

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»  
ФАКУЛЬТЕТ КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЙ,  
МЕХАТРОНІКИ І РОБОТОТЕХНІКИ

Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій

## Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи бакалавра  
на тему:

### Комп'ютеризована система вимірювання та контролю вологості ґрунту у теплиці

Виконав: студентки 4 курсу, групи МТ-5  
напряму Метрологія та інформаційно-  
вимірювальна техніка

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Коваль Антон Анатолійович

(прізвище та ініціали)

Керівник д.е.н., професор, ІВТ

Єфіменко Надія Анатоліївна

(прізвище та ініціали)

Рецензент \_\_\_\_\_

(прізвище та ініціали)

Житомир 2026

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»**  
**Факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій, мехатроніки і**  
**робототехніки**  
**Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій**  
**Спеціальність 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»**

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри метрології та  
інформаційно-вимірювальної техніки  
д.т.н., професор Подчашинський Ю.О.

---

«\_22\_» \_квітня\_ 2026 р.

**ЗАВДАННЯ**

на кваліфікаційну роботу бакалавра

студента Коваля Антона Анатолійовича

1. Тема роботи: Комп'ютеризована система вимірювання та контролю вологості ґрунту у теплиці

Затверджена Наказом по університету від «22» \_квітня\_ 2026 р. № 175/с

2. Термін здачі закінченої роботи на кафедру «19» \_червня\_ 2026 р.

3. Вихідні дані до роботи: вивід значень вологості ґрунту, похибка вимірювання 1,2%.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які підлягають розробці):  
аналіз сучасних систем вимірювання вимірювання вологості ґрунту, розробка структурної схеми, розробка принципової схеми, розробка блок-схеми алгоритму та програми, розрахунок надійності та точності

5. Перелік графічного матеріалу (з точним визначенням обов'язкових креслень): структурна схема, принципова схема, друкована плата, блок-схема алгоритму

6. Консультанти з кваліфікаційної роботи бакалавра із зазначенням розділів роботи, що їх стосуються

| Розділ | Консультант   | Підпис, дата   |                  |
|--------|---------------|----------------|------------------|
|        |               | Завдання видав | Завдання прийняв |
| 1-7    | Єфіменко Н.А. |                |                  |
|        |               |                |                  |
|        |               |                |                  |

7. Дата видачі завдання 22 квітня 2026 року

### Календарний план

| № з/п | Назва етапів кваліфікаційної роботи                    | Термін виконання етапів роботи | Примітка |
|-------|--------------------------------------------------------|--------------------------------|----------|
| 1     | Аналіз існуючих систем аналізу вологості ґрунту        | 22.04.2026 – 26.04.2026        |          |
| 2     | Побудова структурної схеми системи                     | 27.04.2026 – 31.05.2026        |          |
| 4     | Побудова принципової схеми системи та друкованої плати | 01.06.2026 – 05.06.2026        |          |
| 5     | Складання алгоритму та програми                        | 06.06.2026 – 10.06.2026        |          |
| 6     | Розрахунок надійності та точності системи              | 11.06.2026 – 12.06.2026        |          |
| 7     | Охорона праці                                          | 14.06.2026 – 16.06.2026        |          |
| 8     | Оформлення пояснювальної записки та презентації        | 17.06.2026 – 19.06.2026        |          |

Студент

\_\_\_\_\_

(підпис)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_

(підпис)

Коваль А.А.

(прізвище та ініціали)

Єфіменко Н.А.

(прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

Дипломна робота бакалавра на тему «Комп'ютеризована система вимірювання та контролю вологості ґрунту у теплиці» містить 71 сторінка, 19 рисунків, 7 таблиць, 14 формул, 17 джерел.

У роботі на основі аналізу існуючих систем обґрунтовано актуальність створення комп'ютеризованої системи вимірювання та контролю вологості ґрунту у теплиці. Розроблено структурну та принципову електричну схеми системи, а також спроектовано відповідну друковану плату.. Складено блок-схему алгоритму роботи системи та реалізовано програмне забезпечення. Виконано розрахунки точності вологості та надійності розробленої системи. Окрему увагу приділено питанням охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях під час експлуатації системи.

**Ключові слова:** датчик вологості ґрунту UL-69, Arduino Uno, електромагнітний клапан, дисплей.

## ANNOTATION

Bachelor's thesis on the topic "Computerized System for Soil Moisture Measurement and Control in a Greenhouse" contains 71 pages, 19 figures, 7 tables, 14 formulas, 17 references.

Based on the analysis of existing systems, the thesis substantiates the relevance of creating a computerized system for soil moisture measurement and control in a greenhouse. The block and schematic circuit diagrams of the system have been developed, and the corresponding printed circuit board has been designed. A flowchart of the system's operation algorithm has been compiled, and the device software has been implemented. Accuracy calculations for moisture measurement and reliability assessments of the developed system have been performed. Special attention is paid to occupational health and safety in emergencies during the operation of the system.

**Keywords:** soil moisture sensor UL-69, Arduino Uno, solenoid valve, display.

## ЗМІСТ

|                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------|----|
| ВСТУП.....                                                         | 6  |
| 1. ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ.....                                          | 8  |
| 1.1. Призначення та область застосування.....                      | 8  |
| 1.2. Умови експлуатації .....                                      | 8  |
| 1.3. Технічні параметри системи.....                               | 9  |
| 1.4. Вимоги до конструктивного оформлення.....                     | 10 |
| 2. ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ.....                        | 12 |
| 2.1. Огляд та аналіз існуючих контролерів поливу.....              | 12 |
| 2.2. Порівняльний аналіз контролерів поливу.....                   | 17 |
| 3. РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ.....                                 | 20 |
| 3.1. Опис структурної схеми.....                                   | 20 |
| 3.2. Обґрунтування мікроконтролера.....                            | 21 |
| 3.3. Обґрунтування датчика вологості ґрунту.....                   | 22 |
| 3.4. Обґрунтування реле та виконавчого механізму.....              | 24 |
| 3.5. Обґрунтування дисплея.....                                    | 26 |
| 3.6. Обґрунтування кнопки.....                                     | 29 |
| 3.7. Обґрунтування блока живлення.....                             | 30 |
| 3.8. Побудова структурної схеми.....                               | 32 |
| 4. РОЗРОБКА ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ.....                                 | 34 |
| 4.1. Вибір мікроконтролера .....                                   | 34 |
| 4.2. Вибір датчика вологості ґрунту .....                          | 36 |
| 4.3. Вибір реле та електромагнітного клапана.....                  | 38 |
| 4.4. Вибір дисплея.....                                            | 40 |
| 4.5. Вибір кнопки.....                                             | 42 |
| 4.6. Вибір блока живлення.....                                     | 43 |
| 4.6. Принципова схема.....                                         | 44 |
| 5. РОЗРОБКА ПРОГРАМИ ТА АЛГОРИТМУ.....                             | 46 |
| 5.1. Розробка алгоритму .....                                      | 46 |
| 5.2. Розробка програми.....                                        | 48 |
| 6. КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА.....                                    | 52 |
| 6.1. Розробка друкованої плати.....                                | 52 |
| 6.2. Розрахунок похибки вимірювання вологості.....                 | 55 |
| 6.3. Розрахунок надійності.....                                    | 57 |
| 7. ОХОРОНА ПРАЦІ.....                                              | 61 |
| 7.1. Охорона праці.....                                            | 61 |
| 7.2. Законодавчі акти з охорони праці.....                         | 62 |
| 7.3. Безпека життєдіяльності на підприємстві.....                  | 63 |
| 7.4. Навчання, інструктаж працівників з питань охорони праці ..... | 65 |
| ВИСНОВКИ.....                                                      | 68 |
| ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....                                   | 70 |
| ДОДАТКИ.....                                                       | 72 |

|           |               |          |        |     |                                                                             |  |  |  |                                   |  |      |        |   |    |
|-----------|---------------|----------|--------|-----|-----------------------------------------------------------------------------|--|--|--|-----------------------------------|--|------|--------|---|----|
|           |               |          |        |     | МММТ 480.010.010 - ПЗ                                                       |  |  |  |                                   |  |      |        |   |    |
|           |               |          |        |     |                                                                             |  |  |  |                                   |  |      |        |   |    |
| Зм.       | Арк.          | № докум. | Підпис | Дат | Комп'ютеризована система вимірювання та контролю вологості ґрунту у теплиці |  |  |  | Літ.                              |  | Арк. | Аркшів |   |    |
| Розробив  | Коваль А.А.   |          |        |     |                                                                             |  |  |  |                                   |  |      |        | 5 | 71 |
|           | Єфіменко Н.А. |          |        |     |                                                                             |  |  |  |                                   |  |      |        |   |    |
| Рецензен  |               |          |        |     |                                                                             |  |  |  |                                   |  |      |        |   |    |
| Н. контр. |               |          |        |     | Пояснювальна записка                                                        |  |  |  | ДУ «Житомирська політехніка» МТ-5 |  |      |        |   |    |
| Затверд.  | Подчашинськи  |          |        |     |                                                                             |  |  |  |                                   |  |      |        |   |    |

## ВСТУП

Сучасні технології, що дозволяють вимірювати та контролювати вологість ґрунту, є надзвичайно важливими в аграрній сфері та тепличному господарстві, коли своєчасне та точне визначення зволоження ґрунту може врятувати врожай та оптимізувати витрати ресурсів. В умовах стрімкого розвитку автоматизованих систем керування мікрокліматом, системи моніторингу вологості ґрунту відіграють ключову роль у забезпеченні ефективного й оперативного догляду за рослинами.

На сьогоднішній день комп'ютеризовані системи вимірювання та контролю вологості ґрунту широко використовуються в промислових тепличних комплексах, а також у невеликих приватних господарствах для експрес-діагностики стану ґрунту та постійного автоматичного керування поливом різних сільськогосподарських культур. У перспективі ці пристрої стануть ще більш необхідними у зв'язку зі зростаючою потребою в ресурсозберігаючих технологіях, мобільних засобах контролю та дистанційного моніторингу параметрів навколишнього середовища.

Ця розробка має важливе значення як для автоматизованих тепличних комплексів, що прагнуть підвищити врожайність та якість продукції, так і для індивідуальних користувачів для автоматизації рутинних процесів поливу.

На ринку вже існує кілька виробів-аналогів, таких як автономні контролери поливу або побутові таймери, які використовуються для зволоження ґрунту. Проте більшість з них має ряд недоліків, серед яких – швидка корозія вимірювальних зондів, відсутність можливості гнучкого налаштування порогів спрацьовування під конкретний тип рослин, відсутність інформативного дисплея для відображення поточних параметрів або обмежена завадостійкість. Ці недоліки вказують на необхідність розробки нових, більш досконалих та оптимізованих систем.

Метою кваліфікаційної роботи бакалавра є розробка комп'ютеризованої системи вимірювання та контролю вологості ґрунту у теплиці з високими показниками точності та надійності.

|     |      |          |        |     |                       |      |
|-----|------|----------|--------|-----|-----------------------|------|
|     |      |          |        |     | МММТ 480.010.010 - ПЗ | Адк. |
|     |      |          |        |     |                       | 6    |
| Зм. | Адк. | № докум. | Підпис | Дат |                       |      |

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

1. Сформулювати технічне завдання;
2. Провести аналіз існуючих систем вимірювання та контролю ґрунту;
3. Розробити структурну схему системи вимірювання та контролю ґрунту;
4. Розробити принципову електричну схему системи та спроектувати друковану плату;
5. Розробити блок-схему алгоритму роботи та відповідну програму для мікроконтролера;
6. Виконати розрахунок надійності та точності вимірювальної системи вологості ґрунту;
7. Провести огляд питань з охорони праці та безпеки під час експлуатації системи в умовах теплиці.

|     |      |          |        |     |                       |      |
|-----|------|----------|--------|-----|-----------------------|------|
|     |      |          |        |     | МММТ 480.010.010 - ПЗ | Адк. |
|     |      |          |        |     |                       | 7    |
| Зм. | Адк. | № докум. | Підпис | Дат |                       |      |

## 1. ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

### 1.1. Призначення та область застосування

Комп'ютеризована система вимірювання та контролю вологості ґрунту призначена для автоматизації процесів моніторингу гідрологічного стану коренезавмисного шару ґрунту та оперативного керування виконавчими механізмами поливу без безпосередньої участі людини.

Основними сферами застосування розробленої комп'ютеризованої системи є:

1. Промислове та приватне тепличне господарство: вирощування овочевих, ягідних, зеленних та декоративних культур у закритому ґрунті, де штучний мікроклімат вимагає жорсткого контролю водно-повітряного балансу.

2. Агропонічні та гідропонічні комплекси: моніторинг стану вологості специфічних субстратів (кокосовий койр, мінеральна вата, торфосуміші).

3. Ботанічні сади, оранжереї та розсадники: забезпечення індивідуальних режимів поливу для рідкісних, екзотичних або вибагливих видів рослин.

4. Лабораторні та дослідницькі агроекологічні стенди: проведення наукових експериментів із вивчення динаміки водоспоживання рослин та оптимізації норм зрошення.

### 1.2. Умови експлуатації

Для забезпечення стабільного функціонування, збереження технічних характеристик та надійності комп'ютеризованої системи вимірювання та контролю вологості ґрунту у теплиці, необхідно дотримуватися таких умов експлуатації:

- Температура повітря: від +5°C до +40°C.
- Вологість повітря: до 85% при +25°C (без конденсату).
- Атмосферний тиск: 630–800 мм рт. ст.
- Хімічна агресивність середовища: відсутня (в межах норм для електроніки).
- Механічні впливи: відсутні (стаціонарний монтаж).

|     |      |          |        |     |                       |      |
|-----|------|----------|--------|-----|-----------------------|------|
|     |      |          |        |     | МММТ 480.010.010 - ПЗ | Док. |
|     |      |          |        |     |                       | 8    |
| Зм. | Док. | № докum. | Підпис | Дат |                       |      |

- Режим роботи: автоматичний, циклічно-перервний.
- Електроживлення: 12 В постійного струму (стабілізоване).
- Розміщення: у тепличній зоні, обов'язково всередині герметичного захисного боксу (класу IP65).

### 1.3. Технічні параметри системи

Комп'ютеризована система вимірювання та контролю вологості ґрунту у теплиці має чітко визначену структуру вхідних і вихідних інформаційних та живильних потоків.

Вхідна інформація та сигнали системи:

1. Керуючий вхід: використовується для прийому дискретного сигналу від тактової кнопки/перемикача керування, призначеної для ручного вмикання або вимкнення системи поливу, ініціалізації примусового зрошення або скидання поточних метрологічних показників на екрані.

2. Основне джерело вхідної інформації: аналогово-цифровий датчик вологості ґрунту UL-69. Первинна інформація про діелектричну проникність або опір ґрунтового субстрату надходить до мікроконтролера у вигляді аналогового сигналу на вхід аналого-цифрового перетворювача (АЦП) для подальшого математичного оброблення.

3. Вхід електроживлення: постійна напруга 12 В від стабілізованого блока живлення (з робочим струмом 2-3 А). Через понижуючий перетворювач напруги (LM2596 або аналог) стабільна напруга 5 В подається на мікроконтролер Arduino Uno, модулі реле та вимірювальні датчики.

Вихідна інформація та сигнали системи:

- Основний вихід даних: цифрові значення обчислених параметрів вологості ґрунту у відсотках (%), час останнього циклу поливу та сервісні повідомлення (помилки датчиків), які виводяться на інформаційний рідкокристалічний або OLED-дисплей у режимі реального часу.

- Керуючий вихід (виконавчий сигнал): дискретний сигнал з цифрового

|     |      |          |        |     |                       |      |
|-----|------|----------|--------|-----|-----------------------|------|
|     |      |          |        |     | МММТ 480.010.010 - ПЗ | Док. |
|     |      |          |        |     |                       | 9    |
| Зм. | Док. | № докум. | Підпис | Дат |                       |      |

порту мікроконтролера, що подається на модуль реле для замикання/розмикання кола живлення електромагнітного клапана (12 В), який безпосередньо здійснює або припиняє подачу води в зону поливу.

Центральною керуючою ланкою системи є мікроконтролер Arduino Uno. Він функціонує за чітким алгоритмом: здійснює періодичне опитування датчика вологості UL-69, реалізує алгоритми цифрової фільтрації й усереднення отриманих значень (для відсікання випадкових завад та шумів АЦП), порівнює поточну вологість із заданими агротехнічними порогами, формує команди керування для реле електромагнітного клапана та виводить поточну інформацію на дисплей.

Технічні характеристики системи та її складових частин:

- Точність вимірювання: абсолютна похибка визначення рівня вологості ґрунту у робочому діапазоні не повинно перевищувати  $\pm 2.0\%$ ;
- Діапазон вимірювання вологості ґрунту: від 0% (абсолютно сухий субстрат) до 100% (повне насичення водою);
- Робоча напруга виконавчих механізмів: 12 В постійного струму;
- Напрацювання на безвідмовну роботу: становить не менше 14 000 годин.

Вимірювальний елемент: вологозахисний датчик вологості ґрунту UL-69, що має підвищену стійкість до корозії та забезпечує стабільну передачу вимірювального сигналу в умовах тривалого перебування в агресивному вологому середовищі теплиці.

#### **1.4.Вимоги до конструктивного оформлення**

Корпус системи виготовлений з міцного, УФ-стійкого ABS-пластику або полікарбонату, що захищає електроніку від пошкоджень, пилу та бризок. Конструкція орієнтована на настінний монтаж або кріплення до опор теплиці, а її габарити не перевищують 120x80x55мм.

Завдяки гумовим ущільнювачам корпус відповідає класу захисту не нижче IP65. Усі внутрішні елементи (мікроконтролер Arduino Uno, перетворювач напруги та реле) надійно зафіксовані на гвинтових стійках і в пазах, що

|     |      |          |        |     |                       |      |
|-----|------|----------|--------|-----|-----------------------|------|
|     |      |          |        |     | МММТ 480.010.010 - ПЗ | Док. |
|     |      |          |        |     |                       | 10   |
| Зм. | Док. | № докum. | Підпис | Дат |                       |      |

виключає їхнє зміщення чи поломку від вібрацій та випадкових ударів під час обслуговування теплиці.

