

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Радіотехнічний факультет  
(повна назва інституту/факультету)

Кафедра радіоконструювання та виробництва радіоапаратури  
(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

Е. А. Нелін  
(підпис) (ініціали, прізвище)

«18» червня 2019р.

Дипломний проект  
на здобуття ступеня бакалавра

За напрямом підготовки 6.050902 Радіоелектронні апарати  
(код та назва спеціальності)

на тему: Радіоелектронний пристрій

Виконав (-ла): студент (-ка) IV курсу, групи РВЗ-31  
(шифр групи)

Бунда Дар'я Олександрівна  
(прізвище, ім'я, по батькові)

Клиш Д.І.  
(підпис)

Керівник к.т.н., доц. Дмитро С.І.  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

Д.  
(підпис)

Консультант з охорони праці доцент, к.т.н., Каштанов С.Ф.  
(назва розділу) (посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ініціали)

С.Ф.  
(підпис)

Рецензент генеральний директор ТОВ „ІТАІ-ІНЖИНІРІНГ“ В.І. Данилюк  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

В.І. Данилюк  
(підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному  
проекті немає запозичень з праць ін-  
ших авторів без відповідних посилань.

Студент Клиш Д.І.  
(підпис)

Київ – 2019 року

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут  
імені Ігоря Сікорського»

Факультет (інститут) радіотехнічний  
(повна назва)

Кафедра радіоконструювання та виробництва радіоапаратури  
(повна назва)

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

За напрямом підготовки 6.050902 Радіоелектронні апарати  
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

С.А. Нелін  
(ініціали, прізвище)

«15» квітня 2019 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проект (роботу) студенту

Бунца Дарі Євгенівича  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Радіосекторна пристрій

керівник проекту (роботи) К.М.Н., доц. Дюжаєв С.І.  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затвержені наказом по університету від «24» 05 2019р. № 1220-с

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 14.06.19

3. Вихідні дані до проекту (роботи) габаритні розміри не більше 150\*150\*150; маса не більше 400г; живлення 12В ± 5%

4. Зміст (дипломної роботи) розрахунково-пояснювальної записки (перелік завдань, які потрібно розробити) вступ, аналіз технічного завдання, схематичне проєктування, проєктування друкованої плати, розрахунок, що підтверджує правильність конструктивних рішень, розрахунок, охорона праці та безпека в нестандартних ситуаціях, висновки,

список літератури.

5. Перелік (ілюстративного) графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів тощо) схеми електричного приміщення, друкована плата як деталь, складальний креслення друкованої плати

6. Консультанти розділів проекту (роботи)\*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
3 охорони праці	Каштанов С. Ф.	РК	СЗ

7. Дата видачі завдання 15 квітня 2019 року

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Розробка та аналіз технічного завдання	15.04.19 - 26.04.19	виконано
2	Схеми-технічне проектування	24.04.19 - 03.05.19	виконано
3	Вибір електричної бази та друкованої плати	04.05.19 - 10.05.19	виконано
4	Виконання креслень електричного приміщення	11.05.19 - 16.05.19	виконано
5	Конструктивні технології розводки	17.05.19 - 19.05.19	виконано
6	Електричний розрахунок друкованої плати	20.05.19 - 23.05.19	виконано
7	Проектування у Altium Designer	24.05.19 - 30.05.19	виконано
8	Виконання креслень друкованої плати та друкованої плати	31.05.19 - 01.06.19	виконано
9	Сформулювати розрахунок параметрів	05.06.19 - 12.06.19	виконано

Студент

Роман Д.  
(підпис)

Д.О. Буца  
(ініціали, прізвище)

Керівник проекту (роботи)

СЗ  
(підпис)

Л.П. Дмитар  
(ініціали, прізвище)

\* Консультантом не може бути зазначено керівника дипломного проекту (роботи)

## АНОТАЦІЯ

Дипломний проект складається із пояснювальної записки обсягом 72 сторінки, включає 14 ілюстрацій, 8 таблиць, 3 креслення, 18 посилань, 2 додатки.

Метою дипломного проекту є розробка системи автоматичного поливу рослин на базі мікроконтролера Arduino з функцією оповіщення СМС повідомленнями.

Для вирішення поставленої мети було розглянуто вже існуючі пристрої для автоматичного поливу рослин. На основі досліджених даних визначено функціонал проєктованого приладу.

Ця система може використовуватись вдома, на фермах, садах тощо. Вона повністю автоматизована і немає потреби в будь-якій допомозі зі сторони людини.

Ключові слова: мікроконтролер, AVR, Arduino, ATmega238, полив, датчик вологості ґрунту, GSM модуль.

Бунда Д.О. РВЗ-31, 2019

## ANNOTATION

The degree project consists of an explanatory note on 72 pages, includes 14 illustrations, 8 tables, 18 links, 2 appendices.

The purpose of degree project is to develop an Arduino based automatic plant irrigation system with SMS message alert.

In order to achieve this goal, already existing devices for automatic watering of plants were considered. On the basis of the investigated data, the functional of the projected device is determined.

This system can be used home , farms, gardens, etc. It is completely automated and there is no need for any human intervention.

Keywords: microcontroller, AVR, Arduino, ATmega238, irrigation, soil moisture sensor, GSM module.

Бунда Д.О. РВ3-31, 2019

**Пояснювальна записка  
до дипломного проекту**

на тему: **Радіоелектронний пристрій**

Київ – 2019 року

Перелік скорочень, умовних позначень, термінів .....	3
ВСТУП.....	4
Розділ 1. АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ .....	5
1.1. Умови експлуатації.....	5
1.2. Вимоги до охорони природи.....	7
1.3. Аналіз існуючих методів.....	8
Розділ 2. СХЕМОТЕХНІЧНЕ ПРОЕКТУВАННЯ .....	15
2.1. Розробка структурної схеми системи .....	15
2.2. Розробка схеми електричної принципової .....	16
2.3. Вибір елементної бази .....	17
Розділ 3. ПРОЕКТУВАННЯ ДРУКОВАНОГО ВУЗЛУ .....	33
3.1. Вибір типу, матеріалу друкованих плат.....	33
3.2. Метод виготовлення друкованих плат.....	34
3.3. Вибір класу точності .....	35
3.4. Проектування ДП у середовищі Altium Designer.....	36
Розділ 4. РОЗРАХУНКИ, ЩО ПІДТВЕРДЖУЮТЬ ПРАВИЛЬНІСТЬ КОНСТРУКТОРСЬКИХ РІШЕНЬ .....	38
4.1. Конструкторсько-технологічний розрахунок елементів ДП.....	38
4.2. Електричний розрахунок друкованої плати.....	43
4.3. Розрахунок основних показників надійності для блока вимірювання.....	46
Розділ 5. РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ .....	51
5.1. Вибір мови програмування для апаратної платформи Arduino.....	51
5.2. Структурна схема .....	51
5.3. Розробка програми для мікроконтролера Arduino.....	52

Розділ 6. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ . 56

6.1 Визначення основних потенційно шкідливих та небезпечних виробничих чинників ..... 56

6.2 Технічні рішення та організаційні заходи з охорони праці ..... 59

ВИСНОВКИ..... 64

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ..... 66

Додаток А Технічне завдання на проектування..... 69

Бунда Д.О. РВз-31, 2019

					<b>РВз31.468339.001 ПЗ</b>	Арк.
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Да		2



## Перелік скорочень, умовних позначень, термінів

GSM - Global System for Mobile - Глобальна система мобільного зв'язку

SMS - Short Message Service - Служба коротких повідомлень

МК - Мікроконтролер

LSD - liquid crystal display - Рідкокристалічний дисплей

ШІМ - Широтно-імпульсна модуляція

USB - Universal Serial Bus - універсальна послідовна шина

SRAM - static random access memory - Статична оперативна пам'ять з довільним доступом

EEPROM - Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory -

SPI - Serial Peripheral Interface - послідовний периферійний інтерфейс

RISC - reduced instruction set computer - обчислення зі скороченим набором команд

ЦПУ - Центральний процесор

ALU - Arithmetic and Logic Unit - Арифметико-логічний пристрій

MIPS - Microprocessor without Interlocked Pipeline Stages

EL - електролюмінісцентний

ДВ

друкований

вузол

								Арк.
Змн	Арк.	№ доквм.	Підпис	Да	РВз31.468339.001 ПЗ			3

## ВСТУП

На сьогоднішній день актуальним є питання автоматизації. Вона проникає в усі сфери нашого життя, чим робить його більш комфортним, а сам процес більш ефективним.

Метою даного проекту є розроблення системи, та насамперед друкованого вузла приладу, який дозволить проводити вимірювання вологості ґрунту та, таким чином, виконувати контроль за станом ґрунту без участі користувача.

Для оптимального вирішення даного завдання було розглянуто існуючі базові методи, покладені в основу такої апаратури. Аналітична апаратура, існуюча у світовій практиці, відрізняється великою універсальністю й інформативністю. Особливістю даної роботи є підключення GSM модуля, який надсилає користувачеві сповіщення про стан вологості ґрунту та роботу насосу. Це дуже корисне рішення, адже найгостріша необхідність у автоматизованій системі поливу рослин настає тоді, коли користувач не може самостійно слідкувати за справністю роботи системи та станом рослин. У цей момент сповіщення від системи стають в нагоді і користувач може бути спокійний, адже знає що його рослини отримують воду в необхідній кількості.

В випадку якщо датчик отримує значення високого рівня вологості – водяна помпа не починає свою роботу і користувач отримує відповідне SMS повідомлення. У випадку низького рівня вологості ґрунту – запускається робота водяної помпи допоки рівень вологості не стане високим. Відповідно, користувач отримує повідомлення про низький рівень вологості та запуск роботи помпи.

У роботі розглядається вибір оптимального базового методу для створення пристрою, огляд існуючої апаратури, створення структурної та принципової схеми, створення програми для мікроконтролера (МК), вибір елементної бази, вибір друкованого вузла, розрахунки, що підтверджують правильність конструкторських рішень, проектування друкованої плати у Altium Designer.

						Арк.
Змн	Арк.	№ доквм.	Підпис	Да	<b>PBз31.468339.001 ПЗ</b>	4

## Розділ 1. АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ

Автоматизований полив рослин є доволі звичною справою у відношенні клумб, городів та теплиць, але на даний момент є чимось незвичним, коли справа стосується кімнатних рослин у квартирах та будинках. Зважаючи увагу на це, а також актуальність питання автоматизації та впровадження у побут «розумних технологій», даний проект є корисним для багатьох людей.

Найбільш актуальною ця система є для людей, які часто перебувають у від'їздах і в цей час не можуть доглядати за рослинами. У даному дипломному проекті розроблено автоматичну систему поливу рослин, на базі Arduino, яка автоматично забезпечує водою рослини та сповіщує про їх стан, відправляючи повідомлення на мобільний телефон.

У системі заводської поливної системи, датчик вологості ґрунту перевіряє рівень вологи в ґрунті і якщо датчик отримує значення високого рівня вологості – водяна помпа не починає свою роботу і користувач отримує відповідне SMS повідомлення. У випадку низького рівня вологості ґрунту – запускається робота водяної помпи допоки рівень вологості не стане високим. Відповідно, користувач отримує повідомлення про низький рівень вологості, та запуск роботи помпи.

### 1.1. Умови експлуатації

За ГОСТ 15150-69 (кліматичне виконання, категорія розміщення) розроблювальна система автоматичного поливу рослин має відповідати стандартам УХЛ-4 що передбачає експлуатацію в закритих приміщеннях з опаленням і зі штучною вентиляцією (регулювання температурних умов, немає низьких температур, низька концентрація пилу); і відноситься до об'єднаних помірного і холодного макрокліматичних районів (включаючи територію України).

Значення діапазону температур повітряного середовища і відносної вологості відповідно до УХЛ 4 наведено у Таблиці 1.1.

								Арк.
Змн	Арк.	№ доквм.	Підпис	Да	<b>PBз31.468339.001 ПЗ</b>			5

Таблиця 1.1 – Характеристики апаратної платформи Arduino Uno

Робочі температури, °С		Граничні робочі температури, °С		Відносна вологість	
Негативна	Позитивна	Min	Max	Середньорічна	Верхнє значення
+1	+35	+1	+40	60% при 20°С	80% при 25°С

Експлуатація приладу повинна задовольняти умови ГОСТ 16019, С1.

До групи апаратури, вказаної в ГОСТ 16019, С1 відноситься стаціонарна апаратура, яка встановлюється в опалювальних наземних і підземних спорудах.

Апаратура в умовах експлуатації повинна бути стійкою до впливів зовнішніх факторів, характеристика і значення яких приведені в Таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Характеристика і значення механічних та кліматичних факторів, які впливають на апаратуру.

Фактор впливу	Характеристика		Значення фактору для групи апаратури	Допустимі відхилення норм режимів
1 Синусоїдальна вібрація	Діапазон частот, Гц		10-70	± 1
	Амплітуда прискорення, м/с <sup>2</sup> (g)		19,6 (2)	± 2 (0,2)
	Тривалість дії, хв		90	
2 Механічні удари	При транспортуванні	Пікове ударне прискорення, м/с <sup>2</sup> (g)	147 (15)	± 20%
		Тривалість удару, мс	6	
		К-ть ударів в	4000	

		кожному напрямку		
Продовження таблиці 1.2				
3 Знижена температура для виконання за ступенем міцності	1	Робоча температура, °С	+5	± 3%
		Гранична температура, °С	-40	± 3%
		Час витримки, год	2	
	2	Робоча температура, °С	+5	± 3%
		Гранична температура, °С	-55	± 3%
		Час витримки, год	2	
4 Підвищена температура	Робоча температура, °С		+40	± 3%
	Гранична температура, °С		+55	
	Час витримки, год		2	± 3%
5 Знижений атмосферний тиск	Атмосферний тиск, кПа		55	± 10%
	Час витримки в камері, хв		60	
6 Соляний туман в циклічному режимі	Тривалість дії соляного туману, год		2	
	Тривалість дії вологості, год		22	
	Кількість циклів		3	

## 1.2. Вимоги до охорони природи

Розроблювальний пристрій, повинен бути сконструюваний та виготовлений таким чином, щоб задовольняти вимоги охорони природи, бути безпечним для користувача та навколишнього середовища, як за умов нормального функціонування, так і під час несправності пристрою. При цьому мають бути забезпечені:

- захист від враження електричним струмом;
- захист від впливу випромінювання;
- захист від високих температур;

— захист від наслідків порушення механічної рівноваги апарата і його рухомих частин.

### 1.3. Аналіз існуючих методів

На даний момент існує багато рішень питання автоматичного поливу домашніх рослин (адже для газонів, городів, засаджених ділянок існує багато зручних та технологічних рішень), але переважна більшість передбачає використання лише підручних матеріалів та знання базових законів фізики, тобто це способи без використання електроніки і такі способи хоча і дієві, але менш ефективні та зручні, в меншій мірі надійні та виглядають не естетично.

Розглянемо кілька пристроїв доступних для купівлі та рішення з використанням електроніки, які недоступні для купівлі, але являються проектами, подібними до розроблювального у даній дипломній роботі, бо базуються на використанні мікроконтролера Arduino.

#### 1.3.1. Огляд існуючих рішень на ринку продажу

Один з варіантів запропонувала данська компанія Eva Solo. Основна ідея полягає в тому, що рослина «п'є» стільки води, скільки захоче, в той час, коли їй це дійсно необхідно. В отвори на дні горщика вмонтовані тонкі нейлонові нитки - по ним і піднімається вода з резервуару, який міститься під горщиком.

Інший варіант автополиву кімнатних рослин запропонувала компанія Lechuza. Механізм дії такої системи теж простий і ефективний: в горщик поміщається набір для зрошення - роздільник, ємність для поливу і індикатор рівня води. На роздільник кладеться дренажний шар глибиною до 2,5-3 см. Зверху додається невелика кількість ґрунту, висаджується рослина, після чого горщик заповнюється землею до верху.

Протягом наступних трьох місяців рослини потрібно поливати, як зазвичай, через ґрунт. Через три місяці коріння відросте на достатню глибину і зможуть дістати до вологого шару і отримувати воду з резервуара самостійно. Долив

								Арк.
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Да	РВз31.468339.001 ПЗ			8

потрібно буде виробляти, тільки коли індикатор рівня води опуститься до позначки «мінімум» [1].

Недоліком даних приладів є те що вони підходять лише для дорослих рослин з розвиненою кореневою системою.

Наступний пристрій для автополиву рослин від виробника OLGOL. Принцип дії схожий на попередні пристрої, але переваги полягають в тому що:

- У контейнер з водою зручно заливати воду;
- Наявний пристрій для вимірювання рівня кількості води у резервуарі (реалізований він по принципу «поплавка»);
- Виробник постачає у комплекті відразу всі необхідні матеріали включаючи дренаж [2].

На Рисунок 1.1 схематично зображені склад та принцип роботи даного пристрою.



