

Міністерство освіти і науки України
Відокремлений структурний підрозділ
«Тернопільський фаховий коледж
Тернопільського національного технічного університету імені Івана
Пулюя»

(повне найменування вищого навчального закладу)
відділення телекомунікацій та електронних систем
(назва відділення)
циклова комісія телекомунікацій та радіотехніки
(повна назва циклової комісії)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
до кваліфікаційної роботи

фаховий молодший бакалавр

(освітньо-професійний ступінь)

на тему: Розробка конструкції навчально-демонстраційного стенду для вивчення основ мікропроцесорної техніки з використанням Arduino.

Виконав: студент (ка) IV курсу, групи ТР-402

Спеціальність: 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

Освітня програма: «Конструювання, виробництво та технічне обслуговування радіотехнічних пристроїв».

(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

Мимрик Олег

(прізвище та ініціали)

Керівник Недошитко Л. М.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Дунець В. Л

(прізвище та ініціали)

**Відокремлений структурний підрозділ
«Тернопільський фаховий коледж
Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя»
Відділення телекомунікацій та електронних систем
Циклова комісія телекомунікацій та радіотехніки
Освітньо-кваліфікаційний рівень молодший спеціаліст
Галузь знань 17 «Електроніка та телекомунікації»
Спеціальність 172 «Телекомунікації та радіотехніка»
Спеціалізація «Конструювання, виробництво та технічне обслуговування
радіотехнічних пристроїв».**

ЗАТВЕРДЖУЮ

Голова циклової комісії
телекомунікацій та радіотехніки
_____ Ольга ВАСИЛИШИН
_____ “20” _____ квітня 2026 року

**З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи

керівник кваліфікаційної роботи _____,
(прізвище, ім'я, по батькові)

КР затверджені наказом закладу фахової передвищої освіти від 27.02.2026 року №4/9-133.

2. Строк подання студентом кваліфікаційної роботи: 16.06.2026 р.

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи:

4. Зміст пояснювальної записки:

Анотація

Вступ. Призначення і область застосування електронного пристрою

Розділ 1 Загальна частина

1.1. Розробка технічного завдання.

1.2. Вибір і опис структурної схеми виробу.

1.3. Опис принципу роботи схеми електричної принципової та її аналіз.

Розділ 2 Спеціальна частина

2.1. Розрахунково-конструкторська частина.

2.1.1. Опис компонування виробу. Обґрунтування вибору конструкційних матеріалів і покрить.

2.1.2. Обґрунтування вибору конструкції.

- 2.1.3. Опис і обґрунтування вибору елементної бази.
- 2.1.4. Опис програми мікроконтролера.
- 2.1.5. Опис конструкції друкованої плати.
- 2.1.6 Оцінка теплових режимів роботи виробу
- 2.1.7. Розрахунок надійності проектного виробу.
- 2.1.8 Техніко-економічний аналіз конструкції виробу.
- 2.2. Технологічна частина
 - 2.2.1. Загальні відомості про складання і монтаж проектного виробу. Вибір типу технології.
 - 2.2.2. Якісна оцінка технологічності конструкції.
 - 2.2.3. Опис технології виготовлення друкованої плати. Вибір основних та допоміжних матеріалів.
 - 2.2.4. Розробка і оформлення маршрутно-операційної технології складання і монтажу виробу.
- Розділ 3 Економічна частина
 - 3.1. Розрахунок обсягу інвестицій, необхідних для реалізації проектних рішень
 - 3.2 Розрахунок собівартості продукції.
 - 3.3. Оцінка економічної ефективності та доцільності впровадження проектних рішень.
- Розділ 4 Охорона праці
 - 4.1. Перевірка знань працівників з питань охорони праці.
 - 4.2. Оптимальні кліматичні умови. Таблиця.
- Висновки
- Перелік посилань
- Додатки

Додаткові вказівки:

Виконання кваліфікаційної роботи: _____ з _____ виготовленням макета _____

5. Перелік графічного матеріалу

- Аркуш №1 Схема електрична принципова
- Аркуш №2 Схема електрична структурна
- Аркуш №3 Складальне креслення друкованого вузла
- Аркуш №4 Таблиця ТЕП

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Економічна частина	Оксана КУЩАК		
Охорона праці	Генадій ГОРЯЧИК		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів кваліфікаційної роботи	Примітка
1	Отримання і аналіз технічного завдання	20.04	
2	Збір і узагальнення інформації по проекту	13.05	
3	Написання першого розділу	25.05	
4	Розробка технічного та робочого проекту	29.05	
5	Написання спеціального розділу	29.05	
6	Розрахунок економічної частини	25.05	
7	Написання розділу охорони праці	26.05	
8	Виконання графічної частини	19.05	
9	Оформлення проекту	08.06	
10	Погодження нормоконтролю	12.06	
11	Попередній захист проекту	16.06	
12	Захист проекту		

7. Дата видачі завдання 20 квітня 2026 р.

Студент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник проекту

(підпис)

ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ.....

ВСТУП. Призначення і область застосування радіопристрою.....

РОЗДІЛ 1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА.....

1.1 Розробка технічного завдання

1.2 Вибір і опис структурної схеми виробу

1.3 Опис принципу роботи схеми електричної принципової та її аналіз.....

РОЗДІЛ 2 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА.....

2.1 Розрахунково-конструкторська частина.....

2.1.1 Опис компонування виробу. Обґрунтування вибору конструкційних матеріалів і покриттів

2.1.2 Обґрунтування вибору конструкції.....

2.1.3 Опис і обґрунтування вибору елементної бази

2.1.4 Опис програми мікроконтролера.....

2.1.5 Опис конструкції друкованої плати. Розрахунок параметрів друкованого монтажу

2.1.6 Оцінка теплових режимів роботи виробу.....

2.1.7 Розрахунок надійності проектного пристрою.....

2.1.8 Техніко-економічний аналіз конструкції виробу. Розрахунок споживаної потужності.....

2.2 Технологічна частина.....

2.2.1 Загальні відомості про складання і монтаж проектного виробу. Вибір типу технології.....

2.2.2 Якісна оцінка технологічності конструкції.....

					26 КР 172.402.020.000.000 ПЗ			
Зм.	Арк.	Нодокум.	Підп.	Дата	Розробка конструкції навчально-демонстраційного стенду для вивчення основ мікропроцесорної техніки з використанням Arduino. Пояснювальна записка	Лім.	Аркуш.	Аркушів
Розроб.		Мимрик О. А.						
Перевір.		Недошитко Л. М.						
Реценз.								
Н.контр.		Задорожний В. Ю.						
Затв.								
						ВСП «ТФК ТНТУ» ТР-402 м. Тернопіль		

2.2.3 Опис технології виготовлення друкованої плати. Вибір основних та допоміжних матеріалів.....

2.2.4 Кількісна оцінка технологічності друкованого вузла.....

2.2.5 Розробка і оформлення маршрутно-операційної технології складання і монтажу виробу.....

РОЗДІЛ 3 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....

3.1 Розрахунок обсягу інвестицій, необхідних для реалізації проектних рішень

3.2 Розрахунок собівартості продукції.....

3.3 Оцінка економічної ефективності та доцільності впровадження проектних рішень.....

РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ.....

4.1 Перевірка знань працівників з питань охорони праці.....

4.2 Оптимальні кліматичні умови. Таблиця.....

ВИСНОВКИ.....

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....

ДОДАТКИ.....

					26 КР 172.402.020.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

АНОТАЦІЯ

Мимрик О.А. Розробка конструкції навчально-демонстраційного стенду для вивчення основ мікропроцесорної техніки з використанням Arduino: кваліфікаційна робота на здобуття освітньо-кваліфікаційного рівня молодший спеціаліст за спеціальністю 172 «Електронні комунікації та радіотехніка». Тернопіль: ВСП «ТФК ТНТУ», 2026.

У кваліфікаційній роботі розроблено конструкцію навчально-демонстраційного стенду для вивчення основ мікропроцесорної техніки та програмування мікроконтролерів на базі платформи Arduino. Стенд призначений для проведення лабораторних і практичних занять з електроніки, мікроконтролерної техніки та вбудованих систем.

До складу стенду входять плата Arduino Uno, RFID-модуль RC522, датчики DHT11, MQ-2, HC-SR04, HC-SR501, дисплей LCD1602 з інтерфейсом I2C, світлодіодна матриця MAX7219, драйвер двигуна TB6612FNG, сервоприводи та інші електронні модулі. Це забезпечує можливість дослідження принципів роботи сучасних мікроконтролерних систем та периферійних пристроїв.

Друкована плата виконана односторонньою з габаритними розмірами 250×380 мм. Корпус виробу виготовляється методом 3D-друку з PLA-пластику, що забезпечує простоту виготовлення, достатню міцність та невелику масу конструкції.

У роботі проведено аналіз елементної бази, розроблено електричну принципову схему, друковану плату, конструкцію виробу, технологію складання та монтажу, а також виконано розрахунки надійності, технологічності й економічної ефективності проєктованого стенду.

Ключові слова: Arduino, навчально-демонстраційний стенд, мікропроцесорна техніка, RFID, датчики, LCD-дисплей, друкована плата, 3D-друк.

					26 КР 172.402.020.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ABSTRACT

Mymryk O.A. Design of an Educational Demonstration Stand for Studying the Fundamentals of Microprocessor Technology Using Arduino: qualification thesis for obtaining the educational qualification level of Junior Specialist in Specialty 172 "Electronic Communications and Radio Engineering". Ternopil: Separated Structural Unit "Ternopil Professional College of Ivan Puluj National Technical University", 2026.

The qualification thesis presents the design of an educational demonstration stand intended for studying the fundamentals of microprocessor technology and microcontroller programming based on the Arduino platform. The stand is designed for laboratory and practical training in electronics, microcontroller systems, and embedded technologies.

The stand includes an Arduino Uno board, RFID RC522 module, DHT11, MQ-2, HC-SR04 and HC-SR501 sensors, an LCD1602 display with I2C interface, a MAX7219 LED matrix, a TB6612FNG motor driver, servo motors, and other electronic modules. This configuration provides extensive opportunities for studying the operation principles of modern microcontroller systems and peripheral devices.

The printed circuit board is designed as a single-sided PCB with dimensions of 250×380 mm. The enclosure is manufactured using 3D printing technology from PLA plastic, providing ease of manufacturing, sufficient mechanical strength, and low weight.

The thesis includes an analysis of the component base, development of the electrical schematic diagram, printed circuit board, product design, assembly and installation technology, as well as calculations of reliability, manufacturability, and economic efficiency of the designed stand.

Keywords: Arduino, educational demonstration stand, microprocessor technology, RFID, sensors, LCD display, printed circuit board, 3D printing.

					26 КР 172.402.020.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Сучасний розвиток електроніки та автоматизації неможливо уявити без використання мікропроцесорних систем. Мікроконтролери широко застосовуються у промисловості, робототехніці, системах безпеки, побутовій техніці та інших галузях. Тому вивчення основ мікропроцесорної техніки є важливою складовою підготовки майбутніх фахівців у сфері електроніки.

Для ефективного засвоєння теоретичних знань необхідне їх практичне застосування. Одним із найкращих засобів для цього є навчально-демонстраційні стенди, які дозволяють досліджувати роботу мікроконтролерів, датчиків, засобів індикації та виконавчих пристроїв.

Широкого поширення в навчальному процесі набула платформа Arduino, яка відзначається простотою використання, доступністю та значними функціональними можливостями. Використання Arduino дозволяє швидко створювати та досліджувати різноманітні електронні пристрої, що робить її зручним інструментом для вивчення мікропроцесорної техніки.

Метою даної кваліфікаційної роботи є розробка конструкції навчально-демонстраційного стенду для вивчення основ мікропроцесорної техніки з використанням Arduino, який забезпечить наочність навчального процесу та можливість виконання лабораторних і практичних робіт.

					26 КР 172.402.020.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

1.1 Розробка технічного завдання.

Технічні характеристики виробу:

- Напруга живлення 5 В;
- Струм споживання до 2 А;
- Тип мікроконтролера Arduino Uno R3;
- Тип друкованої плати одностороння;
- Розміри друкованої плати 250×380 мм;
- Матеріал друкованої плати склотекстоліт FR-4;
- Інтерфейс індикації LCD 1602 з I2C;
- Тип RFID-модуля RC522;
- Робоча частота RFID-модуля 13,56 МГц;
- Тип датчика температури та вологості DHT11;
- Тип датчика газу MQ-2;
- Тип ультразвукового датчика HC-SR04;
- Тип датчика руху HC-SR501;
- Тип драйвера двигуна TB6612FNG;
- Тип сервопривода SG90;
- Матеріал корпусу PETG-пластик;
- Спосіб виготовлення корпусу 3D-друк;
- Діапазон робочих температур від +5 до +40 °С;
- Відносна вологість повітря до 80 %;
- Маса виробу не більше 2 кг.

1.2 Вибір і опис структурної схеми виробу

Структурна схема навчально-демонстраційного стенду для вивчення основ мікропроцесорної техніки побудована за модульним принципом та

					26 КР 172.402.020.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

складається з центрального керуючого пристрою, вхідних модулів збору інформації, вихідних пристроїв індикації та виконавчих механізмів. Центральним елементом системи є мікроконтролерна плата Arduino Uno R3, яка виконує функції приймання, обробки та передачі інформації між усіма складовими стенду.

Живлення стенду здійснюється від зовнішнього блока живлення напругою 5 В. Напруга подається безпосередньо на плату Arduino Uno, яка забезпечує живлення підключених модулів та координує їхню роботу. Такий підхід дозволяє спростити схему підключення, підвищити надійність роботи пристрою та забезпечити централізоване керування всіма функціональними вузлами.

До групи вхідних пристроїв належать модулі та датчики, які призначені для збору інформації від користувача або навколишнього середовища. Одним із таких пристроїв є RFID-модуль RC522, який використовується для зчитування інформації з безконтактних RFID-карток та брелоків. За його допомогою можна демонструвати принципи роботи систем контролю доступу та безконтактної ідентифікації.

Для контролю параметрів навколишнього середовища використовується датчик температури та вологості DHT11. Він передає до мікроконтролера інформацію про температуру повітря та відносну вологість, що дозволяє реалізувати різноманітні навчальні проєкти, пов'язані з моніторингом кліматичних параметрів.

Датчик газу MQ-2 забезпечує виявлення диму та горючих газів у навколишньому середовищі. Сигнали з датчика надходять до Arduino Uno для подальшої обробки та можуть використовуватися для демонстрації роботи систем пожежної безпеки та газового контролю.

Ультразвуковий датчик HC-SR04 призначений для вимірювання відстані до об'єктів. Принцип його роботи ґрунтується на випромінюванні ультразвукового сигналу та вимірюванні часу його відбиття від перешкоди.

					26 КР 172.402.020.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Отримані дані використовуються для демонстрації роботи систем дистанційного вимірювання та автоматичного керування.

Датчик руху HC-SR501 використовується для реєстрації переміщення об'єктів у зоні контролю. Він дає можливість досліджувати принципи функціонування охоронних систем та систем автоматичного освітлення.

Для контролю вологості ґрунту застосовується відповідний датчик вологості. Його покази можуть використовуватися для демонстрації автоматизованих систем поливу рослин та екологічного моніторингу.

ІЧ-приймач призначений для приймання сигналів від інфрачервоного пульта дистанційного керування. Завдяки цьому студенти можуть вивчати принципи дистанційного керування електронними пристроями та особливості роботи інфрачервоних каналів зв'язку.

Фоторезистор використовується для вимірювання рівня освітленості. Зміна його опору під впливом світла дозволяє реалізовувати різноманітні автоматичні системи керування освітленням та датчики освітленості.

Потенціометр забезпечує формування аналогового сигналу шляхом зміни свого опору. Він використовується для демонстрації роботи аналогових входів мікроконтролера та принципів аналого-цифрового перетворення.

Клавіатура 4×4 є пристроєм введення команд користувача та дозволяє досліджувати принципи сканування матриці клавіш і обробки натискань кнопок програмними засобами.

Джойстик використовується для введення координатних сигналів по осях X та Y, а також сигналу від кнопки. Це дає можливість реалізовувати інтерактивне керування різноманітними виконавчими пристроями та навчальними програмами.

Уся інформація від перелічених модулів надходить до Arduino Uno, де обробляється відповідно до алгоритму роботи програми. Після аналізу отриманих даних мікроконтролер формує керуючі сигнали для вихідних пристроїв стенду.

					26 КР 172.402.020.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

До пристроїв відображення інформації належить рідкокристалічний дисплей LCD1602 з інтерфейсом I2C. Він використовується для виведення текстових повідомлень, результатів вимірювань та службової інформації. Застосування інтерфейсу I2C дозволяє скоротити кількість необхідних ліній підключення та спростити монтаж пристрою.

Світлодіодна матриця MAX7219 призначена для відображення текстових повідомлень, цифр та графічних символів. Використання цього модуля дозволяє демонструвати принципи керування багатосегментними світлодіодними індикаторами та організацію динамічної індикації.

Семисегментний індикатор використовується для відображення числової інформації. Він є одним із найпоширеніших пристроїв індикації у цифровій техніці та широко застосовується для навчальних цілей.

Окремі світлодіоди та RGB-світлодіод забезпечують світлову індикацію станів системи. За допомогою RGB-світлодіода можна досліджувати принципи керування кольором шляхом зміни співвідношення яскравості червоного, зеленого та синього каналів.

Бuzzer використовується для формування звукових сигналів та попереджень. Він дозволяє реалізовувати звукову індикацію подій та демонструвати принципи генерації звукових сигналів засобами мікроконтролера.

До складу виконавчих пристроїв входить сервопривід SG90, який використовується для демонстрації точного позиціонування валу на заданий кут. Керування сервоприводом здійснюється за допомогою широтно-імпульсної модуляції, що дозволяє вивчати принципи роботи сучасних систем автоматичного керування.

Для демонстрації роботи електроприводів використовується драйвер двигуна TB6612FNG та двигун постійного струму з редуктором 1:48. Драйвер забезпечує керування напрямком обертання та швидкістю двигуна, а

					26 КР 172.402.020.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

редуктор дозволяє отримати більший крутний момент при меншій швидкості обертання.

Модуль реле призначений для комутації зовнішніх електричних навантажень. Його використання дозволяє демонструвати принципи керування пристроями, які працюють при більших струмах та напругах, ніж може забезпечити безпосередньо мікроконтролер.

Структурна схема навчально-демонстраційного стенду забезпечує взаємодію великої кількості датчиків, пристроїв введення інформації, засобів індикації та виконавчих механізмів. Завдяки цьому стенд може використовуватися для проведення широкого спектра лабораторних і практичних робіт з мікропроцесорної техніки, програмування мікроконтролерів, цифрової та аналогової електроніки, а також основ автоматизації та керування технічними системами.

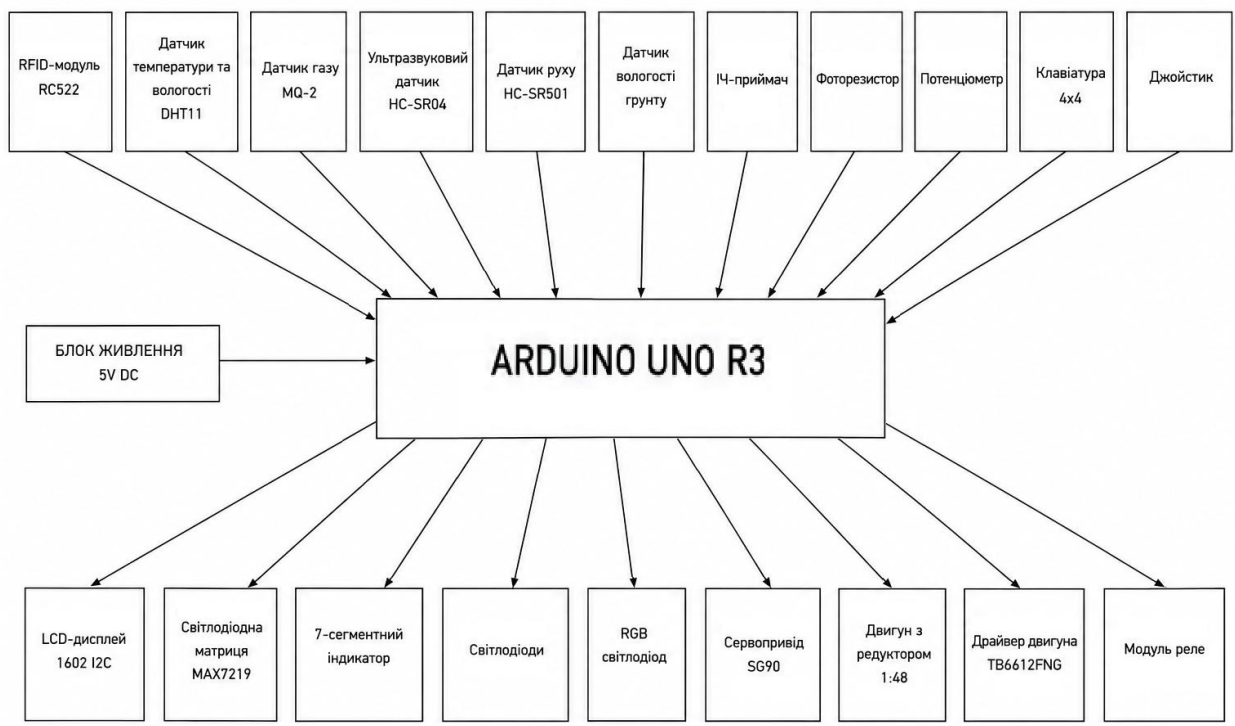


Рисунок 1.1-Схема електрична структурна

1.3 Опис принципу роботи схеми електричної принципової та її аналіз

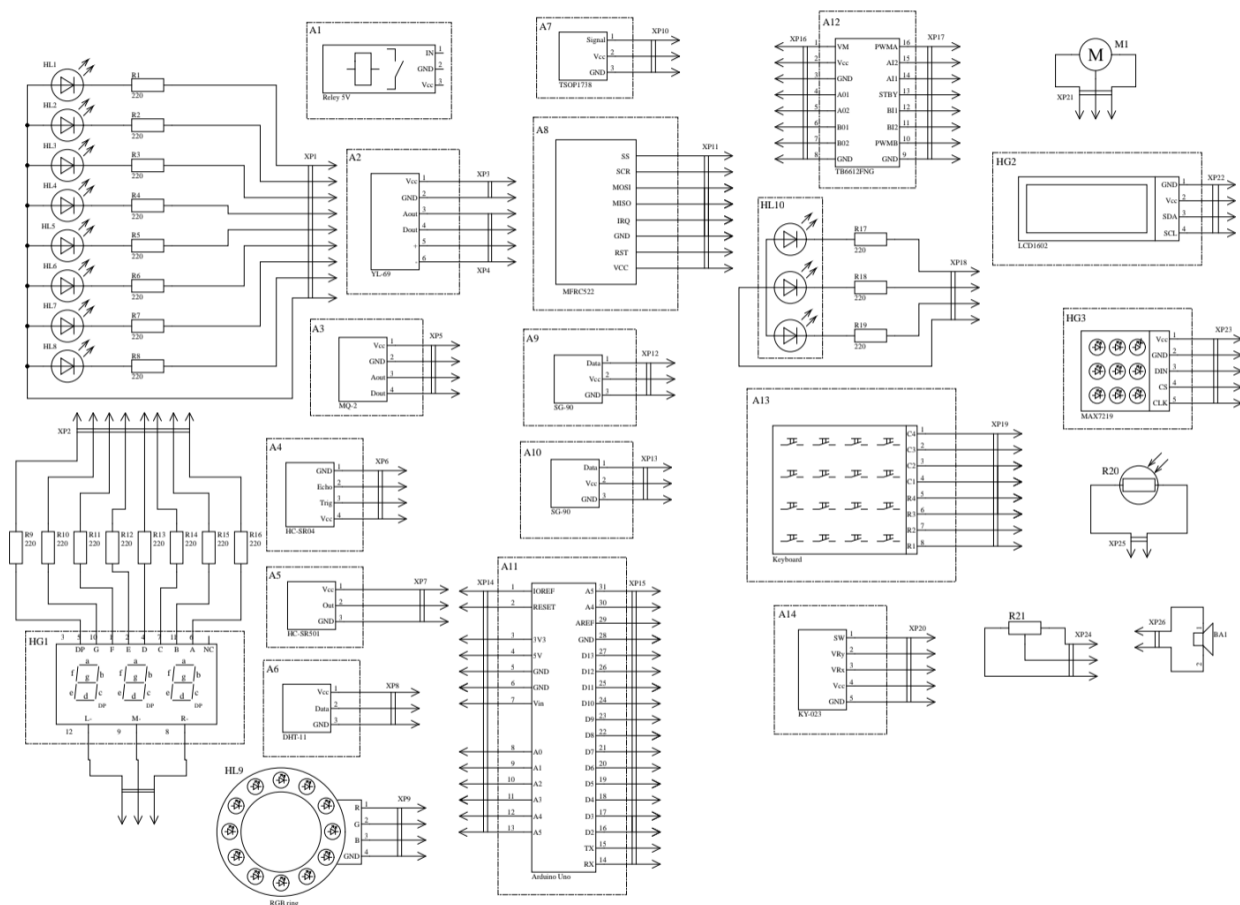


Рисунок 1.2-Схема електрична принципова

Електрична принципова схема навчально-демонстраційного стенду розроблена для вивчення основ мікропроцесорної техніки, програмування мікроконтролерів, принципів роботи датчиків, виконавчих механізмів та сучасних інтерфейсів обміну даними. Схема об'єднує велику кількість електронних модулів різного призначення, що дозволяє використовувати стенд для виконання лабораторних і практичних робіт з електроніки, автоматизації та вбудованих систем.

Центральним елементом схеми є мікроконтролерна плата Arduino Uno, побудована на базі мікроконтролера ATmega328P. Саме цей модуль виконує функції керування всіма підключеними пристроями, обробляє сигнали від датчиків, виконує програмний аналіз отриманих даних та формує керуючі

сигнали для виконавчих механізмів і засобів індикації. Arduino Uno обрано завдяки простоті програмування, великій кількості цифрових та аналогових входів-виходів, а також широкій підтримці різноманітних бібліотек для роботи з периферійними пристроями.

До складу схеми входить значна кількість датчиків, які використовуються для отримання інформації про параметри навколишнього середовища. Одним із таких модулів є датчик температури та вологості DHT11. Він забезпечує вимірювання температури повітря та відносної вологості з подальшою передачею даних до мікроконтролера через цифровий інтерфейс. Отримані значення можуть використовуватися для відображення на дисплеї або для виконання певних алгоритмів керування.

Для контролю концентрації горючих газів та диму використовується датчик MQ-2. Принцип його роботи базується на зміні електричного опору чутливого елемента залежно від концентрації газу в навколишньому середовищі. Аналоговий сигнал з виходу датчика надходить на аналоговий вхід Arduino Uno, де перетворюється в цифровий код за допомогою вбудованого аналого-цифрового перетворювача. Отримані дані можуть використовуватися для формування сигналів тривоги або відображення рівня загазованості.

Вимірювання відстані до об'єктів реалізується за допомогою ультразвукового датчика HC-SR04. Робота модуля полягає у формуванні ультразвукового імпульсу та прийомі сигналу, відбитого від перешкоди. Мікроконтролер вимірює час проходження сигналу та виконує розрахунок відстані до об'єкта. Даний модуль широко застосовується у системах автоматизації, робототехніці та пристроях безконтактного контролю.

Для реєстрації руху в зоні спостереження використовується інфрачервоний датчик руху HC-SR501. При появі людини або іншого об'єкта в зоні дії датчика формується цифровий сигнал, який надходить на вхід

					26 КР 172.402.020.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

мікроконтролера. Це дозволяє реалізувати алгоритми охоронної сигналізації або автоматичного ввімкнення виконавчих пристроїв.

Контроль вологості ґрунту здійснюється за допомогою датчика YL-69. Принцип його роботи базується на вимірюванні електропровідності між двома електродами, зануреними в ґрунт. Чим більша вологість, тим менший електричний опір між електродами. Отримані дані можуть використовуватися для автоматичного керування системами поливу або для моніторингу стану рослин.

У схемі також використовується ІЧ-приймач TSOP1738, який призначений для прийому команд від інфрачервоного пульта дистанційного керування. Прийнятий сигнал декодується програмою мікроконтролера, що дозволяє дистанційно керувати окремими функціями стенду.