Для забезпечення функціональності та підключення периферії на корпусі передбачено герметичні кабельні вводи у нижній панелі для захищеного виведення дротів живлення, датчика вологості та клапана, прозоре захисне вікно на лицьовій панелі для зчитування показників з дисплея, а також вологозахищену кнопку для безпечного ручного керування системою.

|     |      |          |        |     |                       |      |
|-----|------|----------|--------|-----|-----------------------|------|
|     |      |          |        |     | МММТ 480.010.010 - ПЗ | Адк. |
|     |      |          |        |     |                       | 11   |
| Зм. | Адк. | № докум. | Підпис | Дат |                       |      |

## 2.ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

### 2.1.Огляд та аналіз існуючих контролерів поливу

Компанія Hunter Industries належить до лідерів світового ринку у сфері виробництва автоматизованих комплексів зрошення, розробляючи рішення для приватного, комерційного та муніципального секторів. Продукція цього бренду, зокрема керуючі контролери, роторні зрошувачі, електромагнітні клапани та датчики, характеризується високим рівнем надійності та функціональності. Як приклад промислового аналога для детального аналізу розглянемо одну з поширених моделей – контролер керування поливом Hunter XC-401i-E. (рис.2.1).



Рис.2.1. Контролер поливу Hunter XC-401i-E

Контролер Hunter XC-401i-E призначений для внутрішньої установки (всередині приміщень) і забезпечує керування фіксованою кількістю зон поливу, яка становить 4 одиниці. Пристрій підтримує 3 незалежні програми автоматичного зрошення з можливістю програмування до 4 запусків на день для кожної з них (сумарно до 12 запусків на добу). Час функціонування однієї зони гнучко налаштовується в діапазоні від 0 до 4 годин із кроком в 1 хвилину.

|     |      |          |        |     |                       |      |
|-----|------|----------|--------|-----|-----------------------|------|
|     |      |          |        |     | МММТ 480.010.010 - ПЗ | Адк. |
|     |      |          |        |     |                       | 12   |
| Зм. | Адк. | № докum. | Підпис | Дат |                       |      |

Формування графіка поливу здійснюється на основі 365-денного календаря за допомогою вибору інтервалів або призначення парних чи непарних днів, при цьому користувачу доступне відображення часу у 24-годинному форматі або системі AM/PM.

Для адаптації роботи системи передбачено функцію ручного керування, можливість індивідуального скасування сигналів датчиків для окремих зон, програмовану затримку початку зрошення (від 1 до 7 діб), а також механізм сезонної поправки. Корекція сезонного коефіцієнта може виконуватися вручну в межах від 10% до 150% або автоматично за умови підключення зовнішнього датчика Solar Sync. Апаратна частина контролера має обхідний перемикач датчика, демонструє повну сумісність із фірмовими клапанами Hunter та широким спектром сенсорів, серед яких: RAIN-CLIK, MINI-CLIK, WIND-CLICK, SOIL-CLICK, WSS-SEN, WR-CLIK, FREEZE-CLIK, FLOW-CLIK та SOLAR-SYNC.

Експлуатаційні параметри пристрою дозволяють здійснювати стабільну роботу на висоті до 2000 метрів над рівнем моря в температурному діапазоні від -25°C до 60°C. Орієнтовна ринкова вартість обладнання становить 4 500 грн, а офіційний гарантійний період від виробника – 2 роки.

У вітчизняній практиці проектування систем автоматичного зрошення контролер Hunter X-Core-401i-E є одним із найбільш затребуваних технічних рішень для керування об'єктами малої та середньої масштабованості. Даний пульт керування має універсальне призначення, завдяки чому застосовується як у приватному секторі, так і в промислових інженерних мережах. Функціональні можливості пристрою дозволяють реалізувати алгоритми контролю для різноманітних контурів: систем дощування газонів із висувними спринклерами, локального крапельного поливу відкритих ділянок, а також напірних ліній крапельного зрошення в умовах закритого ґрунту (теплиць).

Контролер X-Core-401i-E забезпечує незалежне керування 4-ма технологічними зонами. Програмне забезпечення пульта дозволяє задавати до 3-х автономних робочих програм із можливістю призначення до 4-х циклів запуску для кожної зони протягом доби.

|     |      |          |        |     |                       |      |
|-----|------|----------|--------|-----|-----------------------|------|
|     |      |          |        |     | МММТ 480.010.010 - ПЗ | Док. |
|     |      |          |        |     |                       | 13   |
| Зм. | Док. | № докум. | Підпис | Дат |                       |      |

Серія обладнання X-Core характеризується гнучкістю інтеграції із зовнішніми сенсорами. Окрім стандартних дискретних датчиків дощу та вологості ґрунту, до апаратної частини контролера передбачено підключення інтелектуального модуля сонячної синхронізації Solar Sync. Інтеграція цього датчика трансформує базову систему в адаптивний комплекс автоматичного керування, що здатний щоденно корегувати тривалість поливу в усіх зонах на основі вимірних показників сонячної радіації та поточної інтенсивності випаровування.

Додатковою перевагою архітектури X-Core є підтримка інтерфейсів дистанційного радіокерування ROAM KIT та ROAM XL. Це забезпечує можливість бездротового безпосереднього ввімкнення окремих зон поливу на відстані, що суттєво спрощує процеси налагодження, діагностики та сервісного обслуговування системи [1].

Корпорація Rain Bird (США) є одним із найстаріших світових розробників та виробників обладнання для автоматизованого зрошення, розпочавши свою діяльність у 1933 році. На сьогоднішній день асортимент продукції компанії налічує понад 4 000 найменувань, які успішно експлуатуються у більш ніж 130 країнах світу. Апаратні рішення цього бренду характеризуються високою надійністю, розширеним функціоналом та орієнтованістю на технології раціонального збереження водних ресурсів. Як ще один поширений промисловий аналог для дослідження у роботі розглянуто мікропроцесорний контролер керування поливом Rain Bird ESP-TM2 (рис. 2.2).

Контролер керування поливом Rain Bird ESP-TM2-4 розроблений для автоматизації зрошувальних систем на об'єктах приватного та присадибного господарства. Архітектура пристрою базується на концепції раціонального та ощадливого використання водних ресурсів, що реалізується через інтегровані програмні алгоритми оптимізації витрати води.

Гнучкість налаштування технологічного процесу забезпечується підтримкою 3-х незалежних робочих програм із можливістю встановлення до 4-х індивідуальних моментів часу запуску для кожної з них.

|     |      |          |        |     |                       |      |
|-----|------|----------|--------|-----|-----------------------|------|
|     |      |          |        |     | МММТ 480.010.010 - ПЗ | Док. |
|     |      |          |        |     |                       | 14   |
| Зм. | Док. | № докум. | Підпис | Дат |                       |      |



Рис.2.2. Контроллер Rain Bird ESP TM2

Така функціональність дозволяє адаптувати часові графіки та режими подачі вологи відповідно до специфічних агротехнічних вимог конкретних видів насаджень і ландшафтних особливостей ділянки.

Експлуатаційні параметри пристрою дозволяють йому стабільно функціонувати при робочій температурі навколишнього середовища до 65°C, тоді як температурний діапазон зберігання обладнання становить від -40°C до 66°C. Максимально допустима робоча вологість повітря складає 95% у температурному проміжку від 10°C до 49°C за умови відсутності конденсації. Електроживлення контролера здійснюється від мережі змінного струму з номінальною напругою 230/240 В  $\pm 10\%$ ) та частотою 50/60 Гц. На виході джерела живлення формується змінна напруга 25,5 В при максимальному струмі навантаження 1 А. Внутрішні виконавчі ланки та робочі вузли розраховані на напругу 24 В змінного струму (50/60 Гц); також в архітектурі пристрою передбачено виділене реле для керування головним клапаном або пуском насосної станції.

Апаратна частина контролера оснащена енергонезалежною вбудованою пам'яттю, яка автоматично зберігає поточні налаштування та параметри конфігурації, завдяки чому пристрій не потребує резервного копіювання у разі повного вимкнення електромережі. Водночас для збереження поточного часу та актуальної дати під час перебоїв у подачі живлення інтегровано літієвий елемент

|     |      |          |        |     |                       |      |
|-----|------|----------|--------|-----|-----------------------|------|
|     |      |          |        |     | МММТ 480.010.010 - ПЗ | Адк. |
|     |      |          |        |     |                       |      |
| Зм. | Адк. | № докум. | Підпис | Дат |                       | 15   |

живлення із терміном служби до 10 років. Орієнтовна ринкова вартість даного обладнання становить 11 583 грн.[2]

Автоматичний таймер поливу НСТ-322 зображено на рис.2.3.



Рис.2.3. Автоматичний таймер поливу НСТ-322

Автоматичний таймер подачі води моделі НСТ-322 призначений для автоматизації процесів зрошення на локальних ділянках, забезпечуючи підтримку заданого гідрологічного режиму ґрунту без безпосередньої участі оператора. Пристрій реалізує функцію циклічного керування подачею води за заздалегідь визначеними часовими інтервалами, що дозволяє оптимізувати норми водоспоживання та виключити людський фактор із процесу догляду за насадженнями.

Конструктивно апарат обладнаний рідкокристалічним (LCD) дисплеєм, який слугує для візуалізації поточного стану та налаштування параметрів часових інтервалів. Програмне забезпечення таймера дозволяє конфігурувати частоту та тривалість сеансів поливу, а також обирати режими роботи відповідно до агротехнічних вимог конкретних рослин і поточних метеорологічних умов. Ергономічний корпус пристрою захищає внутрішні вузли від впливу зовнішнього середовища, а спрощений інтерфейс користувача забезпечує швидке налаштування часових контурів керування.

Автоматичний таймер моделі НСТ-322 належить до класу спеціалізованих мікропроцесорних пристроїв для керування зрошенням. Його корпус виконаний

|     |      |          |        |     |                       |      |
|-----|------|----------|--------|-----|-----------------------|------|
|     |      |          |        |     | МММТ 480.010.010 - ПЗ | Адк. |
| Зм. | Адк. | № докум. | Підпис | Дат |                       | 16   |

у захисному оливковому кольорі зі щільного та стійкого до механічних впливів ABS-пластику. Автономне електроживлення приладу здійснюється від двох гальванічних елементів типу АА (алкалінових батарейок). Конструктивне виконання корпусу відповідає класу захисту IPX5, що гарантує надійну роботу електронних компонентів при попаданні водяних бризок та струменів. Для інтеграції у гідравлічну мережу пристрій обладнаний вхідним та вихідним портами зі стандартним різьбовим з'єднанням розміром 3/4 дюйма. Габаритні розміри таймера становлять 126х98х48 мм.

Технологічні параметри пристрою дозволяють здійснювати комутацію потоку води в діапазоні робочого тиску від 0.05 до 0.8 МПа. Допустимі температурні межі експлуатації навколишнього середовища та робочої рідини становлять від 3°C до 45°C. Програмне забезпечення приладу, що взаємодіє з інтегрованим рідкокристалічним дисплеєм, забезпечує високу гнучкість налаштувань: тривалість одного циклу поливу регулюється в межах від 1 секунди до 299 хвилин, а періодичність автоматичного запуску системи може бути задана в інтервалі від 1 години до 15 діб. Орієнтовна ринкова вартість цього виробу на ринку складає 1000 грн [3].

Завдяки поєднанню базової функціональності та низької вартості, цей пристрій є класичним прикладом локального бюджетного автоматизатора для однозонних систем зрошення малої потужності.

Враховуючи конструктивні особливості та характеристики приладу, його доцільно застосовувати в якості мобільного або тимчасового елемента керування на ділянках, де відсутній доступ до стаціонарної електромережі.

## 2.2. Порівняння контролерів поливу

Зведемо основні характеристики в порівняльну таблицю контролерів поливу табл.2.1.

Проведений порівняльний аналіз промислових зразків дозволяє зробити такі висновки щодо їхньої функціональної та економічної доцільності:

|     |      |          |        |     |                       |      |
|-----|------|----------|--------|-----|-----------------------|------|
|     |      |          |        |     | МММТ 480.010.010 - ПЗ | Адк. |
|     |      |          |        |     |                       | 17   |
| Зм. | Адк. | № докum. | Підпис | Дат |                       |      |

Таблиця 2.1. Порівняльна таблиця контролеру поливу

| Параметр порівняння           | Hunter XC-401i-E                            | Rain Bird ESP-TM2-4                           | НСТ-322                 |
|-------------------------------|---------------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------|
| Призначення / Тип             | Професійний контролер                       | Професійний контролер                         | Локальний таймер        |
| Кількість зон керування       | 4 (фіксована)                               | 4 (фіксована)                                 | 1 (однотимпний)         |
| Монтаж (установка)            | У приміщенні                                | У приміщенні                                  | На крані / магістралі   |
| Джерело живлення              | Мережа 230 В змінного струму                | Мережа 230 В змінного струму                  | 2 батарейки типу АА     |
| Клас захисту корпусу          | IP20 (внутрішній)                           | IPX5 / IP24                                   | IPX5 (вологозахисний)   |
| Діапазон робочих температур   | від -25°C до +60°C                          | до +65°C                                      | від +3°C до +45°C       |
| Робочий тиск у системі        | Визначається клапанами                      | Визначається клапанами                        | 0.05 – 0.8 МПа          |
| Кількість програм / Циклів    | 3 програми / 4 запуски                      | 3 програми / 4 запуски                        | 1 налаштовуваний цикл   |
| Тривалість одного поливу      | 0 – 4 год (крок 1 хв)                       | 0 – 6 год (крок 1 хв)                         | 1 сек – 299 хв          |
| Інтервал повторення (частота) | 365-денний календар, парні/непарні дні      | 365-денний календар, парні/непарні, інтервали | від 1 години до 15 днів |
| Сумісність із датчиками       | Широкий спектр (Solar Sync, Rain-Clik тощо) | Датчики дощу/заморозків, модуль LNK WiFi      | Обхід датчика відсутній |
| Енергонезалежна пам'ять       | Є                                           | Є                                             | Є                       |
| Орієнтовна ціна, грн          | 4 500                                       | 11 583                                        | 1 000                   |

– Hunter XC-401i-E є базовим рішенням для автоматизації локальних об'єктів на 4 технологічні зони, яке забезпечує мінімально необхідний набір налаштувань та підтримку стандартних дискретних сенсорів;

– Rain Bird ESP-TM2 характеризується підвищеною гнучкістю конфігурування та розширеною потужністю мікропроцесорного керування, що робить його придатним для розгалужених систем середнього масштабу, зокрема завдяки підтримці бездротових інтерфейсів Wi-Fi;

– НСТ-322 представляє клас автономних одноканальних таймерів, орієнтованих на підключення до поодиноких водорозбірних вузлів, проте його застосування обмежене жорстким функціоналом та відсутністю інтерфейсів для інтеграції датчиків зволоження чи метеорологічних умов.

Спільними недоліками комерційних систем є їхня висока ринкова вартість, закрита архітектура, що обмежує модернізацію, або недостатня гнучкість алгоритмів керування в рамках бюджетних моделей.

На противагу розглянутим аналогам, проектована комп'ютеризована система на базі мікроконтролера Arduino має низку суттєвих переваг:

1. Економічна ефективність: значне зниження собівартості апаратної частини порівняно з промисловими контролерами;

2. Високий ступінь адаптивності: можливість масштабування кількості зон вимірювання та регулювання, інтеграція широкого спектра аналогових і цифрових датчиків, а також реалізація складних предиктивних алгоритмів поливу (наприклад, із врахуванням прогнозу погоди);

3. Комунікаційна гнучкість: розширення каналів зв'язку шляхом інтеграції модулів Wi-Fi або Bluetooth для дистанційного моніторингу та керування;

4. Науково-практична цінність: можливість дослідження сучасних концепцій та технологій Інтернету речей (IoT), мікроконтролерної схемотехніки та розробки прикладного програмного забезпечення.

Таким чином, розробка власної комп'ютеризованої системи вимірювання та контролю вологості ґрунту у теплиці є актуальним, економічно обґрунтованим та інноваційним інженерним рішенням, яке забезпечує високу точність регулювання, раціональне використання водних ресурсів та повну адаптацію під специфічні умови експлуатації об'єкта автоматизації.

|     |      |          |        |     |                       |      |
|-----|------|----------|--------|-----|-----------------------|------|
|     |      |          |        |     | МММТ 480.010.010 - ПЗ | Адк. |
|     |      |          |        |     |                       | 19   |
| Зм. | Адк. | № докум. | Підпис | Дат |                       |      |

### 3. РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ

#### 3.1. Опис структурної схеми

Комп'ютеризована система вимірювання та контролю вологості ґрунту у теплиці повинна забезпечити рішення наступних завдань:

- Вимірювання рівня вологості ґрунту;
- Вимірювання температури на поверхні та в прикореневій зоні ґрунту;
- Прийняття рішення про включення/вимкнення поливу за часом або показниками датчиків;
- Керування електромагнітним клапаном через модуль реле;
- Обробку даних з датчиків мікроконтролером Arduino Uno та керування вихідними сигналами;
- Виведення поточної інформації на рідкокристалічний дисплей;
- Автоматичне вимкнення системи або захист при перевантаженні;
- Живлення пристрою від мережі 220 В через перетворювач напруги;
- Вмикання/вимикання пристрою за допомогою механічного перемикача.

Для реалізації заданого функціоналу комп'ютеризованої системи керування поливом обґрунтовано вибір таких схемотехнічних компонентів:

1. Мікроконтролер – центральний обчислювальний блок для збору й обробки даних із датчиків, реалізації керуючого алгоритму та формування команд для виконавчих пристроїв.

2. Три електромагнітних клапана (12 В) – виконавчий механізм для дискретного керування подачею води в контур зрошення теплиці.

3. Три модуля реле — комутаційний елемент, що забезпечує гальванічну розв'язку та замикання силового ланцюга живлення клапана за сигналом від мікроконтролера.

4. Три датчика вологості ґрунту – первинний вимірювальний перетворювач для точного визначення поточного рівня гідрофіфікації субстрату.