Рисунок 1.1 - Схема та принцип роботи пристрою для автополиву рослин OLGOL

Недоліком цього пристрою є малий резервуар для води. Такої кількості води вистачить на кілька днів – тиждень в залежності від типу рослини. Це не підходить при ситуації, коли власник рослини не матиме змогу її поливати довший період часу.

Розглянемо ще один пристрій для автоматичного поливу рослин виробника Blumat. Система автополиву «Blumat» поставляє воду до коріння рослин в глибині ґрунту через пористі стінки полого керамічного конуса, який занурюється в ґрунт.

Оскільки ґрунт сохне, керамічний конус поступово віддає воду в оточуючу його землю - таким чином, створюється вакуум в межах конуса, який і тяне воду з ємності.

Коли ґрунт зволожується, Blumat припиняє подачу води. Іншими словами, полив рослини відбувається саме тоді, коли це необхідно. При цьому волога надходить безпосередньо до коренів [3].

Зовнішній вигляд пристрою Blumat зображено на Рисунку 1.2.



Рисунок 1.2 - Зовнішній вигляд пристрою Blumat

### 1.3.2. Огляд існуючих приладів на базі Arduino

Серед великої кількості приладів призначених для автополиву рослин на базі Arduino є невелика кількість проектів, які вирізняються своєю продуманістю та багатофункціональністю.



Перший проект спочатку не відрізнявся від великої кількості його подібних. Пізніше збільшився його функціонал, розроблено корпус і в результаті зараз він має вигляд, зображений на Рисунку 1.3.



Рисунок 1.3 - Зовнішній вигляд пристрою-аналогу на базі Arduino

Особливості даного пристрою:

- пристрій реалізовано у вигляді підставки під горщик з кімнатною рослиною і вміщає в себе 2 літри води;
- на панелі управління встановлено дисплей, для зручного налаштування параметрів поливу;
- присутній контроль рівня води в ємності, для того щоб пристрій міг вчасно нагадати нам про необхідність додати воду;
- закладено подальшу розширюваність для зв'язку з інтернетом, щоб отримати можливість управляти пристроєм через веб-форму або мобільний додаток [4].

Внутрішній вигляд пристрою зображений на Рисунку 1.4.



Рисунок 1.4 - Внутрішні вигляд пристрою-аналогу на базі Arduino

Висновки щодо цього пристрою:

- пристрій виглядає дуже естетично і практично;
- зручний та легкий у використанні;
- компактний;
- дає можливість розширювати свій функціонал;
- полив регулюється програмою, а не потребами рослини відповідно до

стану ґрунту. Це дає певні плюси (наприклад можна запрограмувати пристрій подавати воду лише у денний час; можна користуватись будь-якими добривами не піклуючись про те що це впливає на покази датчика вологості), так і мінуси (наприклад: мікроклімат у квартирі зазвичай змінюється відповідно до погоди та пори року, це впливає на стан ґрунту. При використанні датчика вологості за такі фактори можна не переживати, але в випадку використання поливу згідно програми – слід звернути на них увагу);

- даного пристрою немає в продажі, а виготовити самостійно доволі важко.

Розглянемо ще один проект на базі Arduino. Цей проект вже іншого формату, його функціонал сильно відрізняється від попереднього проекту, але є не менш широким та цікавим.

На Рисунку 1.5 зображений принцип роботи системи.

								Арк.
Змн	Арк.	№ доквм.	Підпис	Да	РВз31.468339.001 ПЗ			12

# Arduino Plant Monitor

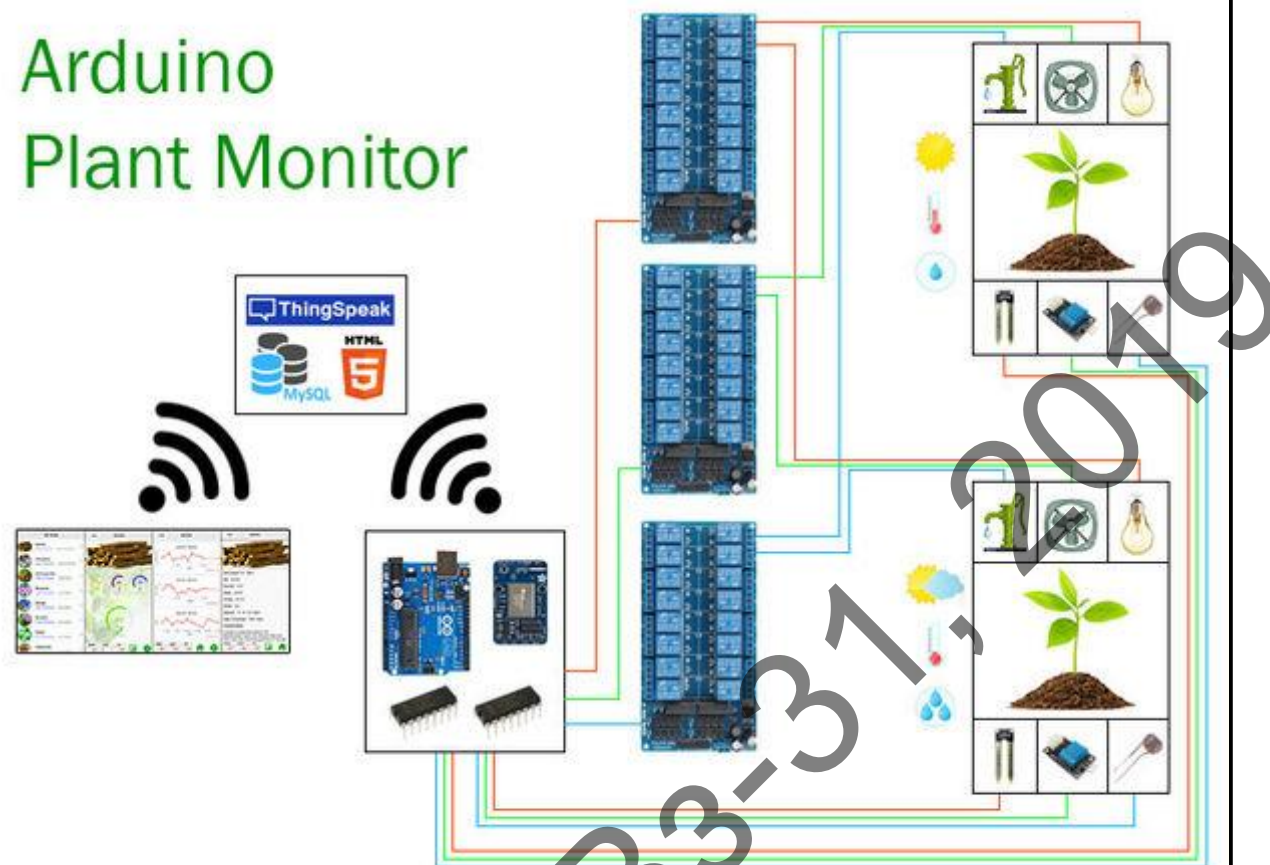


Рисунок 1.5 - Функціональна схема пристрою-аналогу на базі Arduino

Особливості даного пристрою:

- з самого початку розроблений для великої кількості рослин;
- включає в себе не лише контроль поливу рослин, але і контроль освітлення і температури (для додаткового освітлення встановлена лампа, а для зменшення температури – кулер);
  - крім датчика вологості є також датчики світла та температури;
  - проект позиціонується як муьлтитеплиця, де кожна рослина зростає окремо і відповідно до різновидових потреб отримує світло, воду і температуру необхідну саме для цього виду;
  - проект передбачає контроль за мікрокліматом кожної муьлтитеплиці через смартфон (або ПК) за допомогою спеціальної програми, інтерфейс та функціонал якої також входять до проекту;
  - є можливість ручного керування мікрокліматом, але основна ідея проекту полягає в тому, що до кожної ділянки написана програма по підтриманню

певного рівня температури, освітленості та вологості ґрунту згідно з потребами даного виду рослини [5].

Інтерфейс програми зображено на Рисунок 1.6.



Рисунок 1.6 - Інтерфейс програми керування мікрокліматом мультитеплиці пристрою-аналогу на базі Arduino

Висновки щодо проекту:

- дає змогу підключити відразу велику кількість рослин;
- наявний контроль стану та мікроклімату через вайфай;
- дає змогу забезпечувати рослини не лише необхідним рівнем води, але й температури і освітленості;
- даного пристрою немає в продажі, а виготовити самостійно доволі важко.

## Розділ 2. СХЕМОТЕХНІЧНЕ ПРОЕКТУВАННЯ

### 2.1. Розробка структурної схеми системи

Проаналізувавши у попередньому розділі аналоги та визначившись з функціональними особливостями пристрою, необхідно створити структурну схему системи автополиву рослин. У подальшому це полегшить створення схеми електричної принципової.

На Рисунку 2.1 представлена структурна схема системи автоматичного поливу рослин на базі апаратної платформи Arduino Uno. Система складається з керуючої платформи (Arduino Uno), LCD дисплея, датчика вологості, реле, водяної помпи, GSM модуля.

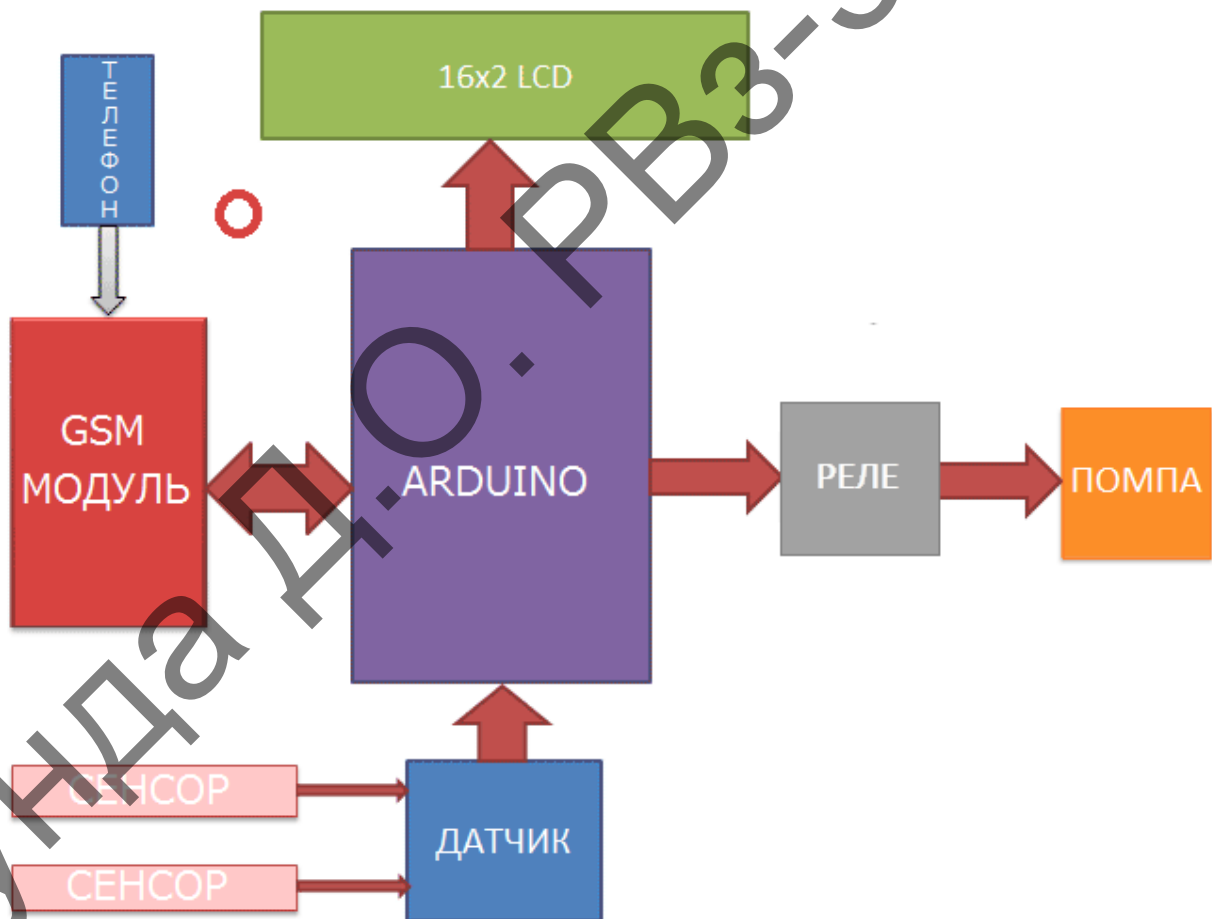


Рисунок 2.1 - Структурна схема системи автополиву рослин

Робота цієї системи автоматичного поливу рослин досить проста. Перш за все, це повністю автоматизована система, і користувачу немає потреби в



Схема електрична принципова представлена на кресленні РВз31.468339.001ЕЗ. Схема побудована на базі МК АТmega328

Вихід схеми сенсора ґрунту безпосередньо підключений до цифрового виводу D7 Arduino. На ланцюзі датчика використовується світлодіод, стан цих світлодіодних індикаторів вказує на наявність вологи у ґрунті та стан OFF, що свідчить про відсутність вологи в ґрунті.

GSM модуль використовується для відправки SMS повідомлень користувачеві. Тут використовується TTL SIM900 GSM модуль. Регулятор напруги LM317 використовується для живлення модуля GSM SIM900.

Реле використовується для керування невеликим водним насосом. Воно керується транзистором BC547, який також підключений до цифрового виводу 11 Arduino.

LCD дисплей також використовується для відображення статусу та повідомлень. LSD, RS та EN підключені до виводів 14 і 15 Arduino, а виводи даних LCD дисплея D4-D7 безпосередньо підключаються до виводів 16, 17, 18 та 19 Arduino. LCD дисплей використовується в 4-бітовому режимі та керується вбудованою рідкокристалічною бібліотекою Arduino.

### 2.3. Вибір елементної бази

Вибір елементної бази проводиться на основі схеми електричної принципової з урахуванням викладених у ТЗ умов і вимог. Схема електрична принципова розроблюваного ДВ та перелік елементів наведені в РВз31.468339.001ЕЗ, РВз31.468339.001ПЕЗ, відповідно.

При виборі елементної бази необхідно керуватись такими критеріями:

- обрана елементна база має забезпечувати необхідні електричні параметри з необхідною точністю;
- повинна забезпечувати коректну роботу пристрою у заданих кліматичних умовах;
- правильний вибір елементної бази дозволяє оптимізувати масогабаритні параметри кінцевого виробу;

					<b>РВз31.468339.001 ПЗ</b>	Арк.
Змн	Арк.	№ доквм.	Підпис	Да		17

- елементна база впливає на надійність пристрою;
- вибір елементної бази впливатиме на технологічний процес виготовлення виробу та його кінцеву вартість;
- спроектований пристрій має активні та пасивні елементи. Окремо проаналізовано вибір апаратної платформи, адже вона є основою розроблювального пристрою.

### Вибір апаратної платформи

На сьогодні існує різноманіття мікроконтролерів різних сімейств та архітектур. Вибір апаратної платформи Arduino забезпечує можливість легко змінити програму мікроконтролера, має невисоку вартість, широкі можливості, модульність та універсальність.

Для вибору спочатку розглянемо детальніше можливості Arduino з існуючих програмованих контролерів.

**Arduino Uno** - це пристрій на основі мікроконтролера ATmega328. У нього:

- 14 цифрових портів входу-виходу (6 з них підтримують режим ШІМ модуляції);
- 6 аналогових входів;
- тактова частота 16МГц;
- USB порт;
- роз'єм живлення;
- роз'єм внутрішньосхемного програмування;
- кнопка скидання.

У порівнянні з попередніми версіями Arduino UNO R3 характеризується більш зручною маркуванням входів і виходів. Функціональність плати може бути збільшена за рахунок використання численних розширень.

Програмований контролер **Arduino MEGA2560 R3** (CH340G + ATMEGA2560-16AU) розроблений на мікроконтролері Arduino Mega2560.



Даний мікроконтролер включає в себе завантажувач, який полегшує установку нових програм без використання додаткових програматорів.

На відміну від Arduino Uno R3 платформа має велику кількість входів / виходів: 54 цифрових входів / виходів, 16 аналогових. Її габарити відповідно теж більше. Також є кнопка перезавантаження, яка дозволяє перезавантажити систему в разі непередбаченого збою.

Програмований контролер **Arduino Nano V3.0** (CH340G + ATMEGA328P-AU) - компактна плата на мікроконтролері ATMEGA328P-AU.

Вона має функціональність, схожу з платформами Arduino UNO, але відрізняється меншими габаритами. Володіє 14 цифровими входами / виходами, 6 з яких можуть використовуватися як виходи ШІМ, 8 аналоговими виходами. Флеш-пам'ять становить 32 КБ.

Програмований контролер **Arduino Pro mini** (ATMEGA328P) розроблений на мікроконтролері ATMEGA328P, має 14 цифрових входів / виходів і 6 аналогових.

