

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

Факультет робототехніки та приладобудування

Кафедра комп'ютерно-інтегрованих технологій виробництва приладів

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

 Наталія СТЕЛЬМАХ

« 12 » 06 2026 р.

Дипломний проєкт
на здобуття ступеня бакалавра
за освітньо-професійною програмою «Комп'ютерно-інтегровані системи та
технології у приладобудуванні»
спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
на тему: «Автоматизований мехатронний дезінфектор приміщень»

Виконав:

студент IV курсу, групи ПБ-22

Жиглій Дмитро Володимирович

Керівник:

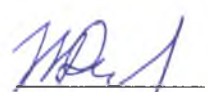
к.т.н., с.н.с., доцент,

Клочко Тетяна Реджинальдівна

Рецензент:

д.т.н., проф.

Микитенко В.І.





Засвідчую, що у цій дипломній
роботі немає запозичень
з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент 

Київ – 2026 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Факультет робототехніки та приладобудування
Кафедра комп'ютерно-інтегрованих технологій виробництва приладів

Рівень вищої освіти - перший (бакалаврський)

Спеціальність - 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Освітньо-професійна програма «Комп'ютерно-інтегровані системи та технології в приладобудуванні»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Наталія СТЕЛЬМАХ

«12» 06 2026 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студенту
Жиглію Дмитру Володимировичу

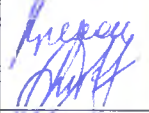
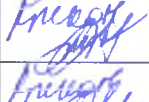
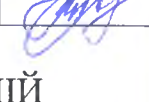
1. Тема проєкта «Автоматизований мехатронний дезінфектор приміщень», керівник роботи Ключко Тетяна Реджинальдівна, к.т.н., с.н.с., доцент, затверджені наказом по університету від «26» 05 2026 р. №1905-с
2. Термін подання студентом роботи 10 червня 2026 року.
3. Вихідні дані до проєкта: мобільна мехатронна платформа на базі мікроконтролера Arduino Nano (ATmega328P), диференціальний привід на двигунах BOGear Motor (6 В, 1:48, 200 об/хв), ультразвуковий датчик відстані HC-SR04, драйвер двигунів L298N, ультразвуковий атомайзер (1,7 МГц), живлення від акумуляторної батареї 3S Li-ion18650 (11,1 В, 2200 мА·год) з BMS, керування тумблером.
4. Зміст пояснювальної записки: Розділ 1. Аналітичний огляд. вибір методу дезінфекції, компонентної бази та постановка завдання 1.1 Сучасний стан інфекційної безпеки та актуальність задачі автоматизації 1.1.1 Внутрішньолікарняні інфекції у світі та в Україні 1.1.2 Пандемія Covid-19 як катализатор автоматизації 1.1.3 Потреба різних типів закладів у мобільній дезінфекції 1.2 Нормативно-правова база дезінфекції в Україні 1.3 Порівняльний аналіз методів дезінфекції 1.3.1 Ультрафіолетове опромінення 1.3.2 Хлорвмісні дезінфектори 1.3.3 Озонування 1.3.4 Термічна дезінфекція (гаряча пара) 1.3.5 Метод холодного туману пероксиду водню 1.4 Аналіз існуючих промислових аналогів 1.5 Вибір та обґрунтування компонентної бази 1.5.1 Мікроконтролер 1.5.2 датчик відстані 1.5.3 Виконавчі двигуни та драйвер 1.5.4 Система живлення 1.5.5 Модуль дезінфекції (атомайзер) 1.6 Економічне обґрунтування 1.7 Постановка технічного завдання 1.8 Висновки до розділу 1 Розділ 2. Конструкторська частина 2.1 Структурна схема системи 2.2 Алгоритм керування 2.2.1 Опис алгоритму роботи 2.2.2 Опис окремих станів 2.3 Опис конструкції та компонування 2.3.1 Загальна конструкція 2.3.2 Компонування деталей 2.3.3 3D-модель корпусу (Solidworks) 2.4 Електрична схема 2.5 Математична модель кінематики

диференціального приводу 2.6 Розрахунок датчика дальності HC-SR04 2.7 Розрахунок вала ведучого колеса на міцність 2.8 Розрахунок часу автономної роботи 2.9 Технологія виготовлення деталей 2.9.1 Метод FDM 3D-друку деталей корпусу 2.9.2 Підготовка до друку (слайсінг) 2.9.3 Механічна обробка після друку 2.9.4 Складання електромеханічного вузла 2.10 Охорона праці та безпека при виготовленні та експлуатації 2.10.1 Електробезпека 2.10.2 Хімічна безпека при роботі з перексидом водню 2.10.3 Механічна та пожежна безпека 2.11 Висновки до розділу 2 Розділ 3. Розробка алгоритму та програмного забезпечення 3.1 Архітектура програмного забезпечення 3.2 Алгоритм керування 3.2.1 Етермінований цикл без машини станів 3.2.2 Деталі реалізації функції вимірювання відстані 3.3 Фінальна версія прошивки для готового приладу 3.4 Версія для симуляції у Wokwi 3.5 Порівняння двох версій прошивки 3.6 Верифікація у симуляторі Wokwi 3.6.1 Опис налаштування симуляції 3.6.2 Результати тестування 3.7 Висновки до розділу 3 Висновки

5. Перелік графічного матеріалу: Структурна схема системи; Блок-схема алгоритму керування; 3D-модель конструкції (чотири проекції); Електрична схема; Складальне креслення; Специфікація; Робочі креслення деталей (бак, корпус кришки бака), Презентація проекту.

6. Дата видачі завдання 22 березня 2026 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз літературних джерел, огляд існуючих аналогів та постановка технічного завдання (Розділ I)	14.04.2026 - 21.04.2026	
2	Розробка структурної та функціональної схеми, вибір компонентів (мікроконтролер, датчики, виконавчі механізми) (Розділ II)	22.04.2026 - 30.04.2026	
3	Конструювання механічної частини: 3D-моделювання, виконання креслень (загальний вигляд, складальний креслення модуля, деталювання) (Розділ III)	01.05.2026 - 15.05.2026	
4	Розробка електричної принципової схеми та програмування мікроконтролера (алгоритми руху, розпилення, безпеки) (Розділ IV)	16.05.2026 - 24.05.2026	
5	Тестування макету, налагодження, аналіз результатів (автономність, ефективність розпилення, безпека) (Розділ V)	25.05.2026 - 28.05.2026	
6	Оформлення пояснювальної записки (згідно ДСТУ КПП), підготовка ілюстрацій та графічного матеріалу	29.05.2026 - 31.05.2026	
	Фінальне оформлення записки, графічного матеріалу та подання на кафедру	01.06.2026	

Студент



Дмитро ЖИГЛІЙ

Керівник


(підпис)

Тетяна КЛОЧКО

(підпис)

АННОТАЦІЯ

Дипломний проєкт присвячений розробці автоматизованого мехатронного дезінфектора приміщень - мобільного роботизованого пристрою, призначеного для самостійного переміщення в замкнутому просторі та розпилення дрібнодисперсного аерозолю 6 % розчину перексиду водню методом холодного туману.

Обсяг роботи – 67 сторінок, 12 рисунків, 5 таблиць, 3 розділи та 1 додаток, список використаних джерел містить 110 найменувань.

У першому розділі проведено аналіз поширеності внутрішньолікарняних інфекцій в Україні та у світі, розглянуто нормативну базу, виконано порівняльний аналіз п'яти методів дезінфекції та чотирьох промислових аналогів роботів-дезінфекторів; обгрунтовано вибір елементної бази та сформульовано технічне завдання.

У другому розділі розроблено структурну та функціональну схеми системи, описано конструкцію та компонування мобільної платформи, виконано математичну модель кінематики диференціального привода, розрахунки акустичного тракту датчика HC-SR04, міцності вала ведучого колеса та часу автономної роботи; описано технологію виготовлення деталей методом 3D-друку; наведено заходи безпеки при експлуатації.

У третьому розділі розроблено алгоритм керування як скінченний автомат, наведено програмний код для симуляції у середовищі Wokwi та окремо - фінальну версію прошивки для готового приладу; представлено результати верифікації у симуляторі.

Ключові слова: дезінфектор, мехатронна платформа, перексид водню, холодний туман, Arduino Nano, HC-SR04, L298N, диференціальний привод, автономна навігація.