5. Блок живлення (12 В, 2–3 А) – загальне джерело електроживлення для забезпечення працездатності виконавчих вузлів (клапана) та електронних плат.

|     |      |          |        |     |                       |      |
|-----|------|----------|--------|-----|-----------------------|------|
|     |      |          |        |     | МММТ 480.010.010 - ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |     |                       | 20   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дат |                       |      |

6.Понижуючий перетворювач напруги – стабілізатор для формування напруги номіналом 5 В, необхідної для живлення логічних кіл Arduino, реле та датчиків.

7.Рідкокристалічний дисплей – пристрій індикації для візуалізації поточних показників вологості, стану системи та сервісних повідомлень.

8.Механічний перемикач/кнопка – елемент інтерфейсу для оперативного ручного ввімкнення, вимкнення або налаштування режимів роботи пристрою.

### 3.2. Обґрунтування мікроконтролера

Для забезпечення ефективного функціонування комп'ютеризованої системи керування поливом та контролю параметрів середовища теплиці до мікроконтролера висувається ряд технічних та експлуатаційних вимог:

- Достатня кількість периферійних інтерфейсів: наявність необхідної кількості цифрових та аналогових каналів введення-виведення для підключення трьох датчиків вологості ґрунту, температурного датчика, модуля реле, що керує електромагнітним клапаном, та рідкокристалічного дисплея;

- Надійність та завадостійкість: здатність стабільно функціонувати в умовах підвищеної вологості та температурних коливань, притаманних середовищу теплиці, а також стійкість до електричних завад під час комутації силового індуктивного навантаження (електромагнітного клапана);

- Енергоефективність та простота живлення: низьке власне енергоспоживання логічної частини системи та можливість зручного узгодження рівнів напруги (5 В) з більшістю периферійних датчиків і модулів реле;

- Економічна доцільність: мінімальна ринкова вартість за умови повної відповідності критеріям продуктивності, що дозволяє суттєво знизити собівартість кінцевого пристрою порівняно з промисловими аналогами.

У процесі проектування буловедено аналіз сучасного ринку мікроконтролерних платформ та розглянуто архітектури від провідних виробників, зокрема: AVR (Microchip/Atmel), ARM Cortex (STMicroelectronics)

|     |      |          |        |     |                       |      |
|-----|------|----------|--------|-----|-----------------------|------|
|     |      |          |        |     | МММТ 480.010.010 - ПЗ | Авк. |
|     |      |          |        |     |                       | 21   |
| Зм. | Авк. | № докum. | Підпис | Дат |                       |      |

та Tensilica Xtensa (Espressif Systems). Зведені дані порівняльного аналізу наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Порівняльна характеристика архітектур мікроконтролерів

| Архітектура / Платформа  | Переваги архітектури у межах проектованої системи                                                                                                      |
|--------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| AVR (Arduino)            | Висока завадостійкість (логіка 5 В), простота схемотехнічної обв'язки, низька вартість, доступність компонентів та велика кількість готових бібліотек. |
| ARM Cortex (STM32)       | Надлишкова обчислювальна потужність, складніша схемотехнічна архітектура та високий поріг програмування для локальних систем автоматизації.            |
| Tensilica Xtensa (ESP32) | Наявність інтегрованих бездротових модулів Wi-Fi/Bluetooth, які є надлишковими для базового провідного контуру керування однією зоною теплиці.         |

Попри високу продуктивність архітектур ARM та наявність бездротових інтерфейсів у чіпах Xtensa, як апаратну основу було обрано платформне рішення Arduino Uno на базі 8-бітного мікроконтролера ATmega328P (AVR)/

Дане рішення обґрунтоване тим, що Arduino Uno найкраще задовольняє комплекс поставлених завдань. Потужності процесора ATmega328P із тактовою частотою 16 МГц цілком достатньо для дискретного опитування трьох датчиків вологості ґрунту та формування чітких цифрових сигналів керування для реле. Наявність інтегрованого стабілізатора напруги, простота розробки в середовищі Arduino IDE, а також низька вартість платформи роблять її оптимальним вибором для створення надійної та бюджетної локальної системи вимірювання вологості ґрунту в теплиці [4].

### 3.3. Обґрунтування датчика вологості ґрунту

Для забезпечення точного та своєчасного автоматичного керування контуром поливу в теплиці першочерговим завданням є безперервний або дискретний моніторинг стану вологості ґрунту. Датчик вологості ґрунту в межах даної

системи виконує функцію первинного вимірювального перетворювача, який трансформує фізичний параметр (вміст вологи в об'ємі ґрунту) в електричний сигнал, придатний для реєстрації та обробки аналогово-цифровим перетворювачем (АЦП) мікроконтролера Arduino Uno.

При виборі датчика для експлуатації в умовах закритого ґрунту до приладу висуваються такі специфічні інженерні вимоги:

- Чутливість та лінійність: здатність чітко фіксувати зміни градієнта вологості у всьому діапазоні від абсолютно сухого субстрату до стану повного вологонасичення;
- Конструктивна простота та ергономічність: легкість монтажу безпосередньо у прикореневій зоні рослин без порушення структури кореневої системи;
- Електрична сумісність: робоча напруга живлення має становити 5 В для прямої інтеграції з шинами живлення та логічними рівнями плати Arduino Uno без застосування додаткових каскадів узгодження;
- Економічна доцільність: низька собівартість компонента, що є критично важливим для локальних бюджетних систем автоматизації та їхнього потенційного масштабування.

У сучасній інженерній практиці для вимірювання вологості ґрунту в аматорських та напівпромислових автоматизованих системах найчастіше використовуються два типи датчиків: ємнісні та резистивні (кондуктометричні).

Ємнісні датчики є стійкішими до корозії, оскільки їхні електроди ізольовані від прямого контакту із середовищем, проте вони мають вищу вартість і складніші в первинному калібруванні. Резистивні датчики працюють за принципом вимірювання електропровідності (опору) ґрунту між двома заглибленими електродами: чим вищий вміст води, тим менший опір і, відповідно, вищий рівень сигналу.

Враховуючи критерії «простота реалізації – надійність – мінімальна вартість», для проектованої комп'ютеризованої системи автоматизації було обрано резистивний датчик вологості ґрунту моделі YL-69 (у комплектації з модулем-компаратором LM393).

|     |      |          |        |     |                       |      |
|-----|------|----------|--------|-----|-----------------------|------|
|     |      |          |        |     | МММТ 480.010.010 - ПЗ | Док. |
|     |      |          |        |     |                       | 23   |
| Зм. | Док. | № докum. | Підпис | Дат |                       |      |

Даний вибір обґрунтований такими технічними перевагами моделі YL-69:

1.Подвійний інтерфейс виходу: плата драйвера (компаратора) має як аналоговий вихід (A0) для точного моніторингу динаміки зміни вологості через АЦП мікроконтролера, так і цифровий вихід (D0) для фіксації порогових значень («сухо/мокро»), що налаштовуються інтегрованим потенціометром.

2.Апаратна сумісність: датчик стабільно функціонує від напруги 3,3-5 В, повністю узгоджуючись із логікою Arduino Uno.

3.Оптимальні габарити: геометрія щупа дозволяє здійснювати локальний вимірювання безпосередньо у контрольних точках теплиці.

4.Мінімальна вартість: низька ринкова ціна робить YL-69 класичним та високоефективним рішенням для автоматизації однозонних систем зрошення малої потужності [4].

Таким чином, датчик YL-69 повністю задовольняє вимоги технічного завдання і є оптимальною вимірювальною точкою для реалізації алгоритму керування електромагнітним клапаном.

### 3.4. Обґрунтування реле та виконавчого механізму

Для безпосереднього керування подачею води в контур зрошення теплиці комп'ютеризована система повинна містити надійний виконавчий механізм та вузол узгодження, який дозволяє низьковольтній логіці мікроконтролера керувати силовими колами.

При виборі виконавчого механізму гідравлічної системи враховувалися такі вихідні вимоги:

- Тип керування: дискретний (бінарний) принцип роботи («відкрито/закрито»);
- Конструктивне виконання: сумісність із типовими гнучкими або жорсткими магістралями поливу, що використовуються в теплицях;
- Безпека: початковий стан вузла за умов відсутності живлення повинен виключати аварійне затоплення об'єкта автоматизації.

|     |      |          |        |     |                       |      |
|-----|------|----------|--------|-----|-----------------------|------|
|     |      |          |        |     | МММТ 480.010.010 - ПЗ | Дрк. |
|     |      |          |        |     |                       | 24   |
| Зм. | Дрк. | № докум. | Підпис | Дат |                       |      |

Оскільки система орієнтована на автоматичне перекриття або запуск потоку води за командами від Arduino Uno, як виконавчий механізм обґрунтовано обрано електромагнітний (соленоїдний) клапан. На відміну від кульових кранів з електроприводом, соленоїдний клапан має значно вищу швидкодію та простішу конструкцію, що підвищує загальну відмовостійкість гідросистеми.

Пропонується використати електромагнітний клапан 1/2" DC 12 В NC. Електромагнітний клапан 1/2" DC 12 В NC (нормально закритий) – обрана з огляду на такі інженерні міркування:

1.Функціональний стан (NC – Normally Closed): у разі аварійного знеструмлення системи, обриву кабелю або збою живлення клапан автоматично повертається в закритий стан під дією поворотної пружини. Це гарантує захист теплиці від неконтрольованої подачі води.

2.Робоча напруга (DC 12 В): постійний струм напругою 12 В є безпечним для експлуатації в умовах підвищеної вологості теплиць і легко забезпечується єдиним системним блоком живлення.

3.Монтажний розмір (1/2 дюйма): стандартне різьбове з'єднання забезпечує оптимальну пропускну здатність для локальних систем крапельного або дощувального зрошення та сумісне із поширеною арматурою.

Оскільки вихідні піни мікроконтролера Arduino Uno здатні забезпечити струм лише до 40 мА при напрузі 5 В, вони не можуть безпосередньо заживлювати індуктивне навантаження соленоїда клапана (який споживає значно вищі струми при напрузі 12 В). Для розв'язання цієї задачі та забезпечення гальванічної ізоляції логічної частини від силової необхідно застосувати комутаційний вузол.

Як такий елемент обґрунтовано обрано електромагнітне реле. Воно забезпечує надійне фізичне розділення низьковольтного керуючого контуру та силового кола живлення клапана, захищаючи мікроконтролер від зворотних сплесків ЕРС індуктивності соленоїда.

Для інтеграції в апаратну частину обрано модуль реле з робочою напругою керування 5 В та комутаційною здатністю до 10 А.

|     |      |          |        |     |                       |      |
|-----|------|----------|--------|-----|-----------------------|------|
|     |      |          |        |     | МММТ 480.010.010 - ПЗ | Авк. |
|     |      |          |        |     |                       | 25   |
| Зм. | Авк. | № докum. | Підпис | Дат |                       |      |

Вибір даного модуля зумовлений такими перевагами:

1. Узгодженість рівнів: напруга живлення та керування котушкою реле становить 5 В, що дозволяє заживлювати модуль безпосередньо від плати Arduino Uno (або від загальної лінії живлення логіки через перетворювач LM2596).

2. Значний запас за потужністю: здатність контактної групи комутувати струм до 10 А при напрузі постійного струму (до 30 В) або змінного струму (до 250 В) значно перевищує номінальний струм споживання 12-вольтового клапана (який зазвичай не перевищує 0.5–1 А). Цей запас мінімізує нагрівання контактів та запобігає їхньому зварюванню, забезпечуючи тривалий ресурс роботи пристрою.

3. Наявність оптичної розв'язки: більшість стандартних інженерних модулів реле для Arduino оснащені оптопарою, що додатково підвищує завадостійкість мікроконтролера під час перемикання навантаження.

Таким чином, тандем реле 5 В / 10 А та нормально закритого клапана 1/2" 12 В є оптимальним, технічно узгодженим і безпечним рішенням для побудови виконавчого тракту комп'ютеризованої системи керування поливом.

### 3.5. Обґрунтування дисплея

Обґрунтування вибору та встановлення локального дисплея у структурі пристрою зумовлене потребою забезпечення повної автономності системи теплиці та організації інтуїтивно зрозумілого інтерфейсу користувача. Оскільки розроблювана комп'ютеризована система функціонує як локальний автоматизатор, інтеграція компактного алфавітно-цифрового дисплея дозволяє оператору миттєво, у режимі реального часу, візуалізувати виміряні технологічні параметри (поточну вологість ґрунту за датчиком YL-69, температуру тощо) без обов'язкового підключення до персонального комп'ютера чи віддаленого сервера. Окрім числових значень, дисплей необхідний для відображення системної інформації: поточного стану виконавчих механізмів (відкритий/закритий клапан), часу до наступного сеансу зрошення та сервісних сповіщень у разі виникнення апаратних помилок.

|     |      |          |        |     |                       |      |
|-----|------|----------|--------|-----|-----------------------|------|
|     |      |          |        |     | МММТ 480.010.010 - ПЗ | Док. |
|     |      |          |        |     |                       | 26   |
| Зм. | Док. | № докум. | Підпис | Дат |                       |      |

Для інтеграції в архітектуру стаціонарної системи вимірювання та керування параметрами середовища теплиці до пристрою відображення було висунуто ряд суворих критеріїв:

- Висока чіткість та читаність символів в умовах мінливого природного освітлення;
- Стійкість до тривалої безперервної роботи в цілодобовому режимі;
- Простота схемотехнічного підключення та мінімальна кількість задіяних ліній зв'язку мікроконтролера;
- Надійність, довговічність та стійкість до підвищеної вологості повітря;
- Мінімальна собівартість пристрою для забезпечення загальної економічної ефективності проекту.

У сучасній приладобудівній практиці пристрої індикації класифікують за технологією формування зображення. Основними поширеними типами є: рідкокристалічні дисплеї (LCD), матричні або сегментні світлодіодні індикатори (LED), а також матриці на основі органічних світлодіодів (OLED).

- LCD (Liquid Crystal Display) – технологія дисплеїв, що використовує рідкі кристали, розташовані між двома скляними або пластиковими шарами. Рідкі кристали змінюють свої оптичні властивості (прозорість або поляризацію) під дією електричного поля, що дозволяє формувати символи або графіку. Вони потребують фонового підсвічування, що забезпечує відмінну читаність як у повній темряві, так і при яскравому розсіяному світлі.

- OLED (Organic Light Emitting Diode) – технологія, що базується на самовипромінювальних органічних пікселях. Має високу контрастність та широкі кути огляду, проте піддається ризику вигорання пікселів при тривалому відображенні статичного тексту, що є критичним для стаціонарних систем моніторингу.

- LED (Light Emitting Diode) – технологія на основі дискретних напівпровідникових світлодіодів (сегментні індикатори). Вони надійні, але мають суттєві обмеження щодо інформативності, оскільки здатні виводити лише обмежений набір цифр та літер.

|     |      |          |        |     |                       |      |
|-----|------|----------|--------|-----|-----------------------|------|
|     |      |          |        |     | МММТ 480.010.010 - ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |     |                       | 27   |
| Зм. | Арк. | № докum. | Підпис | Дат |                       |      |

Для вибору оптимального типу дисплея було проведено порівняльний аналіз трьох основних технологій. Результати порівняння за ключовими критеріями проектування наведено в таблиці 3.2 [5].

Таблиця 3.2 – Порівняльний аналіз типів пристроїв індикації

| Критерій порівняння        | Рідкокристалічний (LCD)                                                 | Світлодіодний (LED)                               | На органічних світлодіодах (OLED)                           | Критерій порівняння        |
|----------------------------|-------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|----------------------------|
| Принцип роботи             | Рідкі кристали, що блокують світло від лампи підсвічування              | Дискретні напівпровідникові світлодіодні сегменти | Самовипромінювальні органічні пікселі                       | Принцип роботи             |
| Ресурс та стабільність     | Максимальний (десятки тисяч годин без втрати якості)                    | Високий, але обмежений набір символів             | Середній (наявний ефект вигорання при статичному тексті)    | Ресурс та стабільність     |
| Складність підключення     | Стандартна (великі шини даних), але оптимізується за допомогою I2C      | Вимагає багато виводів або спеціальних драйверів  | Стандартна (I2C/SPI)                                        | Складність підключення     |
| Читаність в умовах теплиці | Відмінна (завдяки стабільному та потужному підсвічуванню всієї матриці) | Середня (залежить від яскравості світлодіодів)    | Висока, але дрібний шрифт ускладнює зчитування на відстані  | Читаність в умовах теплиці |
| Інформативність            | Оптимальна для виведення тексту та системних міток                      | Дуже обмежена (лише цифри та базові коди помилок) | Висока (графіка, графіки хвиль), але надлишкова для теплиці | Інформативність            |
| Вартість та доступність    | Мінімальна ринкова ціна                                                 | Низька вартість                                   | Вища вартість порівняно з LCD аналогами                     | Вартість та доступність    |
| Критерій порівняння        | Рідкокристалічний (LCD)                                                 | Світлодіодний (LED)                               | На органічних світлодіодах (OLED)                           | Критерій порівняння        |

Розглянувши та порівнявши з вимогами кожен вид дисплея, дійшли висновку, що для надійної тривалої роботи, інформативності та простоти експлуатації в стаціонарних умовах найкраще обрати рідкокристалічний модуль, а саме – знаковинтезуючий дисплей LCD 1602 із вбудованим адаптером шини I2C.

Даний вибір є найбільш раціональним з огляду на такі інженерно-технічні переваги

Вибір рідкокристалічного модуля LCD 1602 I2C є найбільш інженерно раціональним, оскільки його інформаційний об'єм (2 рядки по 16 символів) є

повністю достатнім для одночасного виведення поточних показників вологості та статусу клапана, а інтегрований адаптер PCF8574 дозволяє скоротити кількість задіяних контактів мікроконтролера Arduino Uno всього до двох ліній зв'язку (SDA та SCL). Окрім цього, на відміну від графічних OLED-аналогів, дана матриця стійка до вигорання при тривалій статичній індикації, забезпечує високу чіткість зчитування даних в умовах теплиці завдяки регульованому світлодіодному підсвічуванню з налаштуванням контрасту, а її мінімальна ринкова вартість дозволяє суттєво знизити кінцеву собівартість розроблюваної системи автоматизації.