Перш за все, дана плата відрізняється від усіх попередніх своєю мініатюрністю. Тому її використання особливо популярно при роботі з невеликими пристроями. Відповідно через компактних розмірів даної плати до неї не підключити «за принципом бутерброда» розширення більших плат, однак їх можна підключити за допомогою додаткових коннекторів. Для зберігання коду програм передбачена флеш-пам'ять 16 КБ.

В цілому технічні характеристики програмованого контролера Arduino Pro mini дуже схожі з характеристиками інших плат Arduino. Основна відмінність - це відсутність USB-інтерфейсу. Завдяки цьому досягається мініатюрність в розмірах, але виникає необхідність у використанні додаткового модуля, нібито міні-USB-коннектора, щоб підключити плату до комп'ютера для завантаження програми.

Програмований контролер **Arduino DUE 2012 R3** (ARM 32 + AT91SAM3X8EA) - плата на мікроконтролері AT91SAM3X8EA.

Вона має 54 цифрових входів/виходів і 12 аналогових. Її основна відмінність від інших плат Arduino - це робота при напрузі не вище 3,3 В.

									Арк.
Змн	Арк.	№ доквм.	Підпис	Да	<b>PB331.468339.001 ПЗ</b>				19

У платі є все необхідне для того, щоб відразу почати роботу. Досить підключити її до комп'ютера через мікро-USB-кабель або подати харчування, підключивши плату до батарейці. Можна також використовувати AC/DC-перетворювач.

Arduino DUE відрізняється тим, що на ній встановлено 32-бітове ARM-ядро, що забезпечує більш високу продуктивність платформи в порівнянні з іншими контролерами Arduino. Крім того, Arduino DUE має величезну пам'ять для запису програм - 512 КБ. Є можливість стерти інформацію з пам'яті за допомогою відповідної кнопки.

Програмований контролер **Arduino Leonardo R3** (ATMEGA32U4) виконаний на базі мікроконтролера ATMEGA32U4.

Має 20 цифрових входів / виходів, 7 з яких можуть використовуватися як виходи ШІМ і 12 як аналогові виходи. Дана плата є оновленою версією плати Arduino Uno. Відмінність плати Arduino Leonardo полягає в тому, що вона має вбудовану підтримку для USB-підключення.

Проаналізувавши наявні контролери, обираємо Arduino UNO R3. Оскільки, це широко розповсюджена плата, має USB-порт, необхідну кількість входів/виходів, якої достатньо для виконання завдання.

У платі є всі необхідні компоненти для забезпечення роботи мікроконтролера. Досить підключити USB кабель до комп'ютера і подати живлення. Мікроконтролер встановлений на колодці, що дозволяє легко замінити його в разі виходу з ладу [6].

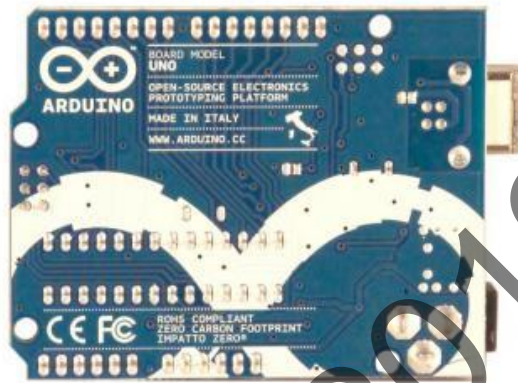
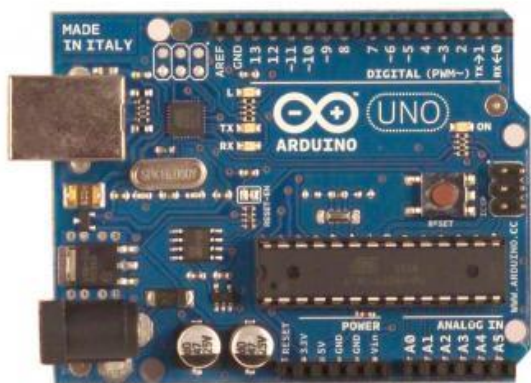


Рисунок 2.3 - Зовнішній вигляд Arduino Uno. Ліворуч вид спереду, праворуч – ззаду

У Таблиці 3.1 наведено технічні характеристики Arduino Uno.

Таблиця 3.1 – Характеристики апаратної платформи Arduino Uno

Параметр	Значення
Тип мікроконтролера	ATmega328P
Напруга живлення мікроконтролера	5 В
Рекомендована напруга живлення плати	7 - 12 В
Гранично допустима напруга живлення плати	6 - 20 В
Цифрові входи-виходи	14
Виходи ШІМ модуляції	6
Аналогові входи	6
Допустимий струм цифрових виходів	20 мА
Допустимий струм виходу 3,3 В	50 мА
Обсяг флеш пам'яті (FLASH)	32 кБ
Об'єм оперативної пам'яті (SRAM)	2 кБ
Обсяг енергонезалежної пам'яті (EEPROM)	1 кБ
Частота тактування	16 МГц
Довжина плати	68,6 мм
Ширина плати	53,4 мм
Вага	25 г

Arduino Uno може живитися як від USB, так і від зовнішнього джерела: батарейки або звичайної електричної мережі.

Платформа може працювати при наявності напруги від 6 до 20 В. Однак при напрузі менше 7 В робота може бути нестійкою, а напруга більше 12 В може призвести до перегріву і пошкодження. Тому рекомендований діапазон: 7-12 В [7].

Обсяг флеш-пам'яті ATmega328 становить 32 КБ (з яких 0.5 КБ використовуються завантажувачем). Мікроконтролер також має 2 КБ пам'яті SRAM і 1 КБ EEPROM (з якої можна зчитувати або записувати інформацію за допомогою бібліотеки EEPROM).

З використанням функцій pinMode (), digitalWrite () і digitalRead () кожен з 14 цифрових виводів може працювати в якості входу або виходу. Рівень напруги на висновках обмежений 5В. Максимальний струм, який може віддавати або споживати один вивід, становить 40 мА. Всі виводи пов'язані з внутрішніми підтягуючими резисторами (за замовчуванням відключеними) номіналом 20-50 кОм. Крім цього, деякі виводи Arduino можуть виконувати додаткові функції:

- Послідовний інтерфейс: виводи 0 (RX) і 1 (TX). Використовуються для отримання (RX) і передачі (TX) даних по послідовному інтерфейсу. Ці виводи з'єднані з відповідними виводами мікросхеми ATmega8U2, яка виконує роль перетворювача USB-UART.
- Зовнішні переривання: контакти 2 і 3. Можуть служити джерелами переривань, що виникають при фронті, спаді або при низькому рівні сигналу на цих виводах.
- ШІМ: виводи 3, 5, 6, 9, 10 і 11. За допомогою функції analogWrite () можуть виводити 8-бітові аналогові значення в вигляді ШІМ-сигналу.
- Інтерфейс SPI: виводи 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK). Із застосуванням бібліотеки SPI дані висновки можуть здійснювати зв'язок по інтерфейсу SPI.

- Світлодіод: 13. Вбудований світлодіод, приєднаний до виводу 13. При відправці значення HIGH світлодіод включається, при відправці LOW - вимикається.

- В Arduino Uno є 6 аналогових входів (A0 - A5), кожен з яких може представити аналогову напругу у вигляді 10-бітного числа (1024 різних значень). За замовчуванням, вимір напруги здійснюється за діапазоном від 0 до 5 В. Проте, верхню межу цього діапазону можна змінити, використовуючи вивід AREF і функцію `analogReference()`. Крім цього, деякі з аналогових входів мають додаткові функції:

- TWI: вивід A4 або SDA і вивід A5 або SCL. З використанням бібліотеки `Wire` дані виводи можуть здійснювати зв'язок по інтерфейсу TWI.

Крім перерахованих на платі існує ще кілька контактів:

- AREF. Опорна напруга для аналогових входів. Може бути задіяний функцією `analogReference()`.

- Reset. Формування низького рівня (LOW) на цьому виводі призведе до перезавантаження мікроконтролера. Зазвичай цей вивід служить для функціонування кнопки скидання на платах розширення.

### Вибір мікроконтролера

У сімейство мікроконтролерів ATmegaX8 входять мікроконтролери ATmega48, ATmega88, ATmega168, ATmega328. Всі мікроконтролери сімейства ідентичні, за винятком обсягу пам'яті. Відповідно 4/8/16/32 Кбайтам Flash, 256/512/512/1 байт EEPROM, 0.5/1/1/2 Кбайт SRAM. Мікроконтролер випускається в двох варіантах - звичайному (ATmega48/88/168/328) і зі зниженим живленням (ATmega48V/ 88V/ 168V/328V). За знижене живлення доводиться платити зниженням тактової частоти мікроконтролера (більш повільна робота). Сімейство ATmega48/88/168 покращений варіант ATmega8 і сумісно з ним за висновками.

Мають два типи корпусів PDIP, TQFP.

								Арк.
Змн	Арк.	№ докum.	Підпис	Да	PB331.468339.001 ПЗ			23

Загальні характеристики:

- 131 інструкцій оптимізованих для програмування на мовах високого рівня;
- 32 регістра загального призначення;
- майже кожна інструкція виконується за 1 такт генератора, за рахунок чого швидкодія досягає 20 MIPS (20 мільйонів операцій за секунду);
- 4/8/16 кілобайт флеш-пам'яті для програм. Флеш-пам'ять може програмуватися прямо з контролера (сама себе);
- 256/512/512 байт EEPROM (незалежна пам'ять);
- 512 / 1К / 1К байт SRAM (оперативна пам'ять).
- два 8 бітових таймера / лічильника;
- один 16 бітний таймер / лічильник (із захопленням);
- таймер реального часу (годинник)
- шість ШІМ каналів;
- 6/8 каналний 10ти бітовий АЦП
- аналоговий компаратор;
- SPI послідовний інтерфейс
- I2C інтерфейс
- USART (це комп'ютерний COM RS232, тільки з іншими рівнями).
- Watchdog таймер, зовнішні переривання на всіх ніжках.

Для мікроконтролера найбільш зручний режим програмування по послідовному SPI інтерфейсу.

З огляду на незначну поширеність сімейства ATmega48A / 88A / 168A пристрої будуть збиратися на мікроконтролерах ATmega48 / 88/168/328. Так як нові версії сумісні зі старими, то прошивки повинні працювати і на нових мікроконтролерах.

Сімейство ATmega48/88/168 було оновлено (буква А в кінці). В результаті поновлення сімейство отримало ще один мікроконтролер ATmega328 зі збільшенням всіх видів пам'яті (32кбайт Flash, 1Кбайт EEPROM, 2кбайт SRAM).

Розглянемо детальніше ATmega328. Мікроконтролер AVR містить: швидкий RISC-процесор, два типи незалежної пам'яті (Flash-пам'ять програм і пам'ять даних EEPROM), оперативну пам'ять RAM, порти вводу / виводу і різні периферійні інтерфейсні схеми.

Серцем мікроконтролерів AVR є 8-бітове мікропроцесорне ядро або центральний процесорний пристрій (ЦПУ), побудований на принципах RISC-архітектури. Основою цього блоку є арифметико-логічний пристрій (ALU). За системного тактового сигналу з пам'яті програм відповідно до вмісту лічильника команд вибирається чергова команда і виконується ALU. Під час вибору команди з пам'яті програм відбувається виконання попередньо обраної команди, що і дозволяє досягти швидкодії 1 MIPS на 1 МГц.

ALU підключено до регістрів загального призначення РОН (General Purpose Registers - GPR). Регістрів загального призначення всього 32, вони мають байтовий формат, тобто кожен з них складається з восьми біт. РОН знаходяться на початку адресного простору оперативної пам'яті, але фізично не є її частиною. Тому до них можна звертатися двома способами (як до регістрів і як до пам'яті). Таке рішення є особливістю AVR і підвищує ефективність роботи і продуктивність мікроконтролера.

								Арк.
Змн	Арк.	№ доквм.	Підпис	Да	<b>PB331.468339.001 ПЗ</b>			25

У мікроконтролерах AVR реалізована Гарвардська архітектура, відповідно до якої розділені не тільки адресні простори пам'яті програм і пам'яті даних, але й шини доступу до них. Кожна з областей пам'яті даних (оперативна пам'ять і EEPROM) також розташована в своєму адресному просторі [8].

### Вибір дисплея

Обираємо стандартний LSD – 16x2 «біле на синьому». Стандартні LCD HD44780 добре підходять для створення автономних проектів.

- 16 символів в ширину, 2 рядки;
- білий текст на синьому фоні;
- порт з'єднання - 0.1 "крок, один рядок для зручного макета та монтажу;
- виводи зафіксовані на задній панелі LSD дисплея, щоб допомогти у його підключенні;
- вбудована світлодіодна підсвітка може бути легко затемнено за допомогою резистора або ШИМ, і використовується набагато менше енергії, ніж LSD екран з EL (електролюмінесцентними) підсвічуванням;
- вбудований набір символів підтримує англійський / японський текст;
- можна створити до 8 додаткових символів для власних гліфів або підтримки іноземної мови;
- поставляється з необхідним контрастним потенціометром і смужкою заголовка [9].



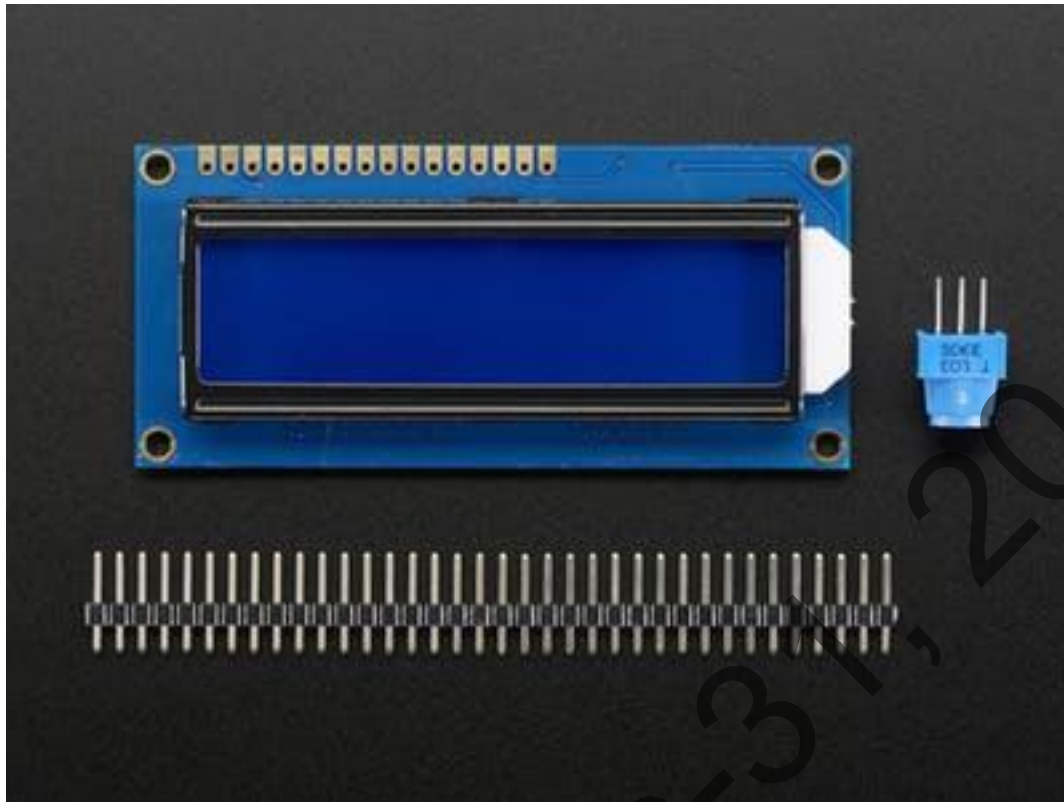
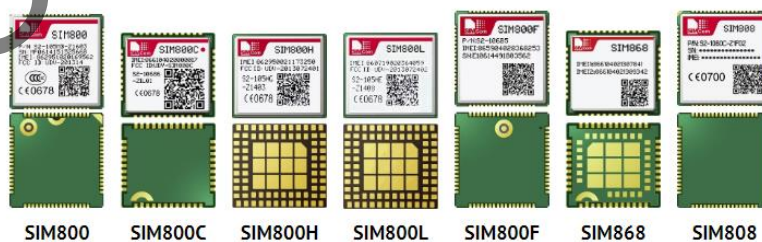


Рисунок 2.4 - Зовнішній вигляд LSD дисплея

### Вибір GSM модуля

GSM модуль використовується для відправки SMS користувачеві.

