_val.i;
    // Обчислення реальних фізичних величин
    calc_sht11(&humi_val.f, &temp_val.f);
    dew_point = calc_dewpoint(humi_val.f, temp_val.f);
    // Вивід на РК-дисплей (Верхній рядок)
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print(temp_val.f, 1);
    lcd.print((char)223); // Символ градуса за таблицею HD44780
    lcd.print("C ");
    lcd.print(humi_val.f, 1);
    lcd.print("% RH ");
    // Дублювання даних у Serial монітор
    Serial.print("Temp: "); Serial.print(temp_val.f, 1);
    Serial.print(" C | Hum: "); Serial.print(humi_val.f, 1);
    Serial.println(" %");
    // Автоматичний запис на SD при зміні показників (гістерезис)
    if (abs(humi_val.f - last_humi) > 0.1 || abs(temp_val.f - last_temp) >
0.1) {
      sdCardWrite(temp_val.f, humi_val.f);
      last_humi = humi_val.f;
      last_temp = temp_val.f;
    }
  }
}
// --- 2. Робота з pH-сенсором (Аналогова обробка) ---
```

```

static unsigned long samplingTime = millis();
static unsigned long printTime = millis();
static float pHVol = 0.0, pHValue = 0.0;
static String solutionType;
// Опитування датчика pH за інтервалом
if (millis() - samplingTime > samplingInterval) {
    pHArray[pHArrayIndex++] = analogRead(PH_SENSOR_PIN);
    if (pHArrayIndex == ArrayLength) pHArrayIndex = 0;
    // Розрахунок напруги та значення pH за калібрувальною формулою
    pHVol = averageArray(pHArray, ArrayLength) * 5.0 / 1024.0;
    pHValue = -5.70 * pHVol + 21.34;
    samplingTime = millis();
}
// Оновлення інформації про pH на дисплеї та в Serial
if (millis() - printTime > printInterval) {
    if (pHValue < 6.8) solutionType = "Acidic ";
    else if (pHValue > 7.2) solutionType = "Alkaline";
    else solutionType = "Neutral ";
    Serial.print("pH: "); Serial.print(pHValue, 2);
    Serial.print(" | Type: "); Serial.println(solutionType);
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("pH ");
    lcd.print(pHValue, 1);
    lcd.print(" ");
    lcd.print(solutionType);