ANNOTATION

The diploma project is devoted to the development of an automated mechatronic room disinfection device — a mobile robotic system designed for autonomous movement in an enclosed space and for spraying a fine aerosol of a 6% hydrogen peroxide solution using the cold fog method.

The scope of the work includes 67 pages, 12 figures, 5 tables, 3 chapters and 1 appendix. The list of references contains 110 sources.

The first chapter analyzes the prevalence of healthcare-associated infections in Ukraine and worldwide, considers the regulatory framework, presents a comparative analysis of five disinfection methods and four industrial analogues of disinfection robots, substantiates the choice of the component base, and formulates the technical specification.

The second chapter develops the structural and functional diagrams of the system, describes the design and layout of the mobile platform, presents a mathematical model of the differential drive kinematics, and provides calculations of the acoustic path of the HC-SR04 sensor, the strength of the driving wheel shaft, and the autonomous operating time. It also describes the technology of manufacturing parts using 3D printing and presents safety measures for operation.

The third chapter develops the control algorithm as a finite-state machine, presents the program code for simulation in the Wokwi environment, and separately provides the final firmware version for the completed device. The results of verification in the simulator are also presented.

Keywords: disinfection device, mechatronic platform, hydrogen peroxide, cold fog, Arduino Nano, HC-SR04, L298N, differential drive, autonomous navigation.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ ТА ЗАПОЗИЧЕНЬ	8
ВСТУП.....	9
РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД. ВИБІР МЕТОДУ ДЕЗІНФЕКЦІЇ, КОМПОНЕНТНОЇ БАЗИ ТА ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ	42
1.1. Сучасний стан інфекційної безпеки та актуальність задачі автоматизації	12
1.1.1. Внутрішньолікарняні інфекції у світі та в Україні.....	12
1.1.2. Пандемія COVID у світі та в Україні.....	12
1.1.3. Потреба різних типів закладів у мобільній дезінфекції.....	13
1.2. Нормативно-правова база дезінфекції в Україні	13
1.3. Порівняльний аналіз методів дезінфекції.....	14
1.3.1. Ультрафіолетове опромінення.....	14
1.3.2. Хлорвмісні дезінфектори	15
1.3.3. Озонування	15
1.3.4. Термічна дезінфекція (гаряча пара)	15
1.3.5. Метод холодного туману пероксиду водню	15
1.4. Аналіз існуючих промислових аналогів.....	17
1.5. Вибір та обґрунтування компонентної бази	20
1.5.1. Мікроконтролер	20
1.5.2. Датчик відстані.....	21
1.5.3. Виконавчі двигуни та драйвер.....	21
1.5.4. Система живлення.....	22
1.5.5. Модуль дезінфекції (атомайзер).....	22
1.6. Економічне обґрунтування	22
1.7. Постановка технічного завдання.....	23
Висновки до розділу 1	24
2.1. Структурна схема системи.....	26
РОЗДІЛ 2. КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА.....	42
2.2. Алгоритм керування	27
2.2.1. Опис алгоритму роботи.....	27
2.2.2. Опис окремих станів.....	27
2.3. Опис конструкції та компонування	28

2.3.1	Загальна конструкція	28
2.3.2	Компонування деталей	28
2.3.3	3D-модель корпусу (SolidWorks)	29
2.4	Електрична схема	32
2.5	Математична модель кінематики диференціального приводу.....	34
2.6	Розрахунок датчика дальності HC-SR04	34
2.7	Розрахунок вала ведучого колеса на міцність	35
2.8	Розрахунок часу автономної роботи	37
2.9	Технологія виготовлення деталей	37
2.9.1	Метод FDM 3D-друку для деталей корпусу	37
2.9.2	Підготовка до друку (слайсінг)	38
2.9.3	Механічна обробка після друку.....	38
2.9.4	Складання електромеханічного вузла	39
2.10	Охорона праці та безпека при виготовленні та експлуатації	39
2.10.1	Електробезпека.....	39
2.10.2	Хімічна безпека при роботі з пероксидом водню.....	39
2.10.3	Механічна та пожежна безпека	40
	Висновки до розділу 2	41
	РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ	42
3.1	Архітектура програмного забезпечення.....	43
3.2	Алгоритм керування	43
3.2.1	Детермінований цикл без машини станів.....	43
3.2.2	Деталі реалізації функцій вимірювання відстані	44
3.3	Фінальна версія прошивки для готового приладу	44
3.4	Версія для симуляції у Wokwi	46
3.5	Порівняння двох версій прошивки.....	49
3.6	Верифікація у симуляторі Wokwi.....	49
3.6.1	Опис налаштування симуляції.....	49
3.6.2	Результати тестування	50
	Висновки до розділу 3	52
	ВИСНОВКИ	53
	Додаток А.....	60

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ ТА ЗАПОЗИЧЕНЬ

АЦП	аналого-цифровий перетворювач
BMS	Battery Management System (система керування акумулятором)
ВЛІ	внутрішньолікарняні інфекції
ДСанПіН	Державні санітарні правила і норми
ЄСКД	Єдина система конструкторської документації
ЗП	запас міцності
IDE	Integrated Development Environment (інтегроване середовище розробки)
КЗ	коротке замикання
КПІ	Київський політехнічний інститут
МОЗ	Міністерство охорони здоров'я
MRSA	Methicillin-resistant Staphylococcus aureus
МЧС	Міністерство надзвичайних ситуацій
ПДК	гранично допустима концентрація
ПЛК	програмований логічний контролер
ПЛА	полімолочна кислота (PLA-пластик для 3D-друку)
ПЗ	програмне забезпечення
RISC	Reduced Instruction Set Computer
САПР	система автоматизованого проєктування
УЗ	ультразвуковий
УФ	ультрафіолетове
ВООЗ	Всесвітня організація охорони здоров'я
ШИМ	широтно-імпульсна модуляція (PWM)
H ₂ O ₂	пероксид водню (перекис водню)

ВСТУП

Проблема дезінфекції приміщень медичного та суспільного призначення набула особливої гостроти в останнє десятиліття. Пандемія COVID-19, поширення антибіотикорезистентних штамів бактерій та постійне збільшення кількості внутрішньолікарняних інфекцій (ВЛІ) змусили охорону здоров'я по всьому світу переглянути підходи до знезараження. В Україні ця проблема стоїть не менш гостро: за різними оцінками, реальна кількість ВЛІ у п'ятьдесят разів перевищує офіційну статистику через недосконалу систему обліку.

Традиційний підхід - ручна обробка дезінфікуючими розчинами - має суттєві недоліки: він трудомісткий, не гарантує рівномірного покриття поверхонь, а персонал, який проводить дезінфекцію, зазнає впливу хімічних речовин. Автоматизовані системи, що здатні самостійно переміщуватися та обробляти приміщення без участі людини, виглядають очевидним технологічним рішенням.

Промислові аналоги - роботи UVD Robot, Xenex LightStrike, THOR UVC - коштують від 30 до 70 тисяч доларів США, що унеможлиблює їх масове впровадження у середніх і малих закладах. Між тим, 80 % усіх приміщень у лікарнях, школах та офісах мають площу до 100 м², де цілком достатньо відносно простого і дешевого пристрою.

Об'єкт дослідження - процес автоматизованої дезінфекції приміщень.

Предмет дослідження - мехатронна система керування мобільним роботом-дезінфектором.

Мета роботи - розробити автоматизований мехатронний дезінфектор приміщень на базі доступної компонентної бази вартістю до 2000 грн, здатний самостійно переміщуватися та розпилювати аерозоль перексиду водню.

Задачі дослідження:

1. Провести аналіз методів дезінфекції та обґрунтувати вибір методу холодного туману H₂O₂.
2. Виконати порівняльний аналіз існуючих мобільних дезінфекторів та компонентної бази.

3. Розробити конструкцію, структурну та функціональну схеми.
4. Провести інженерні розрахунки (кінематика, міцність, ємність батареї).
5. Описати технологію виготовлення деталей корпусу.
6. Розробити прошивку для мікроконтролера та верифікувати її в симуляторі.

Робота виконана у рамках студентської науково-дослідної роботи кафедри КТВП КПІ ім. Ігоря Сікорського.