Розглянемо основні характеристики GSM модулів:



	SIM800	SIM800C	SIM800H	SIM800L	SIM800F	SIM868	SIM808
Голосовые вызовы	+	+	+	+	+		
GNSS (GPS)						+	+
Bluetooth 3.0	+	+	+				
Встроенный FM-приемник: (76-109 МГц) с шагом 50 кГц			+	+			
CSD	+		+	+			+

Виходячи з технічного завдання, оптимальним є вибір SIM800 GSM модуль, користувач може використовувати будь-який модуль GSM. Регулятор напруги LM317 використовується для живлення модуля. LM317 дуже чутливий до напруги. Його робоча напруга становить від 3,8 до 4,2В (перевагу віддається 3.8 В для роботи). Нижче наведено схему живлення, надану модулю GSM:

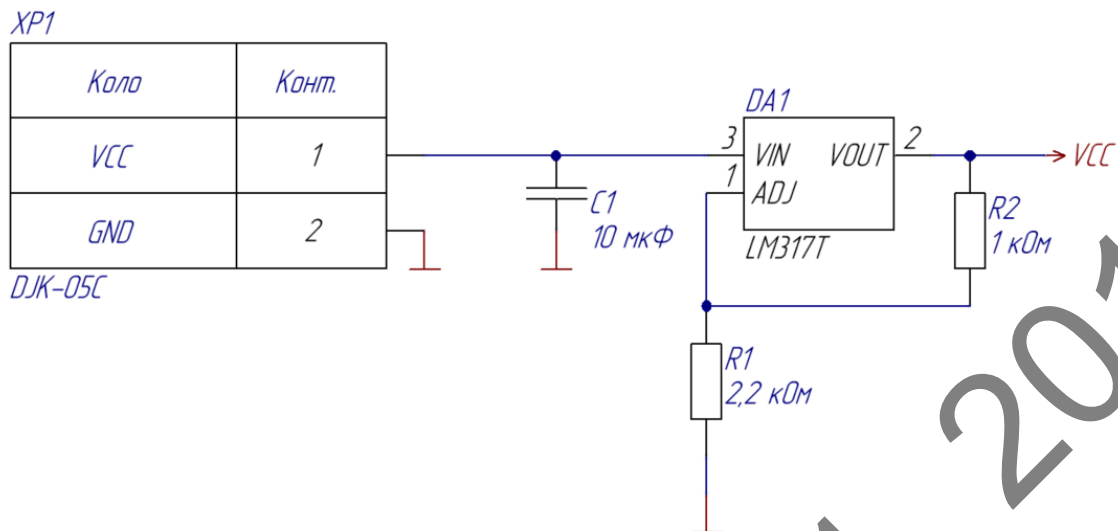


Рисунок 2.5 - Схема живлення модуля GSM TTL sim800

GSM-модуль використовується в багатьох пристроях зв'язку, які базуються на технології GSM. Він використовується для взаємодії з мережею GSM за допомогою комп'ютера. Модуль GSM розуміє тільки AT команди та може відповідати відповідним чином.

Тут ми використали модуль GSM TTL SIM800. SIM800 - це повний чотирьохдіапазонний модуль GSM / GPRS. Модуль SIM800 GSM забезпечує стандартний інтерфейс; SIM800 забезпечує продуктивність GSM / GPRS 850/900/1800/1900 МГц для голосових, SMS, даних з низьким енергоспоживанням. Дизайн цього SIM800 GSM модуля тонкий і компактний. Він широко доступний на ринку.

- чотирьохсмуговий GSM / GPRS модуль невеликого розміру;
- GPRS ввімкнено;
- вихід TTL [10].

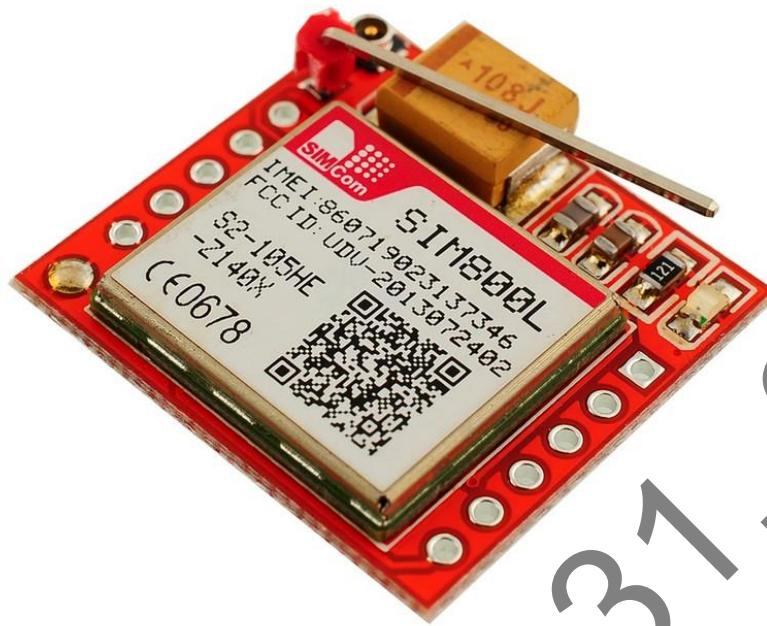


Рисунок 2.6 - Зовнішній вигляд GSM модуля

### Датчик вологості ґрунту

Найчастіше в якості датчика вологості використовується гігрометр для Arduino зібраний на мікросхемі LM393 з окремим чутливим елементом і налаштуванням чутливості. Але для даної системи автополиву рослин було обрано сенсор ручної зборки. Щоб зробити сенсор, необхідно вирізати та протравити мідну пластину. Одна сторона сенсора прямо підключена до Vcc, а інший вивід йде на базу транзистора BC547. Позиметр підключений до основи транзистора для регулювання чутливості датчика.

Конструкція датчика вологості ґрунту являє собою два провідники, які підключаються до слабкого джерела енергії. Як тільки кількість вологи в просторі між електродами зростає, опір знижується, і сила струму збільшується [11].

### Водяна помпа

В якості водяної помпи було обрано RS-360SH. Це мініатюрний водяний насос, не занурювальний - забір води та подача тільки через трубки.

								Арк.
Змн	Арк.	№ доквм.	Підпис	Да	PB331.468339.001 ПЗ			29

- діаметр двигуна - 27мм;
- довжина - близько 60мм;
- вхідні, вихідні трубки, діаметр - 4 мм;
- напруга живлення DC - 7,2В (3..9В);
- споживаний струм, без навантаження (7,2В) - не менше 1А [14].

## Реле

Реле призначені для передачі команд управління виконавчими елементами шляхом комутації їх електричних мереж своїми перемикаючими контактами.

Реле 12 В використовується для керування невеликим водним насосом. Реле керується транзистором BC817, який також підключений до цифрового виводу 11 Arduino. Arduino вмикає реле, яке відправляє 12В від джерела живлення до водяного насоса [15].

## Транзистори

В якості активних елементів, на яких розсіюється частина енергії, використано два біполярних високочастотних рpn-транзистори BC817. Даний транзистор широко застосовується в ключових схемах, а також в якості підсилювального елемента в блоках і модулях радіоапаратури різного призначення. Компонент зарекомендував себе як надійний і рекомендується до використання в радіоаматорських пристроях.

- тип матеріалу: Si;
- полярність: NPN;
- максимальна потужність, що розсіюється ( $P_c$ ): 0.5 W;
- максимально допустима напруга колектор-база ( $U_{cb}$ ): 50 V;
- максимально допустима напруга колектор-емітер ( $U_{ce}$ ): 50 V;
- максимально допустима напруга емітер-база ( $U_{eb}$ ): 6 V;
- максимально постійний струм колектора ( $I_c$ ): 0.1 A;
- гранична температура PN-переходу ( $T_j$ ): 150 ° C;

- гранична частота коефіцієнта передачі струму (ft): 300 MHz;
- ємність колекторного переходу (Cc): 6 pf;
- статичний коефіцієнт передачі струму (hfe): 110 [16].

## Резистори

Резистори дозволяють контролювати значення струмів і напруги в електричному ланцюгу. Електричні характеристики резистора значною мірою визначаються матеріалом, з якого він виготовлений, і його конструкцією.

При виборі типу резистора враховуємо наступні параметри:

- нормований допуск;
- розсіювання потужності;
- робочу температуру;
- тип резистора;
- максимальну робочу напругу;
- спосіб монтажу.

Виходячи з вимог викладених в ТЗ і схеми електричної принципової, вибрали підходящий тип резисторів. Будемо використовувати резистори SMD 0,125Вт 0805 5% Nitano. У пристрої використання високоточних резисторів недоцільно, тому допуск  $\pm 5\%$  підходить. Потужність 0,125Вт. Резистор керамічний. Робоча температура  $-55^{\circ}\text{C} \dots +125^{\circ}\text{C}$ , ці величини з великим допуском покривають температурний режим роботи резистора в пристрої. Максимально робоча напруга 150В, є достатнім для коректної роботи пристрою.

За характером змін опору резистори діляться на:

- Резистори сталого опору;
- Регульовані резистори змінного опору (потенціометри);
- Підлаштовні резистори змінного опору;

В даній роботі задіюються п'ять резисторів, два з яких є резисторами постійного опору (1кОм та 10кОм) та три резистори змінного опору (10 кОм та 100 кОм) [17].

## Конденсатори

Електричні конденсатори є засобом накопичення електроенергії в електричному полі. Електричні характеристики конденсатора визначаються його конструкцією і властивостями використовуваних матеріалів.

При виборі конденсатора для розробляемого пристрою враховуємо наступні параметри:

- робочу напругу конденсатора;
- необхідну точність;
- тип конденсатора;
- робочу температуру;
- спосіб монтажу.

Аналізуючи дані параметри, вибрали конденсатори, які будуть задовільняти всі вимоги викладені в ТЗ і схемі електричній принциповій. Зупиняємо свій вибір на керамічних чип-конденсаторах 0805 50В X7R 10% компанії Kemet. Конденсатори мають ємність з точністю  $\pm 10\%$ . Робоча напруга на 50 В. Діапазон робочих температур: від  $-55^{\circ}\text{C}$  до  $+125^{\circ}\text{C}$ . SMD компонент. Даний конденсатор широко поширений, характеризується високою стабільністю ємності, широким діапазоном робочих температур, невисокою вартістю.

								Арк.
Змн	Арк.	№ докum.	Підпис	Да	PB331.468339.001 ПЗ			32

## Розділ 3. ПРОЕКТУВАННЯ ДРУКОВАНОГО ВУЗЛУ

### 3.1. Вибір типу, матеріалу друкованих плат

Друкована плата (ДП) призначена для електричного з'єднання і являє собою ізоляційну основу на лицьовій стороні якої розміщені конструктивні елементи, а на зворотному боці розміщені елементи друкованого монтажу: друковані провідники, контактні площадки, металізовані монтажні отвори. Їх застосування підвищує надійність апаратури, забезпечує повторюваність електричних параметрів, створює передумови для автоматизації виробництва (висока продуктивність і низька собівартість), зменшує габарити і масу.

Друковані плати за конструкцією поділяються на такі класи: односторонні (одношарові), двосторонні (двошарові) та багатошарові.

Оптимальним є розгляд тільки двох класів плат, а саме двосторонніх та багатошарових плат. Оскільки використання таких ДП дає змогу трасувати провідники у декілька шарів, а це забезпечує зменшення розмірів ДВ. Виробництво багатошарових плат потребує використання додаткової спеціалізованої апаратури, тривалий технологічний цикл, підвищену вартість виробництва, тому їх використання не є оптимальним. ДДП мають високу щільність монтажу, підвищену надійність з'єднань, дозволяють полегшити трасування провідників і оптимізувати розміри плати завдяки щільному розміщенню елементів, мають високу механічну міцність кріплення.

Правильний вибір матеріалів, технологічних процесів і елементної бази при розробці сучасних друкованих вузлів багато в чому визначає рівень працездатності і надійність електронного пристрою в цілому при раціональних економічних витратах у виробництві. При цьому розглядаються такі аспекти:

- призначення друкованого вузла: технічні умови на виробі, очікуваний робочий ресурс, елементна база з характеристиками по швидкодії, вихідному опору, рівню робочих сигналів, напрузі живлення і т. д.;

- експлуатаційні вимоги по ремонтпридатності: можливості профілактики та ремонту, наявність запасних друкованих вузлів і блоків;

- навколишні умови при зберіганні і роботі. Технологія виготовлення: сумісність з діючим виробництвом, ступінь і характер механізації і автоматизації при заданому обсязі виробництва;

- базові та допоміжні матеріали: обсяг можливих поставок, вартість, необхідність відбору за спеціальними вимогами.

При виробництві ДП застосовуються вітчизняні та імпортовані матеріали різних виробників. Матеріали, що застосовуються в якості основи для ДП повинні мати: високі електроізоляційні властивості, достатню механічну міцність, бути стійкими до кліматичних впливів, опірність до займання. Цим параметрам виділені полімерні композиційні матеріали FR-1... FR-5. Найбільш поширеним матеріалом для виробництва ДДП і БДП є FR-4. Стандартний FR-4 представляє собою матеріал на основі скловолокна (склотекстоліти). Має товщину 1,5 мм і складається з 8 шарів склотекстоліти. Застосування FR-4 дозволяє отримати отвори високої якості, а це важливо для монтажу елементів в отвори.

Відмінною характеристикою даного матеріалу є:

- високе значення адгезії фольги до підкладки діелектрика під впливом високої температури,
- високий об'ємний і поверхневий електричний опір,
- висока температура склування та стабільність геометричних розмірів.

З цих міркувань, для реалізації ДДП обраний сучасний, з високими параметрами матеріал FR4-2-35-1,5. Цей матеріал є фольгованим склотекстолітом з підвищеною нагрівостійкістю, товщиною 1,5 мм, облицьований мідною електролітичною фольгою товщиною 35 мкм.

### 3.2. Метод виготовлення друкованих плат

При виборі необхідного методу виготовлення були розглянуті такі методи: хімічний субтрактивний метод, комбінований позитивний метод.

Комбінований позитивний метод має ряд переваг:

								Арк.
Змн	Арк.	№ доквм.	Підпис	Да	PB331.468339.001 ПЗ			34



- можливість відтворення всіх типів друкованих елементів з високим ступенем допуску;
- захищеність фольгою ізоляції від технологічних розчинів - хороша надійність ізоляції;
- хороша міцність зчеплення (адгезія) металевих елементів плати з діелектричною основою.

Також цей метод має недоліки:

- відносно велика глибина травлення (фольга + металізація зтяжки) створює бічне підтравлювання, яке обмежує роздільну здатність процесу;
- травлення малюнка по металорезисту обмежує свободу вибору розчинів для травлення;
- після травлення малюнка схеми, металорезист або освітлюють для поліпшення припаєння, або видаляють і, після нанесення паяльної маски, осаджують фінішні покриття під пайку. Обидва варіанти вимагають додаткових капітальних витрат і прямих витрат.

Вивчивши переваги та недоліки комбінованого методу, будемо використовувати комбінований позитивний метод. Застосування цього методу надає змогу підвищити надійність зчеплення металевих елементів з основою, виконання металізованих отворів.

### 3.3. Вибір класу точності

Точність виготовлення ДП залежить від комплексу технологічних параметрів і з практичної точки зору визначає основні параметри елементів ДП. В першу чергу це відноситься до мінімальної ширини провідників, мінімального зазору між елементами провідного малюнка і до ряду інших параметрів.

Передбачено п'ять класів точності ПП. Для забезпечення коректного виконання ТЗ та правильної конструкції плати можна використовувати 3 клас точності. Таке рішення прийнято, оскільки щільність трасування та монтажу буде забезпечена вимогами викладеними у ГОСТ 23752-79. ДП третього класу випускаються на точному обладнанні, але вимога до матеріалів, обладнання і

виробничих приміщень нижче, ніж для четвертого та п'ятого класу. Цей клас забезпечує коректне трасування провідників. Тому вибираємо 3-й клас точності для подальшої розробки ДП. При конструкторсько-технологічному розрахунку необхідно використовувати граничні значення елементів друкованого монтажу з урахуванням похибки їх виконання. Необхідні граничні значення елементів друкованого монтажу і допустимі похибки наведені в Таблиці 3.1, Таблиці 3.2.

Таблиця 3.1 - Граничні значення основних параметрів ПМ

Параметр	Позначення	Клас точності			
		2	3	4	5
Ширина друкованого провідника, мм	$b_{пр}^r$	0,45	0,25	0,15	0,1
Відстань між елементами друкованого провідника	$\Gamma$	0,45	0,25	0,15	0,1
Гарантований поясок, мм	$b_{по}$	0,2	0,1	0,05	0,03
Відношення номінального діаметру найменшого з металізованих отворів до товщини ДП, мм	$K_{дт}$	0,4	0,33	0,25	0,2

Таблиця 3.2 - Допустимі похибки виконання елементів ПМ

Похибка	Позначення	Максимальне значення, мм
Зміщення провідників відносно ліній КС	$\delta_{сп}$	0,05
Розташування отворів (всіх) відносно вузлу КС	$\delta_o$	0,07
Розташування КП відносно вузла КС	$\delta_{км}$	0,015(0,05)
Фотокопії та фотошаблону	$\delta_{фф}$	0,06
Розташування КП відносно вузла КС на фотошаблоні	$\delta_{фш}$	0,05

### 3.4. Проектування ДП у середовищі Altium Designer

Altium Designer - це система, що дозволяє реалізовувати проекти електронних засобів на рівні схеми або програмного коду з наступною передачею інформації проектувальнику ПЛІС або друкованої плати. Відмінною особливістю програми є проектна структура і наскрізна цілісність ведення розробки на різних рівнях проектування.