    printTime = millis();
}
// --- 3. Обробка кнопки запису (Debounce / Антибрязкіт) ---
int reading = digitalRead(STORE_BUTTON_PIN);
if (reading != lastButtonState) {
    lastDebounceTime = millis(); // Скидання таймера при зміні стану
}
if ((millis() - lastDebounceTime) > debounceDelay) {
    if (reading != buttonState) {
        buttonState = reading;
        // Запис на SD-карту за натисканням (фронт сигналу HIGH)
        if (buttonState == HIGH) {
            sdCardWrite(temp_val.f, humi_val.f);
            // Візуальне підтвердження запису на дисплеї (опціонально)
            lcd.setCursor(15, 0); lcd.print("*");
            delay(100);
            lcd.setCursor(15, 0); lcd.print(" ");
        }
    }
}
lastButtonState = reading;
}

```

4.5. Моделювання та аналіз результатів роботи цифрового пристрою для визначення аномальної вологості і кислотності ґрунту в Proteus ISIS

Для функціонування цифрового пристрою на базі Arduino використовується виконуваний файл у форматі .hex. Перевірка функціонування розробленого цифрового пристрою, призначеного для моніторингу аномальних показників вологості та кислотності ґрунту (що є

критично важливим для криміналістичних пошуків поліції), здійснюється в середовищі Proteus ISIS. Ключові особливості середовища моделювання:

- **Комплексність:** Proteus ISIS дозволяє симулювати роботу складних електронних систем, що можуть об'єднувати декілька мікроконтролерів різних архітектур в межах одного проєкту.
- **Відлагодження:** Програма забезпечує високу точність тестування логіки роботи пристрою ще до створення фізичного прототипу.
- **Візуалізація:** Нижче наведено графічні результати симуляції спроектованого приладу, що демонструють його реакцію на зміну параметрів середовища.