РОЗДІЛ 1
АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД. ВИБІР
МЕТОДУ ДЕЗІНФЕКЦІЇ,
КОМПОНЕНТНОЇ БАЗИ ТА
ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

1.1. Сучасний стан інфекційної безпеки та актуальність задачі автоматизації

1.1.1. Внутрішньолікарняні інфекції у світі та в Україні

Внутрішньолікарняні інфекції (ВЛІ, або нозокоміальні інфекції) є однією з найсерйозніших проблем сучасної медицини. За визначенням Всесвітньої організації охорони здоров'я, ВЛІ - це інфекція, яка виникає у пацієнта під час надання медичної допомоги у лікувальному закладі та не була присутньою чи в інкубаційному періоді на момент госпіталізації [1]. Щорічно в усьому світі реєструється понад 1,4 мільйона таких випадків [2].

Економічні наслідки ВЛІ вражаючі. Тільки в країнах Євросоюзу вони обходяться системі охорони здоров'я приблизно у 7 млрд євро на рік, значно збільшуючи тривалість госпіталізації - в середньому на 10-15 додаткових ліжкоднів [3]. Летальність серед пацієнтів із ВЛІ коливається в межах 5-10 %, а у відділеннях інтенсивної терапії може сягати 20-25 % [4]. Найбільший ризик інфікування спостерігається саме у відділеннях реанімації, опікових центрах та хірургічних стаціонарах, де проводяться інвазивні маніпуляції [4].

В Україні ситуація ускладнена ще й суттєвою недосконалістю системи обліку нозокоміальних інфекцій. Фахівці оцінюють, що реальна кількість ВЛІ у п'ять - а подекуди і в десять - разів перевищує офіційні дані [5]. Окрему загрозу становить розповсюдження мультирезистентних збудників: MRSA (метицилінрезистентний *Staphylococcus aureus*), ванкоміцинрезистентні ентерококи (VRE) та бактерії з ESBL (бета-лактамаза розширеного спектру) практично не піддаються лікуванню стандартними антибіотиками [6]. Деконтамінація навколишнього середовища - поверхонь, повітря, медичного обладнання - залишається головним бар'єром на шляху передачі таких збудників [7].

1.1.2. Пандемія у світі та в Україні

Пандемія COVID-19, що охопила весь світ у 2020-2022 роках, наочно продемонструвала недостатність традиційних методів ручної дезінфекції у ситуаціях із різко зрослим інфекційним навантаженням [8]. Дослідження Kampf та ін.

(2020) підтвердили, що коронавірус SARS-CoV-2 зберігає інфекційність на твердих поверхнях від кількох годин до кількох діб залежно від матеріалу та умов середовища[9]. За таких умов режими дезінфекції потребують суттєвого посилення - кратності, повноти охоплення та мінімізації часу між обробками.

Саме в цей період великого поширення набули автоматизовані системи дезінфекції, здатні безперервно та незалежно від людського фактора обробляти приміщення [10]. Однак вартість промислових зразків виявилась надмірною для більшості українських медичних закладів. Натомість засвоєння відносно недорогих мікроконтролерних платформ (Arduino, STM32) та компонентів для побутової робототехніки відкрило можливості для бюджетних рішень [11].

1.1.3. Потреба різних типів закладів у мобільній дезінфекції

Коло потенційних споживачів автоматизованих дезінфекторів значно ширше за лікарні. Офісні центри та коворкінги, навчальні заклади різних рівнів, готелі, дитячі садки, торговельні комплекси - всі вони потребують регулярно го знезараження зон із великою прохідністю [12, 13]. Більшість таких приміщень мають площу від 20 до 100 м², що відповідає зоні ефективного покриття пристрою, що проєктується [14].

1.2 Нормативно-правова база дезінфекції в Україні

Правове поле у сфері дезінфекції в Україні базується на кількох ключових документах. Головним є Державні санітарні правила і норми «Дезінфекційний режим в лікувально-профілактичних закладах» (ДСанПіН 3.3.1.001-96) [15], які регламентують порядок та кратність дезінфекції різних приміщень залежно від їх функціонального призначення, перелік допустимих дезінфікуючих засобів та методи контролю якості обробки.

Наказ МОЗ України №552 від 22.04.2013 р. «Про затвердження Інструкції з дезінфекції, передстерилізаційного очищення та стерилізації медичних виробів» [16] деталізує вимоги до обробки медичного інструментарію та виробів медичного призначення, встановлює вимоги до ефективності засобів.

Вимоги безпеки при роботі з пероксидом водню регламентовані ДСТУ ГОСТ 11.007:2009 «Система стандартів безпеки праці», а також окремими санітарними нормами ГДК шкідливих речовин у повітрі робочої зони (ДСН 3.3.6.042-99) [17]. Граничнодопустима концентрація (ГДК) H_2O_2 у повітрі робочої зони складає 0,1 мг/м³.

Розроблюваний пристрій, що використовує 6 % розчин пероксиду водню і генерує аерозоль у замкнутому приміщенні в відсутність персоналу, відповідає зазначеним нормам за умови провітрювання після обробки протягом 15-20 хвилин. Застосування низьковольтного живлення (11,1 В) від акумуляторної батареї вилучає необхідність додаткової документації щодо електробезпеки (НПА- ОП 0.00-1.28-10) [18].

1.3 Порівняльний аналіз методів дезінфекції

Сучасна практика деконтамінації медичних та громадських приміщень оперує п'ятьма основними методами: ультрафіолетове опромінення (УФ-С), хімічна обробка хлорвмісними сполуками, озонування, термічна обробка (гаряча пара) та генерація холодного туману пероксиду водню [19, 20]. Кожен із методів має свої сфери застосування, переваги та суттєві обмеження.

1.3.1 Ультрафіолетове опромінення

Ультрафіолетове випромінювання у діапазоні 200-280 нм (УФ-С) руйнує молекули ДНК та РНК патогенів за рахунок утворення тимінових димерів, що унеможливорює реплікацію мікроорганізмів [21, 22]. Метод є одним із найпоширеніших у клінічній практиці. Стаціонарні УФ-опромінювачі встановлені, мабуть, у більшості операційних блоків великих лікарень.

Проте обмеження методу суттєві. Так званий «ефект тіні» полягає в тому, що бактерії або віруси, що знаходяться за предметами меблів, у щілинах і складках текстилю, фізично не потрапляють під вплив УФ-С [23]. Крім того, пряме опромінення шкіри і особливо очей призводить до серйозних ушкоджень - опіків рогівки, що вимагає обов'язкового виключення присутності людей під час обробки

[24]. Зниження ефективності у вологих середовищах і підвищена чутливість до забруднення ламп додатково обмежують застосування методу.

Порівняльне дослідження Navill et al. (2012) показало, що зниження концентрації спор *Clostridium difficile* після УФ-обробки становило лише $2 \log_{10}$ (знищення 99 %), тоді як обробка пароподібним перексидом водню давала зниження понад $6 \log_{10}$ (99,9999 %) [25].

1.3.2 Хлорвмісні дезінфектори

Гіпохлорит натрію (NaOCl) залишається одним із найдоступніших і найдешевших дезінфікуючих засобів. Широко використовується для поверхневої обробки в лікарнях, школах і громадських місцях [26]. Однак при розпиленні у вигляді аерозолі хлорвмісні сполуки стають небезпечними для дихальних шляхів людини. Корозійна активність хлору відносно металевих деталей конструкції, швидке розкладання активного хлору під впливом світла і тепла, а також ризик окислення електронних компонентів роблять цей метод непридатним для автоматизованих систем розпилення [26, 27].

1.3.3 Озонування

Озон (O_3) є надзвичайно ефективним окисником; він знищує практично всі відомі патогени, включаючи стійкі форми [28, 29]. Але значна токсичність - ГДК у повітрі всього $0,1 \text{ мг/м}^3$ [30] - вимагає тривалого (30 хв і більше) провітрювання після обробки. Озон атакує полімерні матеріали, гумові ущільнення і тканини, що суттєво обмежує номенклатуру оброблюваних предметів [32]. Генератори озону є дорогими, потребують систем моніторингу концентрації [31].

1.3.4 Термічна дезінфекція (гаряча пара)

Висока температура ефективно знищує мікроорганізми [32, 33], але цей метод практично непридатний для поверхонь - він може пошкодити пластикові деталі, електроніку, лакофарбові покриття [34]. Великі витрати енергії та необхідність спеціального обладнання додатково обмежують сферу застосування.