Програма Altium Designer надає великі можливості для розробки електронних пристроїв. Під час написання дипломного проекту були розглянуті такі можливості програми:

- створення бібліотеки компонентів (додавання УГО і посадкового місця);

									Арк.	
Змн	Арк.	№ докum.	Підпис	Да	<b>PB331.468339.001 ПЗ</b>					36

- створення принципової електричної схеми;
- трасування друкованої плати (ручна розводка і автотрасування).

Процес розробки друкованих плат в середовищі Altium Designer виконувався в такій послідовності:

1. Створення проекту друкованої плати (PCB Project) - набору документів, необхідного для виготовлення друкованої плати.

2. Створення бібліотеки компонентів. Altium Designer має в своєму розпорядженні готові бібліотеки компонентів (близько 90000 елементів).

Використання даних бібліотек є неоптимальним, в зв'язку з рядом недоліків:

- умовно-графічне позначення (УГО) компонентів не відповідають ГОСТ;
- дана бібліотека не містить вітчизняну елементну базу.

Для правильної, оптимальної роботи при проектуванні друкованого вузла необхідно створювати бібліотеку компонентів і моделі компонентів, згідно вимогам відповідних стандартів.

Умовні графічні зображення і посадочні місця компонентів формуються в редакторі бібліотек (Library Editor). У середовищі Altium Designer є чотири типи бібліотек: бібліотеки моделей, бібліотеки символів, інтегровані бібліотеки, бібліотеки бази даних.

3. Створення схеми електричної принципової. Процедура формування схеми в загальному випадку являє собою послідовне розміщення та з'єднання в просторі проектування електричних і графічних об'єктів.

4. Створення трасування друкованої плати. Створення файлу плати може бути виконано вручну, а також за допомогою майстра PCB Board Wizard, який по етапах запитує інформацію про друковану плату. У Altium Designer завдання інтерактивного трасування вирішується інструментом автотрасування розташованим в меню AutoRoute. Автоматичне трасування окремих елементів дає не дає задовільний результат, тому що немає можливості налаштування алгоритму. Алгоритм може бути зазначений тільки для трасування всієї плати.

## Розділ 4. РОЗРАХУНКИ, ЩО ПІДТВЕРДЖУЮТЬ ПРАВИЛЬНІСТЬ КОНСТРУКТОРСЬКИХ РІШЕНЬ

### 4.1. Конструкторсько-технологічний розрахунок елементів ДП

#### 4.1.1. Визначення мінімальної ширини друкованого провідника по постійному струму для ланцюгів живлення і землі

Мінімальна ширина друкованого провідника по постійному струму  $b_{\min I}$  (мм) для ланцюгів живлення та «землі» визначається виразом (4.1):

$$b_{\min I} = \frac{I_{\max}}{j_{\text{доп}} \cdot t_{\text{пров}}}, \quad (4.1)$$

де  $I_{\max}$  – максимально можливий струм в ланцюгу, А;

$j_{\text{доп}}$  – допустима щільність струму для ДП, яка виготовлена комбінованим позитивним методом [18]

$$j_{\text{доп}} = 48 \left( \frac{\text{А}}{\text{мм}^2} \right)$$

$t_{\text{пров}}$  – товщина друкованого провідника, визначається виразом (4.2).

Друкований провідник виготовлюється комбінованим позитивним методом. Згідно методу виготовлення:

$$t_{\text{пров}} = h_{\phi} + h_{\text{ГМ}} + h_{\text{ХМ}}, \quad (4.2)$$

де  $h_{\phi}$  – товщина фольги,  $h_{\phi} = 0,035$  (мм);

$h_{\text{ГМ}}$  – товщина шара гальванічно осадженої міді,  $h_{\text{ГМ}} = 0,055$  (мм);

$h_{\text{ХМ}}$  – товщина шара хімічно осадженої міді,  $h_{\text{ХМ}} = 0,0065$  (мм).

$$t_{\text{пров}} = 0,035 + 0,055 + 0,0065 = 0,0965 \text{ (мм)}$$

Параметр  $I_{\max}$  в виразі (4.1) визначається як сума струмів, які споживають активні елементи схеми. Значення струмів, які споживають активні елементи схеми, наведені у Таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 - Струм споживання активних КЕ

IC	Кількість IC	$I_{\text{спож}}$ , мА
Arduino UNO	1	300
G5LE SPDT	1	50

GSM SIM900A	1	150
LCD1602	1	50

$$I_{max} = 300 + 50 + 150 + 50 = 550 \text{ (mA)}$$

Мінімальна ширина друкованого провідника на постійному струмі для ланцюгів живлення та «землі» визначається наступним чином:

$$b_{minI} = \frac{I_{max}}{j_{доп} \cdot t_{пров}} \quad (4.3)$$

$$b_{minI} = \frac{0,55}{48 \cdot 0,0965} = 0,12 \text{ (мм)}$$

Отримане значення мінімальної ширини провідника  $b_{minI \text{ БВ}} = 0,12 \text{ мм}$  містить в собі значення обраного 3 класу точності ( $b_{пр}^r = 0,25 \text{ мм}$ ). Таким чином, оптимальна мінімальна ширина провідника на постійному струмі для ланцюгів живлення та «землі» дорівнює 0,25 мм.

#### 4.1.2. Визначення мінімальної ширини провідника з урахуванням допустимого падіння напруги на ньому

Мінімальна ширина провідника з урахуванням допустимого падіння напруги на ньому, визначається (4.4):

$$b_{minU} = \frac{\rho \cdot I_{max} \cdot L_{пров}}{U_{доп} \cdot t_{пров}}, \quad (4.4)$$

де  $\rho$  – питомий опір провідника, виготовленого комбінованим позитивним методом,  $\rho = 0,0175 \left( \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}} \right)$

$L_{пров}$  – довжина найдовшого друкованого провідника ДВ

$$L_{пров} = 164 \text{ (мм)} = 0,164 \text{ (м)}$$

$U_{доп}$  – допустиме падіння напруги на друкованому провіднику,

$$U_{доп} = 0,05 \times E_{п},$$

$$E_{п} = 12 \text{ (В)}$$

$$U_{доп} = 0,05 \times 12 = 0,6 \text{ (В)}$$

$$b_{\min U} = \frac{p \cdot I_{\max} \cdot L_{\text{провБВ}}}{U_{\text{доп}} \cdot t_{\text{пров}}} = \frac{0,0175 \cdot 0,55 \cdot 0,164}{0,6 \cdot 0,0965} = 2,72 \cdot 10^{-2} (\text{мм})$$

#### 4.1.3. Визначення номінального діаметру монтажного отвору

$$d \geq d_{\text{вв}} + \Delta d_{\text{мо}} + r, \quad (4.5)$$

де  $d_{\text{вв}}$  – діаметр виводу елементів, для якого визначається діаметр монтажного отвору,

$\Delta d$  – нижнє граничне відхилення від номінального діаметру МО,  $\Delta d_{\text{мо}} = 0,1$  (мм) (для отворів менше 1мм),  $\Delta d_{\text{мо}} = 0,15$  (мм) (для отворів більше 1 мм)

$r$  – різниця між мінімальним діаметром МО та максимальним діаметром виводу елемента,  $r = 0,1 \dots 0,2$  (мм)

для DA1, A1, XP1, XP2, XP3:

$$d \geq d_{\text{вв}} + \Delta d_{\text{мо}} + r = 0,9 + 0,1 + 0,2 = 1,2 (\text{мм})$$

для K1

$$d \geq d_{\text{вв}} + \Delta d_{\text{мо}} + r = 0,7 + 0,1 + 0,2 = 1 (\text{мм})$$

#### 4.1.4. Визначення діаметра контактної площадки

$$D_{\min} = D_{\min I} + 1,5 \cdot h_{\text{ф}} + 0,03 \text{мм}, \quad (4.6)$$

де  $D_{\min I}$  – мінімальний ефективний діаметр КМ, мм,

$h_{\text{ф}}$  – товщина фольги,  $h_{\text{ф}} = 0,035$  (мм). Коефіцієнт  $1,5h_{\text{ф}}$  враховує підтравлювання фольги друкованого провідника у ширину,

0,03 – КМ виготовлюють комбінованим позитивним методом.

$$D_{\min I} = 2 \cdot \left( b_{\text{по}} + \frac{d_{\max}}{2} + \delta_o + \delta_{\text{км}} \right), \quad (4.7)$$

де  $d_{\max}$  – максимальний діаметр отвору в ДП, мм

$b_{\text{поБВ}}$  – ширина пояска КМ (Таблиця 3.1),  $b_{\text{по}} = 0,05$  (мм)

$b_{\text{поБК}}$  – ширина пояска КМ (Таблиця 3.1),  $b_{\text{по}} = 0,1$  (мм)

$\delta_o$ - похибка розташування центру отвору відносно вузла КС,  $\delta_o=0,07$  (мм)  
(Таблиця 3.2),

$\delta_{км}$ - похибка розташування центру КМ відносно вузла КС,  $\delta_{км}=0,05$  (Таблиця 3.2).

Максимальний діаметр отвору ДП:

$$d_{max}=d+\Delta d+(0,1\dots 0,15) \text{ мм}, \quad (4.8)$$

де  $d$ - номінальний діаметр МО, мм,

$\Delta d$ - допуск на діаметр отвору,

$$\Delta d_{БВ}=0,05 \text{ (мм)}$$

$$\Delta d_{БК}=0,1 \text{ (мм)}$$

для ХР1, ХР2, ХР3, DA1, A1,

$$d_{max}=d+\Delta d_{БК}+(0,1\dots 0,15)=1,2+0,1+0,15=1,45 \text{ (мм)}$$

$$D_{minI} = 2 \cdot \left( b_{по} + \frac{d_{max}}{2} + \delta_o + \delta_{км} \right) = 2 \cdot \left( 0,05 + \frac{1,45}{2} + 0,07 + 0,05 \right) \\ = 1,79 \text{ (мм)}$$

$$D_{min} = D_{minI} + 1,5 \cdot h_{\phi} + 0,03 = 1,79 + 1,5 \cdot 0,035 + 0,03 = 1,87 \text{ (мм)}$$

Максимальний діаметр КМ:

$$D_{max} = 1,79+0,02=1,89 \text{ (мм)}$$

для К1

$$d_{max}=d+\Delta d_{БК}+(0,1\dots 0,15)=1+0,1+0,15=1,25 \text{ (мм)}$$

$$D_{minI} = 2 \cdot \left( b_{по} + \frac{d_{max}}{2} + \delta_o + \delta_{км} \right) = 2 \cdot \left( 0,05 + \frac{1,25}{2} + 0,07 + 0,05 \right) \\ = 1,59 \text{ (мм)}$$

$$D_{min} = D_{minI} + 1,5 \cdot h_{\phi} + 0,03 = 1,59 + 1,5 \cdot 0,035 + 0,03 = 1,67 \text{ (мм)}$$

Максимальний діаметр КМ:

$$D_{max} = 1,67+0,02=1,69 \text{ (мм)}$$

#### 4.1.5. Визначення мінімальної ширини провідника

$$b_{\min} = b_{\text{пр}}^{\text{Г}} + 1,5 \cdot h_{\text{ф}} + 0,03 \text{ мм}, \quad (4.10)$$

де  $b_{\text{пр}}^{\text{Г}}$  – мінімальна ширина провідника. Визначаємо з таблиці класів точності (Табл.3.1).

Для 4-го класу точності ДМ  $b_{\text{прБВ}}^{\text{Г}} = 0,15$  (мм)

Для 3-го класу точності ДМ  $b_{\text{прБК}}^{\text{Г}} = 0,25$  (мм)

$$b_{\min\text{БВ}} = b_{\text{пр}}^{\text{Г}} + 1,5 \cdot h_{\text{ф}} + 0,03 = 0,15 + 1,5 \cdot 0,035 + 0,03 = 0,23 \text{ (мм)}$$

$$b_{\min\text{БК}} = b_{\text{пр}}^{\text{Г}} + 1,5 \cdot h_{\text{ф}} + 0,03 = 0,25 + 1,5 \cdot 0,035 + 0,03 = 0,38 \text{ (мм)}$$

Номінальна ширина провідника:

$$b = b_{\min} + 0,03 \text{ мм}, \quad (4.11)$$

$$b_{\text{БВ}} = 0,23 + 0,03 = 0,26 \text{ (мм)}$$

$$b_{\text{БК}} = 0,33 + 0,03 = 0,36 \text{ (мм)}$$

#### 4.1.6. Визначення мінімальної відстані між провідником і контактною площадкою

$$l_{\text{ПКМ min}} = L_0 - \left( \frac{D_{\text{max}}}{2} + \delta_{\text{км}} + \frac{b_{\text{max}}}{2} + \delta_{\text{сп}} \right), \quad (4.12)$$

де  $L_0$  – відстань між центрами отворів та друкованим провідником, які кратні кроку КС,  $L_0 = 1,25$  (мм)

$D_{\text{max}}$  – максимальний діаметр КП,

$b_{\text{max}}$  – максимальна ширина провідника,

$\delta_{\text{км}}$  – похибка розташування центра КП відносно вузла КС,  $\delta_{\text{км}} = 0,05$  (мм)

(Табл.3.2),

$\delta_{\text{сп}}$  – похибка, яка враховує зміщення провідника,  $\delta_{\text{сп}} = 0,05$  (мм)

$$l_{\text{ПКМ min}} = L_0 - \left( \frac{D_{\text{max}}}{2} + \delta_{\text{км}} + \frac{b_{\text{max}}}{2} + \delta_{\text{сп}} \right) = 1,25 - \left( \frac{1,69}{2} + 0,05 + \frac{0,25}{2} + 0,05 \right) = 0,18 \text{ (мм)}$$



#### 4.1.7. Визначення мінімальної відстані між двома сусідніми провідниками (між краями провідників)

$$l_{\text{ПП min}} = L_0 - (b + 2 \cdot \delta_{\text{СП}}), \quad (4.13)$$

$$l_{\text{ПП minБВ}} = L_0 - (b + 2 \cdot \delta_{\text{СП}}) = 1,25 - (0,26 + 2 \cdot 0,05) = 0,89 \text{ (мм)}$$

$$l_{\text{ПП minБК}} = L_0 - (b + 2 \cdot \delta_{\text{СП}}) = 1,25 - (0,36 + 2 \cdot 0,05) = 0,79 \text{ (мм)}$$

#### 4.1.8. Визначення мінімальної відстані між двома контактними майданчиками

$$l_{\text{minКМ КМ}} = L_0 - (D_{\text{max}} + 2 \cdot \delta_{\text{КМ}}), \quad (4.14)$$

де  $L_0$  - відстань між центрами сусідніх КП,  $L_0 = 1,25$  (мм),

$D_{\text{max}}$  - ширина КП,

$$l_{\text{minКМ КМ}} = L_0 - (D_{\text{max}} + 2 \cdot \delta_{\text{КМ}}) = 1,25 - (0,55 + 2 \cdot 0,05) = 0,6 \text{ (мм)}.$$

Отримані розраховані значення підтверджують правильність вибору 3-го класу точності.

### 4.2. Електричний розрахунок друкованої плати

#### 4.2.1. Визначення падіння напруги на найдовшому друкованому провіднику

Падіння напруги на друкованому провіднику визначається:

$$U_{\text{пад}} = \frac{\rho \cdot I_{\text{max}} \cdot l_{\text{пр}}}{b_{\text{пр}} \cdot t_{\text{пр}}}, \quad (4.15)$$

де  $\rho$  - питомий об'ємний опір для комбінованого позитивного методу виготовлення ДП,  $\rho = 0,0175 \left( \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}} \right)$ ;

$l_{\text{прБВ}}$  - максимальна довжина друкованого провідника;

$$l_{\text{прБВ}} = 0,164 \text{ (м)};$$

$t_{\text{пр}}$  - товщина провідника,  $t_{\text{пр}} = 0,0965$  (мм);

					<b>РВз31.468339.001 ПЗ</b>	Арк.
Змн	Арк.	№ доквм.	Підпис	Да		43

$I_{\max}$  – максимальний струм у провіднику,  $I_{\max} = 550$  (мА);

$$U_{\text{падБК}} = \frac{p \cdot I_{\max} \cdot l_{\text{пр}}}{b_{\text{прБВ}} \cdot t_{\text{пр}}} = \frac{0,0175 \cdot 0,55 \cdot 0,164}{0,25 \cdot 0,0965} = 0,11 \text{ (В)}$$

Розраховане падіння напруги не перевищує 5% від напруги живлення .