Мікроконтролерна система визначення рівня вологості ґрунту

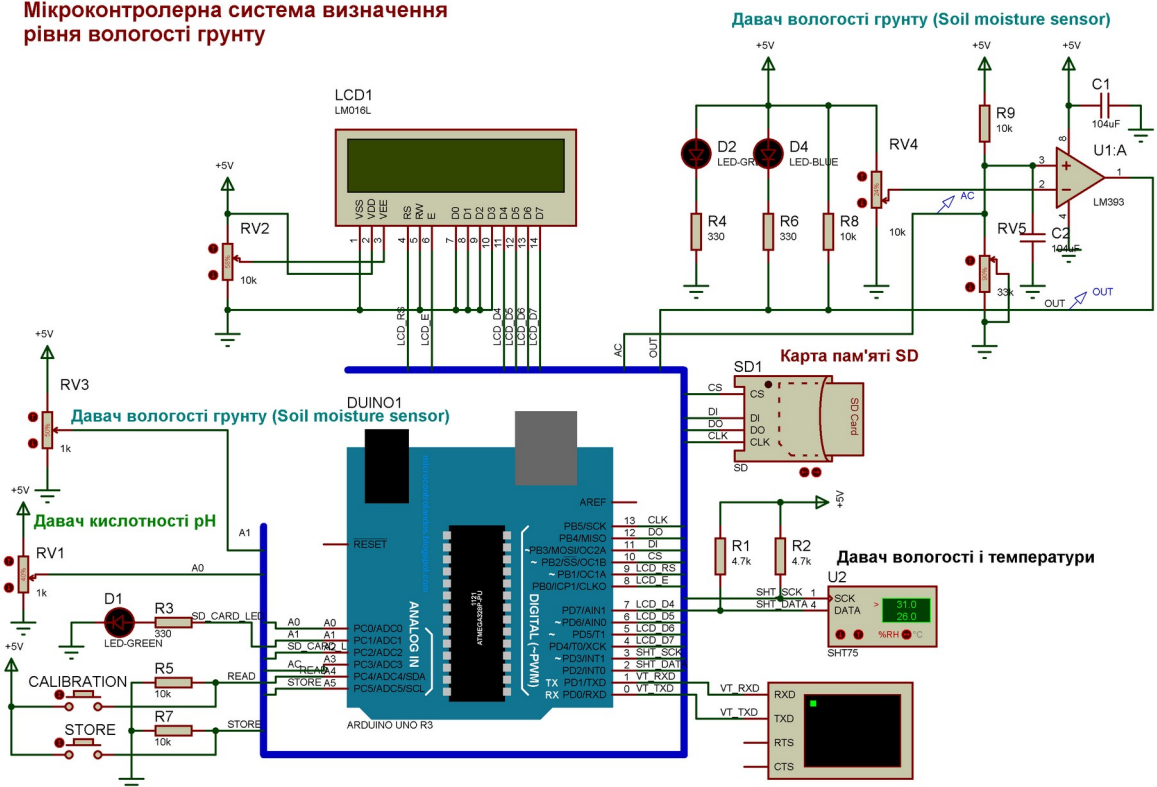
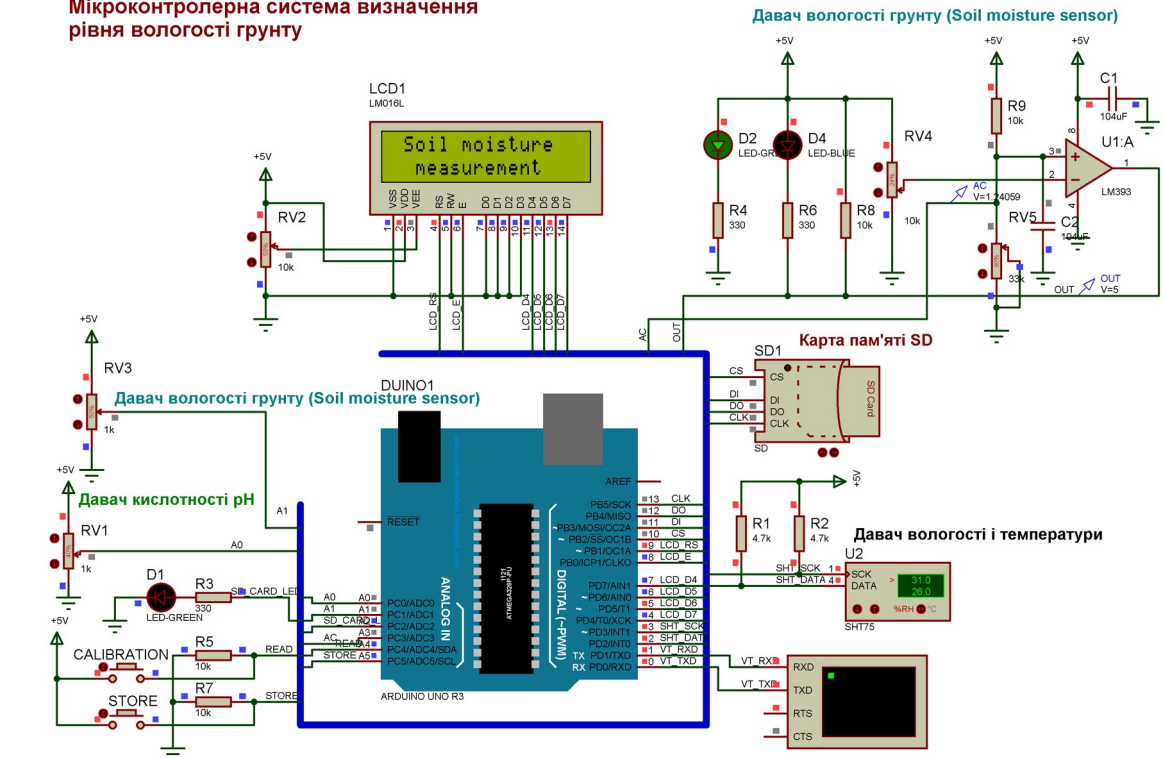


Рис. 4.5. Моделювання роботи цифрового пристрою для визначення аномальної вологості і кислотності ґрунту в Proteus ISIS

**Мікроконтролерна система визначення
рівня вологості ґрунту**



**Мікроконтролерна система визначення
рівня вологості ґрунту**

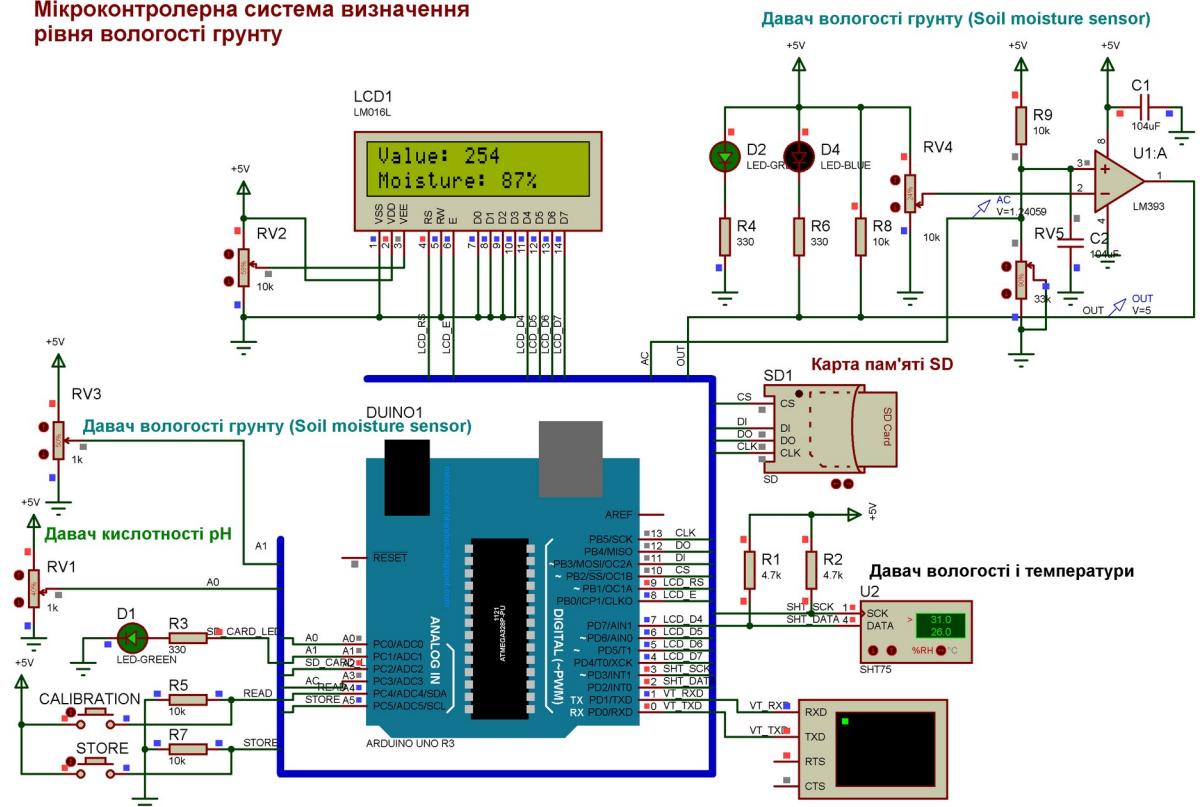
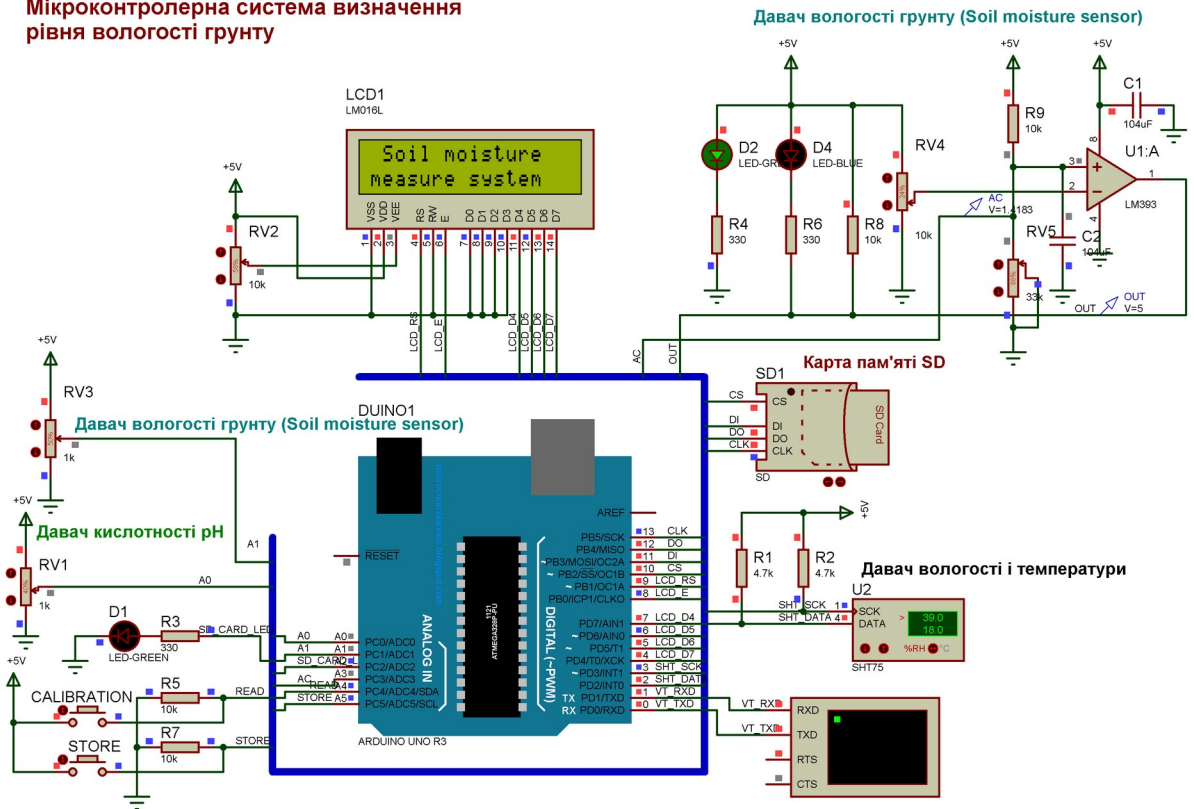


Рис. 4.6. Моделювання роботи цифрового пристрою для визначення аномальної вологості і кислотності ґрунту в Proteus ISIS

**Мікроконтролерна система визначення
рівня вологості ґрунту**



**Мікроконтролерна система визначення
рівня вологості ґрунту**

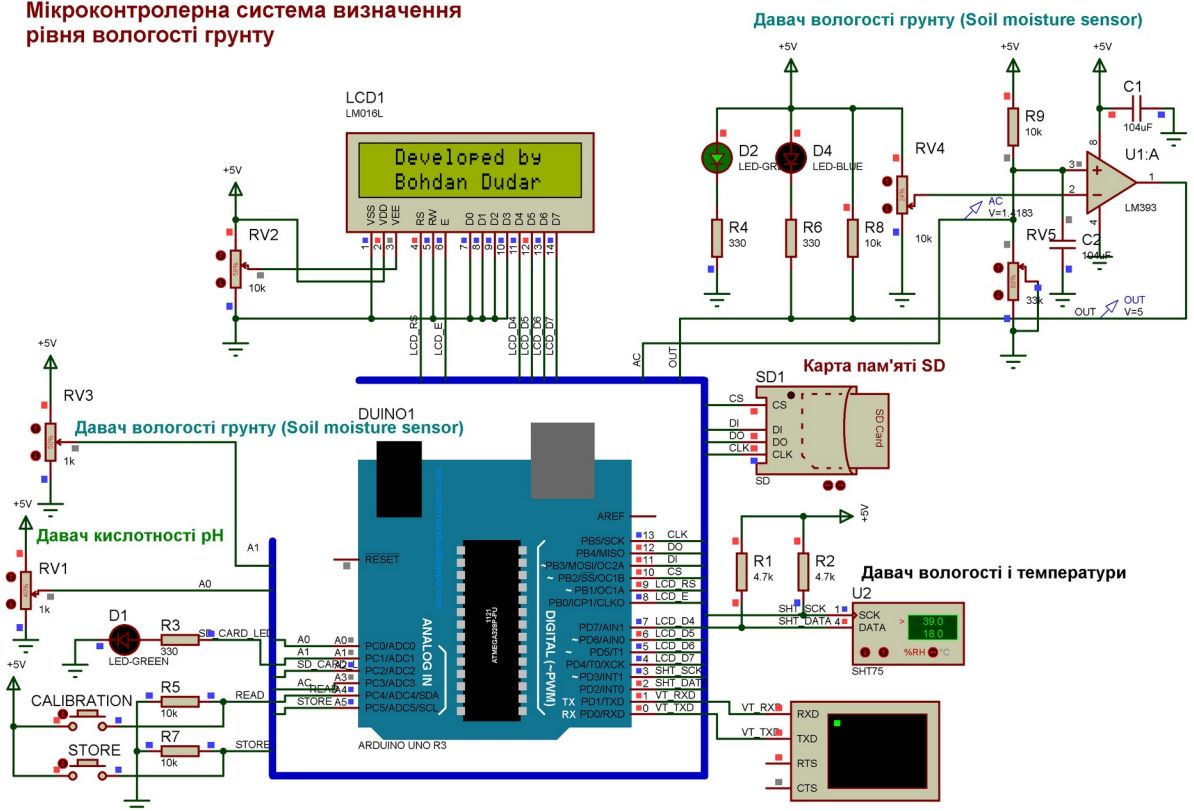


Рис. 4.8. Моделювання роботи цифрового пристрою для визначення аномальної вологості і кислотності ґрунту в Proteus ISIS