1.3.5 Метод холодного туману перексиду водню

Ультразвукове розпилення 6 % водного розчину H_2O_2 дозволяє отримати стабільний аерозоль із розміром крапель від 5 до 50 мкм [35]. Такий дрібнодисперсний туман за своїми фізичними властивостями наближається до газу: він рівномірно заповнює весь об'єм приміщення, проникає в затінені ділянки - саме ті, куди не дістає ультрафіолетовий промінь [36, 37]. Механізм дезінфекції - потужне окислювання: H_2O_2 руйнує ліпідну оболонку клітин, окислює білки та нуклеїнові кислоти [38, 39]. Кінцеві продукти реакції - вода та молекулярний кисень - абсолютно нетоксичні й не залишають залишків на поверхнях [40].

Ефективність методу підтверджено численними клінічними дослідженнями. Navill et al. (2012) задокументували зниження вмісту *C. difficile* на 6 log; Fu et al. (2013) показали ефективність на рівні 99,99 % щодо вірусів [41]. Метод не викликає корозії металів (на відміну від хлорвмісних), не пошкоджує пластик і тканини [42].

Порівняльну характеристику розглянутих методів наведено в таблиці 1.1.

Таким чином, метод холодного туману пероксиду водню демонструє оптимальне поєднання ефективності, безпечності та технологічності для використання в мобільному автономному дезінфекторі. Саме цей метод обрано для реалізації у розроблюваному пристрої.

Таблиця 1.1- Порівняльна характеристика методів дезінфекції

Критерій	УФ-С	Хлор	Озон	Пара	H_2O_2 туман
Ефективність для затінених зон	Низька	Середня	Висока	Низька	Висока
Токсичність для людини	Висока (УФ)	Висока	Висока	Низька	Низька
Час провітрювання	0 хв	30 хв	30 хв	0 хв	15 хв
Корозійна активність	Ні	Висока	Висока	Висока	Низька
Придатність до розпилення	Ні	Так	Ні	Ні	Так
Відносна вартість	Середня	Низька	Висока	Висока	Низька

1.4 Аналіз існуючих промислових аналогів

Ринок мобільних дезінфекційних роботів стрімко розвивається з 2015 р. [48]. Для обґрунтування власної розробки проаналізовано чотири характерних промислових зразки.

UVD Robot (Blue Ocean Robotics, Данія) рис. 1.4.1 [43] - автономний робот із комбінованим УФ та H₂O₂ модулем. Оснащений лідаром та системою картографування SLAM, що забезпечує повну автономію. Вартість – 50-70 тис. USD. До недоліків відносять ефект тіні для УФ-модуля, значну масу (понад 70 кг) та високу вартість обслуговування.



Рис. 1.4.1 – UVD robot [42]

Xenex LightStrike [43](рис. 1.4.2) (США) використовує імпульсне ксенонове УФопромінення надзвичайно широкого спектра, що підвищує ефективність порівняно з ртутними лампами. Проте апарат переміщується вручну - автономного руху не передбачено. Вартість – 40-60 тис. USD.



Рис. 1.4.2 – вигляд **Xenex LightStrike** [43]

OmniGen Fogger [44] - пристрій для генерації холодного туману пероксиду водню. Виконаний у вигляді ручного візка; оператор вручну направляє розпилювач. Має найвищу ефективність дезінфекції серед аналогів (саме завдяки методу холодного туману), але повністю позбавлений автономії.



Рис. 1.4.3- приклад не автоматизованого мобільного пристрою генерації холодного туману

THOR UVC [45] - автономний робот із системою SLAM та УФ-С ламповими секціями. Підходить для великих відкритих просторів (склади, ангари). Вартість – 30-50 тис. USD. Ті ж обмеження, що й у всіх УФ-пристроїв: ефект тіні, небезпека для очей.



Рис 1.4.4 – THOR UVC – УФ дезінфектор

Таблиця 1.2 - Порівняльний аналіз промислових роботів-дезінфекторів

Параметр	UVD Robot [42]	Xenex LightStrike [43]	OmniGen [44]	THOR UVC [45]
Метод	УФ + H ₂ O ₂	Ксенон УФ	Холодний туман	УФ-С
Автономність	Повна (SLAM)	Ручне	Ручне	Повна (SLAM)
Вартість, USD	50–70 тис.	40–60 тис.	10–15 тис.	30–50 тис.
Ефект. для затінених зон	Обмежена	Низька	Висока	Низька
Маса, кг	70+	90+	12	50+

Аналіз показує, що жоден з наявних аналогів не поєднує повну автономність руху з методом холодного туману та доступну вартість. Це підтверджує доцільність розробки власного рішення, орієнтованого на малі та середні заклади [46, 47].

1.5 Вибір та обґрунтування компонентної бази

1.5.1 Мікроконтролер

Для реалізації алгоритму керування розглянуто три мікроконтролерні платформи: Arduino Nano, Arduino Mega та STM32F103C8T6 («Blue Pill») [48, 49, 50, 51].

Arduino Mega має габарити 102×53 мм і більше 50 портів, що надлишково для даного проєкту й займає зайве місце в корпусі [50]. STM32F103 пропонує тактову частоту 72 МГц і 32-бітну архітектуру [51], проте для роботи з Arduino IDE потребує нестандартної прошивки бутлоадера, а відлагодження значно складніше без ST-Link. Для студентського прототипу така складність надлишкова.

Arduino Nano (ATmega328P, 16 МГц) забезпечує 14 цифрових і 8 аналогових входів, апаратну підтримку ШІМ на 6 пінах, повноцінну підтримку Arduino IDE та величезний банк бібліотек [52]. Розміри всього 45×18 мм, ціна – 180-250 грн. Для задач цього проєкту (керування двома двигунами, один датчик, одне реле) продуктивності ATmega328P цілком достатньо.

Таблиця 1.3 - Порівняння мікроконтролерних платформ

Параметр	Arduino Nano	Arduino Mega	STM32F103
Ціна, грн	180–250	600–800	150–300
Розміри, мм	45×18	102×53	50×20
Тактова частота, МГц	16	16	72
Цифрових портів	14	54	37
ШІМ-каналів	6	15	15
Підтримка Arduino IDE	Повна	Повна	Часткова

Обрано: Arduino Nano.

1.5.2 Датчик відстані

Для виявлення перешкод порівняно три типи датчиків: ультразвуковий HC-SR04, лазерний далекомір VL53L0X та інфрачервоний GP2Y0A21 [53, 54, 55].

VL53L0X використовує Time-of-Flight лазерний вимір і є дуже точним, але чутливим до прозорих і дзеркальних поверхонь, поширених у будівлях (скляні двері, дзеркала) [54]. GP2Y0A21 - аналоговий ІЧ-датчик з нелінійною характеристикою і малим діапазоном вимірювання 10-80 см; крім того, він реагує на зовнішнє освітлення [55].

Ультразвуковий HC-SR04 вимірює відстань у діапазоні 2-400 см із точністю ± 3 мм, абсолютно не чутливий до оптичних властивостей перешкоди, рівня освітленості; має простий цифровий інтерфейс (два піни: Trig та Echo) . Вартість – 40-80 грн.

Обрано: HC-SR04.

1.5.3 Виконавчі двигуни та драйвер

Тягові двигуни - два мотори BO Gear Motor Dual Shaft із редуктором (передаточне число 1:48), номінальна напруга 6 В, швидкість 200 об/хв, крутний момент - 0,8 кг·см [56]. Цей тип двигунів є стандартним для навчальної робототехніки, широко доступний і недорогий.

Для керування двигунами порівнювались три мікросхеми-драйвери (табл. 1.4):

Таблиця 1.4 - Порівняння драйверів двигунів

Параметр	L298N	L293D	TB6612FNG
Макс. струм, А/канал	2	0,6	1,2
Напруга двигунів, В	5–35	4,5–36	2,7–15
Ціна, грн	100–150	80–120	150–200
Захист	Діоди + радіатор	Діоди + термозахист	Повний

L293D не витримує пускового струму двигунів (до 1,5 А) без перегріву [57, 58]. TB6612FNG кращий за характеристиками, але дорожчий і менш поширений [59]. Обрано L298N: двоканальний H-міст, максимальний струм 2 А/канал, напруга до 35 В, наявний вбудований радіатор та захисні діоди .

1.5.4 Система живлення

Живлення від трьох послідовно з'єднаних акумуляторів типу 18650 (конфігурація 3S, номінальна напруга 11,1 В, ємність 2200 мА·год, робоча напруга від 10 до 12,6 В) забезпечує тривалу роботу пристрою [60]. Захист від перерозряду, перезаряду та КЗ - плата BMS 3S 20A. Вмикання та вимикання пристрою - тумблером (без програмних кнопок), що спрощає конструкцію і підвищує надійність.