Для дослідження роботи аналогових входів використовується фоторезистор та потенціометр. Фоторезистор змінює свій опір залежно від рівня освітленості, що дає можливість реалізувати автоматичне керування освітленням або проводити дослідження характеристик світлочутливих елементів. Потенціометр використовується як джерело регульованого аналогового сигналу та дозволяє на практиці вивчати процес аналого-цифрового перетворення.

Введення інформації користувачем здійснюється за допомогою матричної клавіатури 4×4 та джойстика KY-023. Клавіатура дозволяє вводити числові значення та команди керування, а джойстик забезпечує формування аналогових сигналів по двох координатних осях та цифрового сигналу натискання кнопки. Це дозволяє реалізовувати різноманітні режими керування виконавчими пристроями та навчальні програми.

Для відображення інформації у схемі передбачено декілька типів індикаторів. Основним засобом текстової індикації є рідкокристалічний дисплей LCD1602 з інтерфейсом I2C. Він використовується для виведення результатів вимірювань, службових повідомлень та параметрів роботи

					26 КР 172.402.020.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

системи. Завдяки використанню інтерфейсу I2C для підключення дисплея необхідно лише дві сигнальні лінії, що дозволяє економно використовувати ресурси мікроконтролера.

Для відображення графічної та текстової інформації використовується світлодіодна матриця MAX7219. Даний модуль дозволяє реалізовувати динамічну індикацію, виводити символи, цифри та прості анімаційні ефекти. Керування матрицею здійснюється через послідовний інтерфейс SPI.

Для демонстрації принципів роботи цифрових індикаторів у схемі використовується двозначний семисегментний індикатор. Він дозволяє відображати числові значення та використовується під час виконання лабораторних робіт, пов'язаних із цифровою індикацією.

Світлодіоди HL1–HL8 виконують функцію світлової індикації. Вони підключені через струмообмежувальні резистори та можуть використовуватися для демонстрації роботи цифрових виходів мікроконтролера. Крім того, у схемі передбачено RGB-кільце, яке складається з адресних світлодіодів та дозволяє формувати різноманітні світлові ефекти і кольорову індикацію.

Для формування звукових сигналів використовується активний бусер. Він забезпечує генерацію звукових повідомлень, сигналів попередження та індикації подій. Керування бусером здійснюється безпосередньо від цифрового виходу мікроконтролера.

До виконавчих пристроїв стенду належать два сервоприводи SG90. Керування ними здійснюється за допомогою широтно-імпульсної модуляції. Зміна тривалості імпульсів дозволяє встановлювати вал сервопривода у необхідне положення. Це дає можливість вивчати принципи роботи систем позиціонування та автоматичного керування.

Керування двигуном постійного струму реалізовано за допомогою драйвера TB6612FNG. Драйвер виконує функції підсилення керуючих сигналів, зміни напрямку обертання двигуна та регулювання швидкості

					26 КР 172.402.020.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

обертання за допомогою ШІМ-сигналу. До виходу драйвера підключено двигун постійного струму з редуктором 1:48, який забезпечує зменшення швидкості обертання та збільшення крутного моменту. Це дозволяє демонструвати принципи роботи електромеханічних систем та систем автоматичного керування електроприводами.

Для комутації зовнішніх електричних кіл використовується релейний модуль на 5 В. Реле дозволяє керувати навантаженнями, що споживають більші струми та напруги, ніж можуть забезпечити виходи мікроконтролера. При цьому забезпечується електрична ізоляція між силовим колом та керуючою частиною схеми.

Аналіз електричної принципової схеми показує, що розроблений стенд поєднує у собі значну кількість сучасних електронних модулів різного функціонального призначення. У схемі реалізовано роботу з аналоговими та цифровими сигналами, використання інтерфейсів SPI та I2C, керування виконавчими механізмами за допомогою ШІМ, а також відображення інформації різними способами. Завдяки цьому стенд забезпечує широкі можливості для вивчення основ мікропроцесорної техніки, програмування мікроконтролерів та принципів побудови сучасних електронних систем. Використання модульної структури спрощує модернізацію пристрою та дозволяє в майбутньому розширювати його функціональні можливості шляхом підключення додаткових датчиків і виконавчих пристроїв.

					26 КР 172.402.020.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

2.1 Розрахунково-конструкторська частина

2.1.1 Опис компонування виробу. Обґрунтування вибору конструкційних матеріалів і покриттів

Одним із важливих етапів розроблення конструкції навчально-демонстраційного стенду є вибір оптимального компонування його складових частин та обґрунтування конструкційних матеріалів. Від правильності прийнятих конструктивних рішень значною мірою залежать надійність виробу, зручність експлуатації, технологічність виготовлення, ремонтпридатність та наочність навчального процесу. Оскільки розроблюваний стенд призначений для використання у навчальних лабораторіях, особлива увага приділялася забезпеченню відкритого доступу до всіх функціональних вузлів і можливості безпосереднього спостереження за їх роботою.

Конструкція виробу виконана у вигляді відкритого навчального стенду, основним конструктивним елементом якого є друкована плата розміром 250×380 мм. Саме на ній розміщуються всі електронні компоненти, модулі, датчики, засоби індикації та виконавчі пристрої. Таке рішення дозволяє мінімізувати кількість з'єднувальних проводів, спростити конструкцію виробу та забезпечити високу надійність електричних з'єднань.

Під час компонування елементної бази використовувався функціональний принцип розташування вузлів. Усі модулі згруповані відповідно до їх призначення, що значно полегшує сприйняття схеми студентами та забезпечує зручність проведення лабораторних робіт.

У верхній частині друкованої плати розміщені датчики та пристрої введення інформації. До них належать RFID-модуль RC522, датчик температури та вологості DHT11, датчик газу MQ-2, ультразвуковий датчик HC-SR04, датчик руху HC-SR501, датчик вологості ґрунту та ГЧ-приймач

					26 КР 172.402.020.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

TSOP1738. Розміщення цих модулів у верхній частині стенду обумовлене необхідністю забезпечення вільного доступу до чутливих елементів датчиків і можливістю проведення демонстраційних досліджень без перекривання інших вузлів конструкції.

У центральній частині плати розташовано мікроконтролерну плату Arduino Uno, яка є основним керуючим вузлом стенду. Таке розташування обрано не випадково. Центральне положення мікроконтролера дозволяє зменшити довжину друкованих провідників між Arduino та периферійними модулями, що позитивно впливає на якість передачі сигналів, знижує рівень електромагнітних завад та підвищує загальну надійність пристрою. Крім того, центральне розміщення мікроконтролера полегшує трасування друкованої плати та забезпечує логічну структуру компоновання.

У нижній частині стенду розміщені засоби відображення інформації та виконавчі пристрої. До них належать рідкокристалічний дисплей LCD1602, світлодіодна матриця MAX7219, семисегментний індикатор, світлодіоди, RGB-кільце, бузер, сервоприводи, релейний модуль та двигун постійного струму з редуктором 1:48. Саме ці елементи забезпечують наочне відображення результатів роботи стенду та демонстрацію принципів керування різними виконавчими механізмами.

Особливу увагу було приділено забезпеченню достатніх монтажних відстаней між компонентами. Це дозволяє спростити процес складання виробу, забезпечити доступ до елементів під час ремонту та знизити ризик механічного пошкодження компонентів під час експлуатації. Великогабаритні модулі розміщені таким чином, щоб не перекривати огляд інших елементів і не ускладнювати підключення з'єднувальних проводів.

Для підключення окремих модулів і датчиків використовуються штирьові роз'єми типу PLS. Використання роз'ємних з'єднань дозволяє швидко замінювати окремі компоненти, виконувати модернізацію конструкції та спрощує проведення налагоджувальних робіт. Крім того,

					26 КР 172.402.020.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

такий підхід підвищує ремонтпридатність виробу та зменшує витрати часу на технічне обслуговування.

Основою конструкції є друкована плата, виготовлена зі склотекстоліту FR-4 товщиною 1,5 мм. Даний матеріал є одним із найпоширеніших у виробництві електронної апаратури завдяки поєднанню високих механічних та електричних характеристик. Склотекстоліт FR-4 має високу міцність на вигин, добрі діелектричні властивості, стійкість до впливу вологи та підвищених температур. Крім того, він забезпечує надійне кріплення радіоелектронних компонентів та тривалий термін служби друкованої плати.

Провідники друкованої плати виконуються з мідної фольги, яка характеризується низьким електричним опором та високою технологічністю. Використання мідних провідників забезпечує мінімальні втрати електричної енергії та високу надійність електричних з'єднань.

Для виготовлення корпусу стенду обрано PETG-пластик (Polyethylene Terephthalate Glycol Modified). Даний матеріал є одним із найбільш популярних матеріалів для тривимірного друку технічних виробів. Його застосування дозволяє отримати міцну та довговічну конструкцію при відносно невисокій вартості виготовлення.

Вибір PETG-пластику обумовлений рядом його переваг. Матеріал характеризується високою ударною міцністю, стійкістю до механічних навантажень, доброю вологостійкістю та достатньою термостійкістю. На відміну від PLA-пластику, PETG менш крихкий і краще витримує тривалу експлуатацію. Крім того, він має хорошу адгезію між шарами під час друку, що забезпечує високу міцність готового виробу.

Корпус виготовляється методом 3D-друку та являє собою нижню основу, на якій закріплюється друкована плата стенду. Використання технології адитивного виробництва дозволяє швидко виготовляти корпусні деталі складної форми без застосування дорогого технологічного оснащення.

					26 КР 172.402.020.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Це особливо важливо під час виготовлення дослідних зразків та малосерійного виробництва.

Для кріплення друкованої плати до корпусу використовуються гвинтові з'єднання та монтажні стійки. Такий спосіб кріплення забезпечує необхідну жорсткість конструкції, дозволяє легко виконувати демонтаж плати під час ремонту або модернізації та забезпечує надійну фіксацію всіх елементів конструкції.

Для захисту друкованих провідників від окислення та покращення процесу монтажу передбачається нанесення захисного покриття у вигляді шару припою. Це покриття підвищує корозійну стійкість провідників, покращує якість паяння та забезпечує стабільність електричних характеристик протягом тривалого терміну експлуатації.

Виводи електронних компонентів мають заводські захисні покриття на основі олова або сплавів олова, які забезпечують добру паяльність та захищають поверхню металу від корозії. Кріпильні елементи конструкції виготовляються зі сталі з антикорозійним покриттям, що забезпечує їх довговічність та стійкість до впливу зовнішнього середовища.

Прийняте компонування навчально-демонстраційного стенду забезпечує зручність використання, наочність навчального процесу, простоту монтажу та обслуговування виробу. Використання склотекстоліту FR-4 для друкованої плати, PETG-пластику для корпусу та відповідних захисних покриттів дозволяє отримати надійну, технологічну та довговічну конструкцію, яка повністю відповідає вимогам, що висуваються до сучасного навчального обладнання.

2.1.2 Обґрунтування вибору конструкції

Під час розроблення навчально-демонстраційного стенду для вивчення основ мікропроцесорної техніки було розглянуто декілька варіантів

					26 КР 172.402.020.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

конструктивного виконання виробу. Основними вимогами до конструкції були забезпечення наочності навчального процесу, зручності експлуатації, простоти виготовлення, надійності роботи, ремонтпридатності та можливості подальшої модернізації.

З огляду на навчальне призначення виробу було прийнято рішення використовувати конструкцію відкритого типу. На відміну від традиційних корпусованих пристроїв, де більшість електронних вузлів приховані всередині корпусу, відкрита конструкція дозволяє безпосередньо спостерігати за розташуванням компонентів, їх підключенням та принципом взаємодії між окремими функціональними вузлами. Такий підхід значно підвищує наочність проведення лабораторних занять і сприяє кращому засвоєнню навчального матеріалу.

Основою конструкції є одностороння друкована плата розміром 250×380 мм, на якій встановлено всі електронні компоненти стенду. Вибір односторонньої друкованої плати обумовлений відносною простотою її виготовлення, нижчою вартістю порівняно з двосторонніми та багатошаровими платами, а також достатністю такого рішення для реалізації поставлених функціональних вимог. Крім того, одностороння друкована плата забезпечує добру ремонтпридатність виробу та полегшує візуальний контроль якості монтажу.

Компонування елементів на платі виконано за функціональним принципом. Усі датчики та пристрої введення інформації розташовані у верхній частині стенду, мікроконтролер Arduino Uno знаходиться в центральній частині конструкції, а засоби індикації та виконавчі механізми розміщені в нижній частині. Таке розташування забезпечує логічну структуру виробу та полегшує сприйняття його роботи під час проведення навчальних занять.

В якості центрального керуючого пристрою обрано платформу Arduino Uno. Даний мікроконтролерний модуль має достатню кількість цифрових та

					26 КР 172.402.020.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

аналогових входів-виходів для підключення всіх необхідних датчиків і виконавчих пристроїв. Крім того, Arduino Uno є однією з найпоширеніших навчальних платформ у світі, що забезпечує наявність великої кількості програмних бібліотек, навчальних матеріалів та технічної документації.

Для підключення окремих модулів використані роз'ємні з'єднання на базі штирьових роз'ємів типу PLS. Таке рішення дозволяє швидко виконувати заміну несправних компонентів, підключати додаткові модулі та проводити модернізацію конструкції без внесення суттєвих змін до друкованої плати. Наявність роз'ємних з'єднань також спрощує процес складання та налагодження виробу.

Корпус стенду виконано у вигляді нижньої основи, виготовленої методом 3D-друку з PETG-пластику. Вибір такої конструкції обумовлений необхідністю забезпечення механічного захисту друкованої плати при збереженні відкритого доступу до електронних компонентів. Використання лише нижньої частини корпусу дозволяє зменшити масу виробу, спростити конструкцію та знизити витрати на виготовлення.

Застосування технології 3D-друку має ряд суттєвих переваг. По-перше, це дозволяє виготовляти корпус без використання складного та дорогого технологічного оснащення. По-друге, значно скорочується час виготовлення дослідного зразка. По-третє, у разі необхідності можна швидко внести зміни до конструкції та надрукувати оновлену версію корпусу.

Важливою вимогою до конструкції стенду є забезпечення високої ремонтпридатності. Саме тому всі основні компоненти встановлюються на друкованій платі таким чином, щоб до них був забезпечений вільний доступ. У випадку виходу з ладу окремого модуля його заміна може бути виконана без повного демонтажу конструкції. Це особливо важливо для навчального обладнання, яке експлуатується інтенсивніше порівняно зі звичайними електронними пристроями.

					26 КР 172.402.020.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При виборі конструкції також враховувалися вимоги щодо надійності виробу. Використання друкованого монтажу дозволяє мінімізувати кількість провідникових з'єднань та підвищити механічну стійкість конструкції. Центральне розташування мікроконтролера забезпечує мінімальну довжину з'єднувальних ліній, що сприяє зменшенню рівня електромагнітних завад та покращенню якості передачі сигналів.

Обрана конструкція навчально-демонстраційного стенду повністю відповідає поставленим технічним вимогам. Вона забезпечує наочність навчального процесу, простоту виготовлення та складання, високу ремонтпридатність, можливість модернізації та достатній рівень надійності.

2.1.3 Опис і обґрунтування вибору елементної бази

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики плати Arduino Uno[1]

Позиційне позначення	A7
Назва та тип компонента	Мікроконтролерна плата Arduino Uno
Виробник	Arduino LLC
Критерії вибору	Простота програмування, навчальна спрямованість, широка підтримка бібліотек
Параметри конструкції	див. рисунок 2.1
Параметри та характеристики	
Мікроконтролер	ATmega328
Робоча напруга	5В
Напруга живлення (рекомендований)	7-12В
Напруга живлення (граничне)	6-20В
Цифрові входи / виходи	14 (6 ШІМ)
Аналогові входи	6
Максимальний струм одного виводу	40Ма
Максимальний вихідний струм виводу 3.3V	50Ма
Тактова частота	16МГц

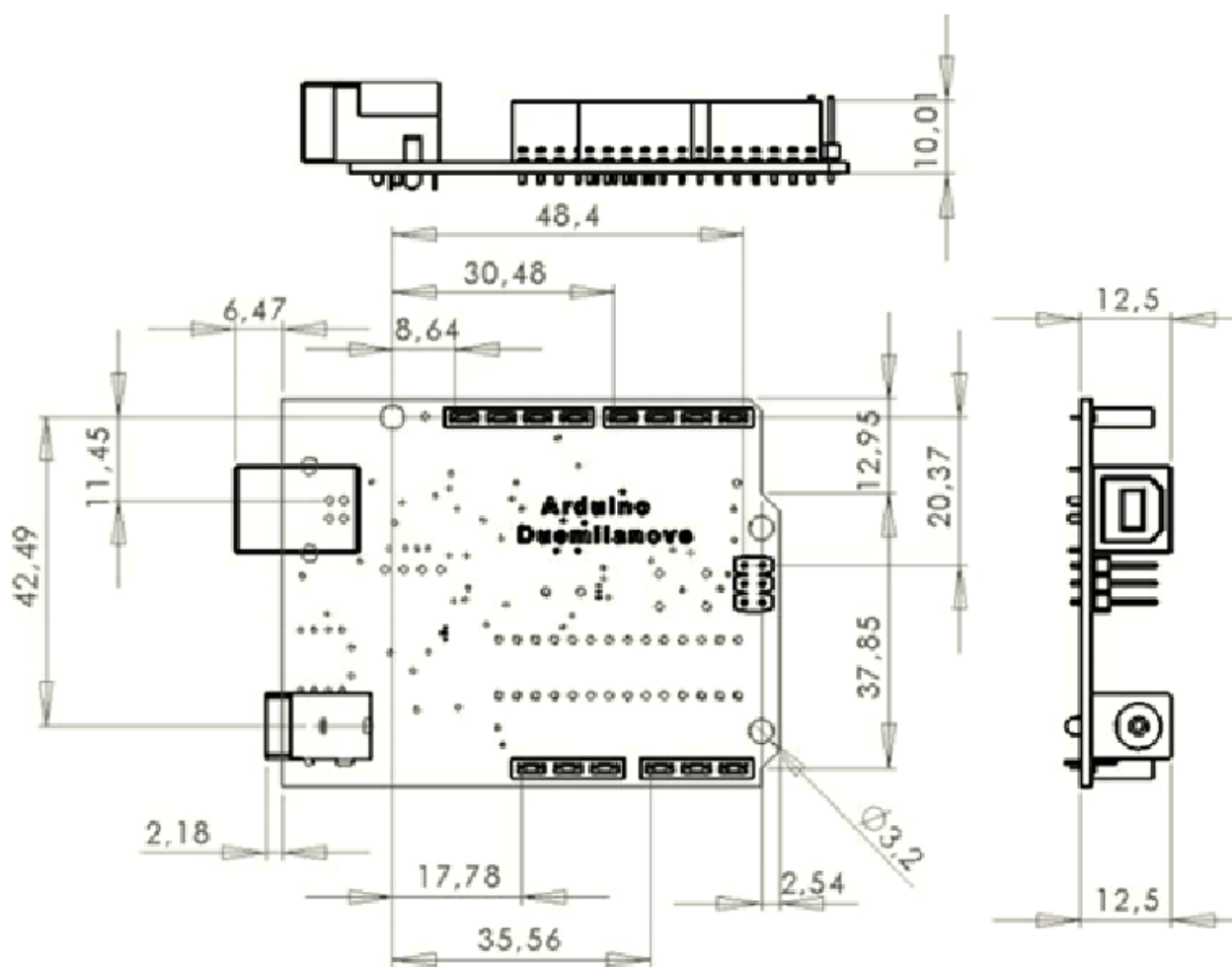


Рисунок 2.1-Габаритні розміри плати Arduino Uno

Таблиця 2.2 – Фоторезистор GL5516[2]

Позиційне позначення	R13
Назва та тип компонента	Фоторезистор GL5516
Виробник	Everlight
Критерії вибору	Аналоговий сигнал, простота використання
Параметри конструкції	Див. рисунок 2.2
Параметри та характеристики	
Призначення	Вимірювання рівня освітленості
Темновий опір	2 Мом
Світловий опір	1–10 кОм
Максимальна потужність	100 мВт
Робоча температура	–30 °C ... +70 °C
Тип монтажу	Вивідний

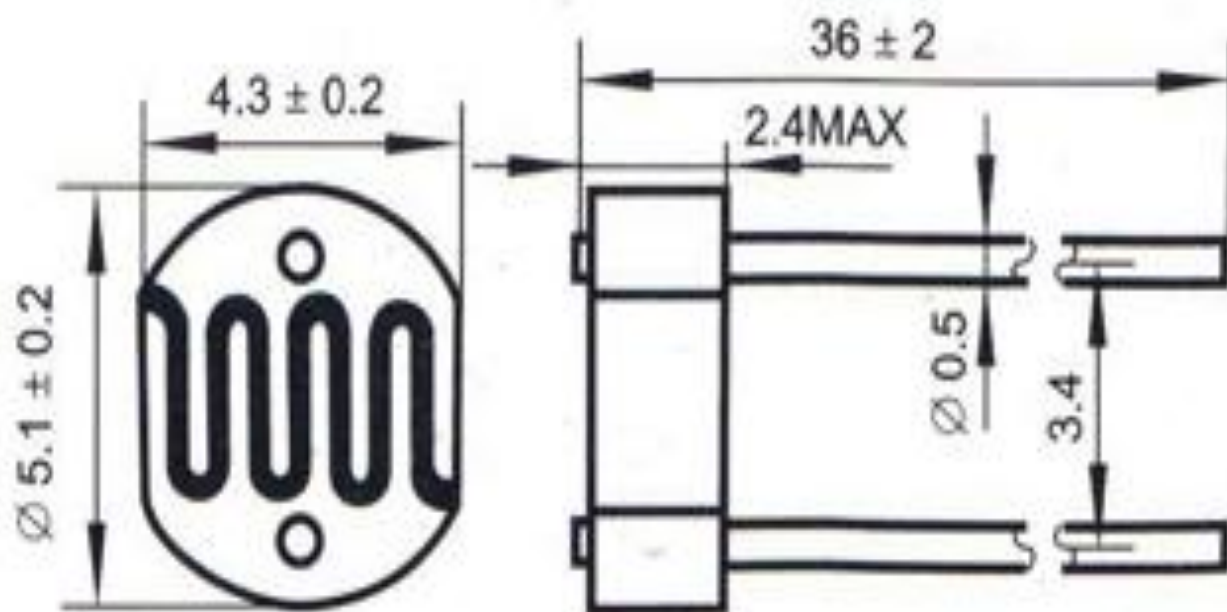


Рисунок 2.2-Габаритні розміри фоторезистора GL5516

Таблиця 2.3 – Резистор MF-25[3]

Позиційне позначення	R1-R11
Назва та тип компонента	Резистор MF-25
Виробник	Yageo
Критерії вибору	Стабільність параметрів
Параметри конструкції	Див. рисунок 2.3
Параметри та характеристики	
Опір	220 Ом
Потужність	0,125 Вт
Допуск	$\pm 1 \%$
Тип монтажу	Вивідний

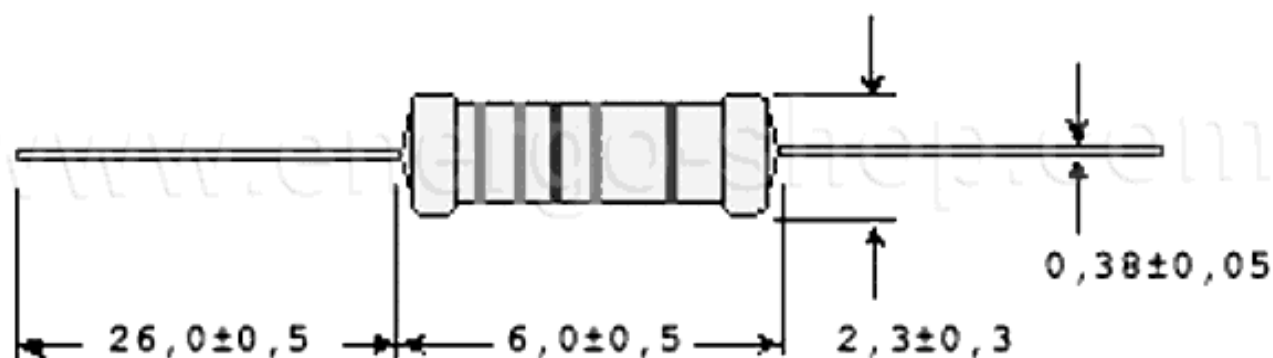


Рисунок 2.3-Габаритні розміри резистора MF-25

Таблиця 2.4 – Ультразвуковий датчик HC-SR04[4]

Позиційне позначення	A1
Назва та тип компонента	Ультразвуковий датчик HC-SR04
Виробник	Generic
Критерії вибору	Безконтактність, простий інтерфейс
Параметри конструкції	Див. рисунок 2.4
Параметри та характеристики	
Робоча напруга	5 В
Робоча частота	40 кГц
Діапазон вимірювання	2–150 см
Роздільна здатність	3 мм
Кут огляду	15°

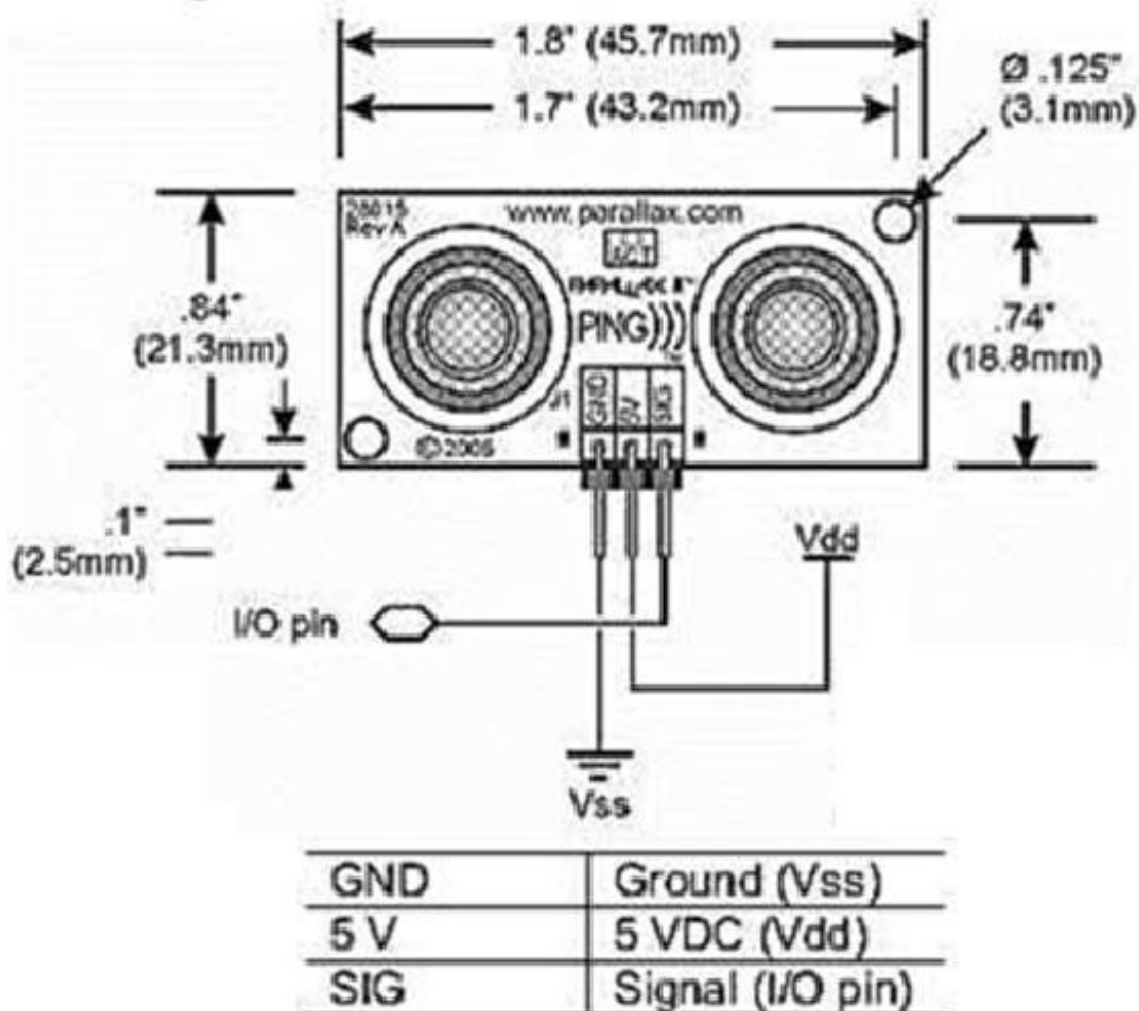


Рисунок 2.4-Габаритні розміри ультразвукового датчика HC-SR04

Таблиця 2.5 – PIR-датчик HC-SR501[5]