#### 4.2.2. Визначення потужності втрат друкованої плати

Потужність втрат визначається:

$$P_{\text{пот}} = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C \cdot E_n^2 \cdot \text{tg}\sigma, \quad (4.16)$$

де  $f=1$ , тому що розрахунок виконується на постійному струмі

$\text{tg}\sigma$  – тангенс кута діелектричних втрат для матеріала ДП,

Розрахуємо тангенс кута діелектричних втрат та діелектричну проникність друкованої плати FR4, яка покрита декількома шарами лаку УР-231.

$\text{tg}\sigma_{\text{FR4}} = 0,002$  для матеріалу FR4

$\text{tg}\sigma_{\text{УР-231}} = 0,03$  для лаку УР-231

$h_{\text{УР-231БК}} = 5 \cdot 10^{-6}$  (м)

$\epsilon_{\text{FR4}} = 4,5$  - діелектрична проникність для FR4

$\epsilon_{\text{УР-231}} = 4$  - діелектрична проникність для лаку УР-231

$$\text{tg}\sigma = \frac{\epsilon_{\text{УР-231}} \cdot h_{\text{FR4}} \cdot \text{tg}\sigma_{\text{FR4}} + 2 \cdot \epsilon_{\text{FR4}} \cdot h_{\text{УР-231}} \cdot \text{tg}\sigma_{\text{УР-231}}}{2 \cdot \epsilon_{\text{FR4}} \cdot h_{\text{УР-231}} + \epsilon_{\text{УР-231}} \cdot h_{\text{FR4}}} \quad (4.17)$$

$$\text{tg}\sigma_{\text{БВ}} = \frac{4 \cdot 1,5 \cdot 10^{-3} \cdot 0,02 + 2 \cdot 4,5 \cdot 10 \cdot 10^{-6} \cdot 0,03}{2 \cdot 4,5 \cdot 10 \cdot 10^{-6} + 4 \cdot 5 \cdot 10^{-3}} = 0,0024$$

$$\epsilon = \frac{\epsilon_{\text{FR4}} \cdot \epsilon_{\text{УР-231}} \cdot (h_{\text{FR4}} + 2 \cdot h_{\text{УР-231}})}{h_{\text{FR4}} \cdot \epsilon_{\text{УР-231}} + 2 \cdot h_{\text{УР-231}} \cdot \epsilon_{\text{FR4}}} \quad (4.18)$$

$$\epsilon_{\text{БВ}} = \frac{4,5 \cdot 4 \cdot (1,5 \cdot 10^{-3} + 2 \cdot 10 \cdot 10^{-6})}{1,5 \cdot 10^{-3} \cdot 4 + 2 \cdot 10 \cdot 10^{-6} \cdot 4,5} = 4,492$$

$C$  – ємність ДП, пФ

$$C = \frac{0,009 \cdot \epsilon \cdot S_m}{h}, \quad (4.19)$$

де  $\epsilon$  – діелектрична проникність,

$S_m$  - площа металізації, мм<sup>2</sup>

$S_m = 2025$  (мм<sup>2</sup>)

$h$  - товщина ДП, мм

$$C = \frac{0,009 \cdot \varepsilon \cdot S_m}{h} = \frac{0,009 \cdot 4,492 \cdot 2025}{1,5} = 54,58 \text{ (пФ)}$$

$$P_{\text{пот}} = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C \cdot E_n^2 \cdot \text{tg} \sigma = 2 \cdot 3,14 \cdot 1 \cdot 54,58 \cdot 25 \cdot 0,0024 = 20,56 \text{ (пВт)}$$

**4.2.3. Визначення ємності між двома сусідніми провідниками, які розташовуються на одній стороні друкованої плати і мають однакову ширину**

$$C = 0,12 \cdot \varepsilon \cdot l_{\text{пр}} \cdot \left[ \lg \frac{2 \cdot S}{b_{\text{пр}} + t_{\text{пр}}} \right]^{-1}, \quad (4.20)$$

де  $S$  – відстань між двома паралельними провідниками, мм

$b_{\text{пр}}$  - ширина друкованого провідника, мм

$t_{\text{пр}}$  - товщина друкованого провідника, мм

$l_{\text{пр}}$  - довжина взаємного перекриття двох паралельних провідників, мм

$$C = 0,12 \cdot \varepsilon \cdot l_{\text{пр}} \cdot \left[ \lg \frac{2 \cdot S}{b_{\text{пр}} + t_{\text{пр}}} \right]^{-1} = 0,12 \cdot 4,492 \cdot 7 \cdot \left[ \lg \frac{2 \cdot 0,8}{0,25 + 0,0965} \right]^{-1} = 5,7 \text{ (пФ)}$$

**4.2.4. Визначення взаємної індуктивності двох паралельних провідників однакової довжини**

$$M = 0,02 \left( l_{\text{пр}} \lg \frac{\sqrt{l_{\text{пр}}^2 - L_0^2 + l_{\text{пр}}} + l_{\text{пр}}}{L_0} - \sqrt{l_{\text{пр}}^2 - L_0^2 + l_{\text{пр}}} \right), \quad (4.21)$$

де  $l_{\text{пр}}$  – довжина перекриття паралельних провідників, см

$L_0$  - відстань між осьовими лініями двох паралельних провідників, см

$$M = 0,02 \left( 3 \cdot \lg \frac{\sqrt{49 - 0,64} + 7}{0,8} - \sqrt{49 - 0,64} + 7 \right) = 34,7 \text{ (пГн)}$$

Отримані розрахунки підтверджують оптимальність трасування провідників, оскільки втрата потужності, паразитні ємності та індуктивність незначні та не впливають на роботу ДВ.

### 4.3. Розрахунок основних показників надійності для блока вимірювання

Розраховуємо коефіцієнт навантаження, який дорівнює відношенню навантаження в робочому режимі та нагрузці в номінальному режимі:

$$K_n = \frac{H_{\text{раб}}}{H_{\text{ном}}}, \quad (4.23)$$

Коефіцієнт навантаження для резисторів

$$K_{н.р} = \frac{P_{\text{раб}}}{P_{\text{ном}}} = \frac{U_{\text{раб}}^2}{R \cdot P_{\text{ном}}}, \quad (4.24)$$

Для конденсаторів

$$K_n = \frac{U_{\text{раб}}}{U_{\text{ном}}}, \quad (4.25)$$

Розрахуємо коефіцієнти навантаження для резисторів і конденсаторів в схеми, використовуючи формули (4.24) та (4.25).

Коефіцієнт навантаження для резисторів

$$K_{н.р} = \frac{P_{\text{раб}}}{P_{\text{ном}}} = \frac{U_{\text{раб}}^2}{R \cdot P_{\text{ном}}}, \quad (4.26)$$

R-0805 1 кОм  $\pm 5\%$

$$K_{н.р} = \frac{U_{\text{раб}}^2}{R \cdot P_{\text{ном}}} = \frac{25}{1000 \cdot 0,1} = 0,25$$

R-0805 2,2 кОм  $\pm 5\%$

$$K_{н.р} = \frac{U_{\text{раб}}^2}{R \cdot P_{\text{ном}}} = \frac{25}{2200 \cdot 0,1} = 0,11$$

R-0805 10 кОм  $\pm 5\%$

$$K_{н.р} = \frac{U_{\text{раб}}^2}{R \cdot P_{\text{ном}}} = \frac{25}{10000 \cdot 0,1} = 0,025$$

для конденсаторів

$$K_n = \frac{U_{\text{раб}}}{U_{\text{ном}}}, \quad (4.27)$$

$$K_n = \frac{U_{\text{раб}}}{U_{\text{ном}}} = \frac{5}{16} = 0,31$$

для транзисторів:

$$K_{ні} = \frac{I_{раб}}{I_{ном}} \quad (4.28)$$

$$K_{ні} = \frac{I_{раб}}{I_{ном}} = \frac{0,003}{0,02} = 0,15$$

Визначаємо результуючу інтенсивність відмов друкованого вузлу формувача величини напруги. Друкований вузол відноситься до наземної апаратури, експлуатується при  $T_p = 60^\circ \text{C}$ , інші умови експлуатації нормальні. Вихідні дані для розрахунку  $\lambda_p$  – схема принципова, перелік елементів, часова діаграма та інтенсивність відмов “компонентів надійності” від температурних впливів.

По картам робочих режимів визначаємо коефіцієнти навантаження, температурні коефіцієнти ІС та інших ЕРЕ, підраховуємо кількість всіх елементів. Вихідні дані для визначення  $\lambda_p$  зведені до Табл. 4.4.

Таблиця 4.2 - Вихідні дані для визначення  $\lambda_p$

Компонент	N	$\lambda_{0e} \cdot 10^{-8}, \text{ч}^{-1}$	$K_{н}$	$a_t$	$a_e$	$N \cdot \lambda_{0e} \cdot K_{н} \cdot a_t \cdot a_e \cdot 10^{-8}$
Діод	1	3	0,05	1	20	3
Конденсатори	4	2	0,31	0,4	20	19,84
Мікросхеми	1	1	1	1	20	20
Модулі	2	2	1	1	20	80
Роз'єми	3	2	1	1	20	120
Резистори	6	4	0,13	0,15	20	9,36
Дисплей	2	0,002	0,07	1	20	0,0056
Реле	1	4	1	1	20	80
Транзистор	2	0,07	0,15	1	20	0,42
Фотодіод	2	19	0,5	1	20	380
Друкована плата	2	10	1	1	20	400
Контакт роз'ємів	7	2	1	1	20	280
Пайка виводів	38	0,05	1	1	20	38
Перехідні отвори	10	0,5	1	1	20	100
Сумарна ймовірність відмови ДВ						1530

$a_e$  – поправочний коефіцієнт на вплив зовнішніх впливів (для переносної апаратури  $a_e = 20$ ),

$a_t$  - поправочний температурний коефіцієнт.

Показники інтенсивності відмов, що наведені в таблиці, дещо завищені, дозволяє виконати розрахунок для «найгіршого випадку».

Результуюча інтенсивність відмов дорівнює сумі інтенсивності відмов компонентів:

$$\lambda_p = \sum_{i=1}^n \lambda_{pi}, \quad (4.29)$$

$$\lambda_p = \sum_{i=1}^n \lambda_{pi} \approx 1,530 \cdot 10^{-5} \text{ (год}^{-1}\text{)}$$

Середній час напрацювання до першої відмови:

$$T_{cp} = \frac{1}{\lambda_p} = \frac{1}{1,530 \cdot 10^{-5}} = 65359 \text{ (год)}$$

Ймовірність безвідмовної роботи на протязі року:

$$P = e^{-\lambda_p t} = e^{-1,530 \cdot 10^{-5} \cdot 8760} \approx 0,87$$

Ймовірність відмов на протязі року:

$$Q(t) = 1 - 0,87 = 0,13$$

Графік залежності безвідмовної роботи ДВ та ймовірність відмов ДВ від часу представлено на наступному графіку

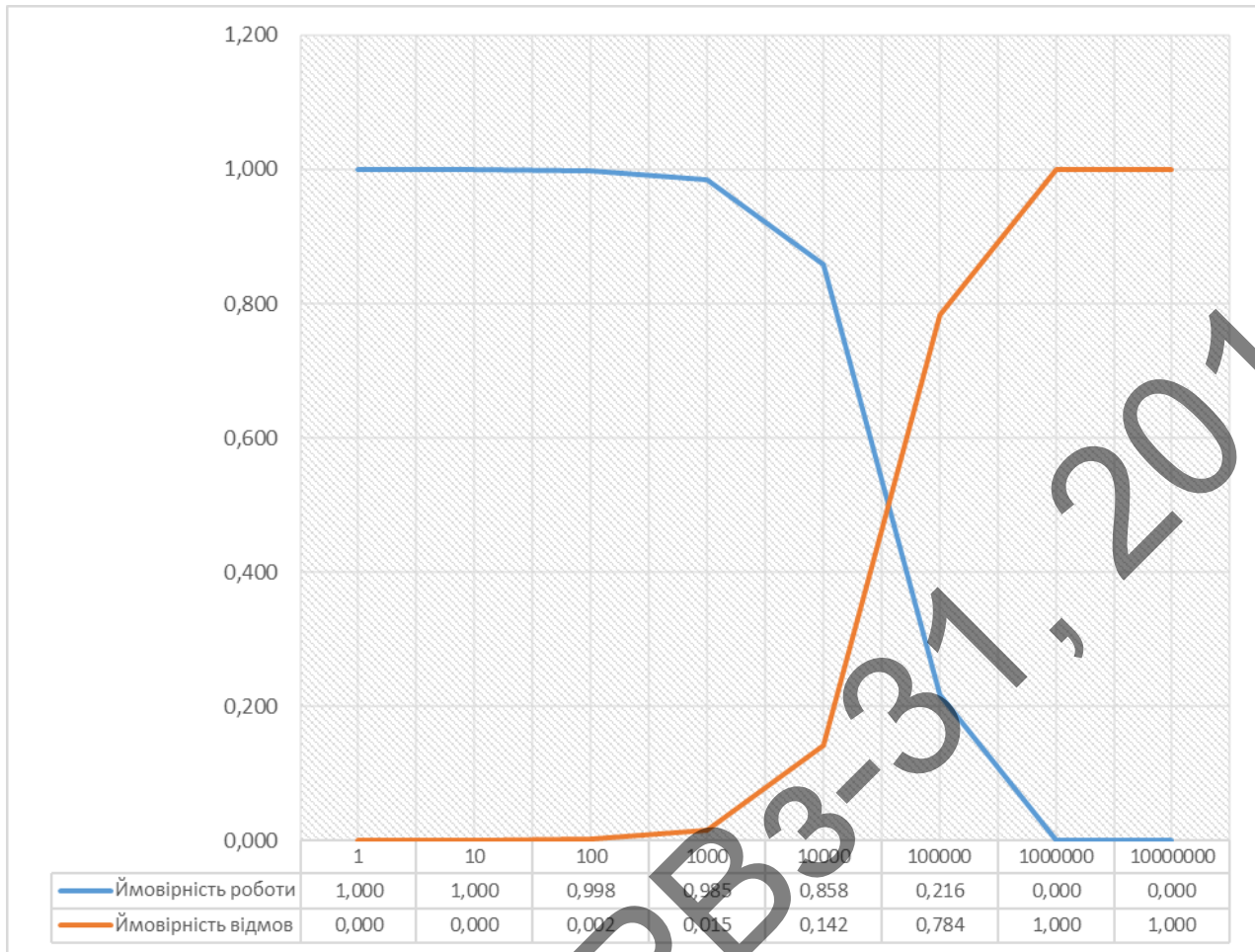


Рисунок 4.1 - Графік залежності безвідмовної роботи від часу та ймовірність відмов ДВ від часу

Виконали розрахунок основних показників надійності друкованого вузла. При проведенні оцінки надійності апаратури використовували усереднені, наближені значення параметрів.

Отримані значення:

- середній час напрацювання до першої відмови:

$$T_{сер} = 65359(\text{год})$$

- ймовірність безвідмовної роботи протягом року:

$$P=0,87$$

- ймовірність відмови протягом року:

$$Q(t)=0,13$$

З аналізу розрахованих значень можна зробити висновок, що вимоги до надійності виконуються в повному обсязі. В технічному завданні задано середнє час напрацювання до першої відмови не менше 30000 год. Отримане значення є більше необхідного, а це підтверджує правильність вибору конструкторських рішень.

Бунда Д.О. РВз-31, 2019

					РВз31.468339.001 ПЗ	Арк.
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Да		50



## Розділ 5. РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ

### 5.1. Вибір мови програмування для апаратної платформи Arduino

Сучасні мікроконтролери можуть програмуватися на різних мовах програмування. Для роботи з Arduino Uno у даному проекті перевагу було віддано Arduino IDE, через її зручний інтерфейс, легке налагоджування та легкість написання програм.

### 5.2. Структурна схема

На Рисунку 5.1 зображена структурна схема програми.