### 3.6. Обґрунтування кнопки

Для забезпечення можливості оперативного втручання в роботу комп'ютеризованої системи теплиці та реалізації інтерфейсу користувача виникла потреба в інтеграції елемента ручного керування. Цей компонент виконує функцію механічного перемикача, який дозволяє оператору вручну змінювати режими роботи пристрою (наприклад, здійснювати примусовий запуск або зупинку поливу в обхід автоматичних показників датчика YL-69, а також виконувати навігацію по сервісному меню дисплея LCD 1602).

При виборі комутаційного елемента враховувалися такі критерії:

- Простота схемотехнічного підключення та узгодження з логічними рівнями Arduino Uno;
- Надійність замикання контактів та стійкість до механічного зносу;
- Конструктивна готовність до монтажу на друковану плату або корпус пристрою без необхідності паяння додаткових підтягуючих резисторів.

Враховуючи зазначені вимоги, для проектованої системи було обрано готовий модуль тактильної кнопки для Arduino (Key Switch Module).

Даний вибір є найбільш раціональним з огляду на такі інженерно-технічні переваги:

- 1.Наявність інтегрованого підтягуючого резистора: Класичне підключення

|     |      |          |        |     |                       |      |
|-----|------|----------|--------|-----|-----------------------|------|
|     |      |          |        |     | МММТ 480.010.010 - ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |     |                       | 29   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дат |                       |      |

тактильної кнопки безпосередньо до мікроконтролера вимагає встановлення зовнішнього резистора (опором 10 кОм) для підтяжки лінії до живлення або землі, щоб уникнути «плаваючого» потенціалу на цифровому вході. Готовий модуль уже містить цей резистор на своїй платі, що спрощує загальну схемотехніку пристрою та зменшує кількість монтажних компонентів.

2.Зручність підключення: Модуль має стандартний 3-піновий роз'єм (Живлення, Земля, Сигнал), що дозволяє швидко й надійно з'єднати його з платою Arduino Uno за допомогою типових з'єднувальних проводів DuPont.

3.Чітка фіксація стану: Тактильна кнопка модуля забезпечує чіткий механічний клік при натисканні, що важливо для тактильного зворотного зв'язку з оператором, а програмний алгоритм антидебрязку (debounce) в коді Arduino гарантує стабільне зчитування сигналу без хибних спрацьовувань.

4.Конструктивна міцність та низька вартість: Модуль виконаний на міцній текстолітовій підкладці з монтажним отвором, що полегшує його жорстку фіксацію на лицьовій панелі корпусу блока керування теплицею, при цьому зберігаючи мінімальну ринкову вартість виробу.

Таким чином, модуль кнопки для Arduino є оптимальним, схемотехнічно завершеним рішенням для забезпечення функцій ручного керування та налаштування параметрів комп'ютеризованої системи.

### 3.7.Обґрунтування блока живлення

Для забезпечення надійної та безперебійної роботи всіх компонентів комп'ютеризованої системи керування поливом у теплиці критично важливим завданням є проектування стабільного блока живлення. Оскільки проєктований пристрій містить споживачі з різними номіналами напруг та струмів, система живлення повинна мати дворівневу структуру, що поєднує первинне перетворення змінної напруги промислової мережі та вторинну стабілізацію постійного струму для логічних схем.

При розробці вузла живлення до нього було висунуто такі інженерно-технічні вимоги:

|     |      |          |        |     |                       |      |
|-----|------|----------|--------|-----|-----------------------|------|
|     |      |          |        |     | МММТ 480.010.010 - ПЗ | Адк. |
|     |      |          |        |     |                       | 30   |
| Зм. | Адк. | № докум. | Підпис | Дат |                       |      |

– Багатоканальність за напругою: забезпечення силової лінії напругою 12 В (для живлення котушки електромагнітного клапана) та логічної лінії напругою 5 В (для живлення Arduino Uno, датчика YL-69, модуля реле та дисплея LCD 1602);

– Запас за потужністю: здатність витримувати пікові струмові навантаження в момент комутації соленоїда клапана без просідання напруги в колі мікроконтролера, що могло б призвести до його перезавантаження;

– Енергоефективність та низьке тепловиділення: мінімальні втрати енергії на розсіювання тепла, оскільки блок керування експлуатується у закритому корпусі в умовах теплиці;

– Безпека: надійна гальванічна розв'язка від високовольтної мережі 220 В.

– Враховуючи зазначені критерії, було реалізовано комбіновану схему живлення, яка складається з зовнішнього адаптера живлення (мережевого джерела) та імпульсного понижуючого перетворювача напруги на базі мікросхеми LM2596.

Дана структура є найбільш раціональною з огляду на такі переваги її компонентів:

1.Первинне джерело (Адаптер живлення 220В/12В, 2-3А): Використання готового імпульсного адаптера дозволяє безпечно знизити небезпечну напругу мережі 220В змінного струму (АС) до безпечного рівня 12 В постійного струму (DC). Вихідний струм номіналом 2-3А забезпечує необхідну потужність для гарантованого спрацьовування електромагнітного клапана 1/2" та створює значний експлуатаційний запас для всієї периферії. Винесення високовольтної частини за межі основного корпусу пристрою підвищує загальну електробезпеку системи в умовах підвищеної вологості.

2.Вторинний стабілізатор (Імпульсний перетворювач DC-DC на LM2596):

Для формування стабільної напруги 5 В, яка є необхідною для живлення мікроконтролера та датчиків, застосовано високоефективний модуль на базі ШІМ-регулятора LM2596. На відміну від застарілих лінійних стабілізаторів (наприклад, серії 7805), які перетворюють надлишкову напругу на тепло і сильно

|     |      |          |        |     |                       |      |
|-----|------|----------|--------|-----|-----------------------|------|
|     |      |          |        |     | МММТ 480.010.010 - ПЗ | Док. |
|     |      |          |        |     |                       | 31   |
| Зм. | Док. | № докum. | Підпис | Дат |                       |      |

нагріваються, імпульсний перетворювач LM2596 має високий коефіцієнт корисної дії (ККД до 92%). Це мінімізує нагрівання всередині корпусу та гарантує стабільні 5 В без просідань навіть при максимальному навантаженні на логічну частину. Наявність вбудованого підлаштовувального потенціометра дозволяє точно відкалібрувати вихідну напругу, а інтегрований захист від короткого замикання та перегріву підвищує надійність апаратної частини.

Таким чином, двоступенева система живлення у зв'язці «Мережевий адаптер 12В + перетворювач LM2596» забезпечує повну узгодженість енергетичних параметрів усіх вузлів, високу надійність, завадостійкість обчислювального ядра та безпеку при експлуатації автоматики в теплиці.

### 3.7. Побудова структурної схеми

Структурна схема є основним конструкторським документом, який у вигляді графічного зображення визначає головні функціональні блоки системи, їхнє цільове призначення та взаємозв'язки між ними. Вона відображає загальну архітектуру пристрою і послідовність взаємодії апаратних модулів, що є загальноприйнятим стандартом проектування в таких галузях техніки, як електроніка, обчислювальна техніка, автоматизація та телекомунікації.

На основі детального аналізу та обґрунтування вибору компонентної бази для розроблюваної комп'ютеризованої системи керування поливом та контролю параметрів середовища теплиці було сформовано її повну апаратну архітектуру.

З урахуванням інтеграції центрального мікроконтролера, первинного вимірювального перетворювача вологості ґрунту, модуля тактильної кнопки для ручного керування, рідкокристалічного дисплея з послідовним інтерфейсом зв'язку, комутаційного реле з електромагнітним клапаном, а також двоступеневого вузла живлення на базі мережевого адаптера та понижуючого перетворювача напруги, було розроблено структурну схему пристрою, яка наведена на рис. 3.1.

|     |      |          |        |     |                       |      |
|-----|------|----------|--------|-----|-----------------------|------|
|     |      |          |        |     | МММТ 480.010.010 - ПЗ | Адк. |
|     |      |          |        |     |                       | 32   |
| Зм. | Адк. | № докум. | Підпис | Дат |                       |      |

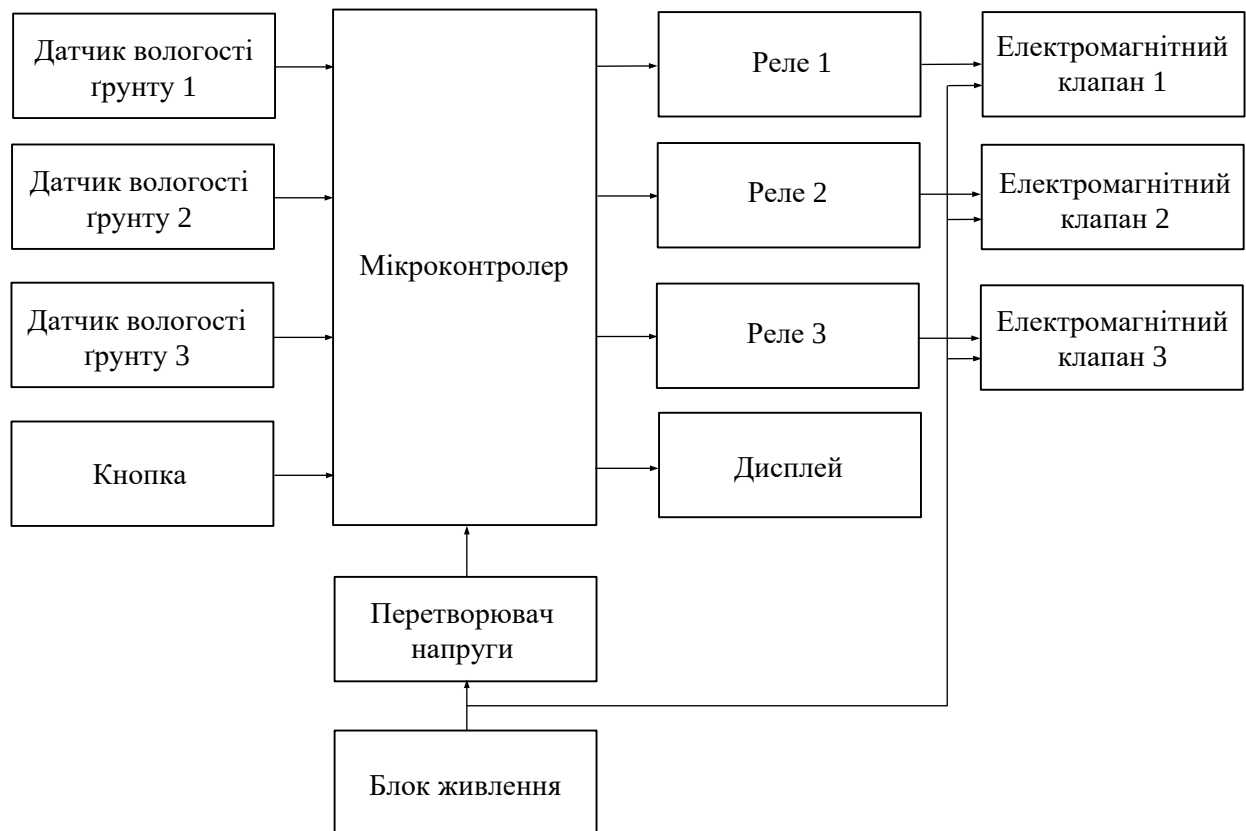


Рис.3.1. Структурна схема

Складові структурної схеми наступні:

- датчик вологості ґрунту – 3 шт;
- мікроконтролер;
- кнопка;
- перетворювач напруги;
- блок живлення;
- реле – 3 шт;
- електромагнітний калапан – 3 шт;
- дисплей.

## 4. РОЗРОБКА ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ

### 4.1. Вибір мікроконтролера

Як центральний обчислювальний блок системи управління обрано мікроконтролерну плату Arduino Uno. Графічне зображення зовнішнього вигляду та призначення виводів модуля представлені на рис. 4.1 та 4.2 відповідно.

Платформа Arduino Uno реалізована на базі 8-бітного мікроконтролера ATmega328P і є поширеним інженерним рішенням у сферах навчального проектування, швидкого прототипування, локальної автоматизації, робототехніки та розробки користувацьких систем (DIY). Популярність даного модуля зумовлена простотою його архітектури, наявністю інтегрованого USB-інтерфейсу для програмування та налагодження, розвиненою базою прикладного програмного забезпечення (бібліотек), а також високим ступенем сумісності з широким спектром первинних вимірювальних перетворювачів, виконавчих пристроїв та засобів індикації даних.



Рис.4.1. Зовнішній вигляд Arduino Uno

Електроживлення плати реалізовано за комбінованою схемою з автоматичним вибором пріоритетного каналу: через інтерфейс USB або від зовнішнього джерела постійного струму. При автономній роботі системи без підключення до комп'ютера використовується мережевий адаптер 7–12 В, що забезпечує режим роботи вбудованого стабілізатора напруги.

|     |      |          |        |     |                       |      |
|-----|------|----------|--------|-----|-----------------------|------|
|     |      |          |        |     | МММТ 480.010.010 - ПЗ | Адк. |
|     |      |          |        |     |                       | 34   |
| Зм. | Адк. | № докум. | Підпис | Дат |                       |      |

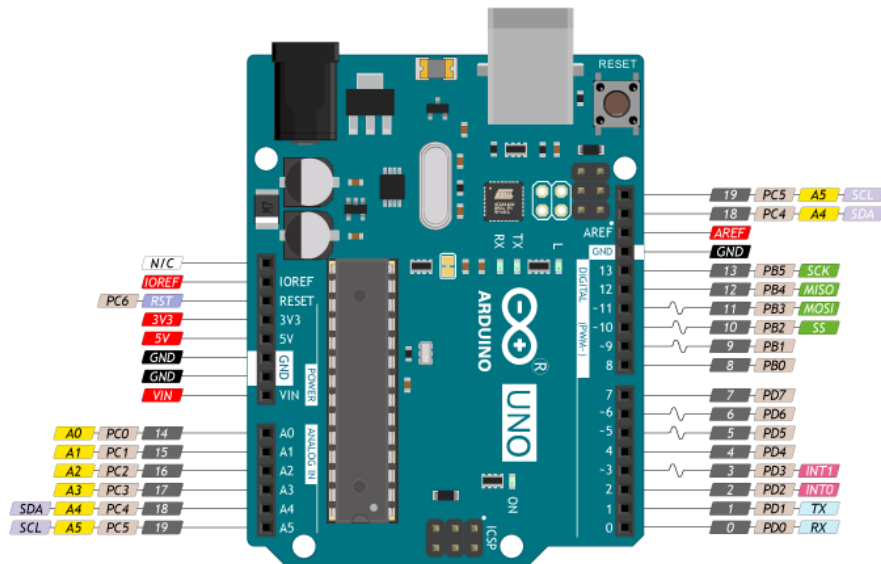


Рис.4.2. Призначення виводів Arduino Uno

Технічні характеристики представлені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Основні технічні характеристики платформи Arduino Uno

| Параметр                                       | Значення та одиниці вимірювання                     |
|------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| Центральний мікроконтролер                     | ATmega328P (8-бітний AVR)                           |
| Номінальна робоча напруга логіки               | 5 В                                                 |
| Рекомендований діапазон вхідної напруги        | 7–12 В                                              |
| Гранично допустима вхідна напруга              | 6–20 В                                              |
| Загальна кількість цифрових входів/виходів     | 14 (зокрема 6 із підтримкою ШІМ)                    |
| Канали широтно-імпульсної модуляції (ШІМ)      | 6 (апаратні виводи: 3, 5, 6, 9, 10, 11)             |
| Кількість аналогових входів (АЦП)              | 6 (діапазон апаратних виводів A0–A5)                |
| Тактова частота процесора                      | 16 МГц                                              |
| Обсяг енергонезалежної пам'яті програм (Flash) | 32 КБ (0,5 КБ зарезервовано під завантажувач)       |
| Обсяг оперативної пам'яті (SRAM)               | 2 КБ                                                |
| Обсяг енергонезалежної пам'яті даних (EEPROM)  | 1 КБ                                                |
| Інтерфейс зв'язку та програмування             | USB (канальне живлення та передача даних)           |
| Роз'єми первинного живлення                    | Гніздо DC міліметрового стандарту 2,1 мм, вивід Vin |
| Габаритні розміри друкованої плати             | 68,6× 53,4 мм                                       |

Нижче перераховані виводи живлення, розташовані на платі [6]:

-VIN – вивід для підключення зовнішнього нерегульованого джерела постійного струму (гальванічно не пов'язаний зі стабілізованою лінією 5 В від USB). Може використовуватись як для безпосередньої подачі живлення на плату в обхід роз'єму DC, так і для знімання напруги, якщо система заживлена від зовнішнього мережевого адаптера.

-5V – вихідний вивід інтегрованого на плату лінійного стабілізатора, що забезпечує фіксовану напругу 5 В для живлення периферійних модулів, датчиків та реле.

-3V3 – вихідний вивід додаткового внутрішнього регулятора з напругою 3,3 В. Максимально допустимий струм навантаження на даному виводі обмежений значенням 50 мА.

-GND – спільні виводи заземлення (опорного потенціалу) системи.

-IOREF – інформаційний вивід, призначений для передачі платам розширення (shields) відомостей про рівень робочої напруги логіки мікроконтролера (5 В) з метою забезпечення коректного узгодження рівнів [6].

## 4.2. Вибір датчика вологості ґрунту

У нашій системі вимірювання та контролю вологості ґрунту у теплиці пропонується обрати аналоговий датчик вологості ґрунту типу YL-69 або FC-28 (рис.4.3). Підключення датчика YL-69 до Arduino Uno представлено на рис.4.4.

Датчик вологості ґрунту YL-69 є первинним вимірювальним перетворювачем кондуктометричного типу, що визначає вміст води в субстраті шляхом вимірювання електропровідності (опору) між двома заглибленими металевими електродами. Датчик функціонує в парі з модулем-компаратором на базі мікросхеми LM393, який забезпечує подвійний інтерфейс виходу: аналоговий (A0) – для точного моніторингу поточної

вологості через АЦП мікроконтролера Arduino Uno, та цифровий (D0) – для видачі бінарного сигналу («сухо/мокро») за заданим потенціометром порогом. Завдяки робочій напрузі 3,3–5 В, конструктивній простоті, наявності

|     |      |        |        |     |                       |      |
|-----|------|--------|--------|-----|-----------------------|------|
|     |      |        |        |     | МММТ 480.010.010 - ПЗ | Авк. |
|     |      |        |        |     |                       | 36   |
| Зм. | Авк. | № док. | Підпис | Дат |                       |      |

інтегрованих індикаторів живлення і спрацьовування та мінімальній вартості, модуль YL-69 є оптимальним та схемотехнічно узгодженим рішенням для локальних систем автоматичного поливу.