Альтернатива - LiFePO₄ (безпечніша хімія, але дорожча та важча) або свинцево-кислотні акумулятори (дуже важкі) [61]. Обрано Li-ion 18650 як оптимальний компроміс за ціною, масою та доступністю.

1.5.5 Модуль дезінфекції (атомайзер)

Ультразвуковий п'єзоелектричний атомайзер з робочою частотою 1,7 МГц генерує аерозоль із розміром крапель 10-50 мкм [62, 63]. Продуктивність - 0,5-1,0 л/год. Споживана потужність 10-12 Вт. Комутація - через одноканальний модуль електромагнітного реле з оптичною ізоляцією (пін 12 Arduino), що захищає мікроконтролер від електромагнітних завад [64].

1.6 Економічне обґрунтування

Таблиця 1.5 наводить орієнтовну вартість компонентів за ринковими цінами станом на травень 2026 р. [65].

Таблиця 1.5 - Вартість компонентів прототипу

Компонент	Кількість	Вартість, грн
Arduino Nano (клон ATmega328P)	1	200
Ультразвуковий датчик HC-SR04	1	60
Драйвер двигунів L298N	1	120
Двигун BO Gear Motor з редуктором	2	200
Шасі (диски, кріплення)	1	300
Акумулятор Li-ion 18650 3S 2200 мА·год	1	450
Плата BMS 3S 20A	1	80
Тумблер (вимикач живлення)	1	25
Модуль реле 1-канальний	1	40
Ультразвуковий атомайзер 1,7 МГц	1	350
Корпус (3D-друк PLA, ~0,8 кг пластику)	1	150
З'єднувальні проводи, роз'єми, кріплення	—	50
Загальна вартість		2025 грн

Собівартість прототипу ≈ 2025 грн (≈ 50 USD) - в 600-1400 разів менша за промислові аналоги. За умов серійного виробництва (від 100 шт.) собівартість можна знизити на 30-35 % за рахунок оптових закупівель [66].

1.7 Постановка технічного завдання

На підставі проведеного аналізу сформульовано наступне технічне завдання (ТЗ) на розробку:

1. Автономний рух. Пристрій має самостійно переміщуватися в замкнутому приміщенні, виявляючи перешкоди ультразвуковим датчиком HC-SR04 на відстані не менше 20 см, та виконувати розворот без зупинки дезінфекції.

2. Дезінфекція. Метод - холодний туман 6 % розчину H_2O_2 , ультразвуковий атомайзер 1,7 МГц, продуктивність не менше 0,5 л/год.

3. Керування. Вмикання і вимикання - тумблером живлення; після подачі живлення пристрій відразу починає роботу без додаткових команд.

4. Економічність. Собівартість компонентів не більше 3000 грн; час автономної роботи - не менше 60 хвилин.

Висновки до розділу 1

У першому розділі проведено аналітичний огляд проблеми ВЛІ (понад 1,4 млн випадків щорічно у світі), обґрунтовано актуальність автоматизованої дезінфекції. Розглянуто нормативну базу (ДСанПіН 3.3.1.001-96, наказ МОЗ №552). Виконано порівняльний аналіз п'яти методів дезінфекції та чотирьох промислових аналогів роботів-дезінфекторів. Обґрунтовано вибір: методу - холодний туман H₂O₂; МК - Arduino Nano; датчика - HC-SR04; драйвера - L298N; живлення - Li-ion 3S. Сформульовано ТЗ із чотирма ключовими вимогами.

РОЗДІЛ 2

КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

2.1 Структурна схема системи

Структурна схема (рис. 2.1) відображає взаємозв'язок основних функціональних блоків системи. Джерелом живлення є акумуляторна батарея 3S Li-ion 18650 (11,1 В, 2200 мА·год) із вбудованою платою BMS. Вмикання живлення здійснюється тумблером SW1. Центральним блоком керування є мікроконтролер Arduino Nano на базі ATmega328P. Цей блок керує наступними складовими системи: силовий драйвер L298N (керує двома тяговими двигунами) та модуль реле (комутує живлення ультразвукового атомайзера). Зворотний зв'язок надходить від ультразвукового датчика HC-SR04.

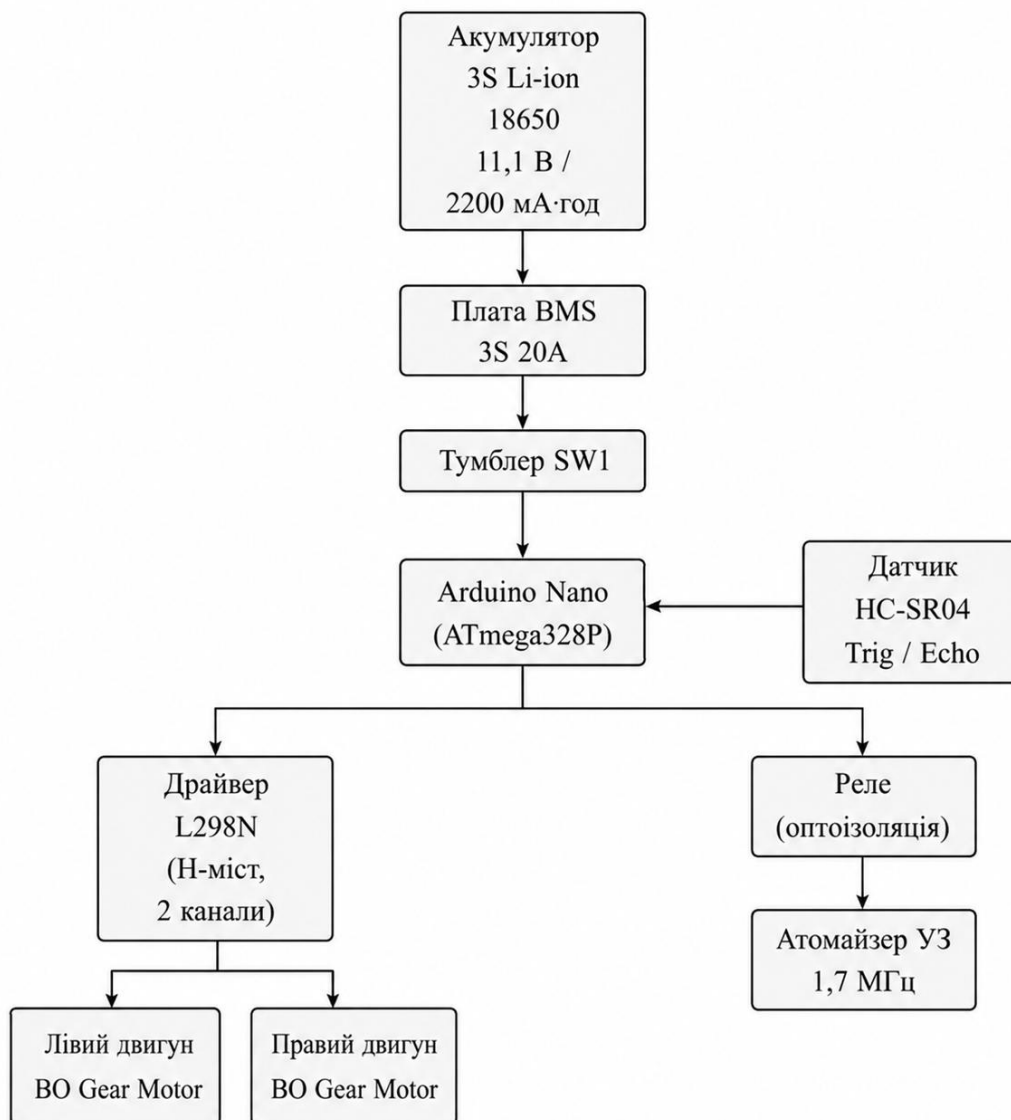


Рисунок 2.1 - Структурна схема автоматизованого мехатронного дезінфектора

2.2 Алгоритм керування

2.2.1 Опис алгоритму роботи

Алгоритм керування - простий детермінований цикл. Після подачі живлення (тумблер SW1 у положення «ввімк.») відбувається ініціалізація периферії: реле вмикається (HIGH на пін 12), подаючи живлення на атомайзер; двигуни отримують команду руху вперед. Головний цикл із частотою 5 Гц (затримка 200 мс) виконує вимірювання відстані датчиком HC-SR04. Якщо виміряна відстань менша за 20 см - двигуни зупиняються, виконується розворот (500 мс), потім рух відновлюється. Алгоритм не передбачає навчання чи картографування: розворот відбувається в один бік при кожному виявленні перешкоди.