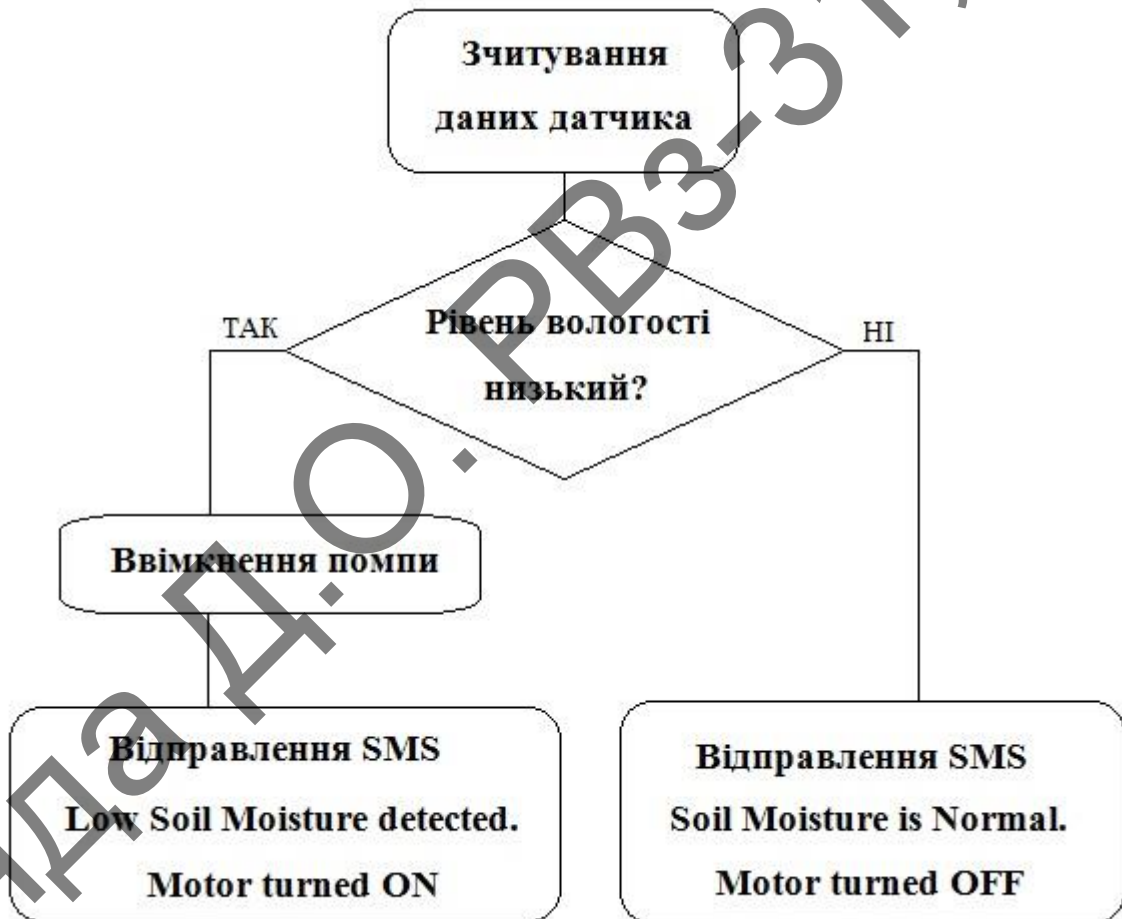


Рисунок 5.1 - Структурна схема програми

### 5.3. Розробка програми для мікроконтролера Arduino

Перш за все було підключено бібліотеку SoftwareSerial, а також бібліотека LiquidCrystal для LCD. Потім було визначено деякі змінні для двигуна, датчика вологості ґрунту тощо.

Потім у функції void setup (), послідовний зв'язок ініціалізується на рівні 9600 біт / с та направляються різні виводи. Функція gsmInit викликається для ініціалізації модуля GSM.

Потім покази датчика зчитуються у функції void (), а двигун вмикається або вимикається відповідно до стану датчика, SMS також надсилається користувачеві завдяки використанню функції sendSMS.

Функція gsmInit використовується для ініціалізації модуля GSM, де, по-перше, модуль GSM перевіряється – підключений він, чи ні, відправляючи команду "AT" до модуля GSM. Якщо отримано відповідь OK, це означає, що він готовий. Система продовжує перевіряти модуль, доки він не стане готовий або поки не буде отримано "OK". Потім ECHO вимикається, відправляючи команду ATE0, інакше модуль GSM буде відтворювати всі команди. Тоді, нарешті, наявність мережі перевіряється за допомогою команди «AT + CPIN?», Якщо вставленою картою є SIM-карта і PIN-код присутній, надходить відповідь READY.

Текст програми:

```
#include<SoftwareSerial.h>
SoftwareSerial Serial1(2,3);
#include<LiquidCrystal.h>
LiquidCrystal lcd(14,15,16,17,18,19);
int led=13;
int flag=0;
String str="";
#define motor 11
#define sensor 7
void setup()
{
  lcd.begin(16,2);
  Serial1.begin(9600);
  Serial.begin(9600);
  pinMode(led, OUTPUT);
```

```

pinMode(motor, OUTPUT);
pinMode(sensor, INPUT_PULLUP);
lcd.print("Water Irrigaton");
lcd.setCursor(4,1);
delay(2000);
lcd.clear();
lcd.print("Circuit Digest");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("Welcomes You");
delay(2000);
gsmInit();
lcd.clear();
lcd.print("System Ready");
}
void loop()
{
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("Automatic Mode  ");
  if(digitalRead(sensor)==1 && flag==0)
  {
    delay(1000);
    if(digitalRead(sensor)==1)
    {
      digitalWrite(led, HIGH);
      sendSMS("Low Soil Moisture detected. Motor turned ON");
      lcd.begin(16,2);
      lcd.setCursor(0,1);
      lcd.print("Motor ON  ");
      digitalWrite(motor, HIGH);
      delay(2000);
      flag=1;
    }
  }
  else if(digitalRead(sensor)==0 && flag==1)
  {
    delay(1000);
    if(digitalRead(sensor)==0)
    {
      digitalWrite(led, LOW);
      sendSMS("Soil Moisture is Normal. Motor turned OFF");
      digitalWrite(motor, LOW);
      lcd.begin(16,2);
      lcd.print("Motor OFF");
      lcd.setCursor(0,1);
    }
  }
}

```

```

        lcd.print("Motor OFF");
        delay(2000);
        flag=0;
    }
}

void sendSMS(String msg)
{
    lcd.clear();
    lcd.print("Sending SMS");
    Serial1.println("AT+CMGF=1");
    delay(500);
    Serial1.print("AT+CMGS=");
    Serial1.print("");
    Serial1.print("+380980552061"); // number
    Serial1.print("");
    Serial1.println();
    delay(500);
    Serial1.println(msg);
    delay(500);
    Serial1.write(26);
    delay(1000);
    lcd.clear();
    lcd.print("SMS Sent");
    delay(1000);
    lcd.begin(16,2);
}

void gsmInit()
{
    lcd.clear();
    lcd.print("Finding Module..");
    boolean at_flag=1;
    while(at_flag)
    {
        Serial1.println("AT");
        while(Serial1.available()>0)
        {
            if(Serial1.find("OK"))
                at_flag=0;
        }
        delay(1000);
    }
    Serial1.println("ATE0");
}

```

```
lcd.clear();
lcd.print("Finding Network..");
boolean net_flag=1;
while(net_flag)
{
  Serial1.println("AT+CPIN?");
  while(Serial1.available()>0)
  {
    if(Serial1.find("READY"))
      net_flag=0;
    break;
  }
  delay(1000);
}
Serial1.println("AT+CNMI=2,2,0,0,0");
delay(1000);
Serial1.println("AT+CMGF=1");
delay(1000);
Serial1.println("AT+CSMP=17,167,0,0");
lcd.clear();
Serial1.flush();
}
```

## Розділ 6. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

В цьому розділі виконано оцінку основних потенційно шкідливих і небезпечних чинників при виготовленні друкованих плат та виконанні пайки.

Охорона праці – це система законодавчих, гігієнічних і організаційних заходів спрямованих на збереження здоров'я і працездатності людини в процесі праці. Основними складовими частинами охорони праці являється трудове законодавство, техніка безпеки і виробнича санітарія, нерозривно зв'язані між собою. Трудове законодавство регламентує питання трудового права, санітарно-гігієнічних та технічних заходів, виробнича санітарія направлена на забезпечення здорових умов праці. У даному розділі проведено аналіз факторів, які впливають на продуктивність праці під час використання розробленої системи. Розглядається приміщення, в якому велась розробка системи розглянутої в даній роботі.

Основна увага в цьому розділі приділена питанням електробезпеки, організації безпечних та комфортних умов на робочому місці.

### 6.1 Визначення основних потенційно шкідливих та небезпечних виробничих чинників

Основні потенційно шкідливі та небезпечні виробничі чинники, які мають місце під час розробки та налагоджування даного пристрою, є:

- Можливість ураження електричним струмом;
- Підвищена загазованість повітря робочої зони парами шкідливих хімічних речовин;
- Недостатня освітленість робочої зони;
- Підвищена температура повітря робочої зони;
- Можливість виникнення пожежі;
- Підвищений рівень ультрафіолетової радіації під час виконання пайки;

### 6.1.1 Організація робочого місця

Організація і проведення робіт з пайки виробів повинні відповідати вимогам міжгалузевих правил з охорони праці при проведенні робіт з пайки та лудіння виробів і чинних нормативних актів, що містять державні нормативні вимоги охорони праці.

Будівлі, в яких розташовуються ділянки пайки, а також інші цехи і ділянки слід будувати з вогнестійкого матеріалу, розміщувати по відношенню до житлових забудов з повітряного боку і на відстані, що визначається відповідно до розрахунку розсіювання шкідливих речовин, але не менше 50м від житлових забудов;

На території організації повинно бути ізольоване приміщення для збору , короткочасного зберігання та утилізації відходів, отриманих у ході виконання робіт по пайці;

У виробничих приміщеннях повинні бути передбачені безпечні проходи і проїзди для руху людей і транспортних засобів. Ширина проїздів устанавлюється залежно від габаритів транспортних засобів і виробів. Межі проходів та проїздів повинні бути відзначені білими смугами шириною не менше 50мм, металевими кнопками або іншими способами. Відстань від межі проїжджої частини до елементів конструкції будівель та обладнання повинна бути не менше 0,5м, при русі людей – не менше 0,8 м.

У виробничих приміщеннях має бути не менше двох евакуаційних виходів. Двері повинні мати ширину не менше 0,8м і висоту не менше 2,0м. Ворота, двері та інші прорізи в капітальних стінах, зроблені для технологічних цілей, повинні бути утеплені та обладнані тамбурами або тепловими повітряними завісами. Двері повинні мати пристосування для примусового закривання;

На ділянках пайки повинні знаходитися первинні засоби пожежогасіння відповідно до вимог правил пожежної безпеки. Не допускається для гасіння магнієвих сплавів воду та пінні вогнегасники.

									Арк.
Змн	Арк.	№ доквм.	Підпис	Да	<b>РВз31.468339.001 ПЗ</b>				57

## 6.1.2 Мікроклімат робочих приміщень

Мікроклімат виробничих приміщень повинен відповідати гігієнічним вимогам. Для підвищення працездатності і збереження здоров'я важливим є створити для людини стабільні метеорологічні умови – температура, відносна вологість, швидкість руху повітря та інтенсивність теплового опромінення.

Мікроклімат виробничих приміщень – умови внутрішнього середовища цих приміщень, що впливають на теплообмін працівників з оточенням шляхів конвекцій, кондукцій, теплового випромінювання та випаровування вологи. Ці умови визначаються поєднанням температури, відносної вологості та інтенсивністю теплового опромінення.

При відхиленні параметрів мікроклімату від норми в організмі людини відбуваються терморегулюючі процеси.

Значні відхилення параметрів мікроклімату від оптимальних може стати причиною ряду простудних захворювань, які можуть перейти в більш важку захворювання, якщо не прийняти необхідні заходи по оздоровленню та покращенню мікроклімату приміщення. Для нормальної життєдіяльності людини важливим є парціальний тиск – 21331 Па і необхідно щоб у повітрі приміщення містилось не менше ніж 20% кисню.

Місце роботи користувачі – постійне. Робота виконується сидячи і не потребує фізичного напруження, тому за ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень вона має категорію «легка 1-а».

У Таблиці 6.1 наведено норми мікроклімату виробничих приміщень відповідно до ДСН 3.3.6.042-99.

Таблиця 6.1 - Параметри мікроклімату виробничих приміщень

Період року	Оптимальні		
	t°C	W, %	V, м/с
Теплий	23-25	60-40	0.1
Холодний	22-24	60-40	0.1



Бажано дотримуватись оптимальних нормованих значень параметрів мікроклімату. Щоб цього досягти необхідно використовувати спеціальні охолоджуючі чи обігрівуючі мікрокліматичні пристрої. Слід пам'ятати що окрім організмі людини, мікроклімат впливає також на вимірювальну техніку, тому недотримання вимог мікроклімату може значно вплинути на точність цієї техніки.

Температура в приміщенні ділянки де виконується пайка, через джерела тепла може перевищувати границю допустимої норми. Для видалення надлишку тепла використовується місцева механічна вентиляція. У теплий період часу відбувається природна вентиляція через вікна. У холодний період року може використовуватись система опалення.

## **6.2 Технічні рішення та організаційні заходи з охорони праці**

У даному підрозділі розглядаються заходи, які забезпечують здоров'я працівника і безпеку умов праці.

До небезпечних та шкідливих виробничих факторів, які мають місце при технологічному процесі пайки, відносяться:

Запиленість та загазованість повітря робочої зони;

Наявність інфрачервоного випромінювання від розплавленого припою;

Наявність електромагнітного випромінювання високої частоти;

Дія ультразвуку на організм людей при використанні технологічного процесу пайки хвилею;

Вплив електростатичного розряду;

Незадовільна освітленість робочого місця;

Підвищена яскравість на робочому місці;

Незадовільні метеорологічні умови в робочій зоні;

Вплив бризок та капель розплавленого припою;

Можливість ураження електричним струмом;

Група психофізичних шкідливих виробничих факторів: фізичні перевантаження (статичні та динамічні), нервово-психічні перевантаження (монотонність роботи, емоційні перевантаження);

								Арк.
Змн	Арк.	№ доквм.	Підпис	Да	<b>PB331.468339.001 ПЗ</b>			59

### 6.2.1 Відповідність рівня освітленості робочої зони санітарним нормам

Необхідний рівень освітлення на робочому місці визначають в залежності від характеристики зорових робіт. Роботи за ПЕОМ і оформлення документації відносяться до III розряду зорової роботи (високої точності). Для цих робіт згідно ДБН В.2.5-28-2006 [15] нормоване значення освітленості становить 400 Лк.

Розрахуємо штучне освітлення в приміщенні.

Розміри приміщення складають:  $A = 5 \text{ м}$ ,  $B = 6.5 \text{ м}$ ,  $H = 2,7 \text{ м}$ .

$$S = A \cdot B = 5 \cdot 6.5 = 32.5 \text{ м}^2$$

Оберемо з таблиці коефіцієнти використання світлового потоку:

- коефіцієнт віддзеркалення від побіленої стелі  $R_{\text{стелі}} = 70\%$ ;
- коефіцієнт віддзеркалення від стін білого кольору  $R_{\text{стін}} = 50\%$ ;
- коефіцієнт віддзеркалення від світлого лінолеуму  $R_{\text{підлоги}} = 30\%$ ;
- індекс приміщення:

$$i = \frac{A \cdot B}{H \cdot (A + B)} = \frac{A \cdot B}{h_p \cdot (A + B)}$$

$h_p = H - h_n$ , де  $h_n = 0,7 \text{ м}$  – висота робочої поверхні над підлогою.

$$h_p = 2,7 - 0,7 = 2 \text{ м}$$

$$i = \frac{5 \cdot 6.5}{2 \cdot (5 + 6.5)} \cong 1.41$$

Виходячи з індексу приміщення ( $i$ ) та коефіцієнтів відбиття стелі, стін і підлоги, визначимо коефіцієнт використання світлового потоку  $\eta$ .

$$\eta = 0,46$$

Для забезпечення загального штучного освітлення обираємо світильник з двома люмінесцентними лампами типу ЛБ-80, для якого  $F_{\text{л}} = 5200 \text{ Лм}$ .

Фактична освітленість обчислюється за формулою:

$$E_{\phi} = \frac{F_{\text{л}} N n \eta}{S K_3 z}$$

де  $F_l$  – світловий потік однієї лампи ( $F_l = 5200 \text{ Лм}$ );

$N$  – кількість світильників ( $N = 6$ );

$n$  – кількість ламп у світильнику ( $n = 2$ );

$\eta$  – коефіцієнт використання світлового потоку ( $\eta = 46\%$ );

$S$  – площа приміщення ( $S = 32.5 \text{ м}^2$ );

$K_3$  – коефіцієнт запасу ( $K_3 = 1,3$ );

$z$  – коефіцієнт нерівності освітлення ( $z = 1,1$ ).

Отже фактична освітленість:  $E_\phi = \frac{5200 \cdot 6 \cdot 2 \cdot 0,32}{32,5 \cdot 1,3 \cdot 1,1} = 429 \text{ Лк}$ . Фактичне значення

не відрізняється більше ніж на 10% від нормованого, що задовольняє вимогам ДБН В.2.5-28-2006.

### 6.2.2 Аналіз рівня електромагнітного випромінювання

Основним джерелом ЕМВ у приміщенні є комп'ютер, який працює в діапазоні частот близько 50 Гц. В Україні розроблені і діють нормативні документи, що регламентують роботу з візуальними дисплейними терміналами: НПАОП 0.00-1.28-10 “Правила охорони праці під час експлуатації ЕОМ” – Держгірпромнагляд, № 65 від 26 березня 2010 р. за умови дотримання ДСанПіН 3.3.2.007-99, згідно з якими рівень ЕМВ в приміщенні повинна бути нижче 10 мкВт/см<sup>2</sup>.