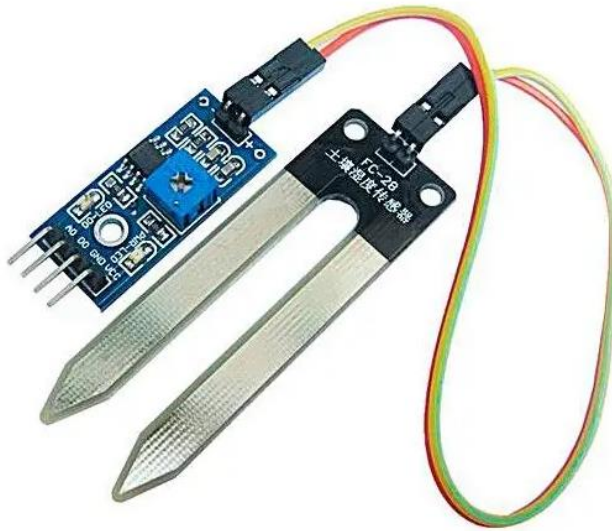


Рис.4.3. Зовнішній вигляд датчика вологості YL-69

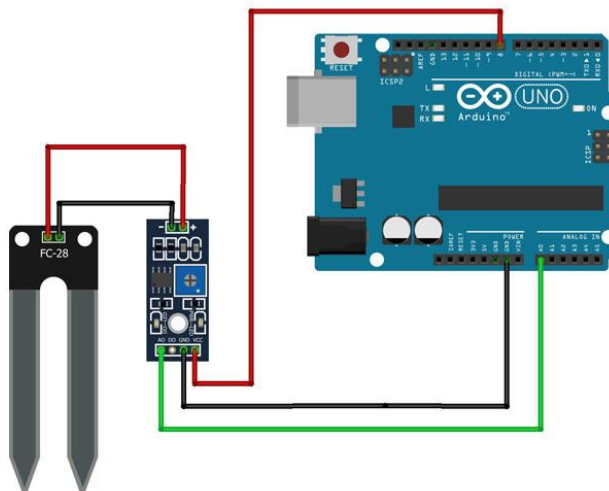


Рис.4.4. Підключення датчика YL-69 до Arduino Uno

Технічні характеристики YL-69:

- Номінальна напруга живлення: від 3,3 В до 5,0 В постійного струму;
- Струм споживання в активному режимі: не перевищує 20 мА;
- Конфігурація вихідних сигналів: подвійний інтерфейс, що включає аналоговий вихід (A0) для моніторингу поточного рівня напруги та цифровий вихід (D0) компаратора;

- Конструкційний матеріал вимірювальних зондів: спеціалізований металевий сплав (схильний до процесів електрохімічної корозії за умов постійного проходження струму через рідке середовище);
- Габаритні розміри занурювального щупа: орієнтовно 60x20 мм;
- Призначення комутаційних виводів модуля: VCC – підключення лінії живлення; GND – спільний вивід опорного потенціалу; АО – знімання аналогового сигналу; DO – знімання дискретного (цифрового) сигналу [7].

#### 4.3. Вибір реле та електромагнітного клапана

Для організації поливу застосовано електромагнітні клапани, які через високі енергетичні параметри котушок (12 В) не можуть живитися безпосередньо від цифрових портів мікроконтролера. Для узгодження рівнів потужності та забезпечення гальванічної розв'язки інтегровано три одноканальні модулі електромагнітних реле з напругою керування 5 В та комутаційною здатністю до 10 А. У такій конфігурації мікроконтролер Arduino безпечно керує силовими виконавчими механізмами, подаючи слабострумний сигнал на комутаційний модуль, який замикає коло прямої подачі напруги 12 В від мережевого адаптера на соленоїд відповідного клапана.



Рис.4.5. Зовнішній вигляд реле 5 В 10 А однієї каналності



Рис.4.6. Підключення реле 5 В 10 А до мікроконтролера

|     |      |          |        |     |                       |      |
|-----|------|----------|--------|-----|-----------------------|------|
|     |      |          |        |     | МММТ 480.010.010 - ПЗ | Адк. |
| Зм. | Адк. | № докум. | Підпис | Дат |                       | 38   |

Технічні характеристики:

- Конструкція: одноканальне або багатоканальне виконання (від 1 до 16 каналів);
- Керуюча напруга котушки: 5 В постійного струму, що повністю сумісно з логікою Arduino;
- Параметри комутації: струм до 10 А при напрузі до 250 В змінного (АС) або до 30 В постійного (DC) струму;
- Захист: вбудована оптопара для гальванічної ізоляції логічних схем від силового контуру;
- Індикація: світлодіодне відображення поточного стану активації контактної групи;
- Сфера застосування: комутація силових споживачів (електромагнітних клапанів, насосів, блоків освітлення).[8]

Електромагнітний клапан 1/2" DC 12 В NC (Нормально закритий) води, що пропонується використати представлено на рис.4.7.



Рис. 4.7. Електромагнітний клапан 1/2" DC 12 В

Технічні характеристики:

- Цільове робоче середовище: технічна або чиста вода;
- Діаметр умовного проходу різьби: 1/2 дюйма;
- Температурний діапазон роботи: від 0 °С до 80 °С;
- Діапазон робочого тиску в системі: від 0,2 бар до 8 бар;
- Вихідний функціональний стан: нормально закритий (НЗ) за умов відсутності напруги потік перекритий;

|     |      |          |        |     |                       |      |
|-----|------|----------|--------|-----|-----------------------|------|
|     |      |          |        |     | МММТ 480.010.010 - ПЗ | Адк. |
|     |      |          |        |     |                       | 39   |
| Зм. | Адк. | № докum. | Підпис | Дат |                       |      |

- Матеріал конструкції корпусу: спеціалізований термостійкий пластик;
- Спосіб монтажу та інтеграції: надійне різьбове з'єднання;
- Конструктивна маса виробу: 0,1 кг;
- Заявлений гарантійний термін: 3 місяці;
- Номінальна напруга живлення соленоїда: 12 В постійного струму (DC);
- Споживана електрична потужність котушки: 4,8 Вт.

Цей клапан широко використовується в системах автоматичного поливу завдяки своїй простоті та надійності. Він відкривається при подачі напруги, дозволяючи воді текти, і закривається при її відключенні. [9]

#### 4.4.Вибір дисплея

Для виведення значень вологості та повідомлень необхідно застосувати дисплей LCD1602 I2C рис.4.8.



Рис.4.8. Дисплей LCD1602 I2C

Даний дисплей сумісний з Arduino Uno та має достатньо символів для виводу повідомлень. Дисплей LCD1602 складається з 2 рядки по 16 символів білим текстом на блакитному підсвічуванні.

Для забезпечення повноцінного функціонування рідкокристалічного дисплея та його інтегрованого модуля підсвічування на виводи живлення необхідно подати напругу номіналом 5 В.

При цьому амплітуда сигналів на лініях передачі даних SDA та синхронізації SCL може перебувати в діапазоні від 3,3 В до 5 В. Ця властивість забезпечує

|     |      |          |        |     |                       |      |
|-----|------|----------|--------|-----|-----------------------|------|
|     |      |          |        |     | МММТ 480.010.010 - ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дат |                       | 40   |

апаратну сумісність індикатора з мікроконтролерами, що функціонують як на 5-вольтових, так і на 3,3-вольтових логічних рівнях.

Комутація модуля індикації з центральним мікроконтролером за допомогою послідовного інтерфейсу I2C здійснюється за такою схемою призначення виводів:

- GND (Ground) – спільний провідник системи, що забезпечує фіксацію нульового опорного потенціалу («земля»);
- VCC (Voltage at the Common Collector) – шина живлення дисплея, на яку подається стабілізована напруга 5 В;
- SDA (Serial Data) – двоспрямована лінія передачі даних інтерфейсу I2C, яка підключається до однойменного виводу мікроконтролера;
- SCL (Serial Clock) – лінія генерації тактових імпульсів (синхронізації) інтерфейсу I2C, що з'єднується з відповідним тактовим виводом контролера.

Підключення дисплею по I2C до Arduino Uno представлений на рис.4.9.

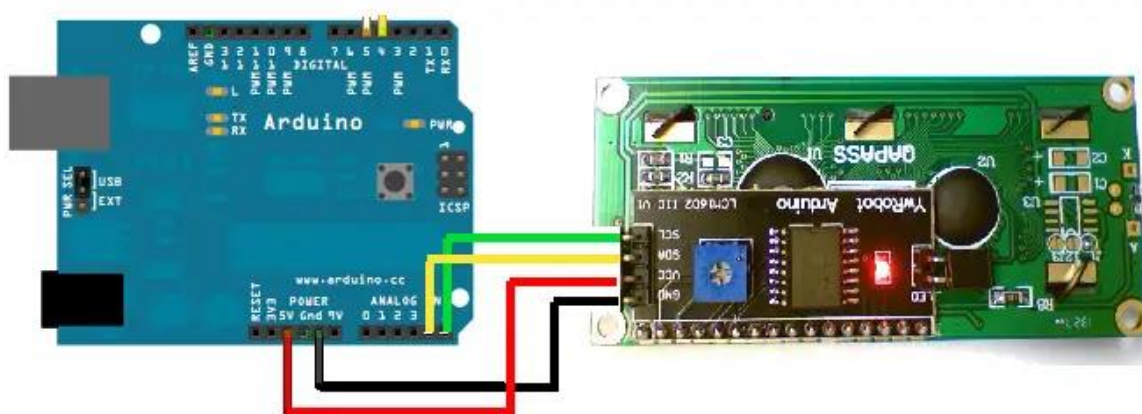


Рис.4.9. Підключення дисплею по I2C до Arduino Uno

Технічні характеристики дисплей LCD1602 I2C:

- Тип пристрою: рідкокристалічний індикатор (LCD) LCD1602;
- Архітектура екрана: 2 рядки по 16 знаків у кожному (символьна матриця);
- Базовий драйвер: апаратно сумісний із промисловим контролером HD44780;
- Спосіб підключення: послідовна шина I2C на базі мікросхеми-розширювача PCF8574;

- Кількість комутаційних виводів: 4 інтерфейсні контакти (VCC, GND, SDA, SCL);
- Номінальна напруга живлення: 5 В постійного струму (DC);
- Амплітуда сигнальних рівнів логіки: сумісність із шинами 3,3 В та 5 В;
- Струм споживання: орієнтовно 20 мА;
- Налаштування чіткості: інтегрований підлаштовувальний потенціометр контрасту;
- Оптичні властивості: наявність світлодіодного підсвічування колірного спектра монохромного типу;
- Допустимий температурний діапазон: експлуатація від 0 °С до 50 °С;
- Габаритні розміри модуля: приблизно 80х36 мм;
- Спосіб монтажу: 4 конструкційні отвори під гвинтове кріплення.[10].

#### 4.5.Вибір кнопки

Для реалізації функції примусового (ручного) активування поливу в системі застосовано модуль тактильної кнопки. Даний апаратний вузол конструктивно об'єднує в собі комутаційний елемент, інтегрований підтягуючий резистор для фіксації стабільного логічного рівня та стандартний контактний роз'єм для підключення.



Рис. 4.10. Модуль кнопки



Рис. 4.11. Розташування виводів модуля кнопки

|     |      |          |        |     |                       |      |
|-----|------|----------|--------|-----|-----------------------|------|
|     |      |          |        |     | МММТ 480.010.010 - ПЗ | Адк. |
| Зм. | Адк. | № докум. | Підпис | Дат |                       | 42   |

Технічні характеристики:

- Діапазон робочих температур:  $-20^{\circ}\text{C} \dots +60^{\circ}\text{C}$ ;
- Опір контактів: 50 мОм;
- Максимальна напруга: 100В;
- Ліміт натискань: 10 000.[11]

#### 4.6. Вибір блока живлення

Для стабільної роботи мікроконтролера Arduino Uno застосовуємо перетворювач напруги. Потрібно понизити напругу з 12 В до 5В. Для стабілізації напруги використовуємо мікросхему LM2596 (рис.4.12).



Рис.4.12. Перетворювач напруги LM2596

Технічні характеристики

- Вхідна напруга: 7 - 35 В;
- Вихідна напруга: 1.25 - 30 В;
- Максимальний струм: 3 А (регулюється потенціометром);
- Робоча частота: 150 кГц;
- Захист від короткого замикання на виході та перевантаження на вході;
- Розміри: 48 x 23.5 x 14 мм;
- Діапазон робочої температури:  $-40^{\circ}\text{C} \dots +85^{\circ}\text{C}$ . [12]

Для постійної живлення використано адаптер живлення на 12 В 1 А для електроприладів рис.4.13.

|     |      |          |        |     |                       |      |
|-----|------|----------|--------|-----|-----------------------|------|
|     |      |          |        |     | МММТ 480.010.010 - ПЗ | Адк. |
|     |      |          |        |     |                       | 43   |
| Зм. | Адк. | № докum. | Підпис | Дат |                       |      |



Рис.4.13. Адаптера живлення 12 В 220 В

Технічні характеристики блоку живлення:

- Параметри вхідної напруги мережі: універсальний діапазон від 100 В до 240 В змінного струму (АС) із частотою промислової мережі 50/60 Гц, що забезпечує стабільну роботу пристрою при значних коливаннях напруги;
- Номінальна вихідна напруга: 12 В постійного струму (DC);
- Максимальний вихідний струм навантаження: 1 А або 2 А (залежно від обраної модифікації під сумарну потужність периферії);
- Тип мережевого штепселя: європейський стандарт (EU);
- Конструкція вихідного інтерфейсу: стандартний коаксіальний роз'єм живлення (конектор DC) із розмірами 5,5×2,1 мм;
- Довжина з'єднувального кабелю: орієнтовно 1 метр;
- Експлуатаційна безпека та надійність: виконання у міцному діелектричному корпусі, наявність інтегрованих апаратних засобів захисту від токового перевантаження та короткого замикання в колі навантаження [13].

#### 4.7.Принципова схема

Принципова електрична схема є конструкторським документом, який графічно відображає повний склад елементів системи, їхні функціональні зв'язки

|     |      |          |        |     |                       |      |
|-----|------|----------|--------|-----|-----------------------|------|
|     |      |          |        |     | МММТ 480.010.010 - ПЗ | Авк. |
| Зм. | Авк. | № докum. | Підпис | Дат |                       | 44   |

та послідовність взаємодії без урахування фізичних розмірів чи конструктивного розташування компонентів. Цей тип схем є базовим інструментом для проектування, аналізу та технічного обслуговування електронних пристроїв.

На основі обґрунтованої та обраної раніше компонентної бази було розроблено принципову електричну схему проектованої системи, яку наведено на рис. 4.14.

Перелік елементів принципової схеми:

- DD1- DD3– датчик вологості ґрунту YL-69;
- DA1– стабілізатор напруги LM2596;
- DD4–мікроконтролер Arduino Uno;
- DD5- DD7– реле 5 В 10 А;
- SB1 – модуль кнопки для Arduino;
- HG1 – LCD 1602 I2C;
- R1 – 10 Ом;
- C1, C2 – 22 пФ;
- X1 – роз'єм для адаптера живлення 12 В 2 А;
- X2- X4 – роз'єм для електромагнітного клапана.

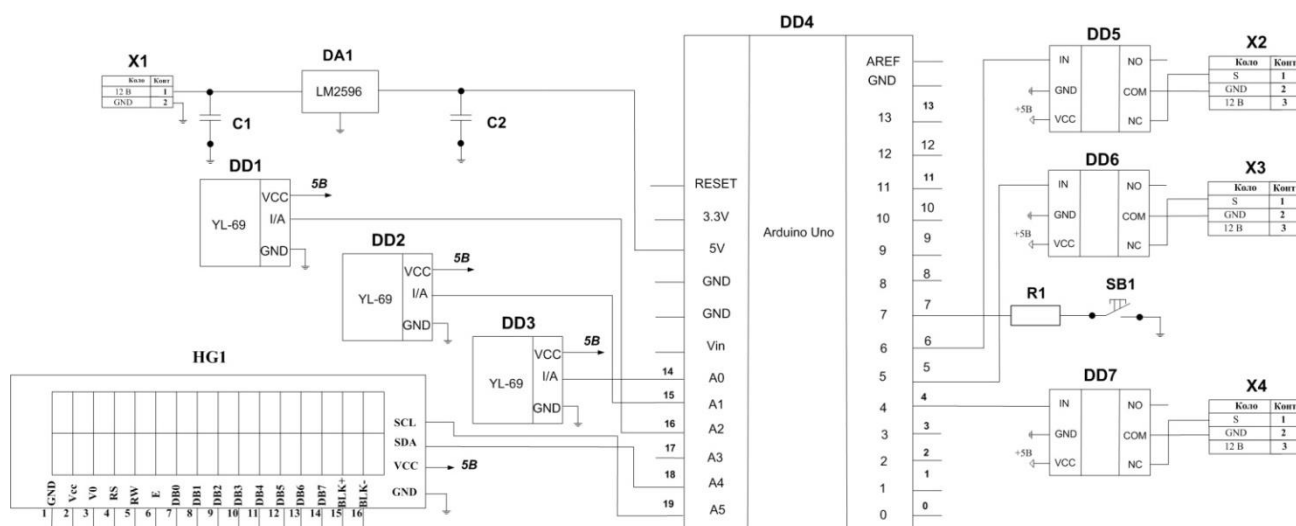


Рис. 4.14. Принципова схема пристрою

Повний перелік елементів представлений в Додатку Б.

## 5. РОЗРОБКА ПРОГРАМИ ТА АЛГОРИТМУ

### 5.1. Розробка алгоритму

Блок-схема алгоритму представлена на рис.5.1.

Початок роботи. Виконання програми ініціюється автоматично під час подачі первинної напруги живлення на мікроконтролерну платформу (підключення мережевого адаптера до промислової мережі 220 В).