Позиційне позначення	A2
Назва та тип компонента	PIR-датчик HC-SR501
Виробник	Generic
Критерії вибору	Регульована чутливість
Параметри конструкції	Див рисунок 2.5
Параметри та характеристики	
Робоча напруга	5–20 В
Дальність виявлення	до 7 м
Кут огляду	120°
Тип виходу	TTL 3,3 В



Рисунок 2.5-Габаритні розміри PIR-датчика HC-SR501

Таблиця 2.6 – Світлодіод[6]

Позиційне позначення	HL1-HL8
Назва та тип компонента	Світлодіод індикаторний
Виробник	Kingbright
Критерії вибору	Низьке споживання, яскраве свічення
Параметри крнструкції	Див. рисунок 2.7
Параметри та характеристики	
Робоча напруга (пряма)	1,8–2,2 В
Робочий струм	10–20 Ма
Максимальний допустимий струм	25 Ма
Потужність розсіювання	до 100 мВт
Кут випромінювання	20–30°
Довжина хвилі	620–630 нм
Робочий температурний діапазон	–20 °С ... +70 °С

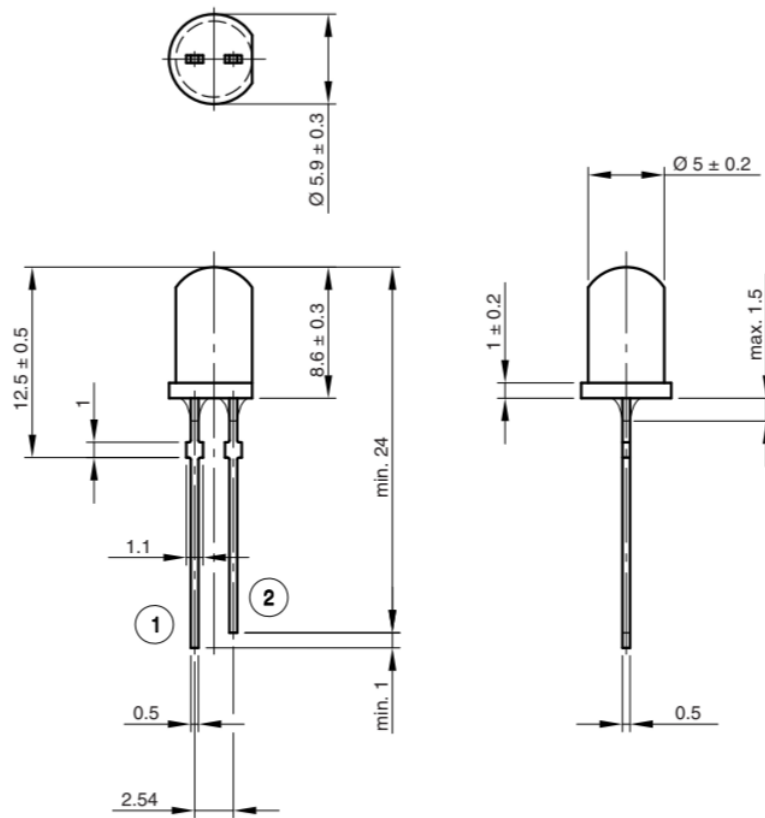


Рисунок 2.6-Габаритні розміри світлодіода

Таблиця 2.7 – RGB світлодіод[7]

Позиційне позначення	HL10
Назва та тип компонента	RGB світлодіод
Виробник	Kingbright
Критерії вибору	Керування кольором, багатокольорова індикація
Параметри конструкції	Див. рисунок 2.7
Параметри та характеристики	
Робоча напруга (червоний канал)	1,8–2,2 В
Робоча напруга (зелений канал)	3,0–3,4 В
Робоча напруга (синій канал)	3,0–3,4 В
Робочий струм одного каналу	10–20 Ма
Максимальний струм одного каналу	25 Ма
Потужність розсіювання	до 120 мВт
Кут випромінювання	20–30°
Яскравість світіння	до 6000 мкд (залежить від кольору)
Робочий температурний діапазон	–20 °С ... +70 °С

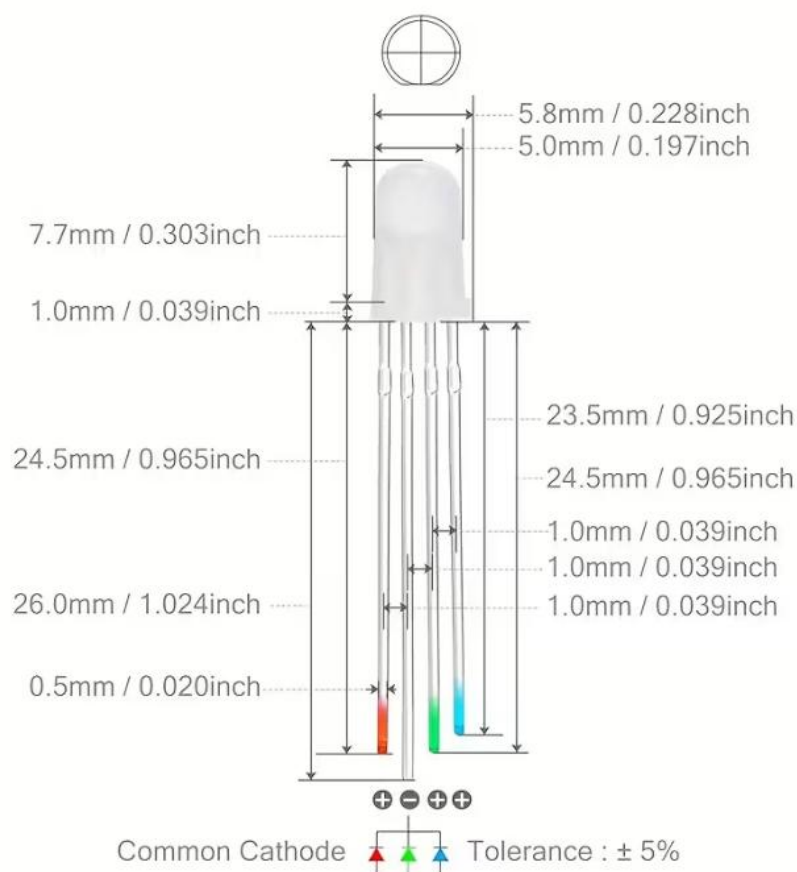


Рисунок 2.7-Габаритні розміри RGB світлодіода

Таблиця 2.8 – Бузер[8]

Позиційне позначення	BA1
Назва та тип компонента	Активний бузер
Виробник	CUI Devices
Критерії вибору	Простота керування
Параметри конструкції	Див. рисунок 2.8
Параметри та характеристики	
Тип виконання	Активний
Номінальна напруга живлення	5 В
Робочий діапазон напруги	3–5 В
Споживаний струм	до 30 Ма
Робоча частота	2–4 кГц
Рівень звукового тиску	80–90 Дб
Тип керування	Цифровий сигнал
Робочий температурний діапазон	–20 °C ... +70 °C

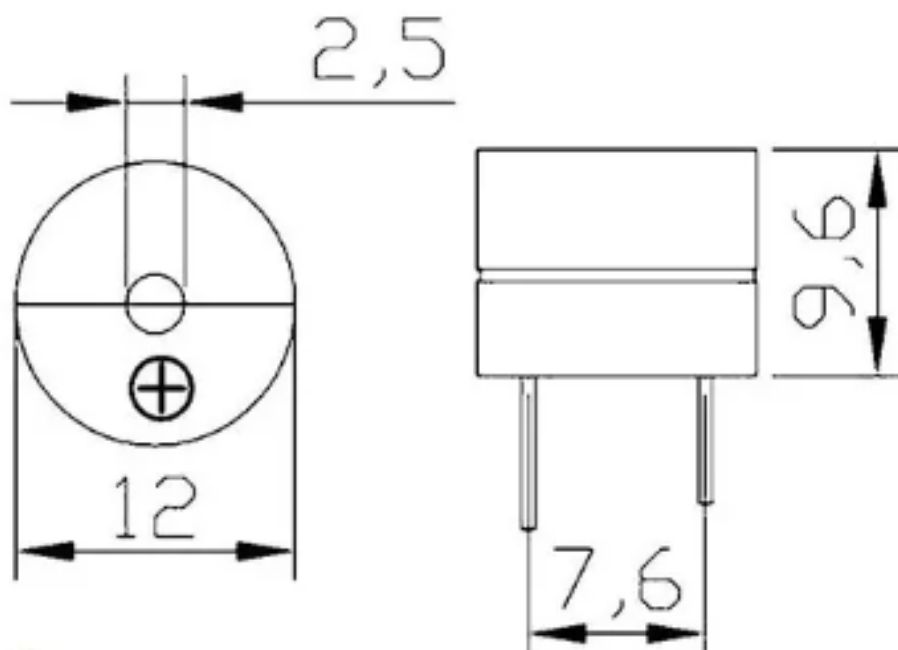


Рисунок 2.8-Габаритні розміри бузера

Таблиця 2.9 –Одноканальний модуль реле[9]

Позиційне позначення	A3
Назва та тип компонента	Одноканальний модуль реле
Виробник	Songle
Критерії вибору	Оптронна розв'язка, простота використання
Параметри конструкції	Див. рисунок 2.9
Параметри та характеристики	
Номінальна напруга живлення	5 В
Робоча напруга живлення	4,5–5,5 В
Споживаний струм	до 70 Ма
Тип керуючого сигналу	Цифровий
Напруга керування	5 В
Тип контактів	NO / NC / COM
Максимальна комутована напруга (AC)	250 В
Максимальний комутований струм (AC)	10 А
Максимальна комутована напруга (DC)	30 В
Максимальний комутований струм (DC)	10 А
Час спрацювання	≤ 10 мс
Час відпускання	≤ 5 мс
Робочий температурний діапазон	$-20^{\circ}\text{C} \dots +70^{\circ}\text{C}$

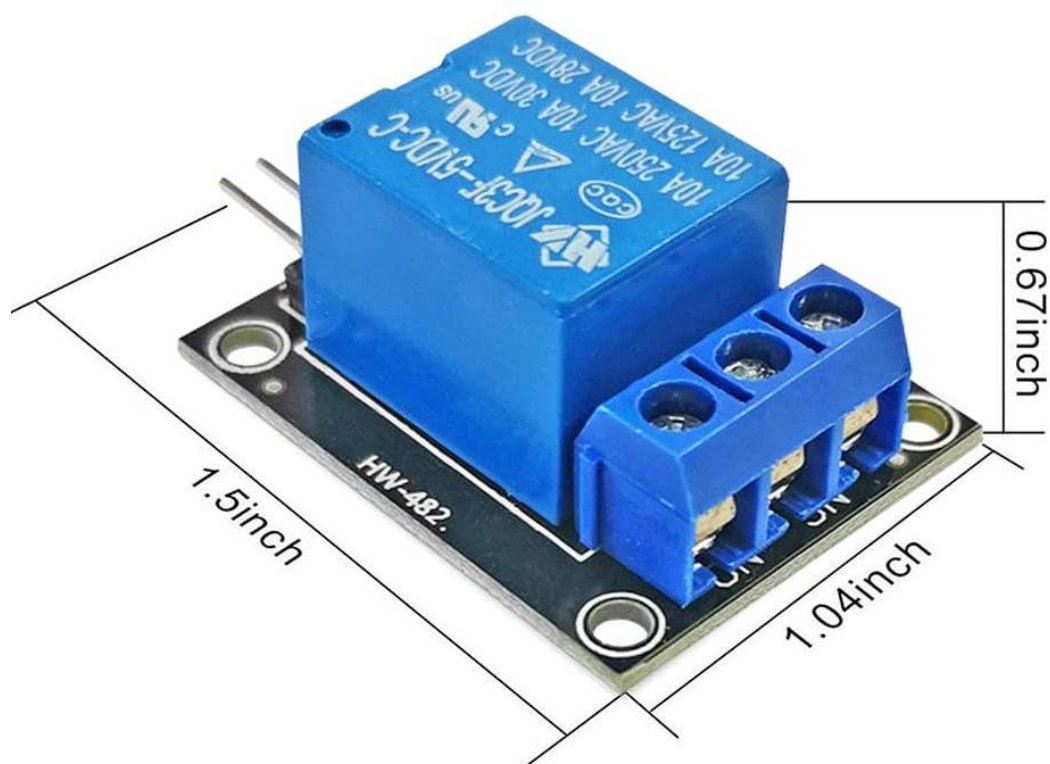


Рисунок 2.9-Габаритні розміри одноканального модуля реле

Таблиця 2.10 – ІЧ-приймач[10]

Позиційне позначення	A8
Назва та тип компонента	ІЧ-приймач
Виробник	Keyes
Критерії вибору	Простота реалізації, дистанційне керування
Параметри конструкції	Див. рисунок 2.10
Параметри та характеристики	
Довжина хвилі	≈ 940 нм
Протокол передавання	NEC (або сумісний)
Кількість кнопок	17
Дальність дії	до 8–10 м
Кут випромінювання	до 30°
Напруга живлення	3 В
Тип елемента живлення	CR2025
Споживаний струм	до 20 Ма
Робочий температурний діапазон	$0^\circ\text{C} \dots +40^\circ\text{C}$

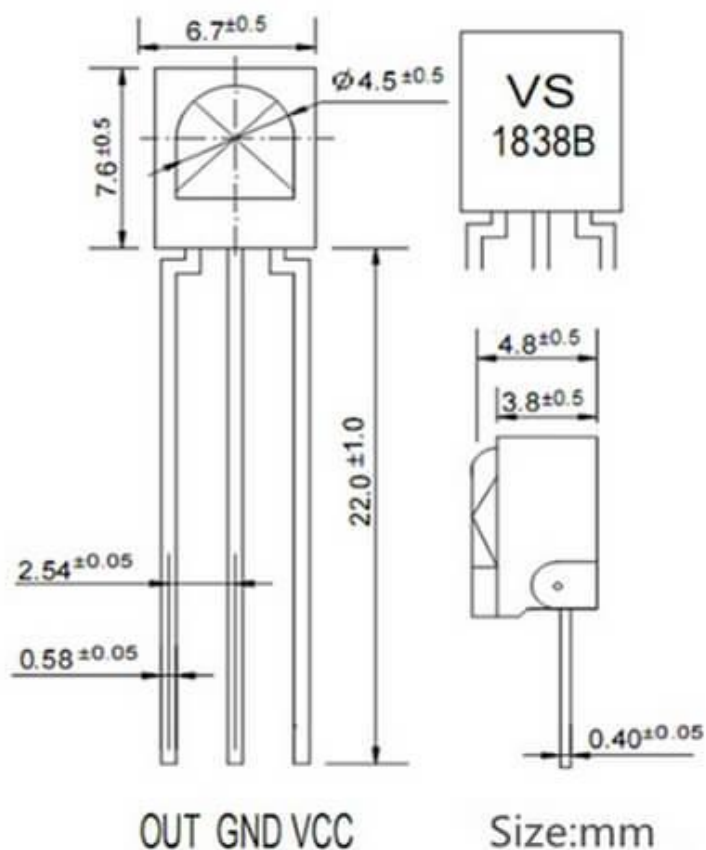


Рисунок 2.10-Габаритні розміри ІЧ-приймача

Таблиця 2.11 – Модуль джойстика[11]

Позиційне позначення	A12
Назва та тип компонента	Аналоговий джойстик
Виробник	Keyes
Критерії вибору	Два аналогові канали, ручне керування
Параметри конструкції	Див. рисунок 2.11
Параметри та характеристики	
Кількість осей	2 (X, Y)
Додатковий елемент	Кнопка натискання (SW)
Номінальна напруга живлення	5 В
Робочий діапазон напруги	3–5 В
Кількість виводів	5 (VCC, GND, VRx, Vry, SW)
Опір потенціометрів	10 кОм
Робочий хід осей	±15°
Споживаний струм	до 10 Ма
Робочий температурний діапазон	–20 °C ... +70 °C

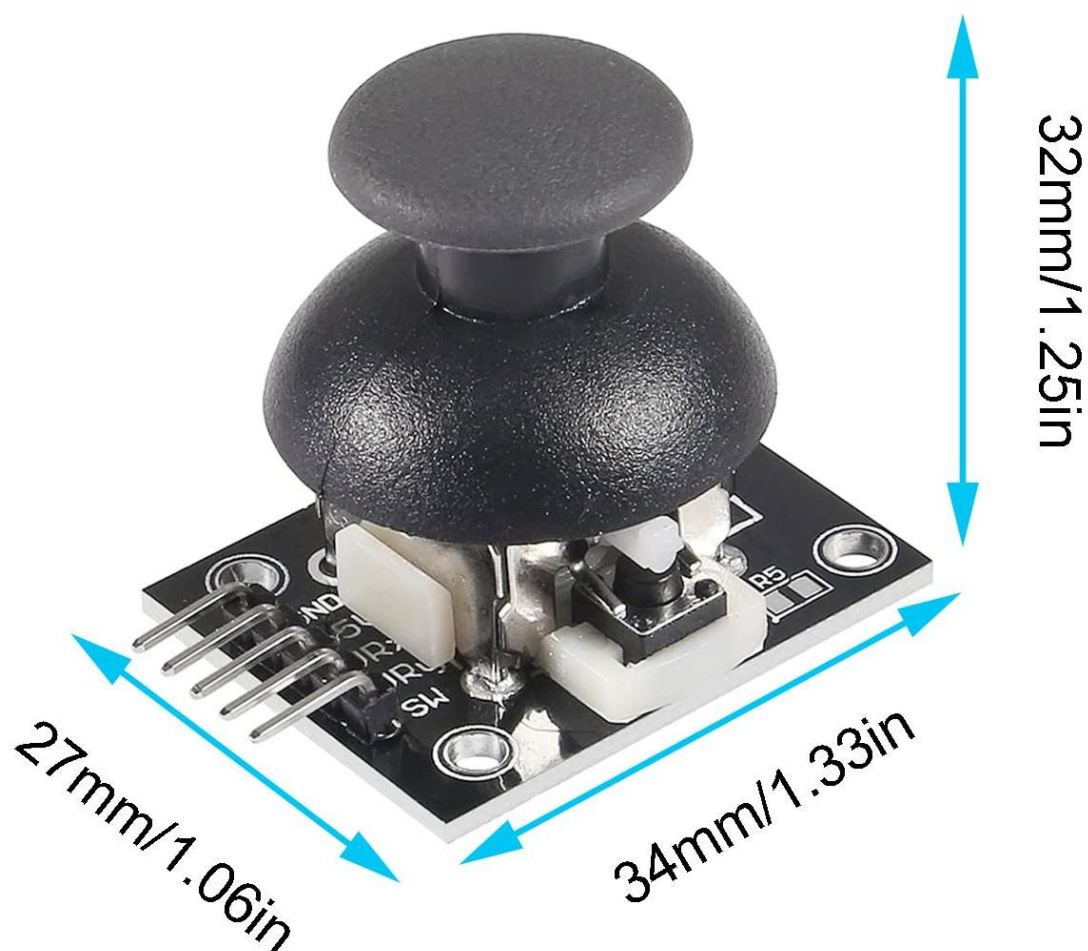


Рисунок 2.11-Габаритні розміри модуля джойстика

Таблиця 2.12 – 3-розрядний 7-сегментний індикатор[12]

Позиційне позначення	HG1	
Назва та тип компонента	3-розрядний 7-сегментний індикатор	
Виробник	Lite-On	
Критерії вибору	Добра читабельність, числова індикація, динамічна індикація	
Параметри конструкції	Див. рисунок 2.12	
Параметри та характеристики		
Робоча напруга сегмента	1,8–2,2 В	
Робочий струм сегмента	10–20 Ма	
Максимальний струм сегмента	25 Ма	
Спосіб керування	Динамічний (мультиплексування)	
Кількість виводів	11	
Яскравість світіння	1500–3000 мкд	
Робочий температурний діапазон	–20 °С ... +70 °С	

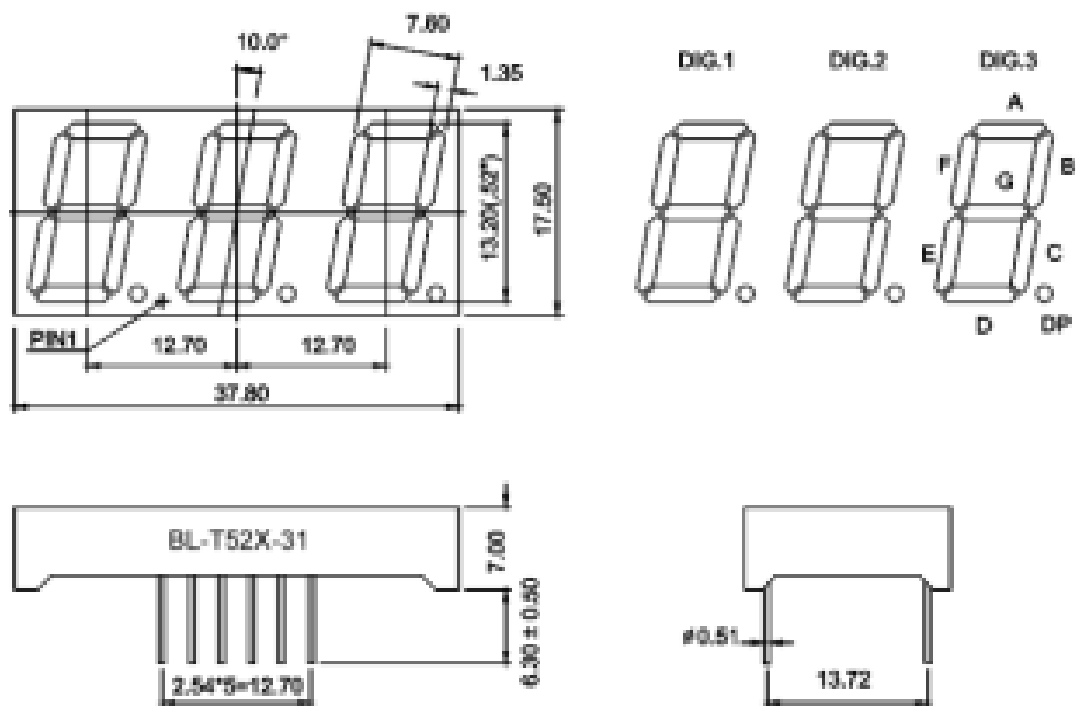


Рисунок 2.12-Габаритні розміри 7-сегментного індикатора

Таблиця 2.13 – Сервопривід SG90[13]

Позиційне позначення	A5,A6
Назва та тип компонента	Сервопривід SG90
Виробник	Tower Pro
Критерії вибору	Невеликі габарити, керування кутом
Параметри конструкції	Див. рисунок 2.13
Параметри та характеристики	
Номінальна напруга живлення	5 В
Робочий діапазон напруги	4,8–6 В
Тип керування	ШИМ (PWM)
Частота керуючого сигналу	50 Гц
Діапазон повороту	0–180°
Крутний момент	до 1,8 кг·см
Швидкість обертання	0,12 с / 60°
Споживаний струм (робочий)	100–250 Ма
Максимальний струм	до 650 Ма
Кількість проводів	3 (VCC, GND, Signal)
Робочий температурний діапазон	–10 °C ... +60 °C
Маса	близько 9 г

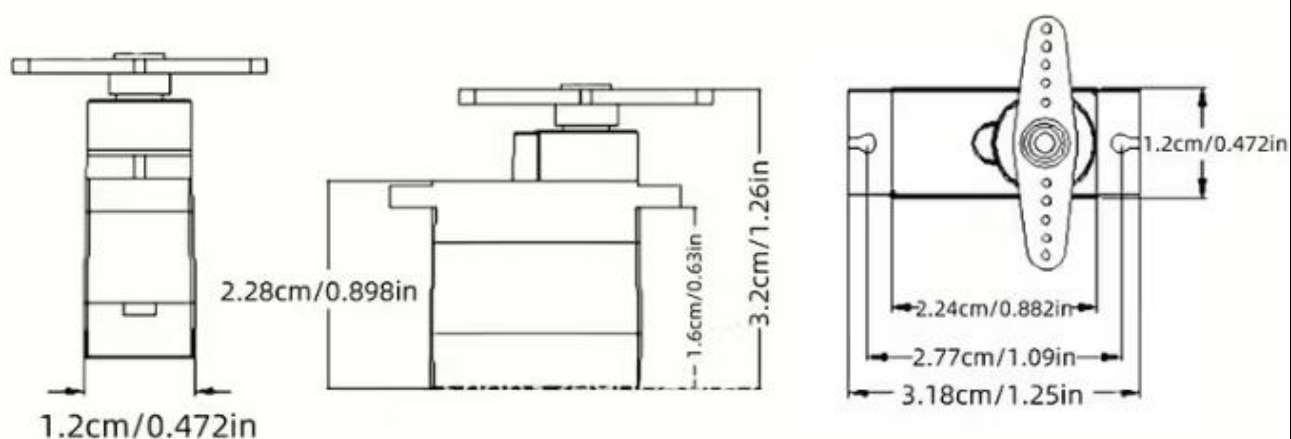


Рисунок 2.13-габаритні характеристики сервопривода SG90

Таблиця 2.14 – Двигун постійного струму з редуктором[14]

Позиційне позначення	M1
Назва та тип компонента	DC двигун з редуктором
Виробник	TT Motor
Критерії вибору	Низька швидкість, наявність редуктора
Параметри конструкції	Див. рисунок 2.14
Параметри та характеристики	
Номінальна напруга живлення	6 В
Робочий діапазон напруги	3–6 В
Номінальний струм	150–300 Ма
Пусковий струм	до 1 А
Швидкість обертання (без навантаження)	150–300 об/хв
Передаточне число редуктора	1:48
Крутний момент	до 1,5 кг·см
Напрямок обертання	Двонаправний
Тип керування	Через драйвер / ШІМ
Тип вала	Одинарний
Робочий температурний діапазон	–10 °С ... +60 °С

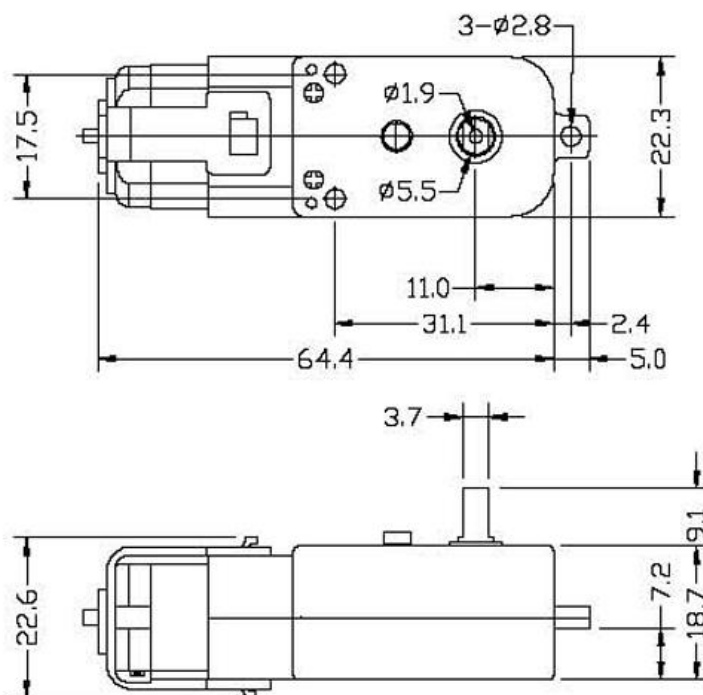


Рисунок 2.14-Зовнішній вигляд двигуна постійного струму з редуктором

Таблиця 2.15 – Технічні характеристики датчика DHT11[15]