### 6.2.3 Електробезпека

Дане приміщення відноситься до категорії приміщень без підвищеної електричної небезпеки, оскільки в ньому відсутні наступні фактори:

Відносна вологість повітря більше 75%;

Температура повітря більше 35 С;

Наявність струмопровідного пилу;

Наявність струмопровідних статей;

Наявність хімічно агресивного й біологічного середовища, що може стати причиною руйнування ізоляції;

						Арк.
Змн	Арк.	№ доквм.	Підпис	Да	<b>РВз31.468339.001 ПЗ</b>	61

Можливість одночасного доторкання до заземлених металевих конструкцій і струмопровідних частин (батареї, закриті дерев'яними щитками).

Живлення до приміщення підведене від загального розподільного щитка. У приміщенні використовується дві фази трифазної мережі напругою 220 В і частотою 50 Гц. Споживачами електроенергії є десять персональних комп'ютерів, один кондиціонер, принтер, освітлювальні прилади.

Електромережа виконана за допомогою трьох провідників – фазового, нульового, захисного провідника, які проведені по підлозі поруч зі стінами приміщення, у гнучких металевих рукавах з відводами до шістьох груп розеток. Використання нульового робочого провідника як нульового захисного провідника забороняється, а також не припустиме підключення цих провідників на щитку до одного контактного затискача.

Розетки монтуються на негорючих пластинах і мають сучасну трьохфазну конструкцію, захисний контакт виконаний у вигляді бічних контактів, які взаємодіють першими, при включенні вилки в розетку й відключаються останніми при витягуванні вилки з розетки, які відповідає умовам НПАОП 0.00-1.28-10.

Для сприятливих умов роботи всі елементи електроприладів й устаткування виконані відповідно до умов техніки електробезпеки, мають необхідне ізоляційне покриття (подвійна ізоляція) і властивості, що виключає можливість поразки електричним струмом при підключенні й експлуатації встаткування.

#### 6.2.4 Пожежна безпека

Можливими причинами виникнення пожежі можуть бути:

Несправність і електроустаткування (пробій ізоляції, несправності, що виникли внаслідок механічних ушкоджень і тд.);

Порушення протипожежного режиму (наприклад паління в недозволених місцях, користування побутовими електронагрівальними приладами і тд.)

Речовинами, які можуть горіти є:

Меблі;

Папір;

								Арк.
Змн	Арк.	№ доквм.	Підпис	Да	РВз31.468339.001 ПЗ			62

Конструктивні елементи приміщення (покриття підлоги, двері, віконні рами);

Кабельні лінії та радіодеталі;

Так як усі вищеперераховані речовини є твердими речовинами і матеріалами, здатні при взаємодії з повітрям горіти, то розглянуте приміщення, згідно НАПБ Б.03.002-2007 можна віднести по пожежонебезпечної категорії «В».

Передбачаються наступні заходи з метою забезпечення пожежної безпеки:

Постійний контроль стану засобів пожежогасіння;

Контроль за станом ізоляції струмоведучих дротів;

Заборонено паління в приміщенні;

Неприпустимість перевантажень, перегріву у роботі обладнання;

Заборона експлуатації обладнання з саморобними запобіжниками;

Заборона знаходження в приміщенні горючих та вибухонебезпечних речовин;

Встановлення пожежних сповіщувачів потрібного типу, які зможуть захистити увесь виробничий простір;

								Арк.
Змн	Арк.	№ докum.	Підпис	Да	PBз31.468339.001 ПЗ			63

## ВИСНОВКИ

В даному дипломному проекті розроблено схемотехнологічне рішення автоматичної системи, друкований вузол, Даний пристрій має характеристики, які відповідають вимогам технічного завдання.

В ході обґрунтування даного рішення виконані наступні етапи:

1. Приведено аналіз існуючих методів, технічних рішень, що дало змогу вибрати оптимальне рішення. Таке рішення дозволяє будувати прилади автоматичного, швидкого контролю за станом вологості та керування поливом рослин. Наведено результати проведеного аналізу існуючих технічних рішень за даними літературних джерел. Це дозволило сформулювати уявлення про конструктивні, структурні рішення, параметри, характеристики та розробити патентоспроможну структурну схему автономної фотометричної системи, яка відрізняється від існуючих розширеною кількістю оптичних каналів, збором та аналізом результатів у блоці керування, наявністю двонаправленого каналу обміну даних через блок інтерфейсу.

2. Розроблено схему ділення структурну системи, електричну принципову. Використання мікроконтролера ATmega 328 на платі Arduino UNO розширює функціональні можливості. GSM модуль забезпечує зв'язок з віддаленим користувачем. Живлення 12В задовольняють вимоги ТЗ. Вибір сучасної елементної бази (переважно конструктивні елементи поверхневого монтажу) забезпечує значне зменшення друкованого вузла (ДВ).

3. Обрана двостороння друкована плата має високу щільність монтажу, підвищену надійність з'єднань, дозволяє полегшити трасування провідників і оптимізувати розміри плати завдяки щільному розміщенню елементів, має високу механічну міцність кріплення. Розглянуто створення ДВ у Altium Designer. Параметри ДВ: маса 40 г, габаритні розміри 150x140x40 мм, відповідають вимогам технічного завдання. Це дозволило підтвердити наявність навичок

									Арк.
Змн	Арк.	№ доквм.	Підпис	Да	<b>PB331.468339.001 ПЗ</b>				64

конструкторського проектування та виконати вихідну конструкторську документацію.

4. Виконано розрахунки, що підтверджують працездатність схеми (Розділ 4), а саме:

- конструкторсько-технологічний, який підтвердив правильність вибору 3-го класу точності;

- електричний розрахунок друкованої плати, підтвердив оптимальний вибір трасування провідників. Оскільки, потужність втрат на постійному струмі 20,56 пВт, падіння напруги 0,109 В, паразитна ємність для блока вимірювання 5,7 пФ, паразитна індуктивність 34,7 пГн для блока вимірювання - ці значення не впливають на роботу ДВ; розрахунок надійності ДВ. Отримане значення середнього часу напрацювання на відмову 65359 год задовольняє вимоги технічного завдання (30000 год).

5. Запропоновано алгоритм роботи. Для передачі даних та керування користувачеві використовується GSM модуль.

6. Розроблена необхідна конструкторська документація на автоматичну систему.

Проект виконано в повному об'ємі, а розрахунки підтверджують працездатність пристрою та задовольняють вимоги технічного завдання.

						Арк.
Змн	Арк.	№ доквм.	Підпис	Да	<b>PB331.468339.001 ПЗ</b>	65

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Автополив для кімнатних рослин / Електронний ресурс / <http://www.peredelka.tv/articles/design-and-decor/tech/phytodesign/theory/avtopoliv/>

Автополив для кімнатних рослин

2. Пристрій горщикого автополиву кімнатних рослин / <http://olggol.ru/ustroistvo-podzemnogo-avtopoliva/> Електронний ресурс / Пристрій

горщикого автополиву кімнатних рослин

3. Автополив Blumat. Як працює? / Електронний ресурс / <https://101slon.ru/categories/avtopoliv-komnatnykh-rastenii-1/> / Автополив Blumat.

Як працює?

4. Як створити продукт в сфері побутової електроніки за пару тижнів з мінімальним бюджетом / Електронний ресурс / <https://geektimes.ru/post/258456/>

Як створити продукт в сфері побутової електроніки за пару тижнів з мінімальним бюджетом

5. Arduino Plant Monitor / Електронний ресурс / <http://www.instructables.com/id/Arduino-Plant-Monitor/> Arduino Plant Monitor

6. Arduino Uno / Електронний ресурс / <http://arduino.ua/ru/hardware/Uno/> Arduino Uno

7. Урок 2. Плата Arduino UNO R3. Опис, характеристики. / Електронний ресурс / <http://mypractic.ru/urok-2-plata-arduino-uno-r3-opisanie-xarakteristiki.html/>

Урок 2. Плата Arduino UNO R3. Опис, характеристики.

8. Мікроконтролер AVR / Електронний ресурс / [http://myrobot.ru/stepbystep/mc\\_architecture.php/](http://myrobot.ru/stepbystep/mc_architecture.php/) Мікроконтролер AVR

9. Standard LCD - 16x2 White on Blue / Електронний ресурс / <https://www.hackster.io/adafruit/products/standard-lcd-16x2-white-on-blue/> Standard

LCD - 16x2 White on Blue

									Арк.
Змн	Арк.	№ докum.	Підпис	Да	<b>PB331.468339.001 ПЗ</b>				66



10. Модуль GSM GPRS SIM800 MicroSIM з антеною / Електронний ресурс / <https://arduino-kit.ru/catalog/id/modul-gsm-gprs-sim800-microsim-s-antenny/> Модуль GSM GPRS SIM800 MicroSIM з антеною

11. Датчик вологості ґрунту: принцип роботи та збирання своїми руками / Електронний ресурс / <http://sadoviukr.ru/budinok/svoimi-rukami/841-datchik-vologosti-gruntu-princip-roboti-ta.html/> Датчик вологості ґрунту: принцип роботи та збирання своїми руками

12. Водяна міні помпа RS-360SH / Електронний ресурс / <http://good-kits.ru/proektirovanie/robototekhnika/vodyanaya-mini-pompa-rs-360sh/> Водяна міні помпа RS-360SH

13. Вимоги безпеки до електричного устаткування для вимірювання, керування та лабораторного застосування. Частина 1. Загальні вимоги IEC 61010-1:2005 — К.: Держспоживстандарт України, 2008. — 96 с. : табл. (Національний стандарт України).

14. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів ДНАОП 0.00-121-98 — 1С Основа, 1998. — 380 с.

15. Реле проміжне РЕК78 / 4 3А 12В DC ІЕК / Електронний ресурс / <https://avselectro.ru/catalog/kontakty-i-puskateli/65348/> Реле проміжне РЕК78 / 4 3А 12В DC ІЕК

16. BC547 - опис виробника. Основні параметри. Довідник транзисторів. / Електронний ресурс / <http://alltransistors.com/ru/transistor.php?transistor=23400/> BC547 - опис виробника. Основні параметри. Довідник транзисторів.

17. Резистор. Опір резистора. Маркування резисторів. / Електронний ресурс / [https://beam-robot.ru/electronics\\_for\\_beginners/resistor.php/](https://beam-robot.ru/electronics_for_beginners/resistor.php/) Резистор. Опір резистора. Маркування резисторів.

18. Савельев А.Я., Овчинников В.А. Конструирование ЭВМ и систем: Учебник для техн. вузов по спец. "Электрон. выч. маш." - М.: Высш. Шк., 1984. - 248с., ил.

ГОСТ 2.417-91. ЕСКД. Платы печатные. Основные размеры.

									Арк.
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Да	<b>PB331.468339.001 ПЗ</b>				67

ГОСТ 2.701-2008. Схемы. Виды и типы. Общие требования к выполнению.

ГОСТ 2.743-91. Обозначения условных графические в схемах. Элементы цифровой технике.

ГОСТ 23571-86. Платы печатные. Основные параметры конструкции

ГОСТ 23752-79. Платы печатные. Общие технические условия

ДСТУ 2646-94. Плати друковані. Терміни та визначення.

Бунда Д.О. РВЗ-31, 2019

					РВЗ31.468339.001 ПЗ	Арк.
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Да		68

## Додаток А

### Технічне завдання на проектування

#### 1 НАЗВА ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ

Радіоелектронний пристрій.

Підставою для виконання є: завдання видане кафедрою радіоконструювання та виробництва радіоапаратури від 17.05.17.

#### 2 ВИКОНАВЦІ ПРОЕКТУ:

Керівник дипломного проекту: к.т.н., доц. Дюжаев Леонід Петрович

Виконавець: студентка групи РВз-31 Бунда Дар'я Олександрівна.

#### 3 МЕТА ВИКОНАННЯ

Метою дипломного проекту є розробка автоматичної системи подачі води ґрунту, при значенні вологості нижче норми з використання сповіщень користувачеві.

#### 4 СКЛАД ПРОДУКЦІЇ:

- Блок керування;
- Датчик вологості;
- Водяна помпа.

#### 5 ТЕХНІЧНІ ВИМОГИ

Зв'язок з користувачем

Дисплей, повідомлення передані GSM модулем

Габаритні розміри

не більше 150x150x50;

Маса

не більше 400г;

Живлення

12В±5%

#### 6 ВИМОГИ ЖИТТЄЗДАТНОСТІ ТА СТІЙКОСТІ ДО ЗОВНІШНІХ ВПЛИВІВ І ЧИННИКІВ:

Кліматичне виконання УХЛ І-4.2 згідно ГОСТ 11478-88 та С1 за ГОСТ 16019-2001.

- Абсолютна вологість 10 г/м,
- Атмосферний тиск 86-106кПа,

					<b>РВз31.468339.001 ПЗ</b>	Арк.
Змн	Арк.	№ доквм.	Підпис	Да		69

- Відносна вологість 75%,
- Температурний діапазон 0-35<sup>0</sup>С.

## **7 ВИМОГИ НАДІЙНОСТІ**

Пристрій повинен бути ремонтнопридатний та надійним згідно ДСТУ 13540-74.

## **8 ПОРЯДОК НАДІЙНОСТІ**

Середній час напрацювання на відмову повинен бути на менше 30000 год.

## **9 ВИМОГИ ДО КОНСТРУКЦІЇ**

- Вид виконання блочний,
- Габаритні розміри повинні не перевищувати 150 мм у ширину та довжину, а у висоту не більше 50 мм,
- Маса не перевищує 400г,
- Забезпечити зручне та легке налаштування пристрою.

## **10 УМОВИ УНІФІКАЦІЇ ТА СТАНДАРТИЗАЦІЇ**

Умови до уніфікації та стандартизації не висуваються.

Орієнтовані на передові прийоми виготовлення деталей і складання.

## **11 ВИМОГИ БЕЗПЕКИ ОБСЛУГОВУВАННЯ.**

Керуватися загальними вимогами безпеки до апаратури низької напруги ГОСТ 12.2.007-75.

## **12 НЕОБХІДНІСТЬ ♦ ЗАПОБІЖНИХ ЗАХОДІВ ЩОДО НЕСАНКЦІОНОВАНОГО ЗАСТОСУВАННЯ**

Встановити застережливі помітки на нижній стінці пристрою, за для запобігання несанкціонованого застосування.

## **13 ЗРУЧНІСТЬ СКЛАДАННЯ І РОЗБИРАННЯ ВИРОБУ ПІД ЧАС ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ І РЕМОНТУ**

Доступність до окремих складових частин виробу під час обслуговування і ремонту без монтажу інших складових частин.

## **14 ВИМОГИ ДО БЕЗПЕКИ ЖИТТЯ, ЗДОРОВ'Я, МАЙНА ГРОМАДЯН ТА ОХОРОНИ ДОВКІЛЛЯ**

					<b>РВз31.468339.001 ПЗ</b>	Арк.
Змн	Арк.	№ доквм.	Підпис	Да		70

Відповідно до загальних санітарно-гігієнічних вимог та положень ДСТУ ISO 14001 та ДСТУ ISO 14004.

### **15 ВИМОГИ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ СУМІСНОСТІ**

Вимоги до електромагнітної сумісності не висуваються.

### **16 ВИМОГИ ДО СИРОВИНИ ТА МАТЕРІАЛІВ**

Матеріали повинні бути екологічно чистими та піддаватися утилізації згідно до ДСТУ 2195-99.

### **17 ВИМОГИ ДО КОНСЕРВАЦІЇ, ПАКУВАННЯ І МАРКУВАННЯ**

В коробці для транспортування забезпечити протиударні пінопластові рамки.

### **18 ВИМОГИ ДО РОЗРОБЛЯЄМОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ**

Текстову документацію виконати згідно ДСТУ 3008-95.

Перелік необхідної текстової та графічної документації:

- пояснювальна записка,
- схема електрична принципова,
- перелік елементів,
- креслення друкованої плати,
- складальне креслення,
- специфікація.

### **19 ЕТАПИ ВИКОНАННЯ РОБОТИ**

№	Назва етапу	Термін виконання	Результат
1	Підготовка технічного завдання		Технічне завдання
2	Аналіз технічного завдання		Розділ 1
3	Схемо-технічне проектування		Розділ 2
4	Вибір елементної бази та друкованої плати		Розділ 2, Розділ 3
5	Виконання креслення схеми електричної принципової		Конструкторська документація
6	Конструкторсько-		Розділ 4

	технологічні розрахунки		
7	Електричний розрахунок друкованої плати		Розділ 4
8	Розрахунок надійності, віброміцності		Розділ 4
9	Проектування у Altium Designer		Розділ 3,4
10	Виконання креслень друкованої плати та складального креслення друкованого вузла		Конструкторська документація
11	Оформлення пояснювальної записки		Конструкторська документація

### 19 ПОРЯДОК ПРИЙНЯТТЯ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ

- 1 Захист етапів дипломного проекту науковому керівнику.
- 2 Захист дипломного проекту перед комісією на кафедрі.
- 3 Захист дипломного проекту перед екзаменаційною комісією.

Виконавець:

Бунда Д.О.

Підпис

Керівник:

Дюжаев Л.П.

Підпис