Блок ініціалізації. На цьому етапі здійснюється конфігурація апаратної частини: підключення необхідних програмних бібліотек для забезпечення роботи периферійних пристроїв, налаштування режимів роботи цифрових портів введення-виведення (I/O) для взаємодії з датчиками, реле та кнопкою, а також оголошення глобальних змінних і констант.

Режим автоматичного моніторингу. Процес контролю є циклічним із фіксованим часовим інтервалом періодичності  $t = 6$  годин. У межах цього циклу виконується послідовне опитування аналогових каналів трьох первинних перетворювачів вологості ґрунту (Д1, Д2, Д3).

Логіка автоматичного керування:

Програма аналізує поточні показання першого датчика (Д1). Якщо рівень вологості перевищує задане граничне значення (умова  $Д1 > 500$  є істинною), алгоритм ідентифікує стан як «Достатня вологість», виводить відповідне інформаційне повідомлення на рідкокристалічний дисплей і завершує поточний цикл.

Якщо вологість недостатня ( $Д1 \leq 500$ ), послідовно активується перевірка умов для решти каналів та відповідних виконавчих механізмів (Клапан 1, Клапан 2).

За умови падіння вологості на всіх ділянках нижче критичного порогу, на дисплей виводиться текстовий рядок «Полив», замикається контактна група реле, і починається процес зрошення тривалістю 5 хвилин. Після відпрацювання часового інтервалу клапани закриваються, а на дисплей виводиться статус «Полив вимкнено».

|     |      |          |        |     |                       |      |
|-----|------|----------|--------|-----|-----------------------|------|
|     |      |          |        |     | МММТ 480.010.010 - ПЗ | Авк. |
|     |      |          |        |     |                       | 46   |
| Зм. | Авк. | № докум. | Підпис | Дат |                       |      |

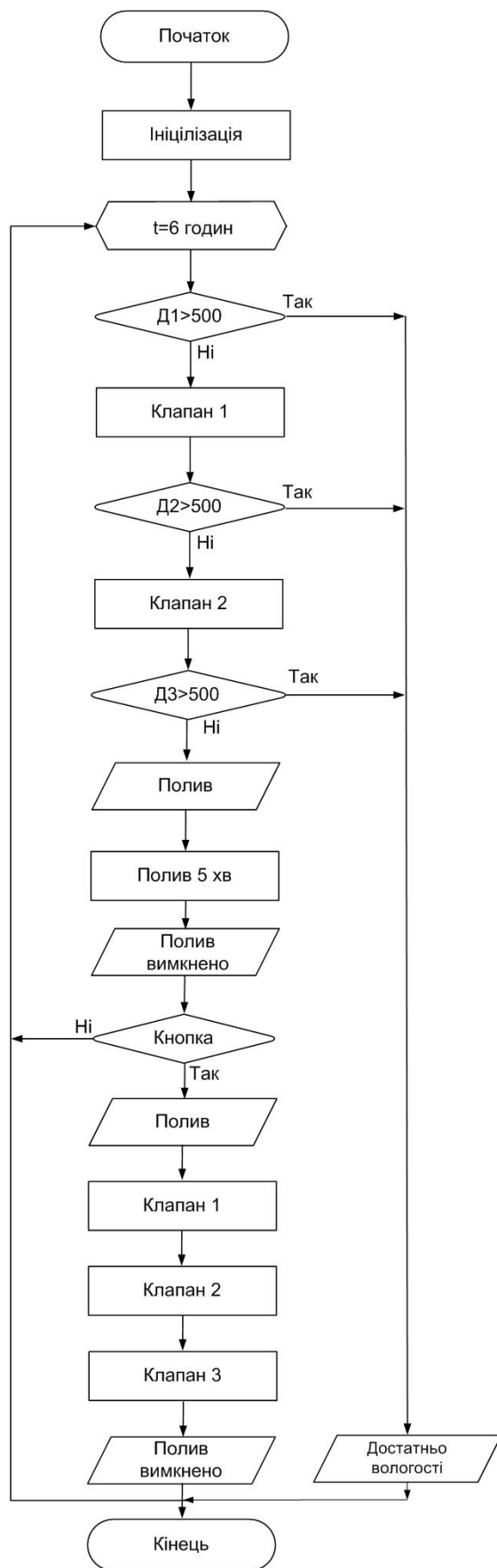


Рис.5.1 Блок-схема алгоритму

Режим ручного (примусового) керування. Після завершення автоматичної сесії або в межах циклу програма здійснює постійне опитування стану тактової кнопки. Якщо фіксується натискання (умова «Кнопка – Так»), система переходить в ручний режим: генерується повідомлення «Полив», і послідовно (або одночасно, залежно від схемотехніки) активуються силовими реле виконавчі клапани 1, 2 та 3. По завершенню встановленого часу індикація змінюється на «Полив вимкнено», і програма повертається на початок головного циклу очікування.

Кінець роботи. Термінальний блок алгоритму відображає припинення функціонування обчислювального ядра системи, що фізично відбувається лише у випадку повного знеструмлення пристрою або відключення мережевого адаптера живлення.

## 5.2.Розробка програми

Для реалізації алгоритму керування обчислювальним ядром на базі мікроконтролера Arduino Uno використано спеціалізоване інтегроване середовище розробки (Arduino IDE) та мову програмування Wiring (високорівнева мова на базі синтаксису C/C++). Повний текст програми наведено у Додатку А. Нижче представлено детальний опис структури програмного комплексу, розподілений за основними функціональними блоками.

### 1. Підключення зовнішніх бібліотек

Для організації апаратної взаємодії з периферійними пристроями по послідовній шині використано стандартні програмні бібліотеки:

- Wire.h – забезпечує низькорівневий обмін даними за протоколом I2C;
- LiquidCrystal\_I2C.h – реалізує високорівневі методи керування символьним рідкокристалічним дисплеєм LCD 1602 через розширювач портів.

```
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
```

### 2. Оголошення об'єктів, констант та ідентифікація виводів

У цьому блоці здійснюється ініціалізація об'єкта дисплея із зазначенням його

|     |      |          |        |     |                       |      |
|-----|------|----------|--------|-----|-----------------------|------|
|     |      |          |        |     | МММТ 480.010.010 - ПЗ | Док. |
|     |      |          |        |     |                       |      |
| Зм. | Док. | № докум. | Підпис | Дат |                       | 48   |

I2C-адреси (0x27) та геометрії екрана (16 стовпців, 2 рядки), формування масивів для адресації аналогових та цифрових портів, а також визначення часових інтервалів і порогових величин:

```
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);
const int soilSensors[3] = {A0, A1, A2}; // Аналогові входи датчиків
вологості
const int relays[3] = {4, 5, 6}; // Цифрові виходи керування реле клапанів
const int manualButtonPin = 7; // Вхід підключення тактової кнопки
const int moistureThreshold = 500; // АЦП-поріг спрацювання (гранична
вологість)
const unsigned long interval = 6UL * 60 * 60 * 1000; // Періодичність
автоконтролю (6 годин)
const unsigned long wateringDuration = 5UL * 60 * 1000; // Тривалість сесії
зрошення (5 хвилин)
unsigned long lastAutoPolivTime = 0; // Змінна фіксації часу останньої
автоматичної сесії
```

### 3. Функція початкового налаштування setup()

Викликається одноразово під час подачі живлення або апаратного скидання (Reset) мікроконтролера. Конфігурує режими роботи цифрових портів (входи/виходи), встановлює початкові безпечні стани реле (виключено високий рівень для модулів із заземлюваним керуванням) та ініціалізує інтерфейси:

```
void setup() {
    Serial.begin(9600); // Ініціалізація апаратного UART-
інтерфейсу
    lcd.begin(); // Активація РК-дисплея
    lcd.backlight(); // Увімкнення підсвічування екрана
    pinMode(manualButtonPin, INPUT_PULLUP); // Конфігурація входу кнопки з
підтяжкою до VCC

    for (int i = 0; i < 3; i++) {
        pinMode(soilSensors[i], INPUT); // Налаштування портів датчиків на вхід
        pinMode(relays[i], OUTPUT); // Налаштування портів реле на вихід
        digitalWrite(relays[i], HIGH); // Деактивація реле (вихідний стан
«вимкнено»)
    }

    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Poliv system ON"); // Виведення стартового повідомлення
}
```

### 4. Головний циклічний процес loop()

Виконується у нескінченному циклі. Забезпечує безперервний програмний таймінг на основі функції millis() (без блокування процесора) для виклику підпрограми автоматичного поливу кожні 6 годин, а також здійснює постійне опитування стану кнопки ручного пуску:

```
void loop() {
    unsigned long currentTime = millis(); // Фіксація поточного часу від
моменту старту

    // Перевірка настання інтервалу автоматичного моніторингу
    if (currentTime - lastAutoPolivTime >= interval) {
```

|     |      |          |        |     |                       |      |
|-----|------|----------|--------|-----|-----------------------|------|
|     |      |          |        |     | МММТ 480.010.010 - ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |     |                       | 49   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дат |                       |      |

```

doAutoPoliv();
lastAutoPolivTime = currentTime;
}

// Опитування датчика ручного керування (активний рівень – LOW)
if (digitalRead(manualButtonPin) == LOW) {
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("Manual Poliv ON ");
    doManualPoliv();
    delay(3000); // Захист від брязкіту контактів та повторного
спрацьовування
}

    delay(500); // Програмна пауза для оптимізації енергоспоживання
обчислювального ядра
}

```

## 5. Підпрограма автоматичного керування doAutoPoliv()

Реалізує алгоритм послідовного сканування вимірювальних зон. Зчитує поточні аналогові значення з датчиків вологості, порівнює їх із константою `moistureThreshold` і, у разі дефіциту води, активує відповідне реле на 5 хвилин.

Якщо вологість у межах норми, система видає статус підтвердження «ОК»:

```

void doAutoPoliv() {
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Auto Poliv Check");
    for (int i = 0; i < 3; i++) {
        int moisture = analogRead(soilSensors[i]); // Зчитування даних з АЦП
        Serial.print("Zone ");
        Serial.print(i + 1);
        Serial.print(" Moisture: ");
        Serial.println(moisture);
        if (moisture < moistureThreshold) { // Умова активації при сухому ґрунті
            lcd.setCursor(0, 1);
            lcd.print("Zone ");
            lcd.print(i + 1);
            lcd.print(": Watering ");
            digitalWrite(relays[i], LOW); // Активація відповідного соленоїдного
клапана
            delay(wateringDuration); // Експозиція зрошення
            digitalWrite(relays[i], HIGH); // Вимкнення клапана після
поливу
        } else {
            lcd.setCursor(0, 1);
            lcd.print("Zone ");
            lcd.print(i + 1);
            lcd.print(": OK "); // Індикація достатнього рівня води
            delay(2000);
        }
    }
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("Poliv Done ");
}

```

## 6. Підпрограма примусового керування doManualPoliv()

Забезпечує безумовний запуск процесу зрошення. Примусово активує силові реле всіх трьох каналів одночасно на фіксований час (`wateringDuration`)

|     |      |          |        |     |                       |      |
|-----|------|----------|--------|-----|-----------------------|------|
|     |      |          |        |     | МММТ 480.010.010 - ПЗ | Авк. |
|     |      |          |        |     |                       | 50   |
| Зм. | Авк. | № докум. | Підпис | Дат |                       |      |

незалежно від поточних показань первинних перетворювачів вологості:

```
void doManualPoliv() {  
    lcd.clear();  
    lcd.setCursor(0, 0);  
    lcd.print("Manual Poliv...");  
  
    for (int i = 0; i < 3; i++) {  
        digitalWrite(relays[i], LOW); // Одночасне відкриття всіх  
електромагнітних клапанів  
    }  
  
    delay(wateringDuration); // Витримка часу технологічного процесу поливу (5  
хвилин)  
  
    for (int i = 0; i < 3; i++) {  
        digitalWrite(relays[i], HIGH); // Синхронне перекриття гідравлічних  
магістралей  
    }  
  
    lcd.setCursor(0, 1);  
    lcd.print("Manual Done    ");  
}
```

|     |      |          |        |     |                       |      |
|-----|------|----------|--------|-----|-----------------------|------|
|     |      |          |        |     | МММТ 480.010.010 - ПЗ | Адк. |
|     |      |          |        |     |                       | 51   |
| Зм. | Адк. | № докум. | Підпис | Дат |                       |      |

## 6. КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

### 6.1. Розробка друкованої плати

Друкована плата (ДП, англ. Printed Circuit Board, PCB) є конструктивною та технологічною основою проектного пристрою. Вона забезпечує надійне механічне фіксування електронних компонентів і створення стійких електричних з'єднань між ними відповідно до розробленої принципової схеми. У межах даного дипломного проекту топологію ДП було спроектовано спеціально для апаратної реалізації системи автоматизованого керування поливом газонів на базі мікроконтролера ATmega328P.

Як базовий матеріал для виготовлення плати обрано двошаровий фольгований склотекстоліт марки FR4. Даний матеріал характеризується високими діелектричними властивостями, низьким тангенсом кута діелектричних втрат та високою механічною міцністю на згин і розрив. Струмopровідні мідні доріжки, що формують комутаційні контури між елементами, розташовані на обох сторонах плати (верхньому та нижньому шарах). Гальванічний зв'язок між сигнальними та силовими лініями різних шарів забезпечується за допомогою міжшарових металізованих перехідних отворів (vias).

Конструкція друкованої плати передбачає наявність:

- монтажних (технологічних) отворів для надійної фіксації плати всередині захисного корпусу за допомогою гвинтового кріплення;
- контактних майданчиків та наскрізних отворів для встановлення дискретних компонентів і роз'ємів (вивідний монтаж, ТНТ).

Фіксація елементів та забезпечення стабільного електричного контакту виконується методом паяння, що гарантує високу вібростійкість та довговічність пристрою за умов тривалої експлуатації.

Трасування та розведення топології друкованої плати виконано у спеціалізованому хмарному середовищі автоматизованого проектування (САПР) EasyEDA [13]. Дана інженерна платформа функціонує безпосередньо через веб-

|     |      |          |        |     |                       |      |
|-----|------|----------|--------|-----|-----------------------|------|
|     |      |          |        |     | МММТ 480.010.010 - ПЗ | Док. |
|     |      |          |        |     |                       | 52   |
| Зм. | Док. | № докум. | Підпис | Дат |                       |      |

браузер, забезпечуючи наскрізний цикл розробки: від створення принципової електричної схеми до автоматичного або інтерактивного трасування провідників. Крім того, вбудовані інструменти проектування дозволяють проводити автоматичну перевірку дотримання технологічних зазорів і правил проектування (DRC – Design Rule Check), що мінімізує ймовірність виникнення помилок перед передачею плати у виробництво.

Результати проектування та загальний вигляд топології розробленої друкованої плати пристрою представлено на рис. 6.1–6.2.

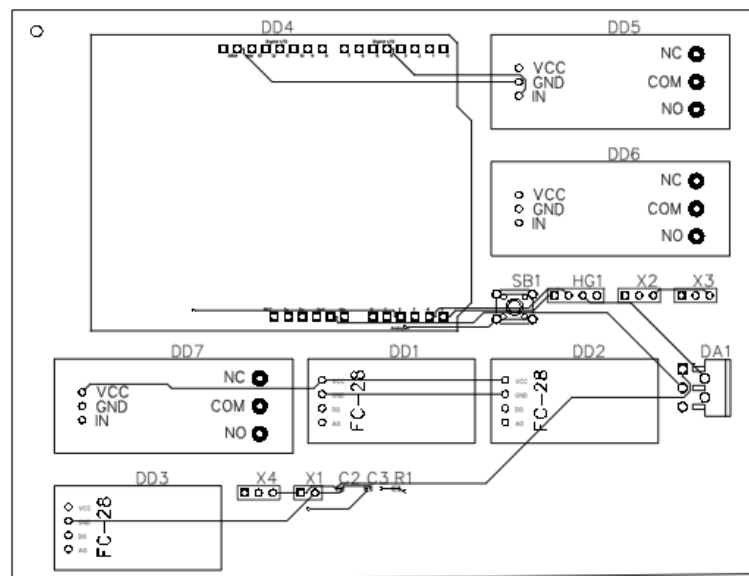


Рис. 6.1. Перший шар плати

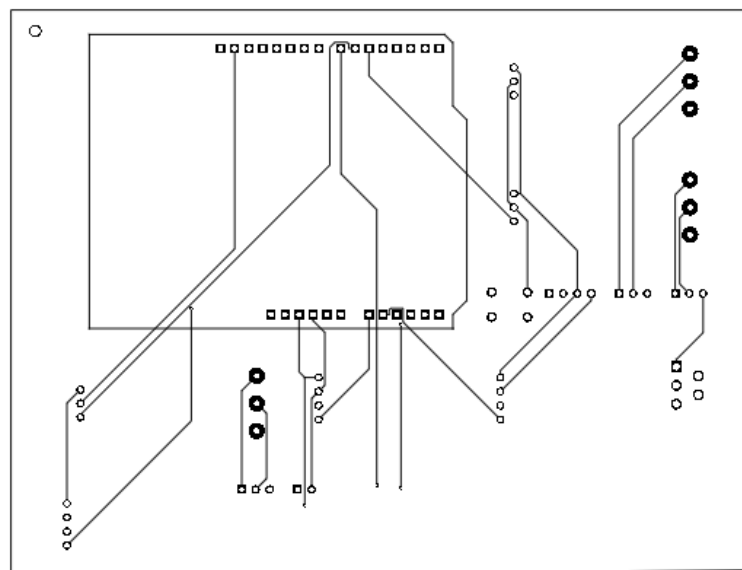


Рис. 6.2. Другий шар плати

Спроектowana друкована плата виконана за двошаровою структурою з двостороннім розташуванням струмопровідних шарів та міжшаровою металізацією. Геометричні габарити плати становлять 104x134 мм при стандартній товщині діелектричної основи 1,6 мм. Як базовий матеріал підкладки використано високоякісний склотекстоліт марки FR4. Топологія сигнальних ліній сформована з номінальною шириною струмопровідних доріжок 0,25 мм, а для гальванічного зв'язку між шарами застосовано металізовані перехідні отвори з внутрішнім діаметром 0,3 мм. Монтажні отвори під виводи дискретних компонентів мають діаметр 0,6 мм, що зумовлено вибором класичної технології вивідного монтажу в наскрізні отвори як основного методу збирання даного електронного модуля.