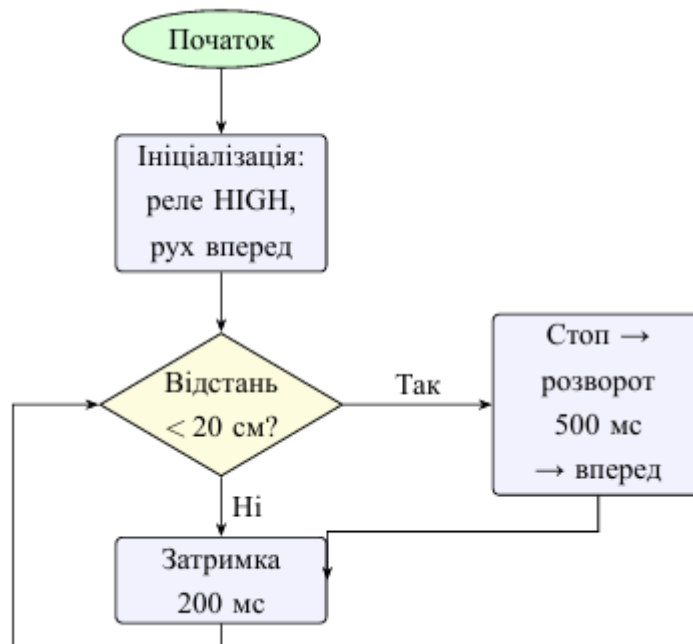


Рисунок 2.2 - Блок-схема алгоритму керування (тумблерна версія)

2.2.2 Опис окремих станів

Стан «Рух вперед»: обидва двигуни обертаються вперед зі швидкістю ШІМ 200/255 (≈ 78 % від максимальної), атомайзер увімкнений. Стан є базовим і активний більшу частину часу роботи.

Стан «Розворот»: лівий двигун - вперед, правий - назад (обидва ШІМ 200). Завдяки симетричній конструкції шасі з однаковими двигунами розворот

відбувається практично на місці. Тривалість 500 мс відповідає куту повороту $\approx 90-120^\circ$.

Атомайзер не вимикається під час розвороту - це забезпечує безперервне розпилення і рівномірне покриття навіть у кутах приміщення.

2.3 Опис конструкції та компонування

2.3.1 Загальна конструкція

Мобільна платформа побудована за схемою диференціального приводу з двома ведучими колесами на одній осі та одним пасивним опорним роликом ззаду. Така кінематична схема - найпростіша для програмної реалізації керування: лінійна швидкість і кутова швидкість розвороту прямо залежать від різниці швидкостей лівого та правого двигунів [67].

Корпус - циліндричний, діаметр 300 мм, висота 150 мм, виготовлений із PLA-пластику методом FDM 3D-друку. Циліндрична форма обрана з двох міркувань: рівномірний розподіл аерозолію по обидва боки та відсутність гострих кутів, що спрощає роботу кругового датчика HC-SR04.

Конструктивні параметри:

- Габарити: діаметр 300 мм, висота 150 мм;
- Колісна база: 200 мм (відстань між точками контакту коліс);
- Діаметр ведучого колеса: 65 мм, ширина 26 мм;
- Дорожній просвіт: 15 мм;
- Маса готового пристрою зі спорядженням: до 1,5 кг;
- Ємність бака для дезрозчину: 1,5 л.

2.3.2 Компонування деталей

Внутрішній простір корпусу розподілено по висоті на три зони:

1. Нижня зона (від підлоги до висоти 50 мм) - акумуляторна батарея 3S та плата BMS; тут же розташовано тумблер живлення.

2. Середня зона (50-100 мм) - Arduino Nano на центральній монтажній полиці, драйвер L298N та модуль реле; з'єднувальна проводка.

3. Верхня зона (100-150 мм) - ультразвуковий атомайзер та бак для дезрозчину (1,5 л, HDPE); виступаючий дифузор виходу туману.

Датчик HC-SR04 встановлений на передній панелі корпусу на висоті 30 мм від підлоги - по осі перешкод на рівні типових меблів та ніг стільців. Усі плати закріплені через силіконові демпфери для гасіння вібрацій двигунів.

2.3.3 3D-модель корпусу (SolidWorks)

Тривимірна модель розроблена в САПР SolidWorks. Файли деталей містяться в додатках Д, Е, Ж (бак, корпус, кришка бака).