```

Virtual Terminal

*** Microcontroller system for measuring soil moisture and acidity level ***
Initializing SD card...initialization done.
Temperature: 18.08 degC Humidity: 40.51% RH
Writing to data.csv...done.
Temperature: 18.08 degC Humidity: 40.51% RH
Temperature: 18.08 degC Humidity: 40.51% RH
Temperature: 18.08 degC Humidity: 40.51% RH
Temperature: 18.08 degC Humidity: 40.51% RH

```

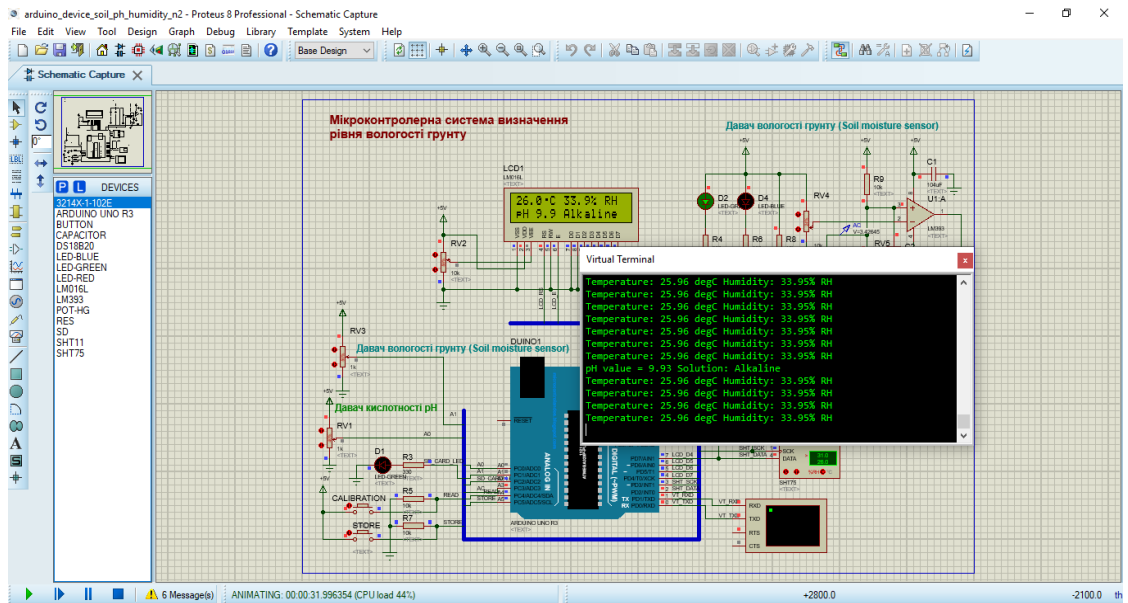
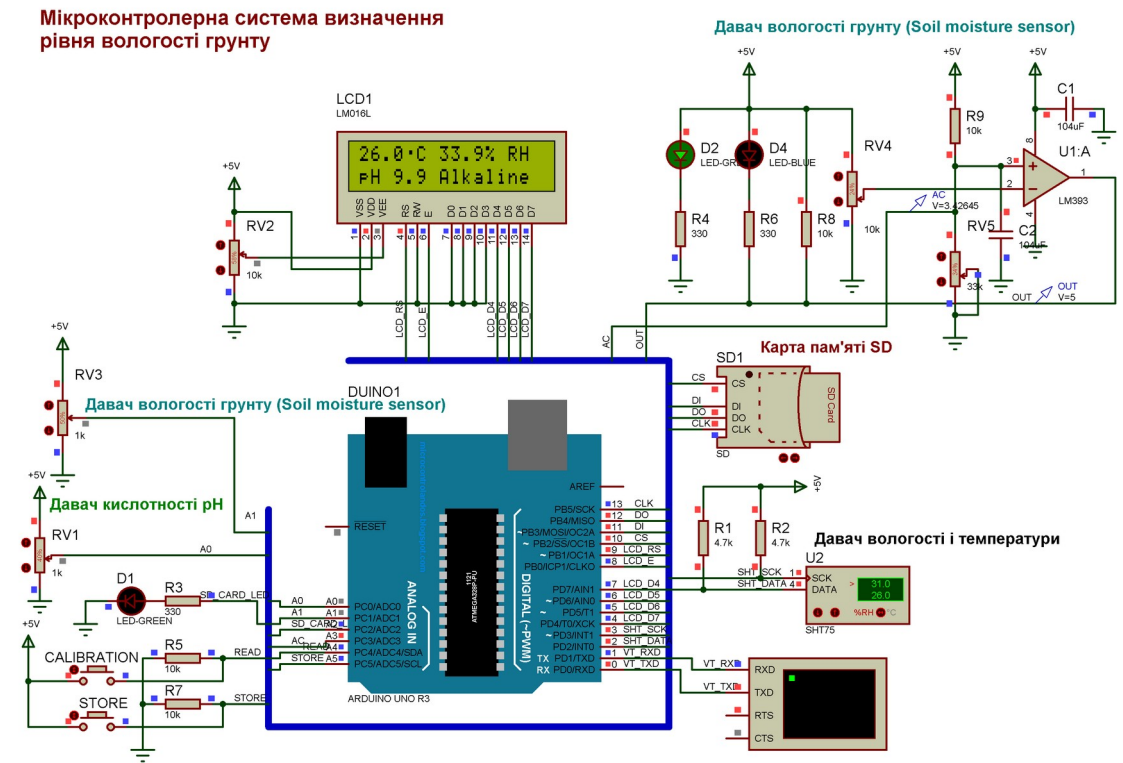


Рис. 4.9. Моделювання роботи цифрового пристрою для визначення аномальної вологості і кислотності ґрунту в Proteus ISIS

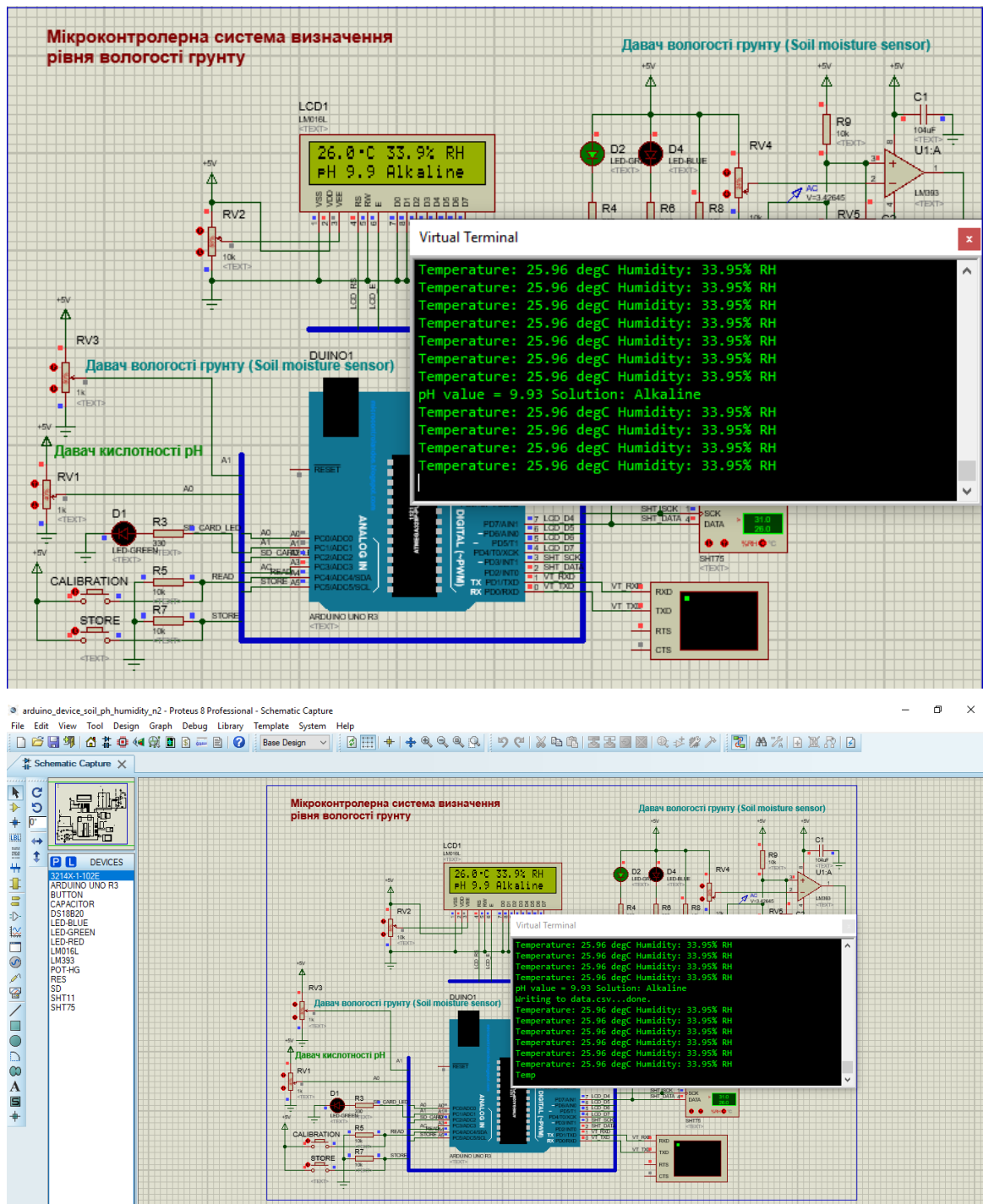


Рис. 4.10. Моделювання роботи цифрового пристрою для визначення аномальної вологості і кислотності ґрунту в Proteus ISIS

ВИСНОВКИ

У межах кваліфікаційної роботи було спроектовано та реалізовано цифровий пристрій, призначений для моніторингу фізико-хімічних показників ґрунту. Основним завданням приладу є допомога працівникам поліції у виявленні прихованих об'єктів шляхом фіксації аномальних відхилень вологості та кислотності. Система забезпечує комплексне вимірювання температури, рівня вологи та рН середовища з подальшою візуалізацією даних на РК-дисплеї. Передбачено функцію архівації результатів: при натисканні кнопки STORE поточні показники записуються у файл на SD-карту для подальшого аналізу.

При проєктуванні апаратної архітектури цифрового вимірювача було обрано сучасну елементну базу, що забезпечує високу точність та енергоефективність системи. Основними компонентами пристрою є: обчислювальне ядро: мікроконтролерна платформа Arduino Uno R3, що функціонує на базі чіпа ATmega328; сенсорна підсистема: універсальний датчик вологості ґрунту (з підтримкою як аналогового, так і дискретного виходів) та спеціалізований сенсор для моніторингу температури; інтерфейс відображення: символьний рідкокристалічний індикатор (LCD) формату 16×2 під керуванням стандартного контролера HD44780; система логування: модуль читання SD-карт разом із носієм пам'яті об'ємом 16 МБ для довгострокового зберігання результатів вимірювань.

Спроектовано електричну принципову схему та виконано комп'ютерне моделювання цифрового вимірювача в середовищі Proteus Design. Для забезпечення точності отриманих даних розроблено та детально описано методику калібрування сенсора вологості. Програмна складова проєкту реалізована мовою C у середовищі Arduino IDE. Зокрема, було створено спеціалізовані функції для взаємодії з: модулем моніторингу вологості та температури ґрунту; системою архівації даних на SD-карту. Розроблений програмно-апаратний комплекс дозволяє виявляти аномалії ґрунтового