Позиційне позначення	A4
Назва та тип компонента	DHT11
Виробник	Aosong
Критерії вибору	Цифровий інтерфейс, вимірювання температури та вологості
Параметри конструкції	Див. рисунок 2.15
Параметри та характеристики	
Напруга живлення	3–5 В
Номінальна напруга живлення	5 В
Споживаний струм	до 2,5 Ма
Діапазон вимірювання температури	0 °C ... +50 °C
Похибка вимірювання температури	±2 °C
Діапазон вимірювання вологості	20 % ... 90 %
Похибка вимірювання вологості	±5 %
Роздільна здатність	1 °C / 1 %
Частота оновлення даних	1 Гц
Час відгуку	≤ 6 с
Кількість виводів	3 (VCC, DATA, GND)
Робочий температурний діапазон	0 °C ... +50 °C

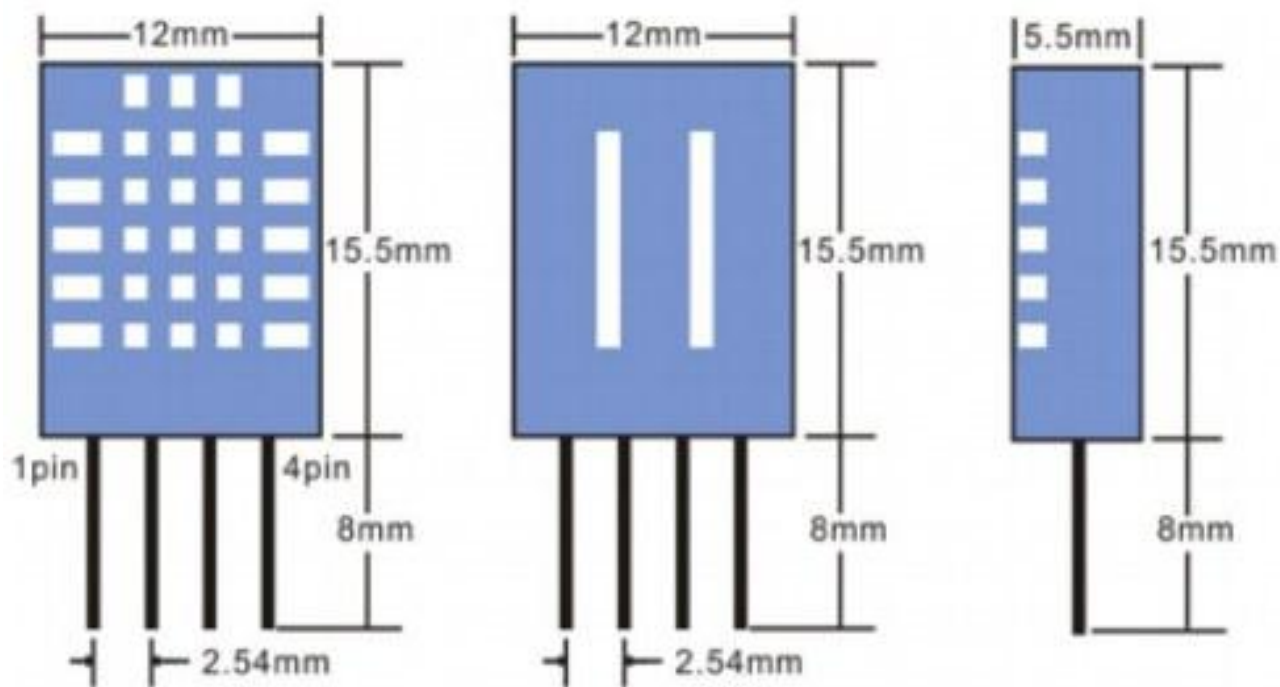


Рисунок 2.15-Габаритні розміри датчика DHT11

Таблиця 2.16 – Мембранна клавіатура 4x4[16]

Позиційне позначення	A14
Назва та тип компонента	Мембранна клавіатура 4×4
Виробник	Generic
Критерії вибору	Простота підключення
Параметри конструкції	Див. рисунок 2.16
Параметри та характеристики	
Конфігурація	4 × 4
Кількість клавіш	16
Тип контактів	Мембранні
Кількість виводів	8 (4 рядки + 4 стовпці)
Робоча напруга	до 24 В
Робочий струм	до 30 Ма
Тип підключення	Матричне
Тип керування	Опитування матриці
Робочий температурний діапазон	–20 °С ... +70 °С
Товщина клавіатури	0,8–1,2 мм

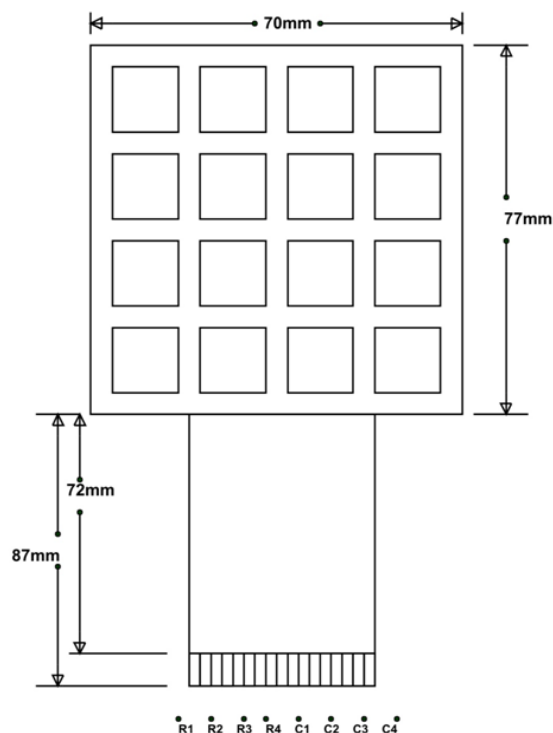


Рисунок 2.16-Габаритні розміри мембранної клавіатури 4x4

Таблиця 2.17 – Матричний модуль MAX7219 [17]

Позиційне позначення	HG3
Назва та тип компонента	MAX7219 (32×8)
Виробник	Maxim Integrated
Критерії вибору	SPI-інтерфейс, графічна індикація
Параметри конструкції	Див. рисунок 2.17
Параметри та характеристики	
Керуючий мікросхема	MAX7219
Розмір матриці	32 × 8 світлодіодів
Номінальна напруга живлення	5 В
Робочий діапазон напруги	4–6 В
Споживаний струм	до 320 Ма
Інтерфейс зв'язку	SPI (DIN, CLK, CS)
Кількість керуючих ліній	3
Кількість керованих світлодіодів	256
Тип керування	Динамічний
Можливість каскадування	Так
Частота оновлення	до 800 Гц
Робочий температурний діапазон	–20 °С ... +70 °С



Рисунок 2.17-Габаритні розміри матричного модуля MAX7219

Таблиця 2.18 – Технічні характеристики кільця RGB світлодіодів WS2812[18]

Позиційне позначення	HG1
Назва та тип компонента	WS2812 (12 LED)
Виробник	Worldsemi
Критерії вибору	Однопровідне керування, адресна RGB індикація
Параметри конструкції	Див. рисунок 2.18
Параметри та характеристики	
Кількість кольорів	16,7 млн
Номінальна напруга живлення	5 В
Робочий діапазон напруги	4,5–5,5 В
Максимальний струм одного світлодіода	до 60 Ма
Максимальний струм модуля	до 720 Ма
Частота передачі даних	800 кГц
Кількість виводів	3 (VCC, GND, DIN)
Можливість каскадування	Так
Діаметр кільця	~50 мм

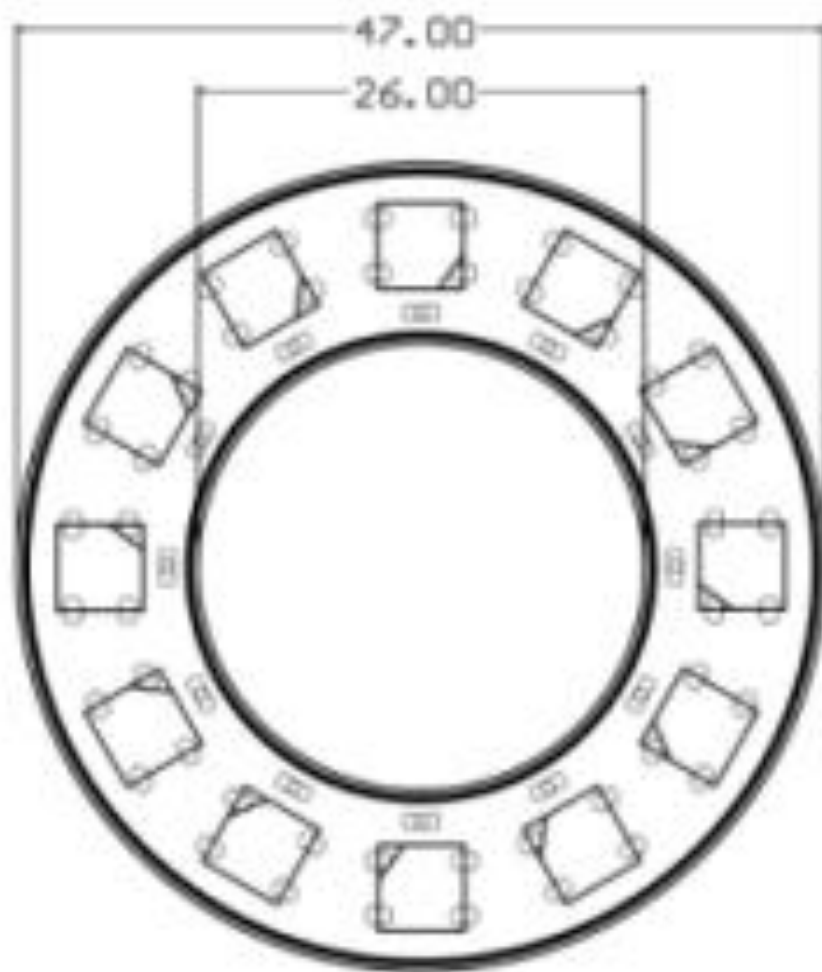


Рисунок 2.18-Габаритні розміри кільця RGB світлодіодів WS2812

Таблиця 2.19 – Датчик вологості ґрунту YL-69[19]

Позиційне позначення	A9
Назва та тип компонента	Датчик вологості ґрунту YL-69
Виробник	«Generic»
Критерії вибору	Аналоговий вихід, вимірювання вологості
Параметри конструкції	Див. рисунок 2.19
Параметри та характеристики	
Номінальна напруга живлення	5 В
Робочий діапазон напруги	3,3–5 В
Споживаний струм	до 35 Ма
Робочий діапазон вихідної напруги	0–5 В
Кількість виводів	2 (датчик) / 4 (з модулем)
Довжина електродів	~60 мм
Робочий температурний діапазон	–10 °С ... +60 °С

					26 КР 172.402.020.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 2.19-Габаритні розміри датчика вологості ґрунту YL-69

Таблиця 2.20 – Потенціометр 10кОм[20]

Позиційне позначення	R12
Назва та тип компонента	Потенціометр 10кОм
Виробник	Alpha
Критерії вибору	Механічна надійність, габаритні розміри
Параметри конструкції	Див. рисунок 2.20
Параметри та характеристики	
Номінальний опір	10 кОм
Допуск опору	$\pm 20\%$
Характеристика зміни опору	Лінійна (тип В)
Залишковий опір	$R \geq 250 \text{ кОм}$ — не більше 0,1% від загального опору; $10 \text{ кОм} < R < 250 \text{ кОм}$ — не більше 20 Ом; $R \leq 10 \text{ кОм}$ — не більше 10 Ом
Номінальна потужність	0,05 Вт
Максимальна робоча напруга	50 В АС; 20 В DC
Опір ізоляції	Не менше 100 Мом при 500 В DC
Випробувальна напруга	250 В АС (1 хвилина)
Рівень шуму при обертанні	$\leq 100 \text{ Мв}$

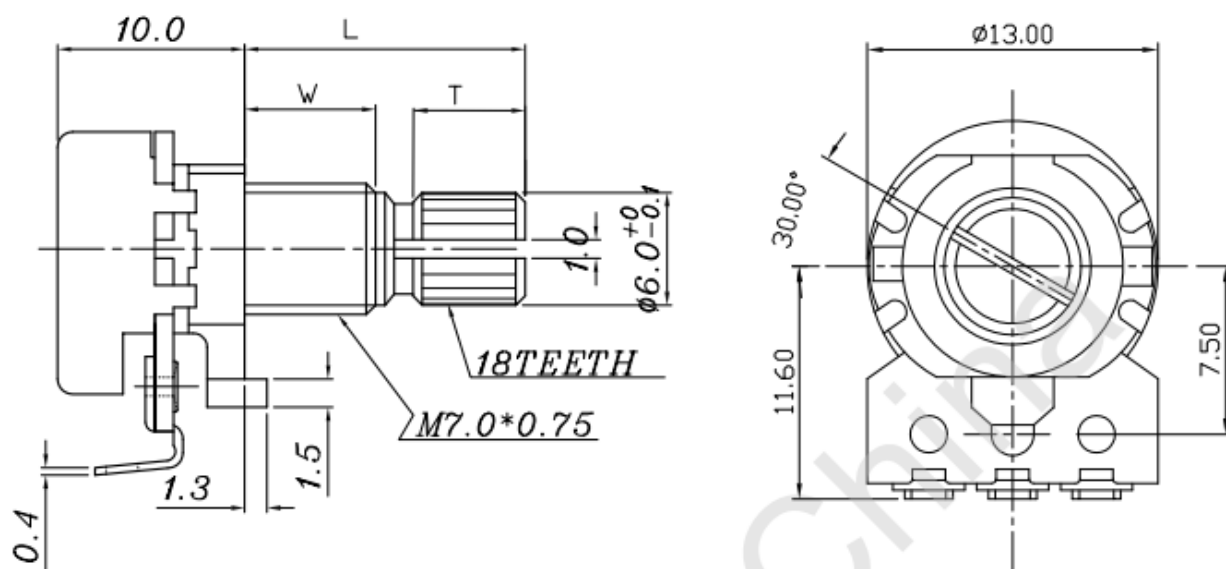


Рисунок 2.20-Габаритні розміри потенціометра 10кОм

Таблиця 2.21 – Модуль датчика диму MQ-2[21]

Позиційне позначення	A10
Назва та тип компонента	Модуль датчика диму MQ-2
Виробник	Hanwei
Критерії вибору	Чутливість, тип вихідного сигналу (аналоговий і цифровий), стабільність показів
Параметри конструкції	Див. рисунок 2.21
Параметри та характеристики	
Напруга живлення	5 В
Робочий струм нагрівача	до 150–180 Ма
Напруга нагрівача	5 В $\pm 0,2$ В
Потужність нагрівача	до 800–900 мВт
Діапазон виявлення газів	приблизно 200–10000 ppm
Виявлювані гази	LPG, пропан, бутан, метан, водень, алкоголь, чадний газ, дим
Аналоговий вихід	0–5 В
Цифровий вихід	TTL 0 або 5 В
Час відгуку	≤ 10 с
Час відновлення	≤ 30 с
Час прогріву	≥ 20 с
Робоча температура	$-10 \dots +50$ °C
Робоча вологість	до 95 % RH

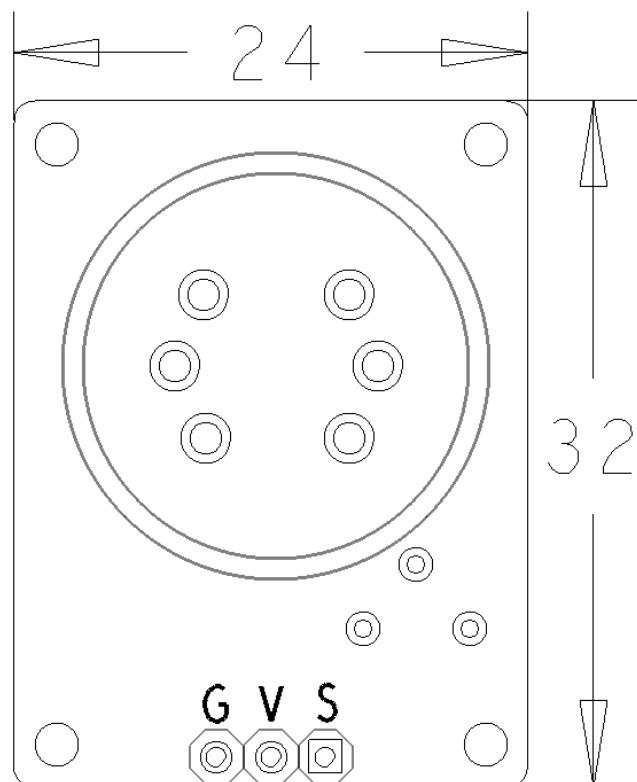


Рисунок 2.21-Габаритні розміри модуля датчика диму MQ-2

Таблиця 2.22 – Рідкокристалічний дисплей[22]

Позиційне позначення	HG2
Назва та тип компонента	Рідкокристалічний символний дисплей RC1602B-GKY-CSX
Виробник	Hitachi
Критерії вибору	кількість символів, світлодіодні підсвічування для зменшення споживання струму, контролер сумісний з HD44780
Параметри конструкції	див. рисунки 2.22
Параметри та характеристики	
Кількість символів	32 (2 × 16)
Напруга живлення на виводі VDD	5 В
Вхідна напруга	5 В
Струм споживання, типовий	20 Ма
Колір свічення	жовто-зелений
Тип дисплея	STN

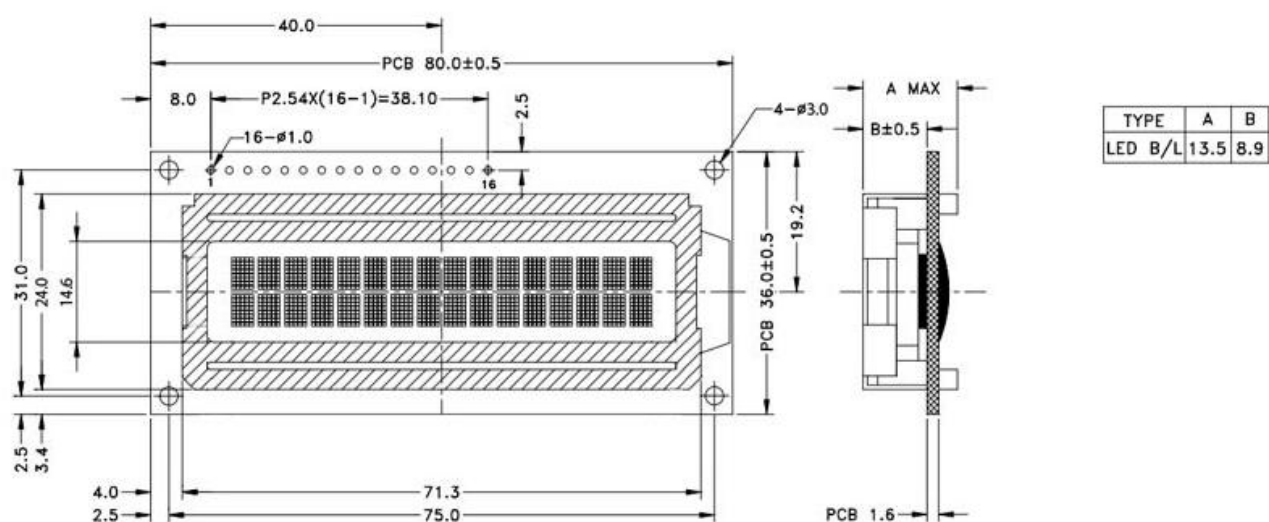


Рисунок 2.22-Габаритні розміри LCD дисплея RC1602B

Таблиця 2.23 – Модуль RFID RC522[23]

Позиційне позначення	A13
Назва та тип компонента	Модуль RFID RC522
Виробник	NXP
Критерії вибору	Стандарт підтримуваних карт (MIFARE, ISO/IEC 14443), інтерфейс зв'язку (SPI), сумісність із мікроконтролерами
Параметри конструкції	Див. рисунок 2.23
Параметри та характеристики	
Мікросхема	MFRC522
Робоча частота	13,56 МГц
Напруга живлення	3,3 В
Споживаний струм	13–26 Ма
Інтерфейс зв'язку	SPI
Максимальна швидкість передачі даних	до 10 Мбіт/с
Дальність зчитування	до 60 мм
Підтримувані стандарти	ISO/IEC 14443 Type A
Робоча температура	–20...+80 °C
Кількість контактів	8 (SDA, SCK, MOSI, MISO, IRQ, GND, RST, 3.3V)

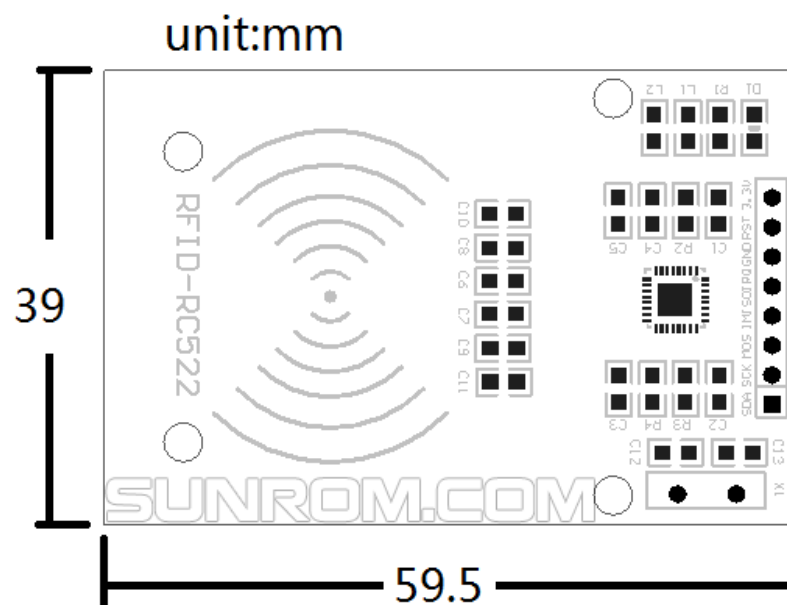


Рисунок 2.23-Габаритні розміри модуля RFID RC522

Таблиця 2.24 – Драйвер двигуна[24]

Позиційне позначення	A11
Назва та тип компонента	Двоканальний драйвер двигунів постійного струму
Виробник	Toshiba
Критерії вибору	Наявність кількох каналів, сумісність із мікроконтролерами
Параметри конструкції	Див. рисунок 2.24
Параметри та характеристики	
Кількість каналів	2
Тип керованих двигунів	DC двигуни або 1 кроковий двигун
Номінальна напруга живлення логіки (VCC)	2,7 – 5,5 В
Напруга живлення двигунів (VM)	2,5 – 13,5 В
Максимальний струм одного каналу (безперервний)	1,2 А
Піковий струм одного каналу	до 3,2 А
Кількість керуючих входів	6 (AIN1, AIN2, BIN1, BIN2, PWMA, PWMB)
Наявність режиму очікування (STBY)	Так
ККД	до 90%
Робочий температурний діапазон	–20 °С ... +85 °С

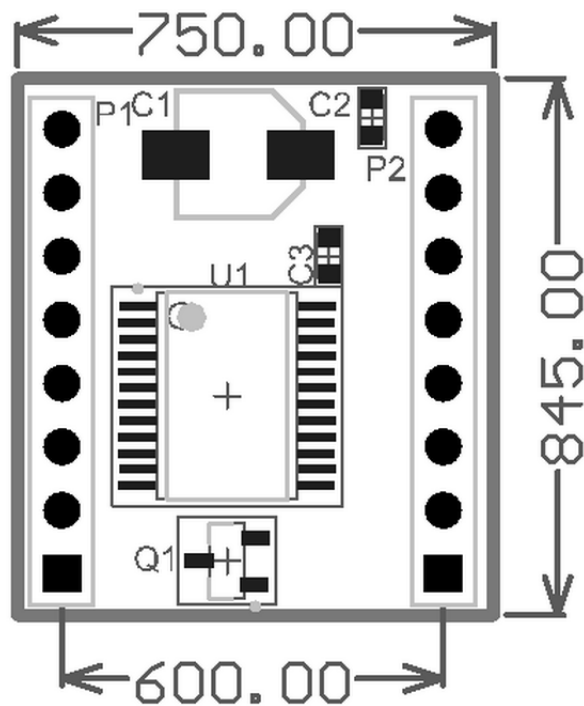


Рисунок 2.24-Габаритні розміри драйвера двигуна

Таблиця 2.25 – З'єднувач PLS[25]

Позиційне позначення	XP1-XP26	
Назва та тип компонента	штировий з'єднувач PLS	
Виробник	Samtec	
Критерії вибору	крок 2,56 мм, вертикальне розташування штирків	
Параметри конструкції	Див. рисунок 2.25	
Параметри та характеристики		
Крок штирків		2,56мм

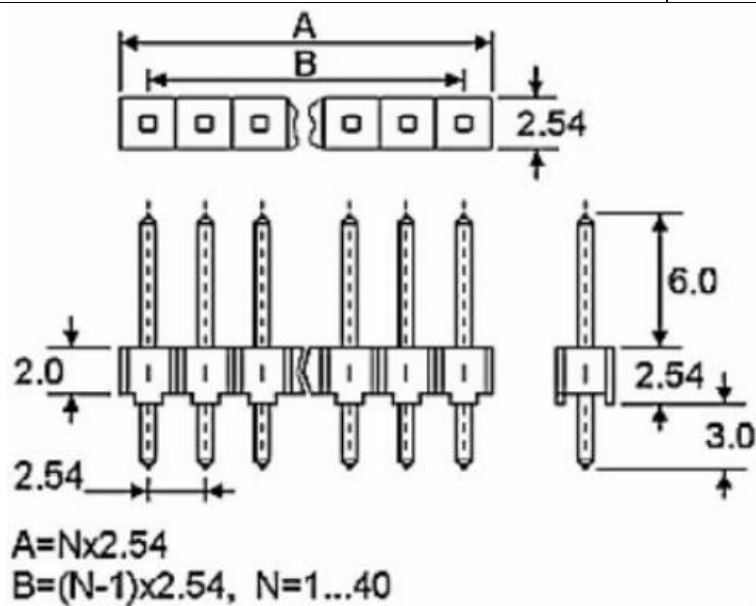


Рисунок 2.25-Габаритні розміри з'єднувача PLS

2.1.4 Опис програми мікроконтролера

Навчально-демонстраційний стенд містить значну кількість датчиків, модулів індикації та виконавчих пристроїв, для роботи яких розроблено окремі програми. Кожна з них демонструє принципи роботи певного електронного вузла та особливості взаємодії мікроконтролера Arduino Uno з периферійними пристроями. Для демонстрації програмної частини проєктованого виробу було обрано програму керування світлодіодною матрицею MAX7219, яка реалізує відображення текстової інформації у вигляді безперервного біжучого рядка.

Дана програма написана мовою програмування C++ у середовищі Arduino IDE та використовує бібліотеки MD_Parola, MD_MAX72XX і SPI. Застосування цих бібліотек дозволяє значно спростити процес програмування світлодіодної матриці та забезпечує можливість створення різноманітних ефектів відображення інформації.

Після запуску програми виконується ініціалізація світлодіодної матриці MAX7219 та встановлюються основні параметри її роботи. Зокрема задається рівень яскравості світлодіодів, очищується дисплей та налаштовується режим прокручування текстового повідомлення.

У пам'яті мікроконтролера зберігається текстове повідомлення, яке містить назву навчального закладу, інформацію про автора кваліфікаційної роботи та тему проєкту. Відображення повідомлення здійснюється у вигляді біжучого рядка, що рухається справа наліво по світлодіодній матриці.

Під час роботи програми мікроконтролер постійно формує дані для відображення символів та передає їх до драйвера MAX7219 через інтерфейс SPI. Після завершення прокручування всього повідомлення програма автоматично повертається до його початку та запускає процес відображення повторно. Завдяки цьому забезпечується безперервна робота інформаційного табло без втручання користувача.