На розробленій друкованій платі інтегровано комплекс апаратних компонентів, основу якого становить мікроконтролер ATmega328P, реалізований у форм-факторі платформи Arduino Uno. Візуалізація параметрів технологічного процесу забезпечується символьним рідкокристалічним дисплеєм LCD 1602, підключеним через послідовний інтерфейс I2C. Для збору первинної інформації про стан об'єкта автоматизації передбачено підключення трьох аналогових датчиків вологості ґрунту моделей FC-28 або YL-69. Комутація виконавчих органів здійснюється за допомогою триканального модуля електромагнітних реле, виходи якого виведені на три відповідні силові роз'єми для безпосереднього підключення електромагнітних клапанів із робочою напругою 12 В.

Енергетична підсистема плати містить імпульсний DC-DC знижувальний перетворювач напруги на базі мікросхеми LM2596, який трансформує вхідну напругу для стабільного живлення логічної частини системи та мікроконтролера. Введення команд оператора для примусового активації контуру поливу реалізовано за допомогою тактової кнопки з типом контактів SPST-NO. Обв'язка друкованої плати також включає пасивні допоміжні елементи, зокрема резистори та фільтруючі конденсатори. Підключення зовнішнього джерела первинного живлення номіналом 12 В здійснюється через надійні клемні гвинтові роз'єми серії ХН або KF.

|     |      |          |        |     |                       |      |
|-----|------|----------|--------|-----|-----------------------|------|
|     |      |          |        |     | МММТ 480.010.010 - ПЗ | Дрк. |
|     |      |          |        |     |                       | 54   |
| Зм. | Дрк. | № докum. | Підпис | Дат |                       |      |

При проектуванні топології на платі було передбачено технічну резервну зону, нанесено полярне маркування компонентів, шовкографічні позначення функціонального призначення пінів та орієнтацію ліній протікання струму. Геометричні зазори та відстані між сусідніми струмопровідними доріжками повністю відповідають нормативним вимогам електробезпеки та галузевим стандартам проектування. Верифікація всіх конструкційних шарів, міжшарових переходів та монтажних отворів виконана в автоматичному режимі за допомогою вбудованого в САПР EasyEDA інструменту контролю проектних правил (DRC-перевірка), що гарантує відсутність технологічних дефектів під час фабричного виробництва. Для захисту від зовнішніх факторів та механічних пошкоджень автоматичну систему поливу газонів запропоновано розмістити в герметичному пластиковому корпусі з габаритними розмірами 110x140x47 мм.

## 6.2. Розрахунок похибки вимірювання вологості

Для верифікації метрологічних характеристик розробленої вимірювальної системи проведено експериментальне дослідження стабільності показань первинного перетворювача на фіксованій ділянці газону з відносно однорідним рівнем зволоження. Отримано масив із 10 послідовних точок (значень), які фіксує та обчислює мікроконтролер за допомогою аналогових датчиків вологості ґрунту.

$$W_i = (59,5; 59,9; 60,2; 59,8; 60,4; 59,3; 59,9; 60,6; 60,1; 61,2; 60,01)$$

Мікроконтролер здійснює зчитування вихідної напруги з датчика за допомогою 10-бітного вбудованого аналого-цифрового перетворювача (АЦП), після чого програмно масштабує отримані дискретні відліки (0–1023) у відносні одиниці вологості від 0 % (абсолютно сухий ґрунт) до 100 % (максимальне насичення водою).

За відомими формулами шукаємо:

1) Середнє арифметичне  $S$  за (6.1):

$$W_{\text{сеп}} = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} W_i \cong 60,01 \% \quad (6.1)$$

2) Похибки повторних вимірювань  $\Delta W_i$  та  $\Delta W_i^2$ .

|     |      |          |        |     |                       |      |
|-----|------|----------|--------|-----|-----------------------|------|
|     |      |          |        |     | МММТ 480.010.010 - ПЗ | Авк. |
|     |      |          |        |     |                       | 55   |
| Зм. | Авк. | № докум. | Підпис | Дат |                       |      |

$$\Delta W = |W_{сер} - W_i| \quad (6.2)$$

$$\Delta W_i^2 = (W_{сер} - W_i)^2, \quad (6.3)$$

де  $i=1,2, \dots, 10$

Таблиця 4.1. Результати вимірювання та обчислення похибок вологості ґрунту

| № з.п. | W <sub>i</sub> , % | Δ W <sub>i</sub> , % | Δ W <sub>i</sub> <sup>2</sup> , % |
|--------|--------------------|----------------------|-----------------------------------|
| 1      | 59,5               | 0,51                 | 0,2601                            |
| 2      | 59,9               | 0,11                 | 0,0121                            |
| 3      | 60,2               | 0,19                 | 0,0361                            |
| 4      | 59,8               | 0,21                 | 0,0441                            |
| 5      | 60,4               | 0,39                 | 0,1521                            |
| 6      | 59,3               | 0,71                 | 0,5041                            |
| 7      | 59,9               | 0,11                 | 0,0121                            |
| 8      | 60,6               | 0,59                 | 0,3481                            |
| 9      | 60,1               | 0,09                 | 0,0081                            |
| 10     | 61,2               | 1,19                 | 1,4161                            |
| сер.   | 60,01              | 0,41                 | 2,7930                            |

3) Випадкову похибку вимірювання. З табл. 4.1 знайдемо коефіцієнт Стюдента для 10 вимірювань і довірчої ймовірності 0,95  $t_{0,95}=2,26$ ; розрахуємо за (6.4) вибіркове середнє квадратичне відхилення:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\Delta W_i^2}{n \cdot (n-1)}} = \sqrt{\frac{2,793}{90}} = \sqrt{0,03103} \approx 0,176 \% \quad (6.4)$$

та знайдемо випадкову похибку (4.4):

$$\Delta W_{вин} = t_{0,95} \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = 2,26 \cdot \frac{0,176}{\sqrt{10}} = 2,26 \cdot 0,0557 \approx 0,126 \% \quad (6.5)$$

4) Похибку приладу знаходимо за (4.6):

$$\Delta W_{пр} = \frac{k \cdot W_{гр}}{100 \cdot \sqrt{3}} \cdot t_p \quad (6.6)$$

Для надійної ймовірності  $P = 0,95$  з табл. 4.2 знайдемо  $t_{0,95}=2,0$ . Враховуючи, що мах значення вимірювання вологості становить  $W_{гр} = 100\%$ , а умовний клас точності  $k = 1$ , похибка приладу становить:

$$\Delta W_{пр} = \frac{1 \cdot 100}{100 \cdot \sqrt{3}} \cdot 2 \approx 1,15 \%$$

|     |      |          |        |     |                       |      |
|-----|------|----------|--------|-----|-----------------------|------|
|     |      |          |        |     | МММТ 480.010.010 - ПЗ | Адк. |
|     |      |          |        |     |                       | 56   |
| Зм. | Адк. | № докум. | Підпис | Дат |                       |      |

5) Похибку заокруглення за (6.7) дискретність дисплея  $h=0,1$ :

$$\Delta W_{\text{заокр}} = \frac{h}{2\sqrt{3}} = \frac{0,1}{2\sqrt{3}} \approx 0,03 \% \quad (6.7)$$

6) Відповідно до метрологічних правил, якщо одна з похибок (інструментальна чи випадкова) є домінуючою, загальну абсолютну похибку розраховують через квадратичну суму значущих складових:

$$\Delta W_{\Sigma} = \sqrt{\Delta W_{\text{вип}}^2 + \Delta W_{\text{пр}}^2 + \Delta W_{\text{заокр}}^2} = \sqrt{0,4^2 + 1,15^2 + 0,03^2} = 1,2 \%$$

7) Відносну похибку прорахуємо (6.8):

$$\delta = \frac{\Delta W_{\Sigma}}{\Delta W_{\text{сер}}} \cdot 100\% = \frac{1,2}{60,01} \cdot 100\% \approx 2,0\% \quad (6.8)$$

Кінцевий результат вимірювання записується у вигляді:

$$S = (60,0 \pm 1,2) \% ; P = 0,95 ; \delta = 2,0\%$$

### 6.3. Розрахунок надійності

Надійність пристрою – це його властивість зберігати працездатність у встановлених умовах експлуатації протягом заданого часу або напрацювання. Вона характеризує здатність пристрою безвідмовно виконувати задані функції, не допускаючи збоїв, поломок чи зниження ефективності роботи.

При розрахунку надійності технічних систем чи елементів зазвичай визначаються такі основні кількісні показники надійності:

Ймовірність безвідмовної роботи ( $P(t)$ ) – імовірність того, що об'єкт працюватиме безвідмовно протягом часу:

$$P(t) = e^{-\lambda t} \approx 1 - \lambda t \quad (6.9)$$

де  $\lambda$  – інтенсивність відмов,

$t$  – час роботи.

Середній час безвідмовної роботи ( $T$ ):

|     |      |          |        |     |                       |      |
|-----|------|----------|--------|-----|-----------------------|------|
|     |      |          |        |     | МММТ 480.010.010 - ПЗ | Адк. |
|     |      |          |        |     |                       | 57   |
| Зм. | Адк. | № докум. | Підпис | Дат |                       |      |

$$T = \int_0^{\infty} P(t)dt = \frac{1}{\lambda} \quad (6.10)$$

Інтенсивність відмов ( $\lambda$ ) — кількість відмов у розрахунку на одиницю часу:

$$\lambda = \frac{1}{T} \quad (6.11)$$

Виріб призначений для роботи на відкритому повітрі або в захищених від опадів технічних зонах (наприклад, під навісом):

- робочий діапазон температур: від +5 °С до +40 °С;
- відносна вологість повітря: до 85% при +25 °С без конденсації;
- атмосферний тиск: у межах 630–800 мм рт. ст.;
- конструктивно виконано з урахуванням зовнішньої експлуатації (ізоляція компонентів, герметичний корпус контролера, екранування);
- вібростійкий, ударостійкий у межах нормальної побутової експлуатації;
- система призначена для перервного режиму роботи, з автоматичним і ручним запуском поливу.

Надійність особливо критична для автоматизованих систем, таких як системи поливу, де відмова окремого елемента може призвести до повної зупинки функціонування або втрати врожаю, надмірного споживання води тощо.

У системі поливу на Arduino рівень надійності визначається якістю компонентів (реле, клапанів, стабілізатора), коректністю монтажу та захистом від впливу навколишнього середовища.

Розрахунок параметра потоку відмов проводиться за формулою:

$$\lambda = \sum_{i=1}^n N_i \lambda_i, \quad (6.12)$$

де  $n$  – загальне число групи КВ, що входять до складу проектованого виробу;  
 $N_i \lambda_i$  – кількість і інтенсивність відмовлень КВ  $i$ -ої групи відповідно.

Інтенсивність відмовлень КВ  $i$ -ої групи в робочому режимі визначалася по формулі

$$\lambda_i = \lambda_{oi} a_i \dots a_n. \quad (6.13)$$

|     |      |          |        |     |                       |      |
|-----|------|----------|--------|-----|-----------------------|------|
|     |      |          |        |     | МММТ 480.010.010 - ПЗ | Адк. |
|     |      |          |        |     |                       | 58   |
| Зм. | Адк. | № докum. | Підпис | Дат |                       |      |

де  $\lambda_{oi}$  – інтенсивність відмовлень КВ в номінальному режимі і нормальних умовах;  $a_i \dots a_n$  – поправочні коефіцієнти, що враховують умови роботи (кліматичні і механічні впливи), електричне навантаження критичних вузлів, температура навколишнього середовища, а також співвідношення між різними типами відмов.

Формули, за якими визначалась інтенсивність відмов для кожної групи компонентів виробу, наведено в таблиці 6.2. Числові значення були отримані на основі довідкових даних, вказаних у [15], з урахуванням вихідних параметрів проєктованого виробу.

По формулі (6.12) визначаємо потік відмовлень виробу (сума величин в графі 11 таблиці 6.2):

$$\lambda = 71,27 \cdot 10^{-6} \text{ 1/год.}$$

Ймовірність безвідмовної роботи виробу протягом часу  $t$  визначалась по формулі:

$$P(t) = e^{-\lambda t} \approx 1 - \lambda t \quad (6.14)$$

де  $\lambda$  – параметр потоку відмовлень;  $t$  – час роботи виробу (год) [15].

Таблиця 6.2.Перелік комплектуючих виробів

| Поз. | Найменування                | Кіл. | $\lambda_{i0} \cdot 10^6$<br>год <sup>-1</sup> | Формула<br>розрахунку<br>$\lambda_i$                | Коефіцієнти |       |       |       | $\Sigma \lambda_i \cdot 10^6$<br>год <sup>-1</sup> |
|------|-----------------------------|------|------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-------------|-------|-------|-------|----------------------------------------------------|
| 1    | Мікросхеми                  |      |                                                |                                                     | $a_1$       | $a_2$ | $a_4$ | $a_6$ |                                                    |
|      | Arduino Uno                 | 1    | 0,3                                            | $\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4 \cdot a_6$ | 2,1         | 1     | 1,3   | 1     | 0,819                                              |
|      | LM2596                      | 1    | 0,3                                            | $\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4 \cdot a_6$ | 2,1         | 1     | 1,3   | 1     | 0,819                                              |
| 2    | Датчики                     |      |                                                |                                                     |             |       |       |       |                                                    |
|      | YL-69                       | 3    | 0,3                                            | $\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4 \cdot a_6$ | 2,1         | 1     | 1,3   | 1     | 2,457                                              |
| 3    | Резистори                   | 1    | 0,008                                          | $\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4$           | 2,1         | 0,8   |       | 1     | 0,01344                                            |
| 4    | Конденсатори                | 2    | 0,01                                           | $\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4$           | 2,1         | 0,8   |       | 1     | 0,0336                                             |
| 5    | Кнопка<br>тактова           | 1    | 0,1                                            | $\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4$           | 2,1         |       |       | 1     | 0,21                                               |
| 6    | Реле на 5В                  | 3    | 0,1                                            | $\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4$           | 2,1         |       |       | 1     | 0,63                                               |
| 7    | Дисплей                     |      |                                                |                                                     |             |       |       |       |                                                    |
|      | LCD 1602                    | 1    | 0,3                                            | $\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4 \cdot a_6$ | 2,1         | 1     | 1,3   | 1     | 0,819                                              |
| 8    | Електромагніт<br>ні клапани | 3    | 0,3                                            | $\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4 \cdot a_6$ | 2,1         | 1     | 1,3   | 1     | 2,457                                              |
| 9    | Пайки                       | 70   | 0,0001                                         | $\lambda_0 \cdot a_1$                               | 2,1         |       |       |       | 0,0147                                             |

| Поз. | Найменування            | Кіл. | $\lambda_{i0} \cdot 10^6$<br>год <sup>-1</sup> | Формула<br>розрахунку<br>$\lambda_i$ | Коефіцієнти |  |  |   | $\Sigma \lambda_i \cdot 10^6$<br>год <sup>-1</sup> |
|------|-------------------------|------|------------------------------------------------|--------------------------------------|-------------|--|--|---|----------------------------------------------------|
| 10   | Адаптер<br>живлення 12В | 1    | 30                                             | $\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_4$      | 2,1         |  |  | 1 | 63                                                 |
| 11   | Разом                   |      |                                                |                                      |             |  |  |   | 71,27                                              |

Дані розрахунку  $P(t)$  приведені в таблиці 6.3.

Таблиця 6.3. Ймовірність безвідмовної роботи виробу протягом часу  $t$

|         |         |         |         |          |          |         |         |
|---------|---------|---------|---------|----------|----------|---------|---------|
| 250     | 500     | 750     | 1000    | 2000     | 5000     | 8000    | 10000   |
| 0,98233 | 0,96499 | 0,94795 | 0,93121 | 0,867148 | 0,700218 | 0,56542 | 0,49031 |

На графіку,веденому на рис 6.3 приведена залежність надійності  $P(t)$ .

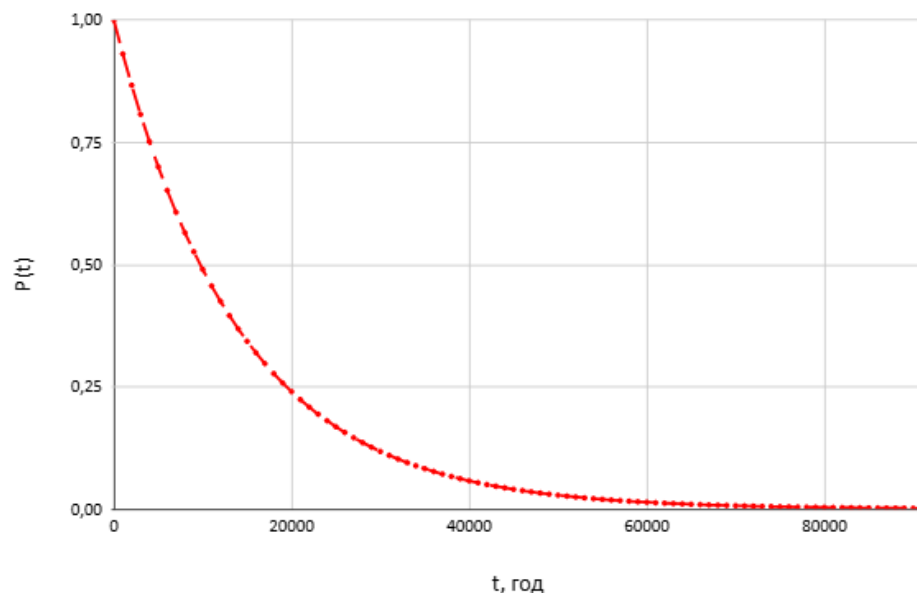


Рис.6.3. Ймовірність безвідмовної роботи виробу протягом часу  $t$

Середній наробіток до відмовлення виробу визначався по формулі:

$$T_0 = \lambda^{-1} \quad (2.4)$$

Підставляючи дані в формулу (2.4) одержимо

$$T = (71,27 \cdot 10^{-6})^{-1} = 14030,61 \text{ годин.}$$

## 7.ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ

### 7.1.Охорона праці

У контексті сучасної інженерної практики **охорона праці** визначається як прикладний комплекс організаційних принципів та технічних засобів, що інтегруються в робоче середовище для повної ліквідації або мінімізації професійних ризиків, аварійних ситуацій та соматичних ушкоджень обслуговуючого персоналу. Паралельно з цим, безпека життєдіяльності виступає як методологічна основа, що оптимізує ергономічні взаємозв'язки між людиною, технічним вимірювальним комплексом та навколишнім простором споруди захищеного ґрунту.