середовища, що є критично важливим для криміналістичних пошукових операцій.

Етап тестування розробленого приладу включав симуляцію його роботи в програмному середовищі Proteus ISIS. Отримані результати підтвердили повну відповідність функціонування пристрою заданим алгоритмам та стабільність програмного забезпечення. Після успішного моделювання було виготовлено фізичний прототип (макет) пристрою. Експериментальна перевірка макета в умовах, наближених до реальних, довела ефективність обраних технічних рішень для виявлення прихованих об'єктів за специфічними показниками ґрунту.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Пристрої визначення вологості, кислотності (pH) ґрунту [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.amazon.com/soil-moisture-meter/s?k=soil+moisture+meter>, <https://www.bobvila.com/articles/best-soil-moisture-meter/>, <https://www.aliexpress.com/w/wholesale-soil-moisture-meter.html>.
2. САПР Proteus VSM [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.labcenter.com/downloads/>.
3. Середовище розробки Arduino IDE [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.arduino.cc/en/Main/Software_
4. Massimo Banzi. Getting Started with Arduino. – 2nd Edition. O'Really Media Inc., 2011. – p. 130.
5. Brian Evans. Beginning Arduino Programming. Writing Code for the Most Popular Microcontroller Board in the World. – Springer Science + Business Media, 2011. – p. 271.
6. George Gibson. Arduino: A Beginner's Guide to Arduino Programming. – Published by Kindle Edition, 2023. – p. 111.
7. Sarful Hassan, Mehadi Hasan Maruf. Arduino Programming for Absolute Beginners: Master Arduino from Scratch with Easy-to-Follow Projects and Examples. – Published by Kindle Edition, 2024. – p. 478.
8. Jack Purdum. Beginning C for Arduino, Second Edition: Learn C Programming for the Arduino. – Published by Apress; 2nd ed., 2015. – p. 414.
9. Simon Monk. Programming Arduino Next Steps: Going Further with Sketches, Second Edition. – Published by McGraw Hill TAB; 2nd ed., 2018. – p. 320.
10. Sarful Hassan. Arduino Programming Essentials: A Practical Handbook for Makers, Engineers, and Students. – Independently published, 2024. – p. 308.
11. John Baichtal. Arduino for Beginners: Essential Skills Every Maker Needs. Published by Pearson Education, Inc., 2014. – p. 376.
12. John Nussey. Arduino for Dummies. Published by For Dummies, 1st ed., 2013. – p. 438.