					26 КР 172.402.020.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

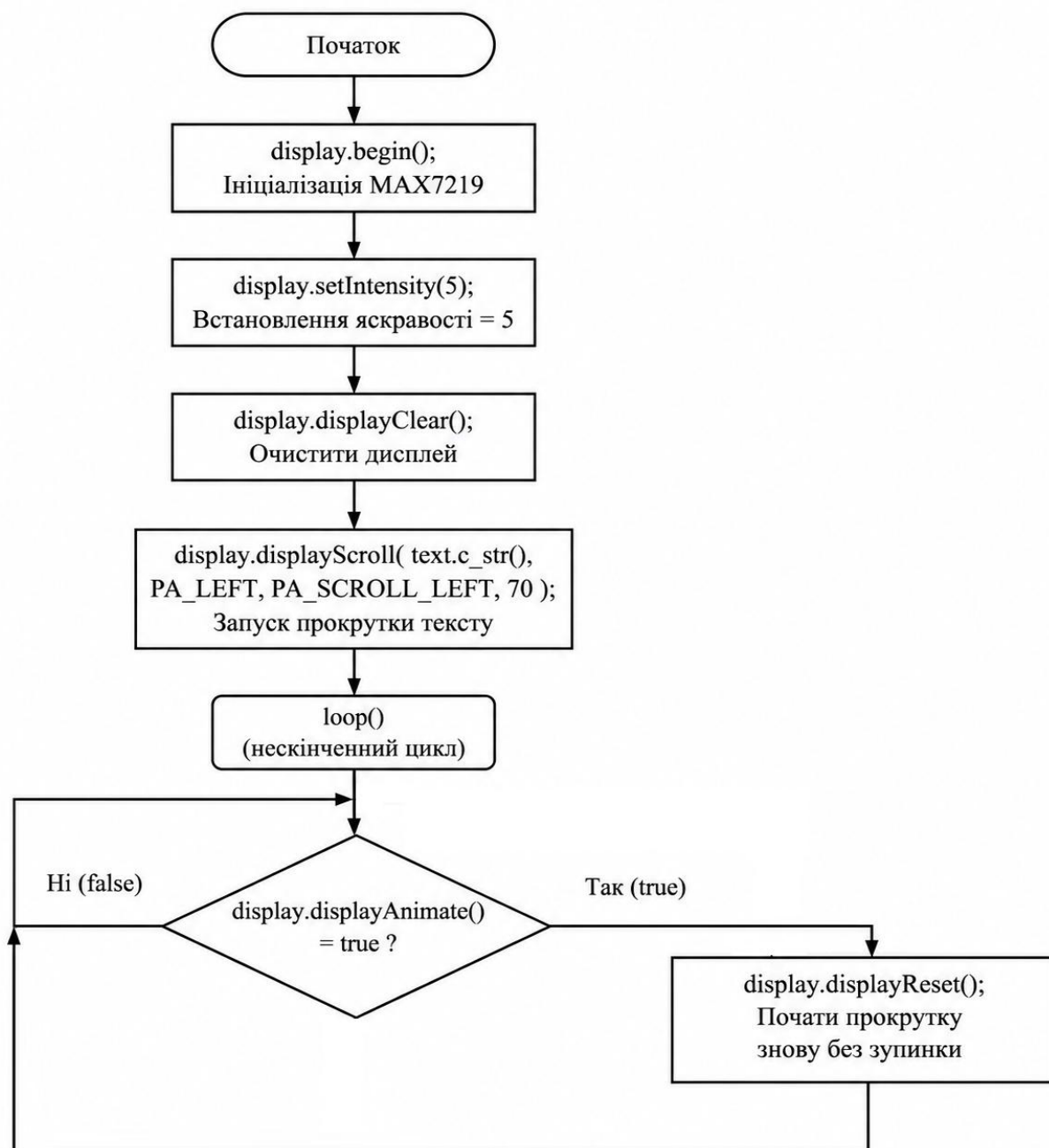


Рисунок 2.26-Алгоритм роботи програми керування світлодіодною матрицею MAX7219

Алгоритм роботи програми, наведений на рисунку 2.26, відображає послідовність дій, які виконує мікроконтролер Arduino Uno для керування світлодіодною матрицею MAX7219 та реалізації режиму безперервного відображення інформації у вигляді біжучого рядка.

Робота алгоритму починається після подачі живлення на стенд та запуску програми. На першому етапі виконується ініціалізація драйвера світлодіодної матриці за допомогою функції `display.begin()`. У процесі ініціалізації відбувається налаштування параметрів взаємодії між мікроконтролером та матрицею через інтерфейс SPI, перевірка готовності пристрою до роботи та підготовка внутрішніх буферів бібліотеки керування індикацією.

Після успішної ініціалізації матриці виконується встановлення рівня яскравості світлодіодів за допомогою команди `display.setIntensity(5)`. Даний параметр визначає інтенсивність світіння світлодіодів та забезпечує комфортне сприйняття інформації користувачем. Вибране значення дозволяє отримати достатню яскравість індикації без надмірного навантаження на систему живлення та елементи матриці.

Наступним кроком алгоритму є очищення дисплея командою `display.displayClear()`. Ця операція виконується для усунення можливих залишкових даних у пам'яті драйвера та забезпечення коректного початку роботи програми. Після очищення всі світлодіоди матриці переходять у вимкнений стан.

Далі виконується налаштування режиму прокручування текстового повідомлення за допомогою функції `display.displayScroll()`. У цей момент у пам'ять програми вже завантажено текстове повідомлення, яке містить інформацію про навчальний заклад, автора кваліфікаційної роботи та тему проєкту. Функція визначає напрямок переміщення тексту, швидкість прокручування та спосіб його відображення на світлодіодній матриці.

Після завершення початкових налаштувань програма переходить до виконання основного циклу `loop()`. Особливістю середовища Arduino є те, що функція `loop()` виконується безперервно протягом усього часу роботи мікроконтролера. Саме в цьому циклі реалізується відображення та анімація текстового повідомлення.

					26 КР 172.402.020.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У межах циклу постійно викликається функція `display.displayAnimate()`. Вона відповідає за формування ефекту біжучого рядка та послідовне переміщення символів по світлодіодній матриці. Під час кожного виклику функції відбувається оновлення вмісту дисплея, а текст зміщується на один крок відповідно до встановленого напрямку руху.

Після виконання функції анімації алгоритм переходить до перевірки її результату. Саме цей етап представлений на блок-схемі у вигляді логічного блоку. Програма аналізує значення, яке повертає функція `display.displayAnimate()`.

Якщо функція повертає значення «false», це означає, що процес прокручування повідомлення ще не завершений і частина тексту продовжує відображатися на матриці. У такому випадку жодних додаткових дій не виконується, а алгоритм повертається до початку циклу та знову викликає функцію анімації. Завдяки цьому забезпечується плавне переміщення тексту без ривків та затримок.

Якщо ж функція повертає значення «true», це свідчить про завершення повного циклу відображення повідомлення. Тобто останній символ текстового рядка вже пройшов через усю світлодіодну матрицю та зник з поля відображення. У цьому випадку виконується команда `display.displayReset()`, яка скидає поточну позицію тексту та повертає його на початок.

Після виконання команди скидання алгоритм автоматично повертається до циклу `loop()`, де процес прокручування починається знову. Таким чином реалізується безперервне циклічне відображення повідомлення без необхідності повторного запуску програми або втручання користувача.

Даний алгоритм характеризується простотою реалізації, невеликим обсягом програмного коду та високою ефективністю роботи. Завдяки використанню готових бібліотек значно спрощується процес керування світлодіодною матрицею та реалізація графічних ефектів. Розроблений

					26 КР 172.402.020.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

алгоритм повністю забезпечує виконання поставленого завдання та демонструє можливості використання мікроконтролера Arduino Uno для створення електронних інформаційних табло та систем відображення текстової інформації.

Текст роботи програми:

```
#include <MD_Parola.h>
```

```
#include <MD_MAX72xx.h>
```

```
#include <SPI.h>
```

```
#define HARDWARE_TYPE MD_MAX72XX::FC16_HW
```

```
#define MAX_DEVICES 8
```

```
#define CS_PIN 10
```

```
MD_Parola display = MD_Parola(HARDWARE_TYPE, CS_PIN,  
MAX_DEVICES);
```

```
String text =
```

```
" Separate structural unit \"Ternopil Vocational College of I. Pulyuy TNTU\" "
```

```
"Oleh Mymryk TR-402 "
```

```
"Development of a design of an educational and demonstration stand for studying  
the basics of microprocessor technology using Arduino  ";
```

```
void setup()
```

```
{
```

```
display.begin();
```

```
display.setIntensity(5);
```

```
display.displayClear();
```

```
display.displayScroll(text.c_str(), PA_LEFT, PA_SCROLL_LEFT, 70);
```