Етапи проектування, безпосереднього монтажу компонентів на друковану плату, паяння та подальшого калібрування вимірювальних каналів комп'ютеризованої системи моніторингу вологості мають виражену технологічну специфіку. Створення цього пристрою передбачає роботу з джерелами термічної небезпеки (паяльні станції), хімічно активними матеріалами (свинцеві та безсвинцеві припої, спирто-каніфольні та кислотні флюси), а також електронними компонентами, що чутливі до статичної електрики. Особливу увагу приділено тому факту, що розроблений контролер та занурювані в землю датчики вологості експлуатуватимуться всередині замкнутого об'єму теплиці, для якого характерні постійна штучна циркуляція води, конденсат та агресивне випаровування ґрунтових розчинів. Таке специфічне поєднання струмопровідних ліній із високим рівнем вологості повітря створює підвищену небезпеку ураження електричним струмом і вимагає бездоганного прорахунку захисних оболонок та ізоляції.

У цьому розділі виконано детальний метрологічний та інженерний аналіз небезпечних факторів, а також обґрунтовано вибір засобів захисту (включаючи захисне заземлення, вибір класу захисту корпусу IP та організацію вентиляції лабораторного робочого місця). Усі розраховані параметри та організаційні регламенти повністю узгоджені з державними нормативно-правовими актами

|     |      |          |        |     |                       |      |
|-----|------|----------|--------|-----|-----------------------|------|
|     |      |          |        |     | МММТ 480.010.010 - ПЗ | Дрк. |
|     |      |          |        |     |                       | 61   |
| Зм. | Дрк. | № докum. | Підпис | Дат |                       |      |

України (НПАОП), стандартами безпеки праці (ДСТУ) та вимогами санітарного законодавства щодо роботи з електронною обчислювальною технікою та мікроконтролерними системами [16].

## 7.2. Законодавчі акти з охорони праці

Правове регулювання, організація роботи та забезпечення належних безпечних умов праці під час проектування, налагодження та подальшої експлуатації комп'ютеризованої системи керування вологості в умовах теплиць базуються на чинному законодавстві України. Базовим фундаментом у цій сфері є Закон України «Про охорону праці», який визначає основні положення щодо реалізації конституційного права громадян на захист їхнього життя і здоров'я у процесі трудової діяльності.

Крім цього, правові відносини та санітарно-гігієнічні вимоги регулюються такими державними законодавчими актами та кодексами:

– Кодекс законів про працю України (КЗпП): регламентує правові засади й гарантії створення безпечних і нешкідливих умов праці на робочих місцях;

– Закон України «Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення»: визначає вимоги щодо дотримання гігієнічних нормативів у виробничих та лабораторних приміщеннях.

Безпосередній процес розробки макета, програмування мікроконтролера та експлуатації вимірювальних систем у специфічних умовах захищеного ґрунту (теплиці) підпорядковується вимогам таких підзаконних нормативно-правових актів (НПАОП):

1.НПАОП 0.00-1.28-10 «Правила охорони праці під час експлуатації електронно-обчислювальних машин». Цей документ регламентує вимоги до організації робочого місця інженера-програміста, параметри освітлення, екранного випромінювання та часові режими роботи з комп'ютерною технікою під час написання та тестування програмного забезпечення.

|     |      |          |        |     |                       |      |
|-----|------|----------|--------|-----|-----------------------|------|
|     |      |          |        |     | МММТ 480.010.010 - ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докum. | Підпис | Дат |                       | 62   |

2.НПАОП 40.1-1.21-98 «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів». Встановлює жорсткі вимоги електробезпеки при роботі з паяльними станціями, вимірювальними приладами (осцилографами, мультиметрами) та блоками живлення. Оскільки компоненти системи в теплиці взаємодіють із вологим середовищем, дотримання цих правил є критично важливим для запобігання ураженню струмом.

3.ДСТУ EN 60529:2014 «Ступені захисту, що забезпечуються оболонками (Код IP)». Визначає стандарти захисту корпусів електронних пристроїв від проникнення вологи та пилу, що є базовим критерієм при проектуванні захисного кожуха для тепличного контролера.

4.ДСН 3.3.6.042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень». Регламентує оптимальні та допустимі параметри температури, відносної вологості й швидкості руху повітря, що є актуальним як для етапу лабораторного збирання системи, так і для технологічних зон самої теплиці.

5.НАПБ Б.03.002-2007 «Норми визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою». Використовується для класифікації приміщення лабораторії (де проводяться паяльні роботи) та споруд теплиці за рівнем пожежної безпеки під час монтажу електрообладнання.

Інтеграція вимог зазначених нормативних документів на етапі проектування комп'ютеризованої системи дозволяє створити технічно надійний пристрій та гарантувати безпеку обслуговуючого персоналу [16].

### **7.3.Безпека життєдіяльності на підприємстві**

Впровадження та експлуатація комп'ютеризованої системи вимірювання та контролю вологості ґрунту в умовах сучасного тепличного підприємства вимагає комплексного підходу до безпеки життєдіяльності. Особливістю мікроклімату закритих агротехнічних споруд є постійне поєднання високої

|     |      |          |        |     |                       |      |
|-----|------|----------|--------|-----|-----------------------|------|
|     |      |          |        |     | МММТ 480.010.010 - ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докum. | Підпис | Дат |                       | 63   |

відносної вологості (до 80...90%), штучного поливу, підвищеної температури та наявності розгалуженої мережі електрообладнання.

Відповідно до аналізу умов праці на підприємстві, під час обслуговування розробленої системи на персонал можуть впливати такі небезпечні та шкідливі виробничі фактори:

– Підвищена небезпека ураження електричним струмом: є критичним фактором через роботу контролерів, занурювальних датчиків та виконавчих електромагнітних клапанів у безпосередньому контакті з вологим ґрунтом та водою.

– Неприятливий мікроклімат: тривале перебування персоналу в зоні з високою вологістю та підвищеною температурою повітря в теплиці.

– Хімічна небезпека: можливий контакт із мінеральними добривами або пестицидами, які додаються у воду для поливу і можуть хімічно впливати на датчики та корпуси пристроїв.

Для нівелювання цих ризиків на підприємстві передбачено такі інженерно-технічні та організаційні заходи БЖД:

#### 1. Технічні засоби електробезпеки в теплиці

– Низьковольтне живлення периферії: для максимальної безпеки всі датчики вологості ґрунту та лінії зв'язку з ними функціонують на безпечній наднизькій напрузі до 5 В. Живлення котушок виконавчих гідроклапанів та плати керування становить 12 В, що повністю виключає ризик смертельного ураження струмом при випадковому контакті.

– Гальванічна розв'язка та захист оболонок: силова частина системи (мережевий адаптер 220 В) винесена за межі зони підвищеної вологості. Центральний блок автоматики та комутаційні вузли реле розміщуються у герметичному пластиковому корпусі із класом захисту не нижче IP65 (захист від пилу та струменів води).

– Застосування ПЗВ: підключення первинного блока живлення системи до загальнозаводської мережі виконується через пристрій захисного вимкнення (ПЗВ) зі струмом спрацьовування не більше 10 мА.

|     |      |          |        |     |                       |      |
|-----|------|----------|--------|-----|-----------------------|------|
|     |      |          |        |     | МММТ 480.010.010 - ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докum. | Підпис | Дат |                       | 64   |

## 2. Нормалізація умов праці та виробнича санітарія

– Автоматизація процесів: впровадження розробленої комп'ютеризованої системи мінімізує час перебування людини у несприятливих умовах теплиці, оскільки моніторинг та полив здійснюються автономно.

– Організація вентиляції: для зниження ризику накопичення конденсату на електронних модулях та покращення умов праці людей, теплиця обладнується припливно-витяжною вентиляцією, яка координується із загальним циклом поливу.

– Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ): персонал, який здійснює технічне обслуговування пристрою та калібрування датчиків у теплиці, забезпечується діелектричним взуттям, прогумованими рукавицями та спецодягом відповідно до вимог галузевих норм.

## 3. Пожежна безпека об'єкта

Електронні компоненти системи проходять обов'язковий тепловий розрахунок для запобігання перегріву. Корпус пристрою виготовляється із пластику, що не підтримує горіння (наприклад, ABS-пластик із самозатухаючими домішками). Мережеві лінії захищаються автоматичними вимикачами від короткого замикання, яке в умовах високої вологості є однією з головних причин займання електропроводки.

## 7.4. Навчання, інструктаж працівників з питань охорони праці

Усі працівники тепличного комплексу (інженери з автоматизації, техніки, оператори), які здійснюють монтаж, налаштування або поточну експлуатацію системи, обов'язково проходять такі види інструктажів:

– Вступний інструктаж: Проводиться спеціалістом з охорони праці при прийнятті працівника на роботу. Ознайомлює з загальними правилами внутрішнього розпорядку тепличного підприємства, специфікою небезпечних зон та загальними вимогами безпеки.

|     |      |          |        |     |                       |      |
|-----|------|----------|--------|-----|-----------------------|------|
|     |      |          |        |     | МММТ 480.010.010 - ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |     |                       | 65   |
| Зм. | Арк. | № докum. | Підпис | Дат |                       |      |

– Первинний інструктаж: Проводиться безпосередньо на робочому місці (в приміщенні теплиці або лабораторії) перед початком виконання обов'язків. Керівник робіт детально розбирає інструкції з експлуатації розробленого мікроконтролерного пристрою, правила безпечного підключення датчиків вологості до АЦП, комутації 12 В клапанів та поводження з лініями живлення 220 В.

– Повторний інструктаж: Здійснюється безпосередньо на робочому місці не рідше одного разу на 6 місяців (для робіт із підвищеною небезпекою — раз на 3 місяці) за програмою первинного інструктажу для оновлення та закріплення знань.

– Позаплановий інструктаж: Проводиться при зміні технічних умов, модернізації системи (наприклад, заміні контролера Arduino на іншу платформу, оновленні контуру реле), порушенні працівниками вимог безпеки або після тривалої перерви в роботі (більше 60 днів).

– Цільовий інструктаж: Організовується перед виконанням разових робіт, що не пов'язані з безпосередніми обов'язками (наприклад, ліквідація наслідків аварійного прориву гідравлічної системи поливу теплиці, масштабний демонтаж кабельних трас).

## 2. Навчання та допуск до робіт із підвищеною небезпекою

Експлуатація та ремонт розробленої системи автоматизації включають процеси, що відносяться до робіт із підвищеною небезпекою (обслуговування електроустановок, паяння, робота в замкнених спорудах із підвищеною вологістю).

– Спеціальне навчання: Посадові особи та фахівці, які виконують монтаж і налаштування електронних блоків у теплицях, раз на рік проходять спеціальне навчання та перевірку знань відповідних нормативних актів (зокрема, Правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів).

– Група з електробезпеки: Інженерно-технічний персонал, який здійснює ремонт силовими реле, імпульсних блоків живлення та підключення системи до мережі 220 В, повинен мати кваліфікаційну групу з електробезпеки не нижче

|     |      |          |        |     |                       |      |
|-----|------|----------|--------|-----|-----------------------|------|
|     |      |          |        |     | МММТ 480.010.010 - ПЗ | Док. |
| Зм. | Док. | № докum. | Підпис | Дат |                       | 66   |

III. Оператори теплиці, які лише візуально контролюють показання LCD-дисплея та натискають кнопку ручного поливу, повинні мати II групу.

– Перевірка знань: Після завершення навчання спеціально створена комісія підприємства проводить перевірку знань працівників. Результати оформлюються протоколом, а працівникам видаються посвідчення встановленого зразка, що є офіційним допуском до самостійної роботи.

Регулярне проведення інструктажів та належний рівень підготовки персоналу дозволяють звести до мінімуму людський фактор як причину виникнення аварійних ситуацій чи ураження електричним струмом.

|     |      |          |        |     |                       |      |
|-----|------|----------|--------|-----|-----------------------|------|
|     |      |          |        |     | МММТ 480.010.010 - ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |     |                       | 67   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дат |                       |      |

## ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі бакалавра було розроблено комп'ютеризовану систему вимірювання та контролю вологості ґрунту у теплиці.

За результатами виконання роботи зроблено такі основні висновки:

1.Проведено розгорнутий аналітичний огляд сучасних технічних засобів автоматизованого контролю параметрів мікроклімату й вологості ґрунту. На основі порівняльного аналізу існуючих аналогів обґрунтовано доцільність створення системи вимірювання та контролю вологості ґрунту у теплиці.

2.Розроблено структурну та принципову електричну схеми системи вимірювання та контролю вологості ґрунту у теплиці. Обчислювальним ядром системи обрано мікроконтролер ATmega328P (на базі платформи Arduino Uno), а як первинні перетворювачі – аналогові датчики вологості ґрунту моделі YL-69. Для комутації виконавчих механізмів інтегровано триканальний модуль електромагнітних реле та соленоїдні клапани на напругу 12 В.

3.Спроековано топологію двошарової друкованої плати у програмному середовищі автоматизованого проектування EasyEDA. Розроблена друкована плата має габаритні розміри 104x134 мм та містить зони для підключення імпульсного стабілізатора напруги LM2596, РК-дисплея LCD 1602 з інтерфейсом I2C, клем живлення. Захист апаратної частини передбачено шляхом її розміщення у пластиковому корпусі розміром 110x140x47 мм.

4.Створено блок-схему алгоритму функціонування системи та розроблено програмне забезпечення у середовищі розробки Arduino IDE. Реалізоване програмне забезпечення забезпечує циклічний енергоефективний моніторинг датчиків (кожні 6 годин), автономне прийняття рішень щодо поливу зафіксованих зон, а також підтримує режим пріоритетного ручного запуску за допомогою кнопки.

5.Рохраховано за результатами експериментальних досліджень та статистичної обробки вибірки послідовних вимірювань вологості ( $W = 60,01\%$ ) визначено, що загальна абсолютна похибка вимірювального каналу становить 1,2%, а відносна похибка не перевищує 2,0%, що підтверджує належну

|     |      |          |        |      |                       |      |
|-----|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|     |      |          |        |      | МММТ 480.010.010 - ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                       | 68   |
| Зм. | Арк. | № докum. | Підпис | Дат. |                       |      |

точність, стабільність та конкурентоспроможність розробленої системи контролю та вимірювання.

6.Опрацьовано та впроваджено комплекс організаційно-технічних заходів з охорони праці, виробничої санітарії, електро- та пожежної безпеки з урахуванням специфіки підвищеної вологості тепличних споруд. Обґрунтовано правила безпеки життєдіяльності підприємства, розроблено вимоги до навчання та проведення періодичних інструктажів персоналу під час монтажу, налагодження та експлуатації комп'ютеризованого обладнання.

.

|     |      |          |        |     |                       |      |
|-----|------|----------|--------|-----|-----------------------|------|
|     |      |          |        |     | МММТ 480.010.010 - ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |     |                       | 69   |
| Зм. | Арк. | № докum. | Підпис | Дат |                       |      |

## ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Контролер поливу Hunter ХС-401i-E. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://poliv-service.kiev.ua/ua/p1265712061-kontroller-poliva-hunter.html>.
2. Контроллер Rain Bird ESP TM2. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://rain-bird.com.ua/shop/kontrollery/kontroller-rain-bird-esp-tm2-4-lnk-wifi-sovmestimyj>.
3. Автоматичний таймер поливу НСТ-322. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://hugo.com.ua/ua/p2587833766-avtomaticheskij-tajmer-poliva.html>.
4. Мікропроцесори та мікроконтролери: навч. посіб. для студ. спеціальності 153 «Мікро- та наносистемна техніка», освітньої програми «Мікро- та наноелектроніка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: Д. Д. Татарчук, Ю. В. Діденко. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 238с.
5. Що таке дисплей [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.leddisplayfactory.com/uk/blog/what-is-a-led-display-what-is-a-digital-led-display>.
6. Arduino Uno. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://kosmodrom.ua/ru/otladochnaya-plata/arduino-uno-r3-type-c-2.html>.
7. Датчик вологості YL-69. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://neox.com.ua/product/datchik-vlazhnosti-pochvy-gigrometr>.
8. Реле 5 В 10 А одн канальне. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://myproject.com.ua/1-kanalnij-modul-rele-5v-bez-optoizoljaciji-ua.html>.
9. Електромагнітний клапан 1/2" DC 12 В. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://detalipro.in.ua/klapan-elektromagnitnij-12-12v-diymore>.
10. DataSheet LCD1602 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/990149/LUMEX/LCM-S01602-DTR-M-3.html>.

|     |      |          |        |     |                       |      |
|-----|------|----------|--------|-----|-----------------------|------|
|     |      |          |        |     | МММТ 480.010.010 - ПЗ | Адк. |
|     |      |          |        |     |                       | 70   |
| Зм. | Адк. | № докum. | Підпис | Дат |                       |      |

11. Модуль кнопки. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://arduino.ua/ru/prod2595-modyl-knopki-s-kolpachkom>.

12. Перетворювач напруги LM2596. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://myproject.com.ua/lm2596-znizhuvalnij-peretvorjuvach-z-reguljuvannjam-naprugi-ta-strumu-ua.html>.

13. Адаптер живлення 12В. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://arduinoakit.com.ua/ua/p2596686776-blok-pitaniya-12v.html>

14. EasyEda офіційний сайт. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://easyeda.com>.

15. Конспект лекцій з дисципліни «Надійність і діагностика електрообладнання» для студентів за напрямом 6.050702 — Електромеханіка// Укл.: к.т.н., доцент Ключев О.В. – Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2013, 143 с.

16. Закон України "Про охорону праці" [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12>.

17. Охорона праці в галузі / П. С. Атаманчук, В. В. Мендерецький, О. П. Панчук, Р. М. Білик., 2019. – 322 с.

|     |      |          |        |     |                       |      |
|-----|------|----------|--------|-----|-----------------------|------|
|     |      |          |        |     | МММТ 480.010.010 - ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |     |                       | 71   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дат |                       |      |