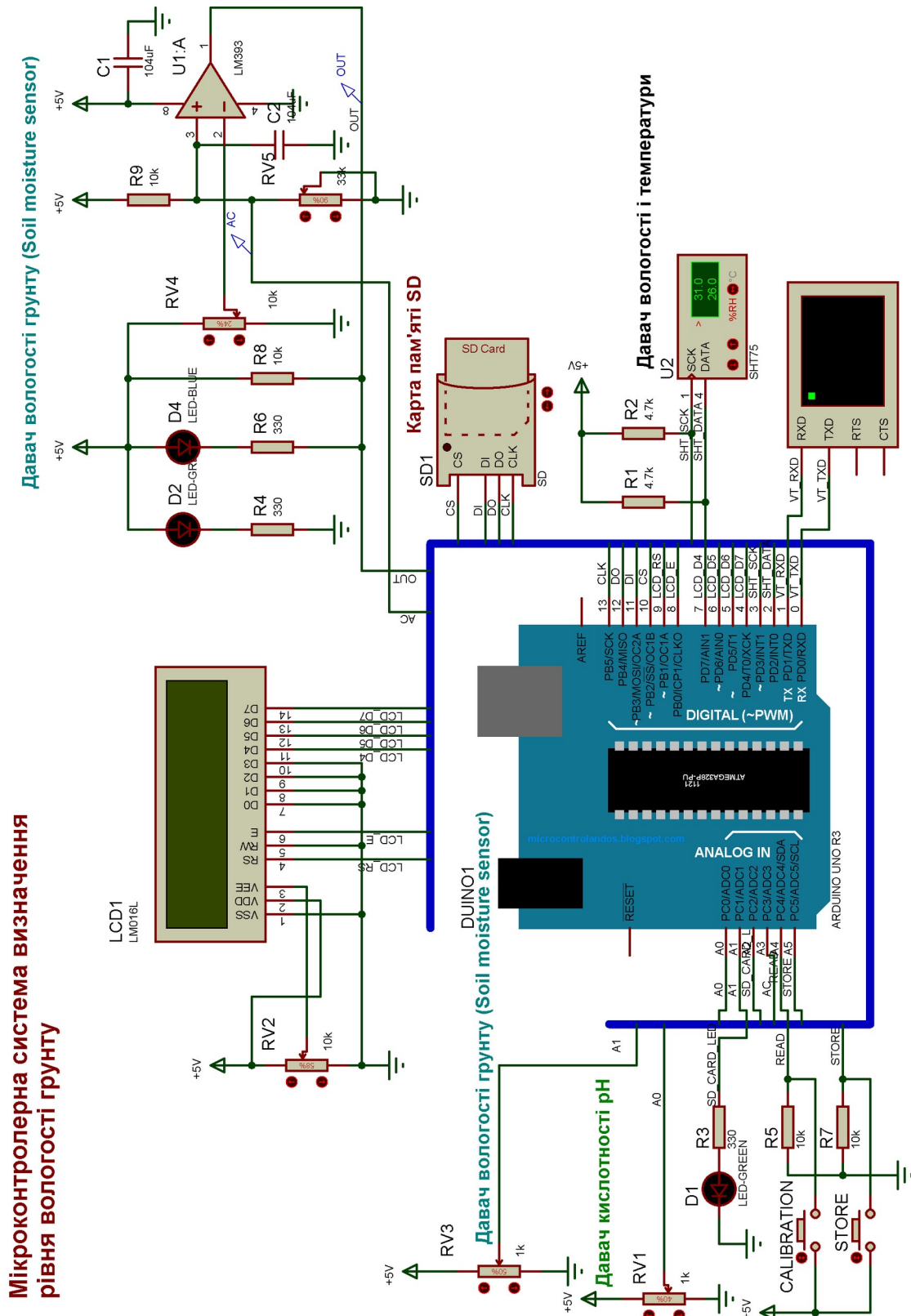
13. Навчальні матеріали по Arduino [Електронний ресурс]. – Режим доступу:
<https://www.arduino.cc/>.
14. Arduino [Електронний ресурс]. – Режим доступу:
<https://www.arduino.cc/en/Tutorial/HomePage>
15. Arduino [Електронний ресурс]. – Режим доступу:
<https://www.tutorialspoint.com/arduino/>.
16. Arduino [Електронний ресурс]. – Режим доступу:
<https://learn.adafruit.com/category/learn-arduino>.
17. Електронний ресурс на МК AVR ATmega328:
https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-7810-Automotive-Microcontrollers-ATmega328P_Datasheet.pdf.
18. Електронний ресурс на сенсор вологості ґрунту YL-69 (HL-69):
[https://www.circuits-diy.com/how-to-interface-soil-moisture-sensor-yl-69-hl-69-with-arduino-uno/](https://www.circuits-diy.com/how-to-interface-soil-moisture-sensor-yl-69-hl-69-with-arduino-uno/#google_vignette)
<https://randomnerdtutorials.com/guide-for-soil-moisture-sensor-yl-69-or-hl-69-with-the-arduino/>.
19. Електронний ресурс на сенсор рН. – Режим доступу:
https://wiki.dfrobot.com/RS485_Soil_Sensor_Temperature_Humidity_PH_SKU_SEN0602,
<https://circuitdigest.com/microcontroller-projects/arduino-ph-meter>,
<https://www.instructables.com/ARDUINO-PH-METER/>, <https://robu.in/the-ph-meter-by-using-arduino-detail-guide/>.
20. Електронний ресурс на РК-дисплей 1602A HD44780. – Режим доступу:
https://lastminuteengineers.com/arduino-1602-character-lcd-tutorial/#google_vignette,
<https://www.instructables.com/How-to-Control-an-LCD-Display-the-Easy-Way-Arduino/>.
21. Michael Margolis. Arduino Cookbook, Second Edition. – Published by O'Reilly Media Inc., 2012. – p. 724.
22. Emily Gertz, Patrick Di Justo. Environmental Monitoring with Arduino: Building Simple Devices to Collect Data About the World Around Us. – Published by Make Community LLC, 1st ed., 2012 – p. 98.
23. Jonathan Oxer and Hugh Blemings. Practical Arduino: Cool Projects for Open Source Hardware. - Springer-Verlag New York, 2009. – p. 445.

24. Brian Huang and Derek Runberg. The Arduino Inventor's Guide. – SparkFun Electronics, 2017. – p. 472.
25. Электронный ресурс. Режим доступа: <https://www.hackster.io/arduino/projects>
<https://playground.arduino.cc/Projects/Ideas>.

ДОДАТКИ

Додаток 1

Модель цифрового пристрою для визначення аномальної вологості і кислотності ґрунту в САПР Proteus



Додаток 2

Фрагмент програмного модуля цифрового пристрою для визначення аномальної вологості і кислотності ґрунту