					26 КР 172.402.020.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```

}

void loop()
{
  if (display.displayAnimate())
  {
    display.displayReset(); // починає прокрутку знову без зупинки
  }
}

```

2.1.5 Опис конструкції друкованої плати. Розрахунок параметрів друкованого монтажу

Під час розробки електронного пристрою одним із важливих етапів є розрахунок параметрів друкованого монтажу. Від правильності виконання цього розрахунку залежить надійність роботи пристрою, його електричні параметри та технологічність виготовлення друкованої плати.

Розрахунок друкованого монтажу включає визначення основних геометричних параметрів друкованої плати, таких як ширина провідників, діаметр монтажних отворів, розміри контактних площадок та мінімальні відстані між елементами провідного малюнка. Під час розрахунку необхідно враховувати електричні параметри схеми, технологічні можливості виробництва та вимоги стандартів виготовлення друкованих плат[33].

Вибір методу виготовлення та класу точності друкованої плати:

Для розроблюваного навчально-демонстраційного стенду використовується одностороння друкована плата, виготовлена хімічним методом травлення.

Такий метод виготовлення має ряд переваг:

- простота технологічного процесу;

					26 КР 172.402.020.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- відносно низька вартість виготовлення;
- достатня точність для більшості електронних пристроїв;
- можливість виготовлення плати навіть у навчальних лабораторіях.

Для друкованої плати обирається 2-й клас точності, який широко використовується для електронних пристроїв середньої складності.

Для цього класу точності встановлені такі основні параметри:

- мінімальна ширина провідника – 0,45 мм;
- мінімальна відстань між провідниками – 0,45 мм;
- мінімальна відстань між контактними площадками – 0,5 мм.

Розрахунок мінімальної ширини провідника за допустимим струмом:

Під час протікання електричного струму через провідник відбувається його нагрівання. Тому ширина друкованого провідника повинна бути достатньою для того, щоб струм, який протікає через нього, не перевищував допустиму густину струму.

Мінімальна ширина друкованого провідника визначається за формулою:

$$b_{min1} = \frac{I_{max}}{j_{доп} \cdot t} \quad (2.1)$$

де:

I_{max} – максимальний струм, який протікає через провідник;

$j_{доп}$ – допустима густина струму для даного методу виготовлення;

t – товщина мідної фольги друкованої плати.

Для стандартних друкованих плат використовують фольгу товщиною:

$$t = 35 \text{ мкм} = 0,035 \text{ мм}$$

Допустима густина струму для хімічного методу виготовлення становить:

$$j_{доп} = 20 \text{ А/мм}^2$$

					26 КР 172.402.020.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У розроблюваному пристрої максимальний струм споживання складає приблизно:

$$I_{\max} = 0,5 \text{ А}$$

$$b_{\min 1} = \frac{0.5}{20 \cdot 0.035}$$

$$b_{\min 1} = 0.71 \text{ мм}$$

Отже, мінімальна ширина провідника за умовою допустимого струму становить:

$$b_{\min 1} \approx 0,7 \text{ мм}$$

Розрахунок ширини провідника за допустимим падінням напруги:

Ще одним важливим параметром є падіння напруги на провіднику. Якщо провідник має занадто малу ширину, його опір збільшується, що може призвести до значного падіння напруги.

Мінімальна ширина провідника за цією умовою визначається за формулою:

$$b_{\min 2} = \frac{\rho \cdot l \cdot I_{\max}}{U_{\text{доп}} \cdot t} \quad (2.2)$$

де:

ρ – питомий електричний опір матеріалу провідника;

l – довжина провідника;

$I_{\max}$ – максимальний струм у провіднику;

$U_{\text{доп}}$ – допустиме падіння напруги;

t – товщина провідника.

Для мідних провідників:

$$\rho = 0,0175 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$$

Довжина провідника приймається:

$$l = 0,1 \text{ м}$$

Максимальний струм:

$$I_{\max} = 0,5 \text{ А}$$

					26 КР 172.402.020.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Допустиме падіння напруги не повинно перевищувати 5 % від напруги живлення.

Оскільки живлення становить:

$$U = 5 \text{ В}$$

то

$$U_{\text{доп}} = 5\% \cdot 5\text{В} = 0.25\text{В}$$

Підставимо значення у формулу:

$$b_{\min 2} = \frac{0.0175 \cdot 0.1 \cdot 0.5}{0.25 \cdot 0.035}$$
$$b_{\min 2} = 0.1 \text{ мм}$$

Отже, мінімальна ширина провідника за умовою падіння напруги становить 0,1 мм.

Вибір реальної ширини провідника

Під час проектування друкованої плати необхідно вибирати більше значення ширини провідника, отримане в результаті обох розрахунків.

Отже:

- по струму 0,7 мм
- по падінню напруги 0,1 мм

Тому приймаємо:

$$b = 0,8 \text{ мм}$$

Таке значення забезпечує надійну роботу провідників та відповідає технологічним вимогам.

Розрахунок діаметра монтажних отворів

Монтажні отвори використовуються для встановлення електронних компонентів на друкованій платі.

Номінальний діаметр монтажного отвору визначається за формулою:

$$d = d_e + r + \Delta d \quad (2.3)$$

де:

					26 КР 172.402.020.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

d_e – максимальний діаметр виводу елемента;
 r – технологічний зазор між виводом і отвором;
 Δd – допуск на діаметр отвору.

Технологічний зазор:

$$r = 0,2 \text{ мм}$$

Допуск на отвір:

$$\Delta d = 0,1 \text{ мм}$$

Підставимо значення для світлодіодів, RGB-світлодіода, резисторів, фоторезистора, бузера:

$$d = 0.5 + 0.2 + 0.1$$

$$d = 0.8 \text{ мм}$$

Підставимо значення для з'єднувачів PLS:

$$d = 0.7 + 0.2 + 0.1$$

$$d = 1 \text{ мм}$$

Отже, діаметр монтажних отворів становить 0,8 мм та 1 мм

Розрахунок діаметра контактних площадок

Контактна площадка забезпечує надійне електричне та механічне з'єднання виводу компонента з друкованим провідником.

Мінімальний діаметр контактної площадки визначається за формулою:

$$D_{min} = 1.5d \quad (2.4)$$

де:

d – діаметр монтажного отвору.

Підставимо значення для світлодіодів, RGB-світлодіода, резисторів, фоторезистора, бузера:

$$D_{min} = 1.5 \cdot 0.8$$

$$D_{min} = 1.2 \text{ мм}$$

Підставимо значення для з'єднувачів PLS:

$$D_{min} = 1.5 \cdot 1$$

$$D_{min} = 1 \text{ мм}$$

					26 КР 172.402.020.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Отже, діаметр контактних площадок становить 1.2 мм та 1.5 мм

Таблиця 2.26 – Допустима густина струму в залежності від методу виготовлення

Метод виготовлення	Товщина фольги t, мкм	Допустима густина струму j(доп), А/мм²	Питомий опір ρ, Ом·мм²/м
Хімічний: внутрішні шари БДП, зовнішні шари ОДП, ДПП	20, 35, 5020, 35, 50	1520	0,050
Комбінований позитивний	203550	754838	0,0175
Електрохімічний	—	25	0,050

Таблиця 2.27 – Допуски на розташування отворів і контактних площадок.

Параметри	1 клас	2 клас	3 клас	4 клас
1	2	3	4	5
Мінімальне значення номінальної ширини провідника b, мм	0,60	0,45	0,25	0,15
Номінальна відстань між провідниками s, мм	0,60	0,45	0,25	0,15
Відношення діаметра отвору до товщини плати	≥0,10	≥0,50	≥0,33	≥0,33
Допуск на отвір d, мм, без металізації, Ø≤1 мм	±0,10	±0,10	±0,05	±0,05
Те ж саме, Ø>1 мм	±0,15	±0,15	±0,10	±0,10
Допуск на отвір d, мм, з металізацією, Ø≤1 мм	±0,15	±0,15	±0,05	±0,05
Те ж саме, Ø>1 мм	±0,15	±0,15	±0,10	±0,10
Допуск ширини провідника Δb, мм, без покриття	±0,20	±0,20	±0,15	±0,15
Те ж саме, з покриттям	±0,25/ -0,20	±0,15/ -0,10	±0,10/ -0,08	±0,05
Допуск на розташування отворів Δd, мм (плата <180 мм)	0,20	0,15	0,08	0,05
Те ж саме, 180–360 мм	0,25	0,20	0,10	0,08
Те ж саме, >360 мм	0,30 / 0,35	0,25	0,15 / 0,20	0,10 / 0,15
Допуск на розташування контактних площадок	0,40	0,30	0,25	0,20
Те ж саме (<180 мм)	0,45	0,35	0,30	0,25

Продовження таблиці 2.27

Параметри	1 клас	2 клас	3 клас	4 клас
1	2	3	4	5
Те ж саме (180–360 мм)	0,50	0,45	0,40	0,35
Те ж саме (>360 мм)	0,55	0,50	0,45	0,40
Допуск на розташування провідників на ОДП і ДПП	0,15	0,10	0,05	0,03
Те ж саме на БДП	0,20	0,12	0,07	0,05
Відстань від краю просвердленого отвору до краю контактної площадки	0,06	0,045	0,035	0,025

2.1.6 Оцінка теплових режимів роботи виробу

Одним із важливих факторів, що впливають на надійність та довговічність електронних пристроїв, є тепловий режим їх роботи. Під час функціонування електронних компонентів частина споживаної електричної енергії перетворюється на теплову, що призводить до нагрівання окремих вузлів конструкції. Надмірне підвищення температури може негативно впливати на стабільність параметрів елементів, скорочувати термін їх служби та знижувати загальну надійність пристрою. Тому під час проектування навчально-демонстраційного стенду особлива увага приділялася забезпеченню сприятливих умов тепловідведення.

До складу стенду входять електронні модулі, датчики, індикатори та виконавчі пристрої, які характеризуються відносно невеликим енергоспоживанням. Основними джерелами тепла є мікроконтролерна плата Arduino Uno, драйвер двигуна TB6612FNG, світлодіодна матриця MAX7219, релейний модуль, сервоприводи та двигун постійного струму. Проте навіть при одночасній роботі всіх функціональних вузлів рівень тепловиділення залишається незначним і не створює небезпечних температурних режимів.

					26 КР 172.402.020.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Важливою особливістю конструкції є відкрите виконання стенду. Більшість електронних компонентів розташована на поверхні друкованої плати та не закрита верхньою частиною корпусу. Таке конструктивне рішення забезпечує вільний доступ повітря до всіх елементів і сприяє ефективному природному охолодженню. Тепло, що виділяється компонентами, безперешкодно передається в навколишнє середовище завдяки природній конвекції повітря.

Додатково покращенню теплового режиму сприяє значна площа друкованої плати. Основа стенду має розміри 250×380 мм, що забезпечує достатню площу для відведення тепла від встановлених компонентів. Мідні провідники друкованої плати також частково виконують функцію розподілу тепла, зменшуючи локальні перегріву окремих вузлів.

Під час компонування елементів було враховано необхідність рівномірного розподілу джерел тепла по поверхні плати. Компоненти, які можуть нагріватися в процесі роботи, розташовані на достатній відстані один від одного, що запобігає накопиченню тепла в окремих зонах конструкції. Такий підхід дозволяє забезпечити більш стабільний температурний режим роботи всіх функціональних вузлів.

Корпус стенду виготовляється з PETG-пластику, який характеризується достатньою механічною міцністю та хорошою термостійкістю. Даний матеріал здатний тривалий час працювати при температурах, що значно перевищують робочі температури електронних компонентів стенду. Завдяки цьому виключається можливість деформації корпусу або погіршення його механічних властивостей у процесі експлуатації.

Оскільки стенд призначений для використання в навчальних лабораторіях та аудиторіях, його експлуатація передбачається в нормальних кліматичних умовах при кімнатній температурі та відносній вологості повітря, що також сприяє підтриманню сприятливого теплового режиму. Відсутність потужних нагрівальних елементів і високострумових

					26 КР 172.402.020.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

навантажень дозволяє відмовитися від застосування спеціальних систем охолодження, таких як вентилятори або радіатори.

Проведений аналіз конструкції показує, що тепловий режим роботи навчально-демонстраційного стенду є сприятливим. Використання відкритої конструкції, раціональне компонування елементів, достатня площа друкованої плати та застосування матеріалів з відповідними теплофізичними характеристиками забезпечують ефективне відведення тепла та стабільну роботу всіх вузлів виробу. Це позитивно впливає на надійність, довговічність та безпечність експлуатації стенду в процесі навчальної діяльності.

2.1.7 Розрахунок надійності проектного пристрою

Надійність є однією з основних характеристик будь-якого електронного пристрою, оскільки саме вона визначає здатність виробу виконувати свої функції протягом заданого часу за встановлених умов експлуатації. При розробці електронних систем особлива увага приділяється оцінці показників надійності ще на етапі проектування, що дозволяє виявити потенційно слабкі місця конструкції та своєчасно вжити заходів для їх усунення.

Розрахунок надійності проектного виробу базується на аналізі елементної бази, що входить до його складу. Кожен компонент характеризується власною інтенсивністю відмов, яка залежить від умов експлуатації, електричних навантажень, температурного режиму та якості виготовлення. Загальна надійність пристрою визначається сукупністю показників надійності окремих елементів, з урахуванням їх кількості та умов роботи.

Для оцінки надійності використовується метод сумарної інтенсивності відмов, який передбачає визначення ймовірності безвідмовної роботи системи на основі статистичних даних про відмови елементів. Такий підхід

					26 КР 172.402.020.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

дозволяє отримати кількісну оцінку надійності пристрою, зокрема визначити середній час напрацювання на відмову та інші важливі показники[26].

Розрахунок надійності.

Таблиця 2.28 – Вхідні дані

№ п/п	Назва групи елементів	К-сть, шт.	Кпопр	Івідм·10 ⁻⁶ , 1/год	Ксть· Кнав·Івідм·10 ⁻⁶
1	Друкована плата	1	1	0.1	0.1
2	Головки динамічні (звук.)	1	1	6.5	6.5
3	Резистори постійні 0.125 – 0.5 Вт	19	0.42	0.8	6.384
4	Резистори дротяні змінні	1	0.42	5	2.1
5	Світлодіоди	9	1	4	36
6	Роз'єми	26	1	0.05	1.3
7	Реле малогабаритні	1	1	2.2	2.2
8	Пайки	251	1	0.02	5.02
9	Модулі для Arduino	15	1	0.1	1.5
10	Фоторезистор	1	0.42	0.8	0.336

Коефіцієнти впливу:

Коефіцієнт механічних впливів: 1

Коефіцієнт впливу вологості і температури: 1

Коефіцієнт атомосферних впливів: 1

Результати розрахунку:

Інтенсивність відмов: 6.144e-005 1/год

Середня наробка до відмови: 16276.0 год.

Розрахунок ймовірності безвідмовної роботи P(t):

t = 10 год. P(t) = 0.999386

t = 100 год. P(t) = 0.993875

t = 1000 год. P(t) = 0.940409

t = 10000 год. P(t) = 0.540965

t = 100000 год. P(t) = 0.002146

					26 КР 172.402.020.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

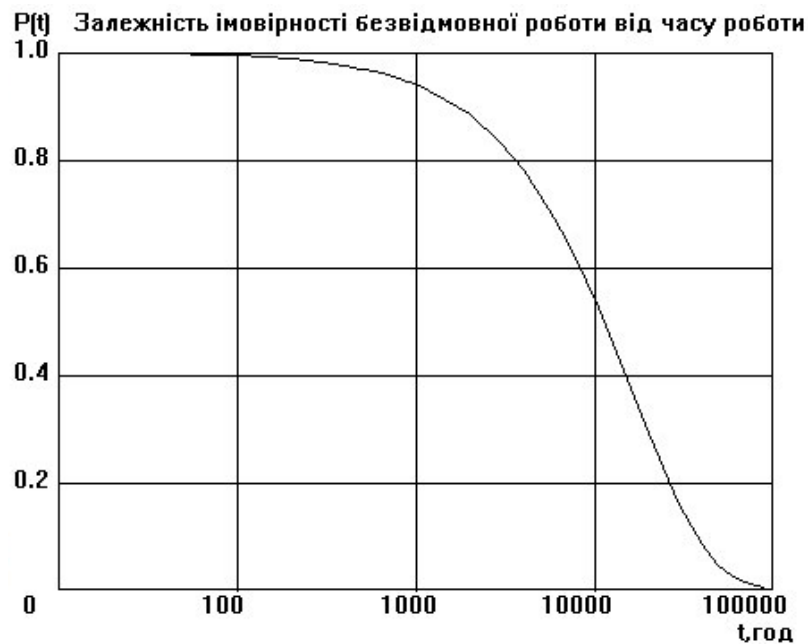


Рисунок 2.27 – Залежність інтенсивності безвідмовної роботи від часу роботи

Напрацювання на відмову становить 16276 год. Надійність виробу є досить високою, що супроводжується якісною роботою приладу довго та надійно.

2.1.8 Техніко-економічний аналіз конструкції виробу. Розрахунок споживаної потужності

Розроблений навчально-демонстраційний стенд призначений для вивчення основ мікропроцесорної техніки, програмування мікроконтролерів та дослідження принципів роботи сучасних електронних модулів. Конструкція виробу побудована на базі мікроконтролерної плати Arduino Uno та містить набір датчиків, модулів індикації і виконавчих пристроїв, що забезпечують широкі функціональні можливості під час проведення лабораторних занять.

Під час розроблення конструкції використовувалися стандартні та доступні електронні компоненти, що дозволило зменшити вартість виготовлення виробу та спростити його технічне обслуговування. Використання односторонньої друкованої плати та корпусу, виготовленого

					26 КР 172.402.020.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

методом 3D-друку з PETG-пластику, забезпечує достатню механічну міцність конструкції при невисоких витратах на виробництво.

Одним із показників економічності електронного пристрою є його споживана потужність. Для оцінки цього параметра використаємо максимальний струм споживання одного з найбільш енергоємних модулів стенду — світлодіодної матриці MAX7219, який становить приблизно 0,32 А. Живлення всіх модулів здійснюється від джерела постійної напруги 5 В.

Потужність споживання визначається за формулою:

$$P=I \cdot U=0,32 \cdot 5=1,6 \text{ (Вт)} \quad (2.5)$$

де:

(P) – потужність, Вт;

(I) – струм споживання, А;

(U) – напруга живлення, В.

Максимальна потужність, яка споживається окремим модулем стенду, становить 1,6 Вт.

Отримане значення свідчить про низьке енергоспоживання елементної бази виробу. Це забезпечує безпечну експлуатацію стенду, зменшує навантаження на джерело живлення та позитивно впливає на тепловий режим роботи електронних компонентів. Проведений техніко-економічний аналіз показує, що розроблена конструкція є економічно доцільною, технологічною у виготовленні та зручною для використання в навчальному процесі.

2.2 Технологічна частина

2.2.1 Загальні відомості про складання і монтаж проектованого виробу. Вибір типу технології

Складання та монтаж є завершальними етапами виготовлення навчально-демонстраційного стенду для вивчення основ мікропроцесорної

					26 КР 172.402.020.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

техніки з використанням Arduino. Від якості виконання монтажних операцій значною мірою залежить працездатність виробу, його надійність, довговічність та зручність експлуатації. Тому під час розроблення конструкції особлива увага приділялася забезпеченню простоти складання, мінімізації кількості монтажних операцій та можливості швидкого обслуговування виробу.

Проектований виріб складається з односторонньої друкованої плати розміром 250×380 мм, на якій встановлюються всі електронні компоненти, модулі індикації, датчики та виконавчі пристрої. Конструкція також містить нижню основу корпусу, виготовлену методом 3D-друку з PETG-пластику, до якої кріпиться друкована плата за допомогою гвинтів та монтажних стійок.

Монтаж елементів на друкованій платі здійснюється переважно методом монтажу у отвори (THT-монтаж), оскільки більшість використаних модулів та електронних компонентів мають виводи для встановлення у монтажні отвори друкованої плати. Такий спосіб монтажу характеризується високою механічною міцністю з'єднань, простотою виконання та зручністю ремонту виробу.

До початку монтажу проводиться підготовка друкованої плати та перевірка комплектності елементної бази. Після цього виконується встановлення пасивних компонентів, роз'ємів, світлодіодів, індикаторів та інших радіoeлектронних елементів. Наступним етапом є монтаж функціональних модулів, зокрема RFID RC522, датчика DHT11, датчика MQ-2, ультразвукового датчика HC-SR04, датчика руху HC-SR501, LCD-дисплея, матриці MAX7219 та інших вузлів стенду.

Після встановлення компонентів проводиться паяння їх виводів із використанням припою ПОС-61 та відповідного флюсу. Пайка забезпечує надійний електричний і механічний контакт між елементами та друкованими провідниками плати. Після завершення монтажних робіт виконується

					26 КР 172.402.020.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

очищення плати від залишків флюсу та візуальний контроль якості паяних з'єднань.

Наступним етапом є складання конструкції виробу. Друкована плата встановлюється на монтажні стійки та закріплюється на основі корпусу. Після цього підключаються виконавчі механізми, сервоприводи, двигун постійного струму та інші зовнішні модулі. Завершальними операціями є перевірка правильності монтажу, програмування мікроконтролера та проведення функціональних випробувань стенду.

Враховуючи навчальне призначення виробу, невелику програму випуску та значну кількість різноманітних модулів, для виготовлення стенду доцільно використовувати одиничний тип виробництва. Для такого типу виробництва характерна універсальність технологічного обладнання, застосування ручних та механізованих операцій складання, а також можливість внесення змін до конструкції на будь-якому етапі виготовлення.

Для монтажу виробу обрано ручну технологію складання із застосуванням електромонтажного інструменту та універсального обладнання. Таке рішення дозволяє забезпечити високу якість монтажу, мінімізувати витрати на технологічну підготовку виробництва та спростити виготовлення дослідного зразка. Крім того, ручний монтаж забезпечує можливість швидкої заміни окремих компонентів та проведення модернізації стенду в процесі його експлуатації.

Для проектного виробу обрано технологію ручного монтажу елементів у отвори друкованої плати з подальшим складанням конструкції на основі корпусу, виготовленого методом 3D-друку. Обрана технологія повністю відповідає особливостям конструкції стенду, забезпечує необхідну якість виготовлення та є економічно доцільною для одиничного виробництва навчального обладнання.

					26 КР 172.402.020.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.2.2 Якісна оцінка технологічності конструкції

Технологічність конструкції виробу є однією з найважливіших характеристик, що визначає можливість виготовлення, складання, контролю, експлуатації та ремонту виробу з мінімальними витратами праці, матеріалів і часу при забезпеченні необхідної якості та надійності. Оцінка технологічності конструкції виконується на етапі проектування та дозволяє виявити найбільш раціональні конструктивні рішення ще до початку виготовлення виробу.

Проектований навчально-демонстраційний стенд для вивчення основ мікропроцесорної техніки має конструкцію, яка відповідає основним вимогам технологічності. Виріб складається з односторонньої друкованої плати, електронних модулів, датчиків, засобів індикації, виконавчих пристроїв та корпусної основи, виготовленої методом 3D-друку. Всі конструктивні елементи виробу мають просту форму та не потребують застосування складних технологічних процесів під час виготовлення.

Основною складовою частиною виробу є друкована плата розміром 250×380 мм, на якій розміщені всі електронні компоненти стенду. Використання односторонньої друкованої плати дозволяє суттєво спростити технологію виготовлення та знизити її собівартість у порівнянні з двосторонніми або багат шаровими платами. При цьому забезпечується достатня щільність монтажу та зручність розміщення компонентів.

Під час проектування було застосовано модульний принцип побудови конструкції. Більшість функціональних вузлів виконані у вигляді готових модулів, що встановлюються на друковану плату через роз'ємні з'єднання. До таких модулів належать Arduino Uno, RFID RC522, LCD1602, MAX7219, датчики DHT11, MQ-2, HC-SR04, HC-SR501 та інші. Використання готових модулів значно спрощує процес складання виробу, скорочує кількість монтажних операцій та підвищує ремонтпридатність конструкції.

					26 КР 172.402.020.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Важливою перевагою конструкції є застосування роз'ємних з'єднань типу PLS. Таке рішення дозволяє виконувати монтаж і демонтаж окремих модулів без пошкодження друкованої плати та значно спрощує технічне обслуговування виробу. У разі виходу з ладу окремого елемента його заміна може бути виконана без проведення складних ремонтних робіт.

Монтаж компонентів здійснюється методом встановлення елементів у монтажні отвори друкованої плати з подальшим паянням. Така технологія є однією з найпоширеніших у виробництві електронної апаратури, характеризується високою надійністю електричних з'єднань та не потребує застосування дорогого спеціалізованого обладнання.

Значна частина елементів стенду має стандартне конструктивне виконання та широко використовується в сучасній електроніці. Це забезпечує доступність комплектуючих, спрощує процес закупівлі елементної бази та знижує витрати на виготовлення виробу. Крім того, використання стандартних компонентів полегшує модернізацію стенду та розширення його функціональних можливостей у майбутньому.

Корпус виробу виготовляється методом 3D-друку з PETG-пластику. Використання адитивної технології виготовлення дозволяє відмовитися від складного та дорогого технологічного оснащення, такого як прес-форми або спеціальні штампи. Це особливо важливо для виготовлення одиничних виробів та дослідних зразків. У разі необхідності зміни конструкції корпусу достатньо внести корективи до тривимірної моделі та повторно надрукувати деталь.

Конструкція стенду забезпечує добру ремонтпридатність. Всі основні вузли знаходяться у відкритому доступі, що дозволяє швидко виконувати діагностику несправностей, заміну компонентів та проведення профілактичних робіт. Відсутність верхньої кришки спрощує доступ до друкованої плати та встановлених на ній елементів.

					26 КР 172.402.020.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Контроль якості виготовлення виробу також не викликає труднощів. Всі монтажні з'єднання доступні для візуального огляду, що дозволяє оперативно виявляти можливі дефекти монтажу, порушення паяних з'єднань або механічні пошкодження компонентів. Простота конструкції сприяє підвищенню якості виготовлення та скороченню часу контролю.