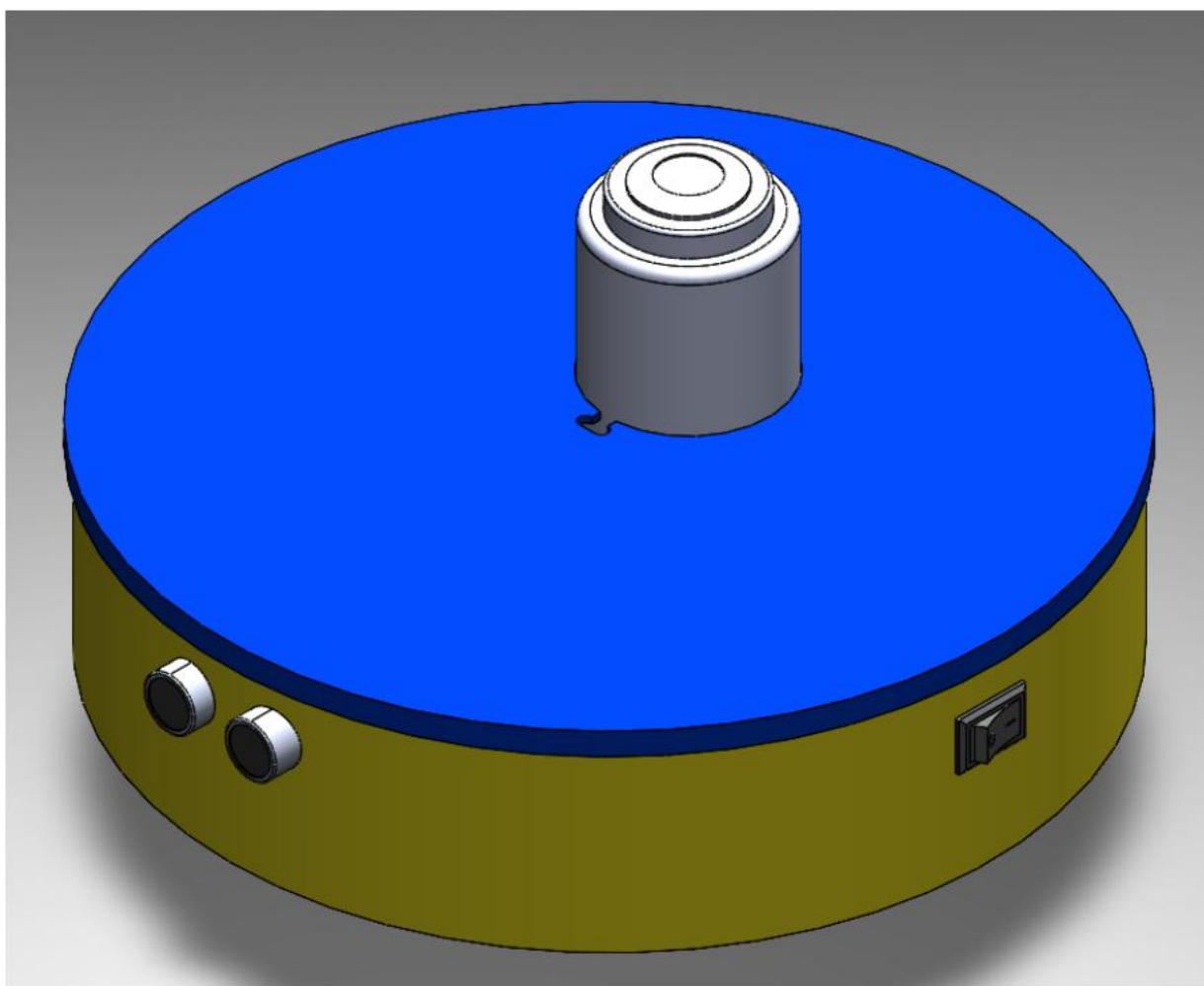


Рисунок 2.3 - Загальний вигляд 3D-моделі збірки дезінфектора

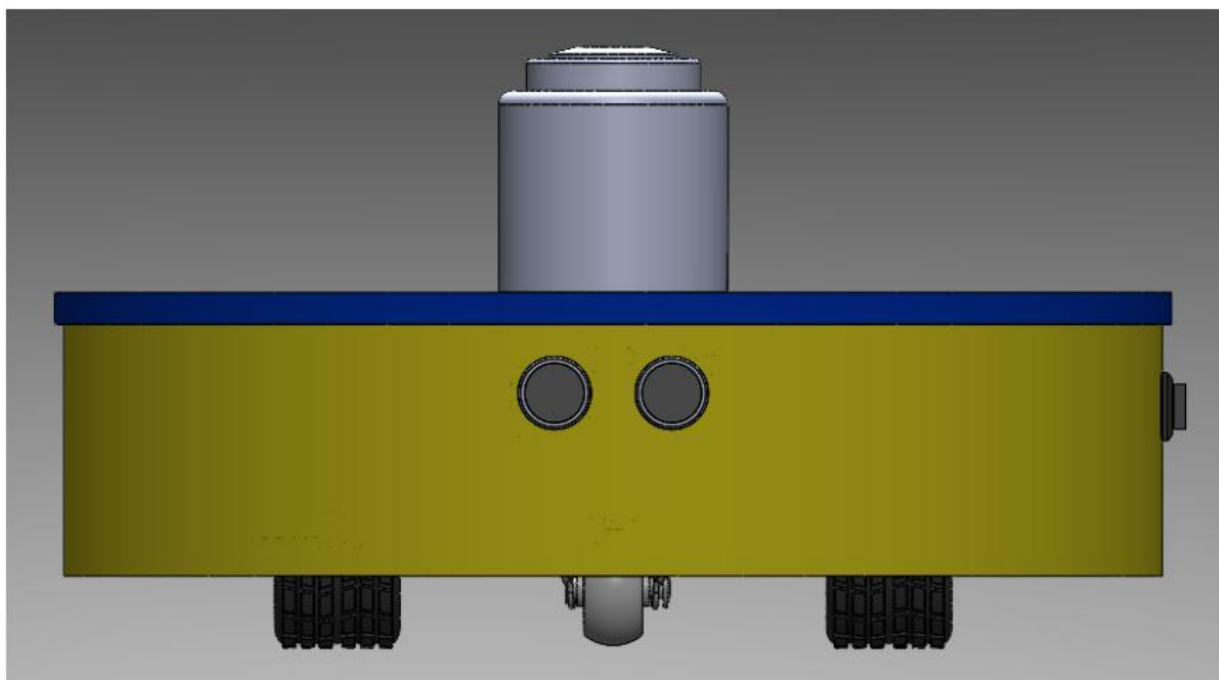


Рисунок 2.4 - Вид спереду. Розташування датчика HC-SR04 та дифузора туману

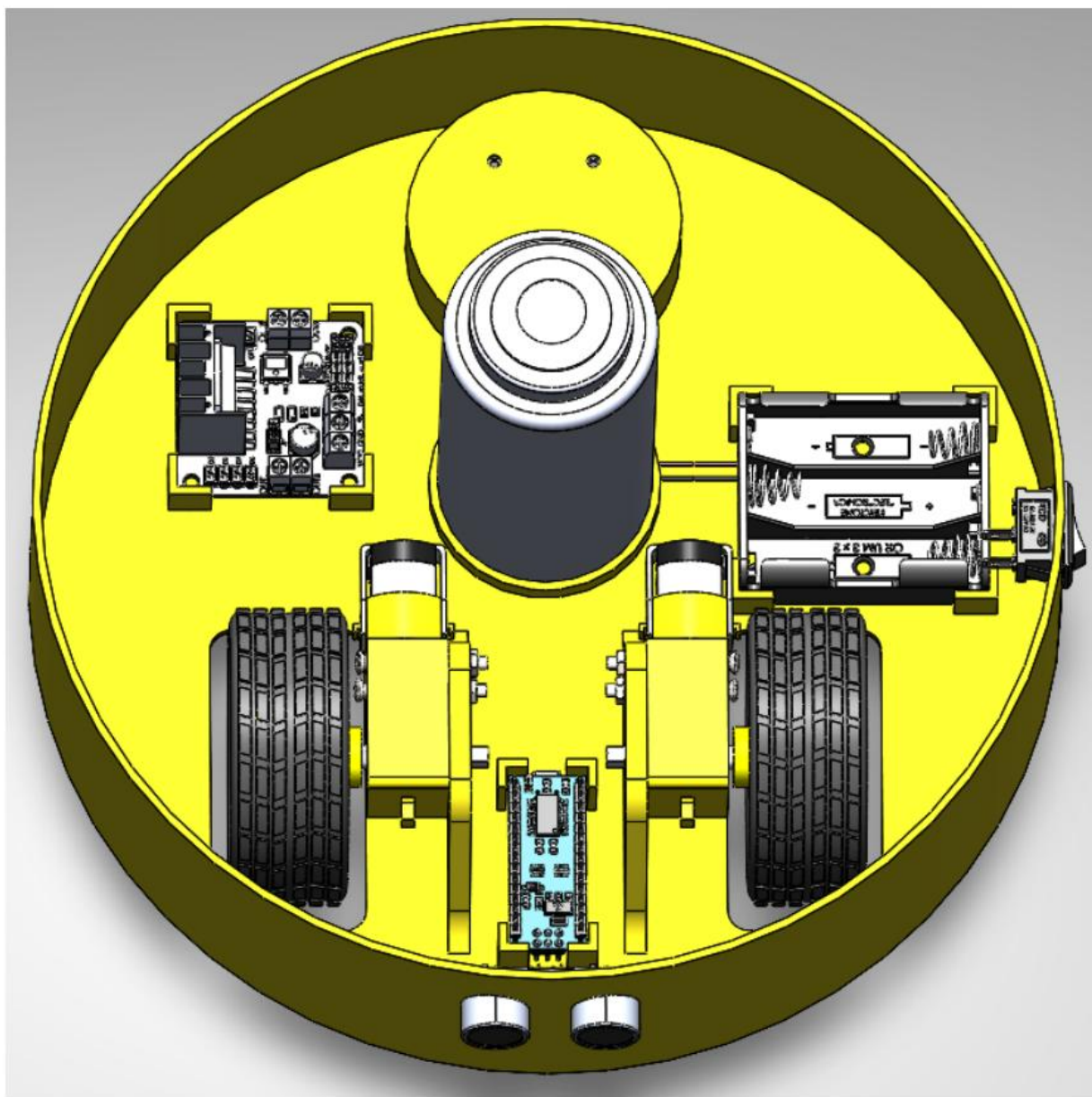


Рисунок 2.5 - Внутрішнє компонування. Розміщення плат та акумулятора

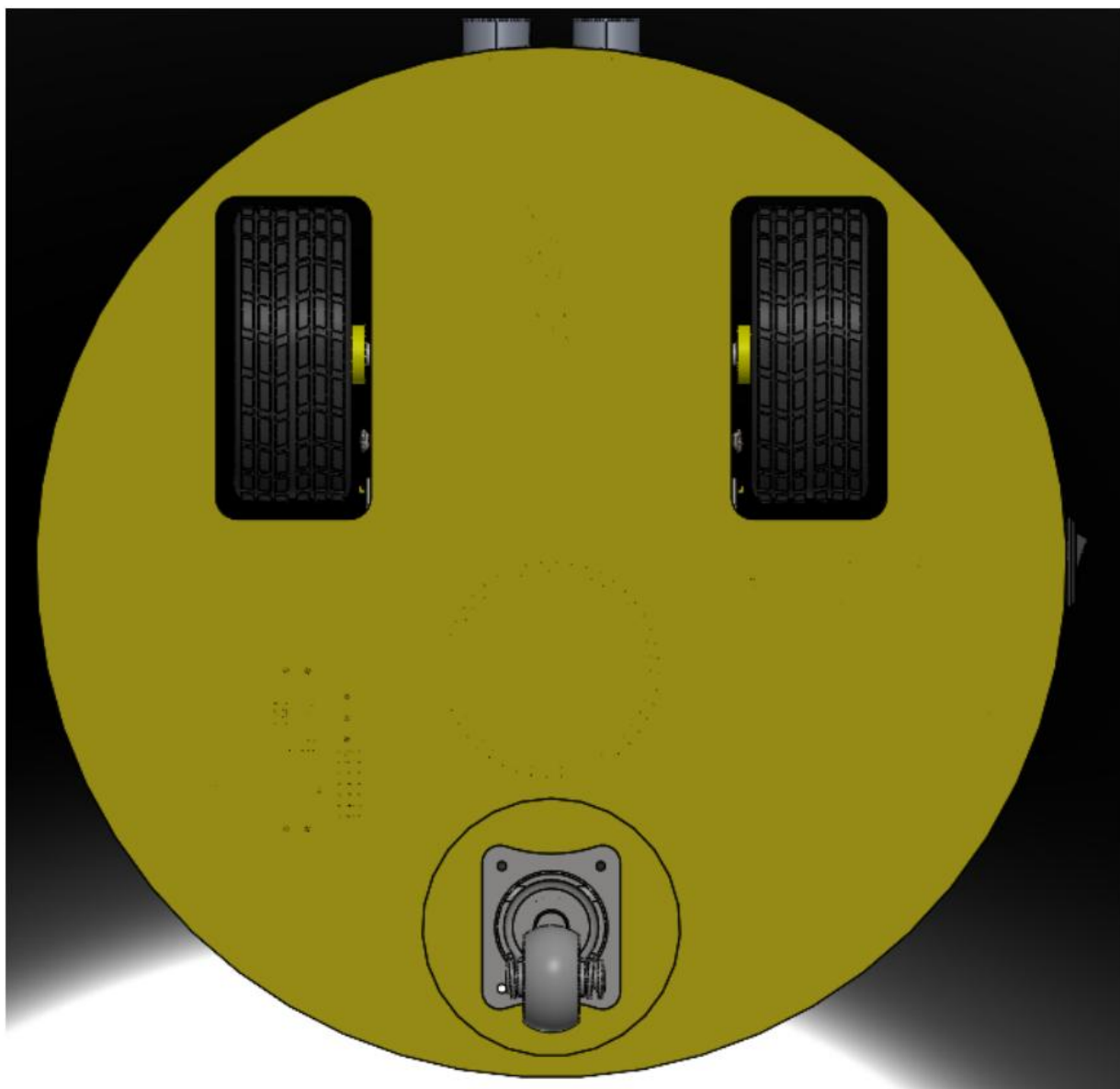


Рисунок 2.6 - Вид знизу. Шасі, ведучі колеса та опорний ролик

2.4 Електрична схема

Принципову електричну схему виконано в середовищі TinkerCAD і наведено в додатку Г (файл Sim_scheme.pdf).

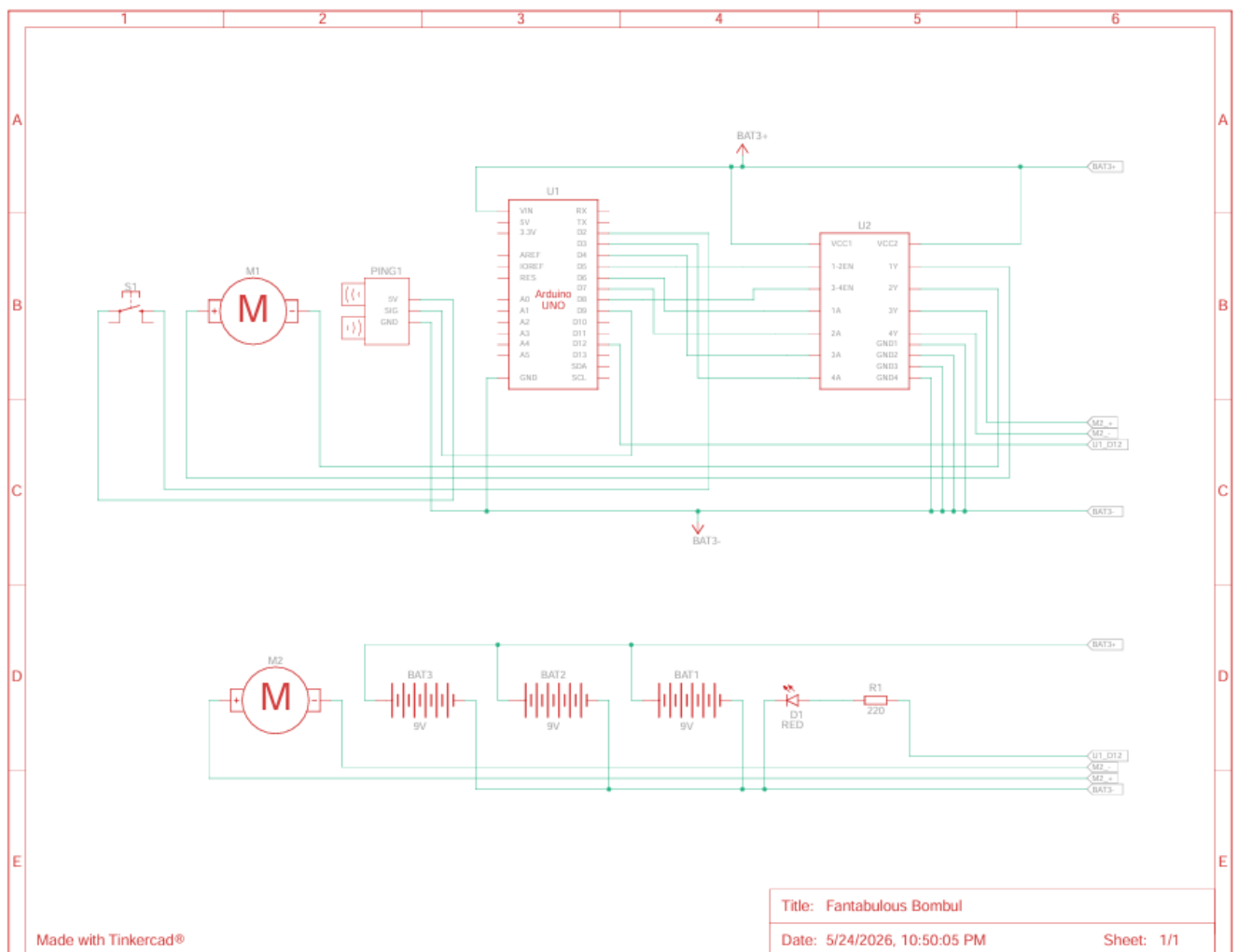


Рисунок 2.7 – Електрична принципова схема(TinkerCAD)

Опис підключення компонентів:

- Акумулятор 3S Li-ion (11,1 В) →BMS →тумблер SW1 →пін Vin Arduino Nano та Vcc/GND плати L298N.
- Arduino Nano отримує стабілізовану напругу 5 В від власного стабілізатора MIC5205 через пін Vin (до 12 В).
- HC-SR04: VCC →5V, GND →GND, Trig →D9, Echo →D9 (у тумблерній версії обидва на одному піні).
- L298N: ENA →D5 (ШИМ), IN1 →D6, IN2 →D7, ENB →D8 (ШИМ), IN3 →D4, IN4 →D3; OUT1/OUT2 →лівий двигун; OUT3/OUT4 →правий двигун.