```

/* Цифровий пристрій для визначення аномальної вологості і кислотності ґрунту
 * Розробив: студент 4 курсу, Роман Карпа */

#include "shtxx.h"
#include <LiquidCrystal.h>
#include <SPI.h>
#include <SD.h>

// Визначення пінів
#define SD_CARD_LED      A2
#define PH_SENSOR_PIN    A0
#define STORE_BUTTON_PIN A5 // Пін кнопки збереження
#define SD_CS_PIN        10 // Пін Chip Select для SD карти

// Налаштування інтервалів
#define SAMPLING_INTERVAL 20
#define PRINT_INTERVAL    800
#define ARRAY_LENGTH      40
#define DEBOUNCE_DELAY    50

// Ініціалізація дисплея (RS, E, D4, D5, D6, D7)
LiquidCrystal lcd(9, 8, 7, 6, 5, 4);
// Змінні для SHT сенсора
value humi_val, temp_val;
unsigned char error, checksum, val = 1;
float dew_point = 0;
float last_temp = 0, last_humi = 0;
// Змінні для pH метра
int pHArray[ARRAY_LENGTH];
int pHArrayIndex = 0;
float pHValue = 0.0f;
// Змінні для кнопки та антибрязкіту
int buttonState;
int lastButtonState = LOW;
unsigned long lastDebounceTime = 0;
// Налаштування SD карти
const char fileName[] = "data.csv";

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  Serial.println(F("*** Soil Monitoring System Started ***"));
  pinMode(STORE_BUTTON_PIN, INPUT);
  pinMode(SD_CARD_LED, OUTPUT);
  lcd.begin(16, 2);
  showWelcomeScreen();
  // Ініціалізація SHT сенсора
  sht_init();
  s_connectionreset();
  s_write_statusreg(&val); // 12-біт темп, 8-біт вологість
  // Ініціалізація SD карти
  if (!SD.begin(SD_CS_PIN)) {
    Serial.println(F("SD Init Failed!"));
    lcd.clear();
    lcd.print(F("SD Init Error!"));
    while (1); // Зупинка, якщо SD карта не знайдена
  }
}

```

```

    Serial.println(F("SD Init Done.));
}

void loop() {
    // --- 1. Опитування SHT сенсора ---
    error = 0;
    error += s_measure((unsigned char*)&humi_val.i, &checksum, HUMI);
    error += s_measure((unsigned char*)&temp_val.i, &checksum, TEMP);
    if (error != 0) {
        s_connectionreset();
    } else {
        humi_val.f = (float)humi_val.i;
        temp_val.f = (float)temp_val.i;
        calc_sth11(&humi_val.f, &temp_val.f);
        dew_point = calc_dewpoint(humi_val.f, temp_val.f);
        // Оновлення дисплея (рядок 0)
        lcd.setCursor(0, 0);
        lcd.print(temp_val.f, 1);
        lcd.print((char)223); // Градус
        lcd.print("C ");
        lcd.print(humi_val.f, 1);
        lcd.print("%RH ");
        // Автоматичний запис при зміні показників
        if (abs(humi_val.f - last_humi) > 0.5 || abs(temp_val.f - last_temp) >
0.5) {
            saveDataToSD(temp_val.f, humi_val.f, pHValue);
            last_humi = humi_val.f;
            last_temp = temp_val.f;
        }
    }
    // --- 2. Робота з pH-метром ---
    static unsigned long samplingTime = millis();
    static unsigned long printTime = millis();
    if (millis() - samplingTime > SAMPLING_INTERVAL) {
        pHArray[pHArrayIndex++] = analogRead(PH_SENSOR_PIN);
        if (pHArrayIndex >= ARRAY_LENGTH) pHArrayIndex = 0;

        float pHVol = averageArray(pHArray, ARRAY_LENGTH) * 5.0 / 1024.0;
        pHValue = -5.70 * pHVol + 21.34;
        samplingTime = millis();
    }
    // Вивід pH кожні 800 мс
    if (millis() - printTime > PRINT_INTERVAL) {
        String status = getPHStatus(pHValue);
        lcd.setCursor(0, 1);
        lcd.print("pH:");
        lcd.print(pHValue, 1);
        lcd.print(" ");
        lcd.print(status);
        Serial.print(F("T:")); Serial.print(temp_val.f, 1);
        Serial.print(F(" H:")); Serial.print(humi_val.f, 1);
        Serial.print(F(" pH:")); Serial.print(pHValue, 2);
        Serial.print(F(" St:")); Serial.println(status);

        printTime = millis();
    }
    // --- 3. Обробка кнопки запису (Debounce) ---
    int reading = digitalRead(STORE_BUTTON_PIN);
    if (reading != lastButtonState) {
        lastDebounceTime = millis();
    }
    if ((millis() - lastDebounceTime) > DEBOUNCE_DELAY) {

```

```

        if (reading != buttonState) {
            buttonState = reading;
            if (buttonState == HIGH) {
                saveDataToSD(temp_val.f, humi_val.f, pHValue);
            }
        }
    }
    lastButtonState = reading;
}
// Функція збереження на SD
void saveDataToSD(float t, float h, float ph) {
    digitalWrite(SD_CARD_LED, HIGH);
    File dataFile = SD.open(fileName, FILE_WRITE);
    if (dataFile) {
        dataFile.print(t, 1); dataFile.print(";");
        dataFile.print(h, 1); dataFile.print(";");
        dataFile.println(ph, 2);
        dataFile.close();
        Serial.println(F("Data saved to SD."));
    } else {
        Serial.println(F("Error opening data.csv"));
    }
    digitalWrite(SD_CARD_LED, LOW);
}
// Визначення кислотності
String getPHStatus(float ph) {
    if (ph < 6.5) return "Acid ";
    if (ph > 7.5) return "Alkal ";
    return "Neutr ";
}
// Функція привітання
void showWelcomeScreen() {
    lcd.clear();
    lcd.print(F(" Soil Monitoring"));
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print(F(" System v1.0"));
    delay(1500);
    lcd.clear();
    lcd.print(F(" Developed by"));
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print(F(" Roman Karpa"));
    delay(1500);
    lcd.clear();
}

// Обчислення середнього значення масиву
double averageArray(int* arr, int number) {
    if (number <= 0) return 0;
    long amount = 0;
    for (int i = 0; i < number; i++) amount += arr[i];
    return (double)amount / number;
}

```