Для виготовлення виробу використовуються поширені матеріали та стандартний інструмент. Монтаж може виконуватися із застосуванням звичайного електромонтажного обладнання без необхідності використання високовартісних автоматизованих ліній. Це позитивно впливає на економічні показники виробу та робить його придатним для одиничного й дрібносерійного виробництва.

Якісна оцінка показує, що конструкція навчально-демонстраційного стенду характеризується високим рівнем технологічності. Використання односторонньої друкованої плати, готових модулів, роз'ємних з'єднань та корпусу, виготовленого методом 3D-друку, забезпечує простоту виготовлення, складання, контролю, ремонту та модернізації виробу. Прийняті конструктивні рішення дозволяють мінімізувати виробничі витрати та забезпечити необхідні експлуатаційні характеристики стенду.

2.2.3 Опис технології виготовлення друкованої плати. Вибір основних та допоміжних матеріалів

Друкована плата є основним конструктивним елементом навчально-демонстраційного стенду, на якому розміщуються всі електронні компоненти, модулі, роз'єми та елементи індикації. Від якості виготовлення друкованої плати значною мірою залежать надійність роботи виробу, механічна міцність конструкції та стабільність електричних параметрів.

Для проєктованого виробу використовується одностороння друкована плата розміром 250×380 мм. Вибір односторонньої конструкції обумовлений

					26 КР 172.402.020.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

відносною простотою виготовлення, меншою вартістю виробництва та достатністю такого рішення для реалізації функціональних можливостей стенду. Крім того, односторонні друковані плати характеризуються високою ремонтпридатністю та простотою контролю якості монтажу.

Як основний матеріал друкованої плати обрано фольгований склотекстоліт FR-4 товщиною 1,5 мм із товщиною мідної фольги 35 мкм. Даний матеріал є одним із найпоширеніших у виробництві електронної апаратури завдяки високій механічній міцності, хорошим діелектричним властивостям, вологостійкості та стійкості до впливу підвищених температур. Склотекстоліт FR-4 забезпечує надійну фіксацію радіoeлектронних компонентів та тривалий термін експлуатації друкованої плати.

Технологічний процес виготовлення друкованої плати починається з підготовки заготовки із фольгованого склотекстоліту необхідних розмірів. Після цього на поверхню плати наноситься рисунок провідників, який був розроблений у системі автоматизованого проектування друкованих плат. Рисунок провідників визначає розташування електричних з'єднань між усіма компонентами стенду.

Після формування рисунка друкованих провідників виконується процес травлення. У ході цієї операції видаляються надлишкові ділянки мідної фольги, які не входять до складу електричної схеми. У результаті на поверхні плати залишаються лише необхідні струмопровідні доріжки та контактні площадки для встановлення електронних компонентів.

Наступним етапом є свердління монтажних отворів. Отвори призначені для встановлення електронних компонентів, кріпильних елементів та роз'ємів. Свердління виконується відповідно до координат, визначених під час проектування друкованої плати. Якість виконання цієї операції суттєво впливає на точність монтажу та надійність електричних з'єднань.

					26 КР 172.402.020.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Після свердління проводиться механічна обробка плати, яка включає очищення поверхні від задирок та підготовку контактних площадок до монтажу компонентів. Для захисту мідних провідників від окислення та покращення процесу паяння виконується лудіння контактних площадок. Захисне покриття підвищує корозійну стійкість провідників та забезпечує якісне формування паяних з'єднань.

Після завершення виготовлення друкованої плати проводиться контроль її якості. Перевіряється відповідність геометричних розмірів, відсутність обривів та замикань між провідниками, правильність розташування монтажних отворів та якість виконання контактних площадок. Лише після позитивних результатів контролю плата передається на дільницю монтажу.

Основним матеріалом для виготовлення провідників є мідна фольга, яка характеризується високою електропровідністю та технологічністю обробки. Завдяки низькому електричному опору забезпечуються мінімальні втрати електричної енергії під час роботи пристрою.

Для виконання монтажних робіт застосовується припій ПОС-61, який забезпечує високу якість паяних з'єднань та добру змочуваність металевих поверхонь. Як флюс використовується нейтральний безвідмивний флюс, який покращує процес паяння та забезпечує надійність електричних контактів.

До допоміжних матеріалів, що використовуються під час виготовлення та складання друкованої плати, належать спирт для очищення поверхонь, монтажні провідники, кріпильні елементи, стійки для встановлення плати в корпусі та маркувальні матеріали. Застосування якісних допоміжних матеріалів позитивно впливає на довговічність та надійність готового виробу.

Для виготовлення друкованої плати проектного стенду використовується одностороння технологія на основі фольгованого склотекстоліту FR-4. Обрані основні та допоміжні матеріали забезпечують

					26 КР 172.402.020.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

необхідні механічні, електричні та експлуатаційні характеристики виробу, а також дозволяють отримати надійну та технологічну конструкцію з відносно невисокою собівартістю виготовлення.

2.2.4 Кількісна оцінка технологічності друкованого вузла

Кількісна оцінка технологічності друкованого вузла проводиться з метою визначення рівня пристосованості конструкції до виготовлення, складання, контролю та ремонту. На відміну від якісної оцінки, яка базується на аналізі конструктивних рішень, кількісна оцінка дозволяє визначити технологічність за допомогою відповідних показників та коефіцієнтів.

Проектований друкований вузол навчально-демонстраційного стенду виконаний на односторонній друкованій платі розміром 250×380 мм. На платі встановлено стандартні електронні компоненти та готові функціональні модулі, більшість яких мають уніфіковані конструктивні виконання та широко використовуються в сучасній електронній апаратурі.

Одним із важливих показників технологічності є рівень стандартизації та уніфікації елементної бази. У проектованому виробі використовуються серійно виготовлені модулі Arduino Uno, RFID RC522, DHT11, MQ-2, HC-SR04, HC-SR501, LCD1602, MAX7219, сервоприводи SG90 та інші стандартні компоненти. Використання готових вузлів дозволяє скоротити трудомісткість складання, підвищити ремонтпридатність та зменшити витрати на виготовлення виробу.

Друкований вузол характеризується високим рівнем уніфікації монтажних елементів. Для підключення більшості модулів використовуються однотипні штирьові роз'єми PLS, а монтаж компонентів здійснюється за технологією встановлення елементів у монтажні отвори друкованої плати. Це дозволяє використовувати однакові технологічні операції під час складання та монтажу виробу.

					26 КР 172.402.020.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Позитивним фактором технологічності є також використання односторонньої друкованої плати. Така конструкція значно спрощує процес виготовлення, контролю та ремонту друкованого вузла порівняно з двосторонніми або багат шаровими платами. Всі струмопровідні доріжки знаходяться на одній стороні плати, що полегшує візуальний контроль якості монтажу та пошук можливих несправностей.

Важливим показником технологічності є можливість механізації та автоматизації окремих технологічних операцій. Незважаючи на те, що проєктований виріб призначений для одиничного виготовлення, конструкція друкованого вузла дозволяє використовувати стандартне монтажне обладнання, універсальний інструмент та типові технологічні процеси виготовлення електронної апаратури.

Конструкція друкованого вузла забезпечує зручний доступ до всіх елементів під час проведення монтажу, налагодження та ремонту. Компоненти розташовані на достатній відстані один від одного, що спрощує виконання монтажних операцій та зменшує ймовірність пошкодження сусідніх елементів під час паяння.

Аналіз кількісних показників технологічності свідчить про те, що друкований вузол має високий ступінь уніфікації елементної бази, просту конструкцію друкованої плати, невелику трудомісткість складання та високу ремонтпридатність. Використання стандартних компонентів, готових модулів та типових технологічних процесів забезпечує ефективне виготовлення виробу без необхідності застосування спеціального обладнання або складних виробничих операцій.

Проектований друкований вузол характеризується достатньо високим рівнем технологічності та повністю відповідає вимогам, що висуваються до сучасних навчально-демонстраційних електронних пристроїв.

					26 КР 172.402.020.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.2.5 Розробка і оформлення маршрутно-операційної технології складання і монтажу виробу

Маршрутно-операційна технологія складання визначає послідовність виконання основних операцій, необхідних для отримання готового виробу. Вона дозволяє впорядкувати процес складання, зменшити витрати часу та забезпечити належну якість монтажу.

З урахуванням конструктивних особливостей проектного пристрою, а саме використання односторонньої друкованої плати та корпусу у вигляді однієї нижньої кришки, технологічний процес складання є відносно простим і не потребує великої кількості операцій.

Маршрутно-операційна технологія складання включає в себе наступні кроки:

- підготовка друкованого вузла, що включає перевірку правильності монтажу елементів та якості паяних з'єднань;
- підготовка корпусу, виготовленого методом 3D-друку з PLA-пластику, з виконанням за необхідності механічної обробки (зачистка, видалення нерівностей);
- встановлення друкованого вузла у нижню частину корпусу;
- вирівнювання плати відносно посадкових місць та отворів для кріплення;
- кріплення друкованого вузла до корпусу за допомогою гвинтів або інших кріпильних елементів;
- проведення візуального контролю правильності складання;
- перевірка працездатності пристрою.

Запропонована технологія складання є простою у реалізації та не потребує використання складного обладнання. Всі операції можуть виконуватися вручну з використанням стандартного інструменту, що є доцільним для одиничного або дрібносерійного виробництва.

					26 КР 172.402.020.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

3.1 Розрахунок обсягу інвестицій, необхідних для реалізації проектних рішень

Для реалізації проектних рішень необхідно визначити обсяг інвестицій для їх здійснення. Обсяг інвестицій складається з вартості основних фондів за групами та витрат, пов'язаних з їх придбанням і введенням в експлуатацію.

1) Вартість будівель визначається виходячи з орендної плати за виробничі приміщення. Для розрахунку приймається площа виробничого приміщення 100 м² та середня вартість оренди 2000 грн/м². Вартість будівель розраховується за формулою:

$$V_{\text{буд}} = C_{\text{буд}} \cdot S_{\text{буд}} \quad (3.1)$$

$$V_{\text{буд}} = 2000 \cdot 100 = 200000 \text{ грн}$$

де:

$V_{\text{буд}}$ – вартість будівлі, грн;

$C_{\text{буд}}$ – вартість оренди 1 м² приміщення, грн/м²;

$S_{\text{буд}}$ – площа виробничого приміщення, м².

Будівлі орендуються разом з обладнанням, тому їх вартість збільшується на вартість обладнання:

$$V_{\text{буд}\Sigma} = V_{\text{буд}} + V_{\text{обл}} \quad (3.2)$$

$$V_{\text{буд}\Sigma} = 200000 + 100000 = 300000 \text{ грн}$$

де:

$V_{\text{обл}}$ – вартість обладнання.

2) Вартість інструментів та приладів становить 2% від вартості обладнання. Витрати на їх транспортування приймаються в розмірі 10% від вартості.

$$V_{\text{інстр}} = V_{\text{обл}} \cdot 0,02 \cdot 1,1K \quad (3.3)$$

$$V_{\text{інстр}} = 100000 \cdot 0,02 \cdot 1,1 = 2200 \text{ грн}$$

					2026.ККП.172.402.020.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3) Вартість виробничого та господарського інвентарю становить 3% від вартості обладнання. Витрати на транспортування також приймаються у розмірі 10%.

$$V_{\text{інв}} = V_{\text{обл}} \cdot 0,03 \cdot 1,1 \quad (3.4)$$

$$V_{\text{інв}} = 100000 \cdot 0,03 \cdot 1,1 = 3300 \text{ грн}$$

4) Загальний обсяг виробничих інвестицій визначається за формулою:

$$\Pi = V_{\text{будΣ}} + V_{\text{інстр}} + V_{\text{інв}} \quad (3.5)$$

$$\Pi = 300000 + 2200 + 3300 = 305500 \text{ грн}$$

5) Розрахунок річних амортизаційних відрахувань.

Річна сума амортизаційних відрахувань визначається за формулою:

$$A = \frac{S_{\text{бал}} \cdot H_a}{100} \quad (3.6)$$

де:

$S_{\text{бал}}$ – балансова вартість основних фондів;

H_a – норма амортизації.

Таблиця 3.1 – Розрахунок річних амортизаційних відрахувань

№ з/п	Найменування основних фондів	Балансова вартість, грн	Річна сума амортизації, грн
1	Інструменти та прилади	2200	550
2	Виробничий та господарський інвентар	3300	825
	Разом	5500	1375

3.2 Розрахунок собівартості виробу

Собівартість виробу є одним із основних економічних показників, який характеризує сукупність витрат на виготовлення продукції. До собівартості входять матеріальні витрати, заробітна плата виробничого персоналу,

					2026.ККП.172.402.020.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

відрахування на соціальні заходи, витрати на утримання та експлуатацію обладнання, амортизаційні відрахування та загальновиробничі витрати.

Таблиця 3.2 – Розрахунок витрат матеріалів та покупних виробів

№	Найменування	Од. вим.	Кіл.	Ціна, грн	Сума, грн
1	2	3	4	5	6
1	Arduino Uno R3	шт.	1	350	350
2	RFID RC522	шт.	1	140	140
3	LCD 1602 I2C	шт.	1	180	180
4	DHT11	шт.	1	70	70
5	MQ-2	шт.	1	120	120
6	HC-SR04	шт.	1	90	90
7	HC-SR501	шт.	1	80	80
8	TB6612FNG	шт.	1	170	170
9	Модуль реле	шт.	1	45	45
10	Сервопривід SG90	шт.	2	110	220
11	Джойстик	шт.	1	60	60
12	Клавіатура 4×4	шт.	1	70	70
13	Бузер	шт.	1	25	25
14	MAX7219 32×8	шт.	1	220	220
15	RGB кільце WS2812	шт.	1	180	180
16	7-сегментний індикатор	шт.	1	60	60
17	Світлодіоди	шт.	8	3	24
18	RGB світлодіод	шт.	1	10	10
19	Фоторезистор	шт.	1	10	10
20	Потенціометр	шт.	1	20	20

Продовження таблиці 3.2

№	Найменування	Од. вим.	Кіл.	Ціна, грн	Сума, грн
1	2	3	4	5	6
21	Двигун постійного струму	шт.	1	140	140
22	PLS-конектори	шт.	26	3	78
23	Резистори	шт.	19	1	19
24	Друкована плата	шт.	1	900	900
25	Корпус PLA (3D-друк)	шт.	1	1300	1300

Транспортно-заготівельні витрати становлять 10 % від вартості комплектуючих:

$$ТЗВ = \frac{4676 \cdot 10}{100} = 467,6 \text{ грн} \quad (3.7)$$

Повна вартість матеріалів:

$$М = 4676 + 467,6 = 5143,6 \text{ грн} \quad (3.8)$$

$$М = 5144 \text{ грн}$$

Таблиця 3.3 – Розрахунок основної заробітної плати виробничих робітників

№	Найменування операції	Розряд	Тарифна ставка, грн/год	Тшт, год	Сума, грн
1	2	3	4	5	6
1	Комплектування	III	150	0,017	2,55
2	Розконсервація плати	III	150	0,005	0,75
3	Маркування	III	150	0,005	0,75
4	Формування виводів ЕРЕ	IV	180	0,050	9,00
5	Залудження	IV	180	0,046	8,28

					2026.ККП.172.402.020.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Продовження таблиці 3.3

№	Найменування операції	Розряд	Тарифна ставка, грн/год	Тшт, год	Сума, грн
1	2	3	4	5	6
6	Установка ЕРЕ	V	220	0,047	10,34
7	Автоматизована пайка	V	220	0,005	1,10
8	Електромонтаж	V	220	0,010	2,20
9	Регулювання	VI	260	0,260	67,60
10	Лакування	IV	180	0,005	0,90
11	Технічний контроль	VI	260	0,260	67,60
				Разом:	171,07

Отже, основна заробітна плата становить:

$$З_{\text{осн}} = 171,07 \text{ грн} \quad (3.9)$$

Додаткова заробітна плата приймається у розмірі 15 %:

$$З_{\text{дод}} = 171,07 \cdot 0,15 = 25,66 \text{ грн} \quad (3.10)$$

Загальний фонд оплати праці:

$$\text{ФОП} = 171,07 + 25,66 = 196,73 \text{ грн} \quad (3.11)$$

Відрахування на соціальні заходи (22 %):

$$\text{ЄСВ} = 196,73 \cdot 0,22 = 43,28 \text{ грн} \quad (3.12)$$

Витрати на утримання та експлуатацію обладнання:

$$В_{\text{уео}} = 171,07 \cdot 0,75 = 128,30 \text{ грн} \quad (3.13)$$

					2026.ККП.172.402.020.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Загальновиробничі витрати:

$$B_{\text{зв}} = 171,07 \cdot 2,2 = 376,35 \text{ грн} \quad (3.14)$$

Таблиця 3.4 – Калькуляція собівартості виробу

№	Стаття витрат	Сума, грн
1	Матеріальні витрати	5144,00
2	Основна заробітна плата	171,07
3	Додаткова заробітна плата	25,66
4	ЄСВ	43,28
5	Амортизаційні відрахування	1,72
6	Витрати на утримання та експлуатацію обладнання	128,30
7	Загальновиробничі витрати	376,35
	Виробнича собівартість	5890,38

Позавиробничі витрати (5 %):

$$B_{\text{пз}} = 5890,38 \cdot 0,05 = 294,52 \text{ грн} \quad (3.15)$$

Повна собівартість:

$$C_{\text{пов}} = 5890,38 + 294,52 = 6184,90 \text{ грн} \quad (3.16)$$

$$C_{\text{пов}} = 6185 \text{ грн}$$

Прибуток:

$$\Pi = 6185 \cdot 0,27 = 1669,95 \text{ грн} \quad (3.17)$$

$$\Pi = 1670 \text{ грн}$$

					2026.ККП.172.402.020.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Оптова ціна виробу:

$$\text{Ц} = 6185 + 1670 = 7855 \text{ грн} \quad (3.18)$$

3.3 Оцінка економічної ефективності проектних рішень

Економічна ефективність проектного виробу визначається шляхом порівняння витрат на його розробку та виготовлення з очікуваними результатами від реалізації продукції. Основними показниками економічної ефективності є чистий прибуток, чиста теперішня вартість інвестиційного проекту, індекс прибутковості та термін окупності інвестицій.

В результаті виконаних розрахунків було визначено, що повна собівартість одного навчально-демонстраційного стенду становить:

$$C_{\text{пов}} = 6185 \text{ грн}$$

Оптова ціна виробу становить:

$$\text{Ц} = 7855 \text{ грн}$$

Прибуток від реалізації одного виробу:

$$\text{П} = 1670 \text{ грн}$$

Річна програма випуску виробів відповідно до індивідуального завдання становить:

$$N_p = 800 \text{ шт}$$

Річний дохід від реалізації продукції визначається за формулою:

$$\text{Д} = \text{Ц} \cdot N_p \quad (3.19)$$

$$\text{Д} = 7855 \cdot 800 = 6\,284\,000 \text{ грн}$$

Річні витрати на виробництво продукції:

$$\text{В} = C_{\text{пов}} \cdot N_p \quad (3.20)$$

$$\text{В} = 6185 \cdot 800 = 4\,948\,000 \text{ грн}$$

Річний прибуток:

$$\text{П}_p = \text{П} \cdot N_p \quad (3.21)$$

					2026.ККП.172.402.020.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\Pi_p = 1670 \cdot 800 = 1\,336\,000 \text{ грн}$$

Для визначення чистого прибутку необхідно врахувати податок на прибуток підприємства. Ставка податку на прибуток становить 18 %.

Сума податку:

$$\Pi_{\text{под}} = \Pi_p \cdot 0,18 \quad (3.22)$$

$$\Pi_{\text{под}} = 1\,336\,000 \cdot 0,18 = 240\,480 \text{ грн}$$

Чистий прибуток підприємства:

$$\text{ЧП} = \Pi_p - \Pi_{\text{под}} \quad (3.23)$$

$$\text{ЧП} = 1\,336\,000 - 240\,480 = 1\,095\,520 \text{ грн}$$

Таблиця 3.5 – Розрахунок чистого прибутку

Показник	Значення
Річний обсяг реалізації, грн	6 284 000
Річні витрати, грн	4 948 000
Прибуток до оподаткування, грн	1 336 000
Податок на прибуток (18%), грн	240 480
Чистий прибуток, грн	1 095 520

Для оцінки ефективності інвестиційного проєкту визначимо чисту теперішню вартість (ЧТВ). При розрахунках приймаємо розрахунковий період 3 роки та ставку дисконту 15%.

Коефіцієнти дисконтування:

$$K_1 = \frac{1}{(1+0,15)^1} = 0,870 \quad (3.24)$$

$$K_2 = \frac{1}{(1+0,15)^2} = 0,756 \quad (3.25)$$

$$K_3 = \frac{1}{(1+0,15)^3} = 0,658 \quad (3.26)$$

					2026.ККП.172.402.020.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Теперішня вартість грошових потоків:

$$PV_1 = 1\,095\,520 \cdot 0,870 = 953\,102 \text{ грн}$$

$$PV_2 = 1\,095\,520 \cdot 0,756 = 828\,213 \text{ грн}$$

$$PV_3 = 1\,095\,520 \cdot 0,658 = 720\,851 \text{ грн}$$

Сумарна теперішня вартість доходів:

$$PV = 953\,102 + 828\,213 + 720\,851 \quad (3.27)$$

$$PV = 2\,502\,166 \text{ грн}$$

Обсяг інвестицій, визначений у підрозділі 3.1:

$$I = 305\,500 \text{ грн}$$

Тоді чиста теперішня вартість проєкту становить:

$$\text{ЧТВ} = PV - I \quad (3.28)$$

$$\text{ЧТВ} = 2\,502\,166 - 305\,500$$

$$\text{ЧТВ} = 2\,196\,666 \text{ грн}$$

Оскільки значення ЧТВ є додатним, проєкт є економічно ефективним.

Індекс прибутковості визначається за формулою:

$$\text{ІП} = \frac{PV}{I} \quad (3.29)$$

$$\text{ІП} = \frac{2\,502\,166}{305\,500}$$

$$\text{ІП} = 8,19$$

Оскільки індекс прибутковості більший за одиницю, інвестиції є доцільними.

Термін окупності визначається за формулою:

$$T_{\text{ок}} = \frac{I}{\text{ЧП}} \quad (3.30)$$

$$T_{\text{ок}} = \frac{305\,500}{1\,095\,520}$$

$$T_{\text{ок}} = 0,279 \text{ року}$$

або

$$T_{\text{ок}} = 0,279 \cdot 12 = 3,35 \text{ місяця}$$

					2026.ККП.172.402.020.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.6 – Показники економічної ефективності проекту

Показник	Значення
Обсяг інвестицій, грн	305 500
Чистий прибуток, грн/рік	1 095 520
Чиста теперішня вартість (ЧТВ), грн	2 196 666
Індекс прибутковості	8,19
Термін окупності, років	0,279
Термін окупності, місяців	3,35

					2026.ККП.172.402.020.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4. ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1. Перевірка знань працівників з питань охорони праці.

Одним із найважливіших напрямків забезпечення безпечних умов праці на підприємстві є організація навчання та перевірки знань працівників з питань охорони праці. Даний процес спрямований на запобігання виробничому травматизму, професійним захворюванням та аварійним ситуаціям, які можуть виникати під час виконання електромонтажних робіт, встановлення систем безпеки та роботи з електрообладнанням.

На підприємствах, діяльність яких пов'язана з монтажем електричних мереж та систем безпеки, працівники постійно контактують з електрообладнанням, електроінструментом, кабельними мережами та іншими джерелами потенційної небезпеки. Саме тому особлива увага приділяється професійній підготовці працівників, дотриманню правил техніки безпеки та контролю рівня знань у сфері охорони праці.

Перевірка знань працівників здійснюється відповідно до Закону України «Про охорону праці», а також нормативно-правових актів, що регламентують порядок навчання та проведення інструктажів. На підприємстві організовується система навчання працівників, яка включає проведення інструктажів, спеціального навчання та періодичної перевірки знань.

Перед початком роботи кожен працівник проходить вступний інструктаж з охорони праці. Даний інструктаж проводиться для всіх працівників незалежно від посади, освіти чи стажу роботи. Під час вступного інструктажу працівників ознайомлюють із загальними вимогами безпеки на підприємстві, правилами поведінки у виробничих приміщеннях, вимогами пожежної безпеки, правилами користування первинними засобами пожежогасіння та порядком дій у випадку аварійної ситуації.

Після вступного інструктажу працівники проходять первинний інструктаж безпосередньо на робочому місці. У ході цього інструктажу пояснюються особливості виконання конкретних робіт, правила користування

					2026.ККП.172.402.020.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

інструментом та обладнанням, вимоги електробезпеки, а також безпечні методи виконання монтажних операцій. Особлива увага приділяється роботі з електроінструментом, вимогам до ізоляції проводів, правильності підключення обладнання та використанню засобів індивідуального захисту.

Для підтримання належного рівня знань проводяться повторні інструктажі. Вони організовуються не рідше одного разу на шість місяців, а для працівників, які виконують роботи підвищеної небезпеки, — частіше відповідно до встановлених норм. Повторний інструктаж дозволяє закріпити отримані знання, нагадати працівникам вимоги безпеки та звернути увагу на типові помилки, які можуть виникати під час роботи.

У разі зміни технологічного процесу, впровадження нового обладнання або порушення працівниками вимог безпеки проводяться позапланові інструктажі. Також можуть проводитися цільові інструктажі перед виконанням разових або особливо небезпечних робіт.

Перевірка знань працівників може здійснюватися у формі усного опитування, тестування або практичної перевірки навичок безпечного виконання робіт. Для цього на підприємстві створюється спеціальна комісія, яка оцінює рівень підготовки працівників та приймає рішення щодо допуску до роботи.

Працівники, які не пройшли перевірку знань або продемонстрували недостатній рівень підготовки, не допускаються до самостійного виконання робіт. Вони повинні пройти повторне навчання та повторну перевірку знань. Важливим елементом охорони праці є використання засобів індивідуального захисту. Працівники повинні користуватися діелектричними рукавичками, захисним взуттям, інструментом з ізольованими ручками та іншими засобами захисту залежно від виду виконуваних робіт.

Особлива увага приділяється дотриманню правил електробезпеки. Перед початком робіт працівники повинні перевіряти справність електроінструменту, цілісність ізоляції кабелів та наявність заземлення обладнання. Забороняється

					2026.ККП.172.402.020.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

виконання робіт із несправним інструментом або обладнанням, що має пошкодження.

Систематичне навчання та перевірка знань працівників з питань охорони праці є важливою складовою безпечної організації виробничого процесу. Це дозволяє мінімізувати ризик виникнення нещасних випадків, підвищити рівень виробничої дисципліни та забезпечити безпечні умови праці на підприємстві.

4.2. Оптимальні кліматичні умови. Таблиця.

Оптимальні кліматичні умови у виробничих приміщеннях є важливим фактором забезпечення безпечної та ефективної праці працівників. Мікроклімат виробничого середовища безпосередньо впливає на самопочуття людини, її працездатність, швидкість виконання робіт та рівень втоми. Недотримання встановлених норм мікроклімату може призводити до погіршення стану здоров'я працівників, зниження продуктивності праці та підвищення ризику виникнення виробничого травматизму.

До основних параметрів мікроклімату належать температура повітря, відносна вологість, швидкість руху повітря та атмосферний тиск. Дані параметри повинні відповідати встановленим санітарним нормам і забезпечувати комфортні умови перебування працівників у приміщенні.

У приміщеннях, де виконуються електромонтажні роботи, складання електронних пристроїв та налаштування систем безпеки, особливо важливо підтримувати стабільні параметри мікроклімату. Це пов'язано з тим, що значна частина робіт виконується з дрібними електронними компонентами та потребує високої точності й концентрації уваги.

Підвищена температура повітря може викликати швидку втому, зниження уважності та погіршення працездатності працівників. Низька температура, у свою чергу, негативно впливає на координацію рухів та комфорт роботи. Надмірна вологість може спричиняти корозію електронних

					2026.ККП.172.402.020.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

компонентів і погіршення ізоляційних властивостей матеріалів, а занадто сухе повітря сприяє накопиченню статичної електрики.

Для забезпечення комфортних умов праці у виробничих приміщеннях повинні використовуватися системи вентиляції та кондиціонування повітря. Вентиляція забезпечує видалення надлишкового тепла, пилу та шкідливих речовин, а також підтримує необхідний рівень вологості.

Важливу роль відіграє також правильна організація освітлення робочих місць. Недостатнє освітлення може призводити до перенапруження зору, швидкої втоми та помилок під час виконання монтажних операцій. Для робіт, пов'язаних з електронікою та дрібними деталями, рекомендується забезпечувати достатній рівень освітленості робочої поверхні.

Оптимальні параметри мікроклімату для виробничих приміщень наведені у таблиці.

Таблиця 4.1 – Оптимальні кліматичні умови у виробничому приміщенні

Параметр	Оптимальне значення
Температура повітря	20–24 °C
Відносна вологість повітря	40–60 %
Швидкість руху повітря	не більше 0,1–0,2 м/с
Атмосферний тиск	740–760 мм рт. ст.
Освітленість робочого місця	300–500 лк

Для підтримання оптимальних кліматичних умов необхідно регулярно проводити контроль параметрів мікроклімату, перевіряти ефективність роботи вентиляційних систем та забезпечувати своєчасне технічне обслуговування обладнання.

Створення оптимальних кліматичних умов у виробничих приміщеннях є важливою складовою охорони праці. Дотримання встановлених норм мікроклімату забезпечує комфортні умови роботи, знижує втому працівників, підвищує продуктивність праці та сприяє безпечному виконанню виробничих операцій.

					2026.ККП.172.402.020.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У процесі виконання кваліфікаційної роботи я розробив конструкцію навчально-демонстраційного стенду для вивчення основ мікропроцесорної техніки з використанням платформи Arduino Uno. На початковому етапі було проаналізовано сучасні засоби навчання з мікропроцесорної техніки та визначено основні вимоги до проектуваного виробу.

У ході роботи я розробив структурну та принципову схеми стенду, виконав вибір елементної бази та обґрунтував використання мікроконтролера Arduino Uno як основного керуючого пристрою. До складу стенду включено датчики різного призначення, модулі індикації, виконавчі пристрої та інші електронні компоненти, що забезпечують широкі можливості для проведення лабораторних і практичних занять.

Також мною було розроблено конструкцію друкованої плати розміром 250×380 мм та виконано раціональне компонування елементів. Для виготовлення корпусної частини виробу обрано PETG-пластик, який забезпечує необхідну механічну міцність, довговічність та технологічність виготовлення методом 3D-друку.

Під час виконання кваліфікаційної роботи я провів оцінку теплових режимів роботи виробу, виконав аналіз технологічності конструкції та друкованого вузла, а також розглянув питання охорони праці та безпеки під час експлуатації електронного обладнання.

Поставлену мету кваліфікаційної роботи досягнуто повністю. Розроблений мною навчально-демонстраційний стенд є функціональним, технологічним, надійним та економічно обґрунтованим виробом. Його використання дозволить підвищити ефективність вивчення основ мікропроцесорної техніки, програмування мікроконтролерів та принципів роботи сучасних електронних систем.

					2026.ККП.172.402.020.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Arduino Uno Rev3 [електронний ресурс] – Режим доступу: <https://store.arduino.cc/products/arduino-uno-rev3>; (дата звернення 16.04.2026).
2. Фоторезистор GL5516 [електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.elecrow.com/download/GL5516.pdf>; (дата звернення 16.04.2026).
3. Резистор MF-25 [електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.vishay.com/docs/28729/mf25.pdf>; (дата звернення 16.04.2026).
4. Ультразвуковий датчик HC-SR04 [електронний ресурс] – Режим доступу: <https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Proximity/HCSR04.pdf>; (дата звернення 16.04.2026).
5. PIR-датчик HC-SR501 [електронний ресурс] – Режим доступу: https://components101.com/sites/default/files/component_datasheet/HC-SR501-Datasheet.pdf; (дата звернення 16.04.2026).
6. Світлодіод індикаторний 5 мм [електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.kingbright.com/attachments/file/psearch/000/00/00/L-53SRD.pdf>; (дата звернення 16.04.2026).
7. RGB світлодіод 5 мм [електронний ресурс] – Режим доступу: https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Components/LED/RGB_LED.pdf; (дата звернення 16.04.2026).
8. Активний буюер [електронний ресурс] – Режим доступу: https://components101.com/sites/default/files/component_datasheet/Active-Buzzer-Datasheet.pdf; (дата звернення 16.04.2026).
9. Одноканальний модуль реле [електронний ресурс] – Режим доступу: https://components101.com/sites/default/files/component_datasheet/Relay-Module-Datasheet.pdf; (дата звернення 16.04.2026).
10. ІЧ-приймач VS1838B [електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.vishay.com/docs/82459/vs1838b.pdf>; (дата звернення 16.04.2026).

					2026.ККП.172.402.020.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

11. Модуль джойстика [електронний ресурс] – Режим доступу: https://components101.com/sites/default/files/component_datasheet/Joystick-Module-Datasheet.pdf; (дата звернення 16.04.2026).

12. 7-сегментний індикатор (3-розрядний) [електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.futurlec.com/LED/7SEG3DIGIT.shtml>; (дата звернення 16.04.2026).

13. Сервопривід SG90 [електронний ресурс] – Режим доступу: https://components101.com/sites/default/files/component_datasheet/SG90%20Servo%20Motor%20Datasheet.pdf; (дата звернення 16.04.2026).

14. Двигун постійного струму з редуктором [електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.pololu.com/file/0J1487/pololu-micro-metal-gearmotors.pdf>; (дата звернення 16.04.2026).

15. Датчик DHT11 [електронний ресурс] – Режим доступу: https://components101.com/sites/default/files/component_datasheet/DHT11-Datasheet.pdf; (дата звернення 16.04.2026).

16. Мембранна клавіатура 4×4 [електронний ресурс] – Режим доступу: https://components101.com/sites/default/files/component_datasheet/4x4-Keypad-Datasheet.pdf; (дата звернення 16.04.2026).

17. Модуль MAX7219 (32×8) [електронний ресурс] – Режим доступу: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX7219-MAX7221.pdf>; (дата звернення 16.04.2026).

18. RGB світлодіоди WS2812 [електронний ресурс] – Режим доступу: <https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/WS2812.pdf>; (дата звернення 16.04.2026).

19. Датчик вологості ґрунту YL-69 [електронний ресурс] – Режим доступу: https://components101.com/sites/default/files/component_datasheet/Soil-Moisture-Sensor-Datasheet.pdf; (дата звернення 16.04.2026).

20. Потенціометр змінний (10 кОм) [електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.bourns.com/docs/product-datasheets/3386.pdf>; (дата звернення 16.04.2026).

					2026.ККП.172.402.020.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

21. Газовий датчик MQ-2 [електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Biometric/MQ-2.pdf>; (дата звернення 16.04.2026).

22. Рідкокристалічний дисплей 1602 з I2C [електронний ресурс] – Режим доступу: https://components101.com/sites/default/files/component_datasheet/LCD%2016x2%20Datasheet.pdf; (дата звернення 16.04.2026).

23. RFID модуль RC522 [електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.nxp.com/docs/en/data-sheet/MFRC522.pdf>; (дата звернення 16.04.2026).

24. Драйвер двигуна TB6612FNG [електронний ресурс] – Режим доступу: <https://toshiba.semicon-storage.com/info/docget.jsp?did=10660>; (дата звернення 16.04.2026).

25. Штирьові з'єднувачі PLS (Pin Header 2.54 мм) [електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.samtec.com/products/tsw>; (дата звернення 16.04.2026).

26. Програма для розрахунку надійності РЕА [електронний ресурс] – Режим доступу: URL: <http://eguru.tk.te.ua/mod/resource/view.php?id=60057>

27. Васишин О.З. Методичні вказівки до виконання комплексного курсового проекту для спеціальності 172 "Телекомунікації та радіотехніка". – Тернопіль, ТК ТНТУ, 2020

28. Васишин О.З. Методичні вказівки до виконання графічної частини комплексного курсового проекту для спеціальності 172 "Телекомунікації та радіотехніка". – Тернопіль, ТК ТНТУ, 2020

29. Васишин О.З. Конспект лекцій з дисципліни "Основи конструювання та технології виробництва РЕА" для спеціальності 172 "Телекомунікації та радіотехніка". – Тернопіль, ТК ТНТУ, 2016

30. Васишин О.З. Конспект лекцій з дисципліни "Технологія виробництва РЕА" для спеціальності 172 "Телекомунікації та радіотехніка". – Тернопіль, ТК ТНТУ, 2017

					2026.ККП.172.402.020.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

31. Васишин О.З. Методичні вказівки для розробки маршрутноопераційної технології складання та монтажу вузлів РЕА для спеціальності 5.05090101 "Конструювання, виробництво та технічне обслуговування радіотехнічних пристроїв". – Тернопіль, ТК ТНТУ, 2016

32. Васишин О.З. Конспект лекцій "Поверхневий монтаж" для спеціальності 172 "Конструювання, виробництво та технічне обслуговування радіотехнічних пристроїв". – Тернопіль, ТК ТНТУ, 2016

33. Васишин О.З. Методичні вказівки до виконання практичної роботи "Конструктивний розрахунок друкованого монтажу" для спеціальності 172 "Телекомунікації та радіотехніка". – Тернопіль, ТК ТНТУ, 2018

34. Методичні вказівки по виконанню комплексного курсового проекту для студентів спеціальності: 172 «Телекомунікації та радіотехніка» - ТК ТНТУ, 2020р.

35. Програма для розробки схем "Altium Designer" [електронний ресурс] – Режим доступу: URL: <http://eguru.tk.te.ua/course/view.php?id=819>

36. Штогрин П.І. Методичні вказівки "Розробка 3D-моделей радіоелементів" для спеціальності 172 "Телекомунікації та радіотехніка". – Тернопіль, ТК ТНТУ, 2017

37. Васишин О.З., Штогрин П.І. Методичні вказівки "Розробка 3Dмоделей типових корпусів РЕА" для спеціальності 172 "Телекомунікації та радіотехніка". – Тернопіль, ТК ТНТУ, 2017

38. Закон України «Про охорону праці» [електронний ресурс] – Режим доступу:

<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12>; (дата звернення 20.05.2026).

39. НПАОП 0.00-4.12-05 «Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці» [електронний ресурс] – Режим доступу:

<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0231-05>; (дата звернення 20.05.2026).

					2026.ККП.172.402.020.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

40. ДСН 3.3.6.042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень» [електронний ресурс] – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0042588-99>; (дата звернення 20.05.2026).

41. ДБН В.2.5-28:2018 «Природне і штучне освітлення» [електронний ресурс] – Режим доступу: https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/dbn_v_2_5_28/1-1-0-1188; (дата звернення 20.05.2026).

					2026.ККП.172.402.020.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТКИ

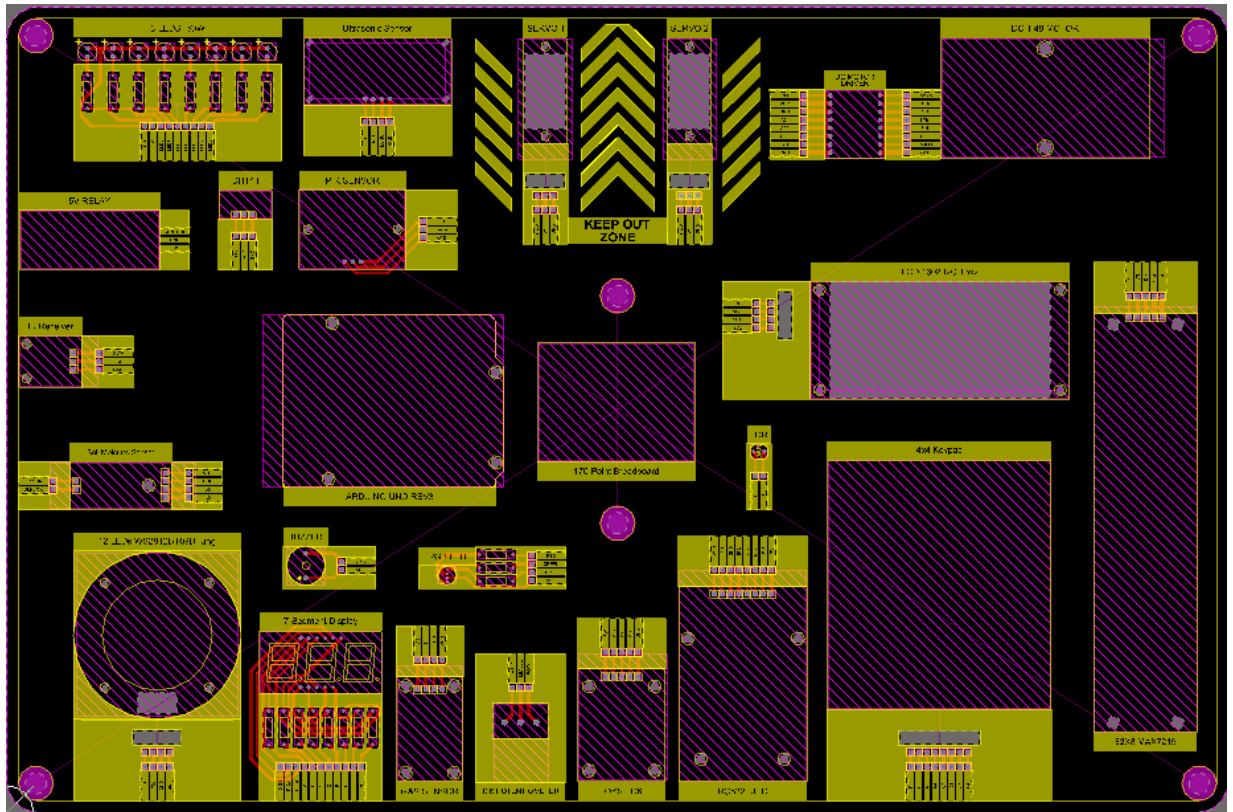


Рисунок А.1 – Друкована плата

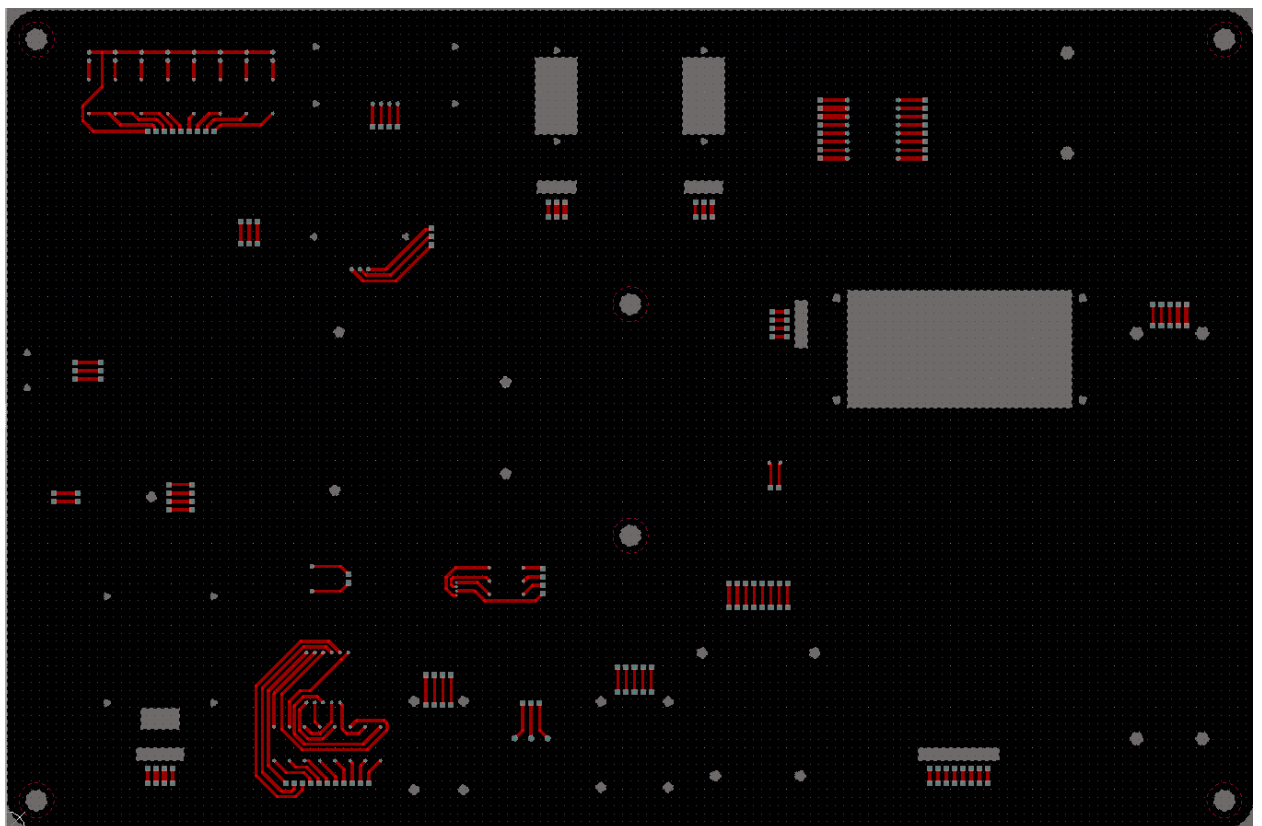


Рисунок А.2 – Друкована плата, шар Тор

					2026.ККП.172.402.020.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

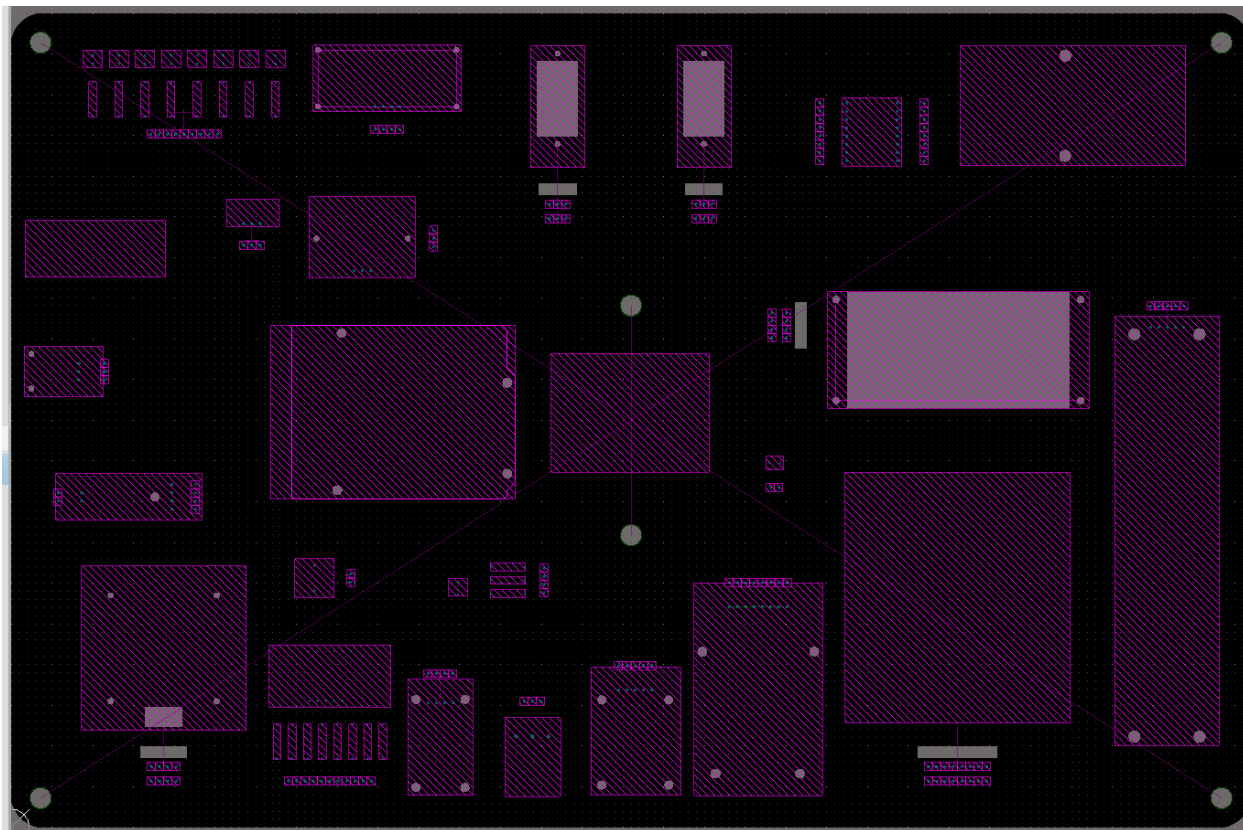


Рисунок А.3 – Друкована плата, шар Mechanical

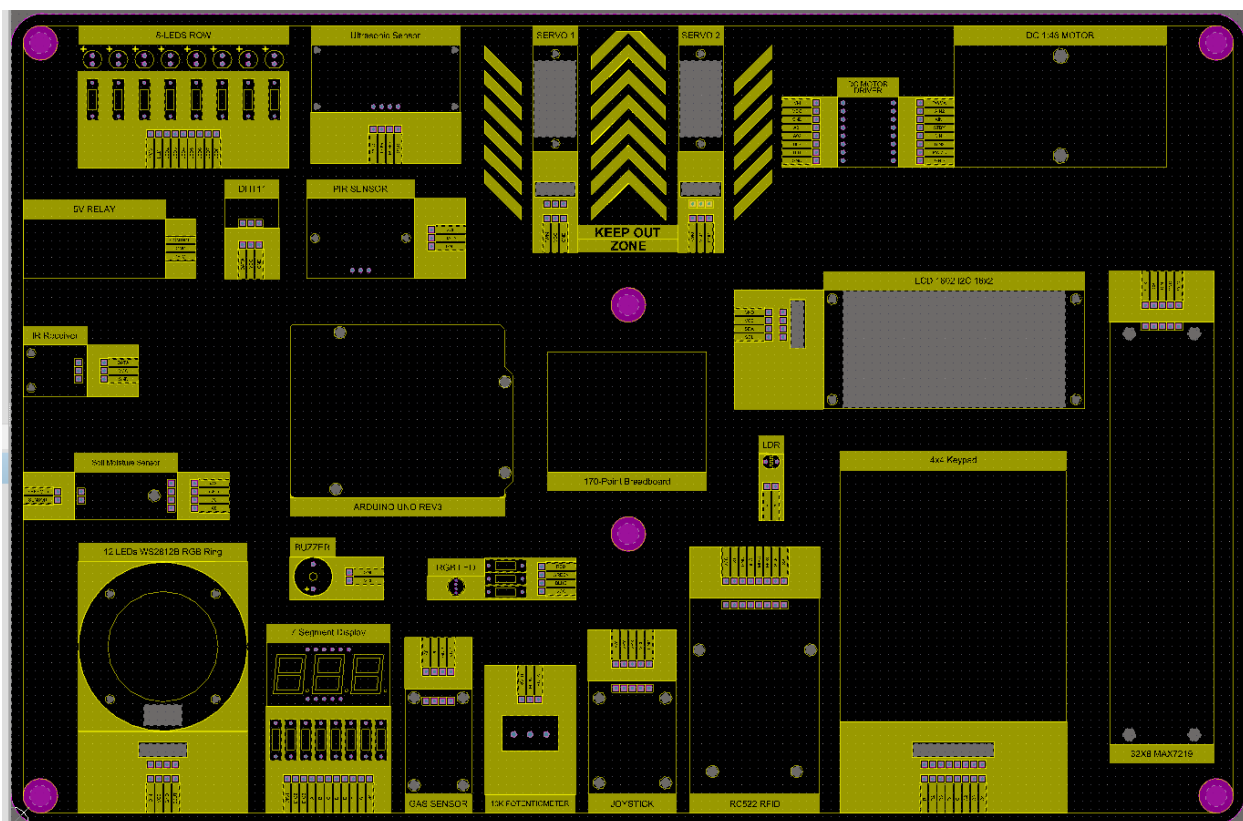
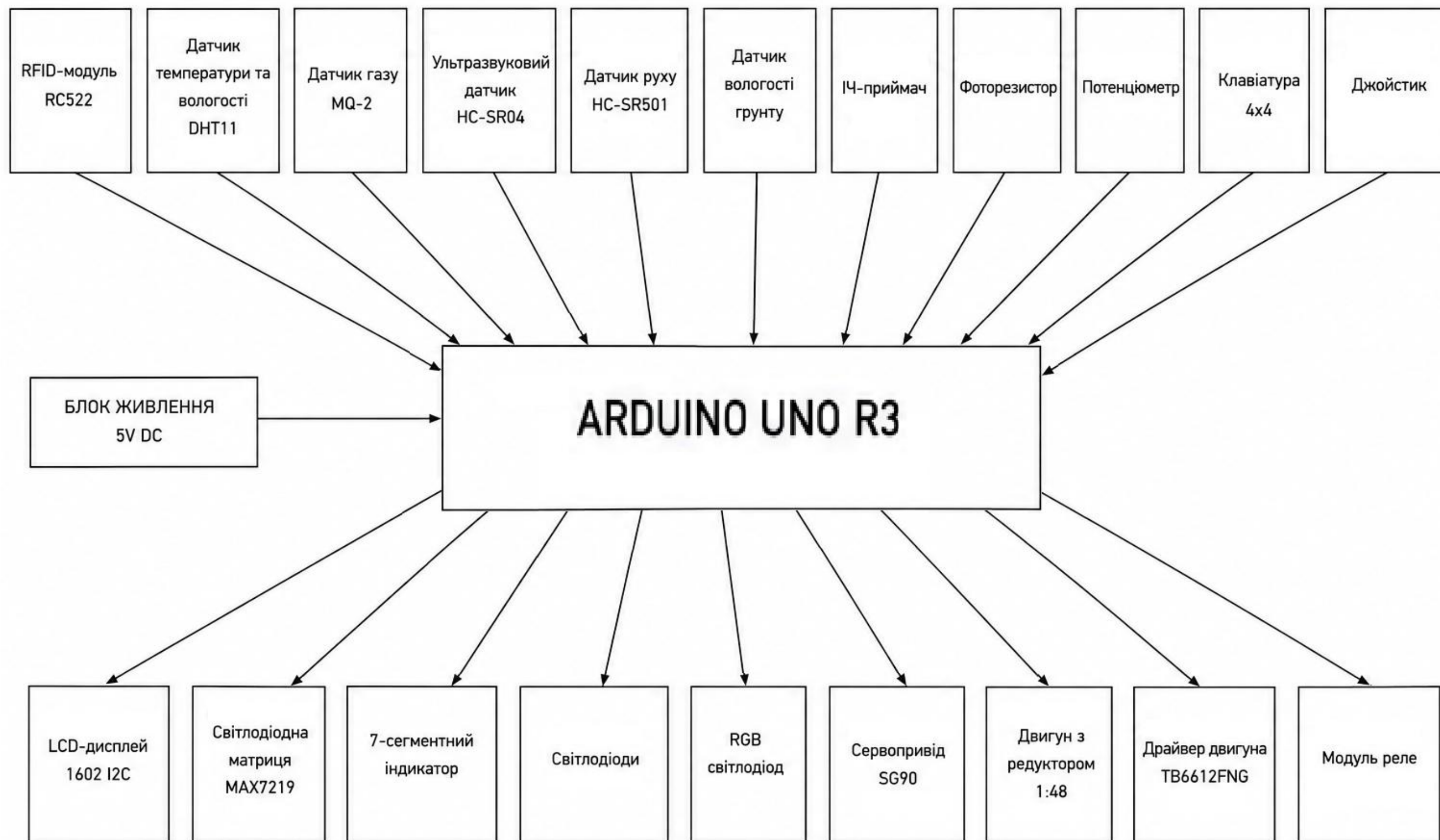


Рисунок А.4 – Друкована плата, шар NoSignal(маска)

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

2026.ККП.172.402.020.000.ПЗ

Арк.



					26 КР 172402.020.001.000 Е1		
					Схема електрична структурна навчально-демонстраційного стенду для вивчення основ мікропроцесорної техніки з використанням Arduino.		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розробив		Мирник О. А.					
Перевірив		Недашито Л. М.					
					Лит.		
					Маса		
					Масштаб		
					Арк.		
					Аркушів		
					ВСП «ТФК ТНТУ» зр.ТР-402		

Поз. познач.	Найменування	Кіл.	Примітка
	<u>Реле</u>		
A1	Relay Module 1-Channel 5V SRD-05VDC-SL-C “Songle”	1	
	<u>Датчик вологості ґрунту</u>		
A2	Soil Moisture Sensor YL-69 “YL-69 Module”	1	
	<u>Датчик газу</u>		
A3	Gas Sensor Module MQ-2 “Hanwei”	1	
	<u>Ультразвуковий датчик</u>		
A4	Ultrasonic Sensor HC-SR04 40kHz “Generic”	1	
	<u>PIR-датчик</u>		
A5	PIR Motion Sensor HC-SR501 “HC-SR501 Module”	1	
	<u>Датчик вологості та температури</u>		
A6	Temperature & Humidity Sensor DHT11 “Aosong”	1	
	<u>ІЧ-приймач</u>		
A7	IR Remote Control + Receiver VS1838B 38kHz “Keyes”	1	
	<u>Модуль RFID</u>		
A8	RFID Module RC522 13.56MHz MFRC522 “NXP”	1	
	<u>Сервоприводи</u>		
A9,A10	Servo Motor SG90 9g 5V “Tower Pro”	2	
	<u>Плата Arduino Uno</u>		
A11	Arduino Uno R3 ATmega328P “Arduino LLC”	1	

Поз. познач.	Найменування	Кіл.	Примітка			
	<u>Драйвер двигуна</u>					
A12	Motor Driver Module TB6612FNG “Toshiba”	1				
	<u>Мембранна клавіатура</u>					
A13	Keypad 4x4 Membrane Matrix “Generic”	1				
	<u>Модуль джойстика</u>					
A14	Joystick Module XY Dual Axis PS2 10kΩ “Keyes”	1				
	<u>Гучномовець</u>					
BA1	Active Buzzer 5V 85dB “CUI Devices”	1				
	<u>Світлодіоди</u>					
HL1-HL8	LED 5mm Red 620nm 20mA “Kingbright”	8				
HL9	RGB LED Ring 12x WS2812B “Worldsemi”	1				
HL10	RGB LED 5mm Common Cathode 20mA “Kingbright”	1				
	<u>Індикатори</u>					
HG1	7-Segment Display 3-Digit Red 0.36” “Lite-On”	1				
HG2	LCD 1602 Display with I2C PCF8574 “Hitachi”	1				
HG3	LED Matrix 32x8 MAX7219 “Maxim Integrated”	1				
	<u>Роз’єми</u>					
XP1	H2.54-9P- Samtec	1				
XP2	H2.54-11P- Samtec	1				
XP3	H2.54-2P- Samtec	1				
XP4-XP6	H2.54-4P- Samtec	3				
XP7,XP8	H2.54-3P- Samtec	2				
XP9	H2.54-4P- Samtec	1				
XP10	H2.54-3P- Samtec	1				
XP11	H2.54-8P- Samtec	1				
XP12,XP13	H2.54-3P- Samtec	2				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	26 КР 172.402.020.001.000 ПЕЗ	Арк.
						2

[illegible]

Первинне застосування

Довідковий №

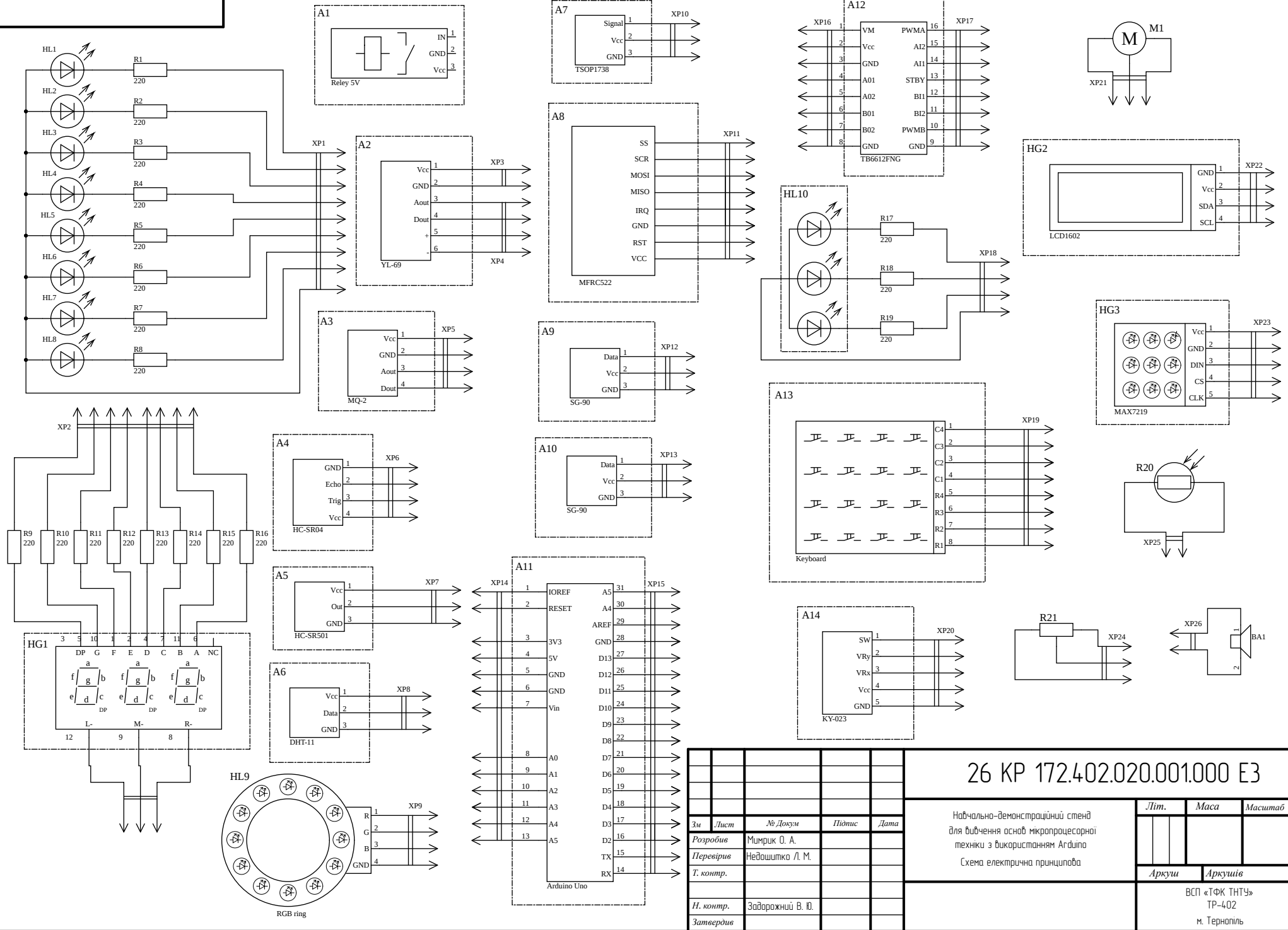
Підпис і дата

Інв. № Дубл.

На зам.Інв. №

Підпис і дата

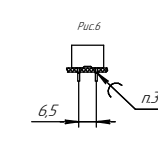
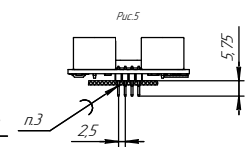
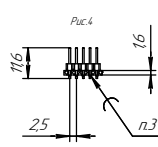
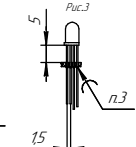
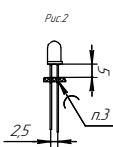
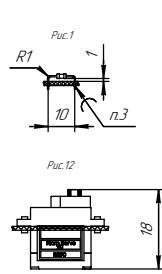
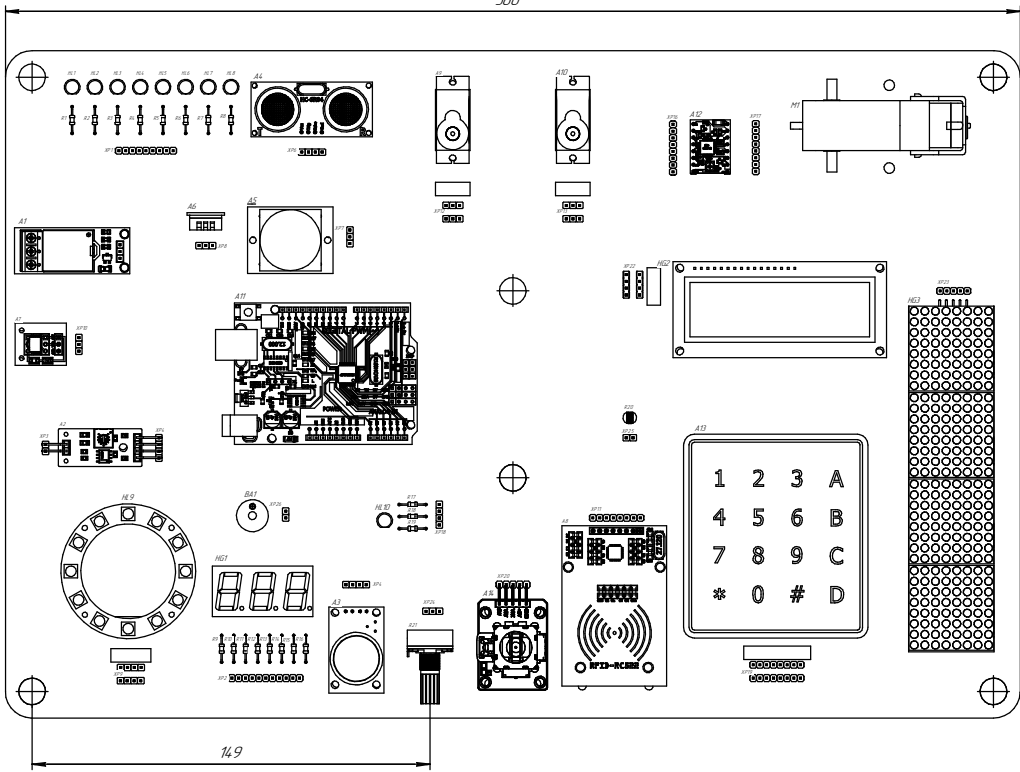
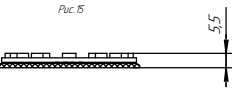
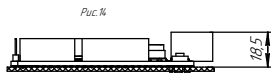
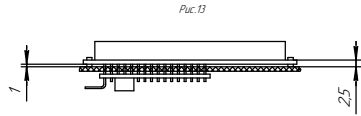
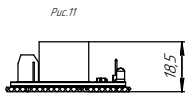
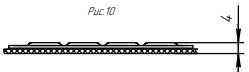
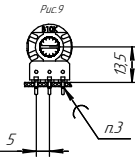
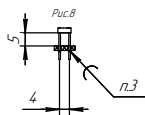
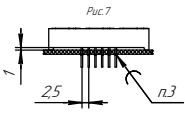
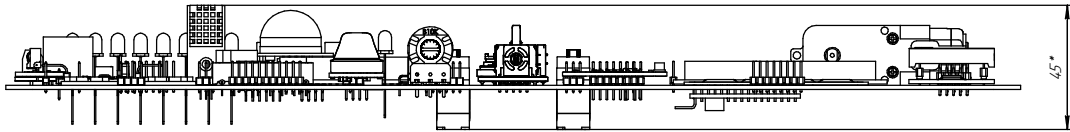
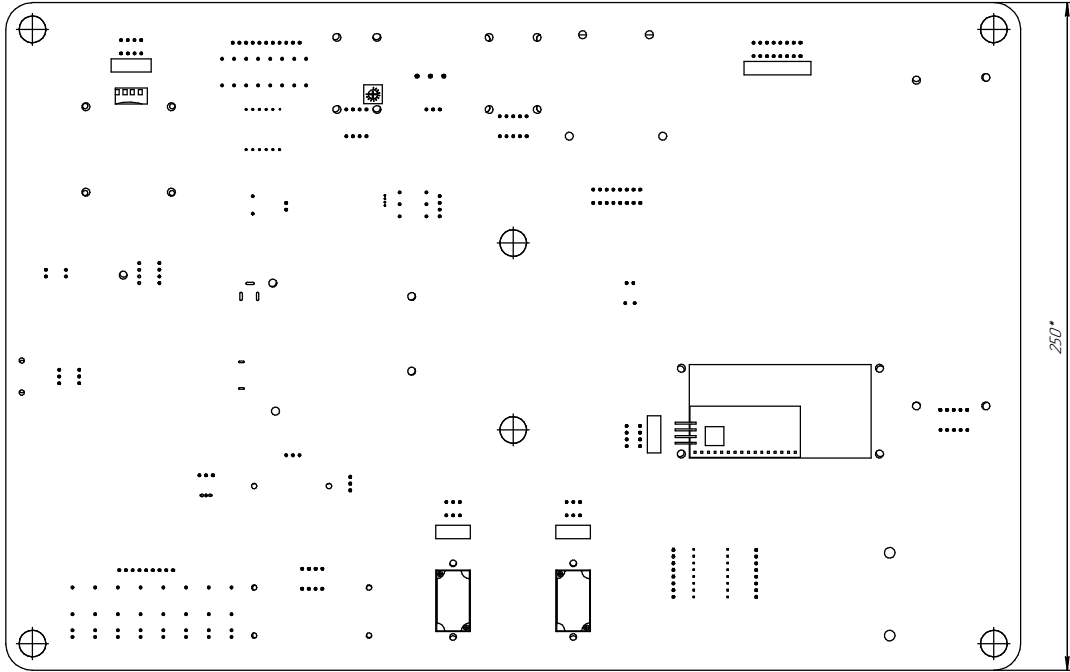
Інв. № правди.



[illegible]

Форм.	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кіл.	Прим.
		3		Датчик вологості та температури		
				Temperature & Humidity Sensor DHT11		
				ІЧ-приймач		
				IR Remote Control + Receiver VS1838B		
				Модуль RFID		
				RFID Module RC522		
				Сервоприводи		
				Servo Motor SG90		
				Плата Arduino Uno		
				Arduino Uno R3 ATmega328P		
				Драйвер двигуна		
				Motor Driver Module TB6612FNG		
				Мембранна клавіатура		
				Keypad 4x4 Membrane Matrix		
				Модуль джойстика		
				Joystick Module XY Dual Axis PS2		
				Гучномовець		
				Active Buzzer 5V		
				Світлодіоди		
				LED 5mm Red 620nm 20mA		
				RGB LED Ring 12x WS2812B		
				RGB LED 5mm Common Cathode		
Інв. № ориг.						
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	26 КР 172.402.020.001.000 Арк. 2	

Форм.	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кіл.	Прим.
		4		Індикатори		
				7-Segment Display 3-Digit Red 0.36		
				LCD 1602 Display with I2C PCF8574		
				LED Matrix 32x8 MAX7219		
				Роз'єми		
				H2.54-9P- Samtec		
				H2.54-11P- Samtec		
				H2.54-2P- Samtec		
				H2.54-4P- Samtec		
				H2.54-3P- Samtec		
				H2.54-4P- Samtec		
				H2.54-3P- Samtec		
				H2.54-8P- Samtec		
				H2.54-3P- Samtec		
				H2.54-13P- Samtec		
				H2.54-18P- Samtec		
				H2.54-8P- Samtec		
				H2.54-4P- Samtec		
				H2.54-8P- Samtec		
				H2.54-5P- Samtec		
				H2.54-3P- Samtec		
				H2.54-4P- Samtec		
				H2.54-5P- Samtec		
				H2.54-3P- Samtec		
				H2.54-2P- Samtec		
				Резистори		
				Resistor MF25-2200M ±1% «Yageo»		
Інв. № ориг.				26 KP 172.402.020.001.000		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Арк. 3	



1 Розміри для довідок.*
2 Установку ЕРЕ провести по ОСТ4.010.030-81
крок координатної сітки 25мм.
Елементи встановлювати:
R1-R19 – згідно рис.1, HL1-H18 – згідно рис.2,
HL10 – згідно рис.3; XP1-XP26 – згідно рис.4;
A2-A8, A12, A14, H63 – згідно рис.5;
BA1 – згідно рис.6; H61 – згідно рис.7, R20 – згідно рис.8,
R21 – згідно рис.9, A13 – згідно рис.10, A1 – згідно рис.11,
A9-A10 – згідно рис.12, H62 – згідно рис.13;
A11 – згідно рис.14, HL9 – згідно рис.15;
3 Паяти ПУС-61 ГОСТ21931-76
4 Покрити лаком АК-113 ТУ29-02-1126-86
5 Позначення елементів показані умовно
6 Інші технічні вимоги по ОСТ4.ГО.070.015

				26 КР 172.402.020.001000СК		
Зм.	Арх.	КР	Вхр.	Підпис.	Дата.	Лит.
Розроб.	Митчук В.А.					0
Перевір.	Найшвили І.М.					11
Техніч.						
Рисуюч.						
Начальн.	Задорожний В.Р.					
Затверд.						
				Навчально-демонстраційний стенд для вивчення основ мікропроцесорної техніки з використанням Arduino Вузлов Ардуінований		
				ВСП "ТОК ТНТУ" ТР-402 м. Тернопіль Формат А1		

Дубл			
Замість			
Підпис			

Аркыш 2

[illegible][illegible]

Дуђл			
Заміість			
Підпис			

[illegible]

A	Цех	Ді л	РМ.	ОПЕР.	Код, назва операції	Позначення документу										
Б	Код, назва обладнання					СМ	Проф	Р	УТ	КР	КОВД	ОН	ОП	К ШТ	Т ПЗ	Т ШТ
к-м	Назва деталі, скл одиниці або матеріалу					Позначення код						СПП	ОВ	ОН	КВ	Н вимр
01	3	Датчик вологості ґрунту		YL-69		"Ailpha"							796	100	100	
02	4	Датчик газу		MQ-2		"Hanwei"							796	100	100	
03	5	Ультразвуковий датчик		HC-SR04		"Generic"							796	100	100	
04	6	PIR-датчик		HC-SR501		"Generic"							796	100	100	
05	7	Датчик вологості та температури		DHT-11		"Aosong"							796	100	100	
06	8	ІЧ-приймач		VS1838B		"Keyes"							796	100	100	
07	9	Модуль RFID		RC522		"NXP"							796	100	100	
08	10	Сервоприводи		SG-90		"Tower Pro"							796	100	100	
09	11	Плата Arduino Uno		Arduino Uno R3 ATmega328P		"Arduino LLC"							796	100	100	
10	12	Драйвер двигуна		TB6612FNG		"Toshiba"							796	100	100	
11	13	Мембранна клавіатура		Keypad 4x4		"Generic"							796	100	100	
12	14	Модуль джойстика		XY Dual Axis PS2		"Keyes"							796	100	100	
13	15	Гучномовець		Active Buzzer 5V		"CUI Devices"							796	100	100	
14	16	Світлодіоди		LED 5mm Red 620nm 20mA		"Kingbright"							796	100	100	
15	17	RGB кільце		WS2812		"Worldsemi"							796	100	100	
16	18	RGB світлодіод		RGB LED 5mm Common Cathode		"Kingbright"							796	100	100	
17	19	7-сегментний індикатор		7-Segment Display 3-Digit Red		"Lite-on"							796	100	100	
18	20	LCD-дисплей		LCD 1602 Display with I2C PCF8574		"Hitachi"							796	100	100	

Дубл			
Замість			
Підпис			

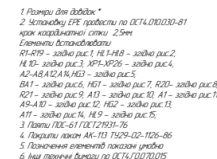
[illegible]

A	Цех	Ді л	РМ.	ОПЕР.	Код, назва операції	Позначення документу										
Б	Код, назва обладнання					СМ	Проф	Р	УТ	КР	КОВД	ОН	ОП	К ШТ	Т ПЗ	Т ШТ
к-м	Назва деталі, скл одиниці або матеріалу					Позначення код						СПП	ОВ	ОН	КВ	Н вiмр
01					1. Рихтувати елементи згідно ТТП 315826 (шт)											
02					2. Установити мембранну клавіатуру поз.13(A13) на плату друковану поз.1, згідно рис.10, згідно карти ескізів, по ТТП 254681											
03					3. Установити реле поз.2(A1) на плату друковану поз.1, згідно рис.11, згідно карти ескізів, по ТТП 254681											
04					4. Установити сервоприводи поз.10(A9, A10) на плату друковану поз.1, згідно рис.12, згідно карти ескізів, по ТТП 254681											
05					5. Установити LCD-дисплей поз.20(HG2) на плату друковану поз.1, згідно рис.13, згідно карти ескізів, по ТТП 254681											
06					6. Установити плату Arduino Uno поз.11(A11) на плату друковану поз.1, згідно рис.14, згідно карти ескізів, по ТТП 254681											
07					7. Установити RGB-кільце поз.17(HL9) на плату друковану поз.1, згідно рис.15, згідно карти ескізів, по ТТП 254681											
08					Паїку проводити згідно ТТП 316530 (шт)											
09					Електропаяльник РТ 105278											
10					Кусачки РТ145532											
11					Пінцет РТ 235641											
12	2	Реле			Relay Module 1-Channel 5V SRD-05VDC-SL-C	"Songle"							796	100	100	
13	10	Сервоприводи			SG-90	"Tower Pro"							796	100	100	
14	11	Плата Arduino Uno			Arduino Uno R3 ATmega328P	"Arduino LLC"							796	100	100	
15	13	Мембранна клавіатура			Keypad 4x4	"Generic"							796	100	100	
16	17	RGB кільце			WS2812	"Worldsemi"							796	100	100	
17	20	LCD-дисплей			LCD 1602 Display with I2C PCF8574	"Hitachi"							796	100	100	
18		Принцип ПОС-61			ДСТУ 1429.14.2005								180	100	050	

Дуђл			
Замість			
Підпис			

[illegible]

HTTP



Техніко-економічні показники навчально-демонстраційного стенду

	<i>Технічні показники</i>			<i>Економічні показники</i>	
1	<i>Напруга живлення</i>	<i>6В</i>	1	<i>Обсяг інвестицій, грн</i>	<i>305 500</i>
2	<i>Споживаний струм</i>	<i>До 2А</i>	2	<i>Чистий прибуток, грн/рік</i>	<i>1 095 520</i>
3	<i>Габаритні розміри</i>	<i>250мм x 380мм</i>	3	<i>Чиста теперішня вартість (ЧТВ), грн</i>	<i>2 196 666</i>
4	<i>Діапазон робочих температур</i>	<i>від +5 до +40 °С</i>	4	<i>Індекс продуктивності</i>	<i>8,19</i>
5	<i>Відносна вологість повітря</i>	<i>до 80 %;</i>	5	<i>Термін окупності, років</i>	<i>0,279</i>
6	<i>Маса виробу</i>	<i>2кг ±10%</i>	6	<i>Термін окупності, місяців</i>	<i>3,35</i>