- Реле: сигнал →D12 (LOW →реле спрацює, NC розмикається, NO замикається); живлення реле від 5 В; нормально розімкнений контакт (NO) підключено до атомайзера (12 В від батареї).

2.5 Математична модель кінематики диференціального приводу

Диференціальний привід є одним із найпростіших способів реалізувати керований рух мобільного робота [67]. Для плоскої платформи з двома ведучими колесами в ідеальному випадку:

$$V = \frac{R}{2} (\omega_L + \omega_R), \quad (2.1)$$

$$\omega = \frac{R}{2L} (\omega_R - \omega_L), \quad (2.2)$$

де V — лінійна швидкість центра мас платформи, м/с; ω — кутова швидкість навколо вертикальної осі (швидкість розвороту), рад/с; $R = 0,0325$ м — радіус ведучого колеса; $2L = 0,2$ м — колісна база; ω_L, ω_R — кутові швидкості лівого та правого колеса відповідно.

При розвороті на місці $\omega_L = -\omega_R$, звідси $V = 0$, а $\omega = R\omega_R/L$.

Оновлення координат у дискретний час (Δt — крок інтегрування, с):

$$x_{k+1} = x_k + V \cdot \Delta t \cdot \cos \theta_k, \quad y_{k+1} = y_k + V \cdot \Delta t \cdot \sin \theta_k, \quad \theta_{k+1} = \theta_k + \omega \cdot \Delta t. \quad (2.3)$$

При ШІМ = 200/255 і напрузі 6 В на двигун швидкість обертання осі $\approx (200/255) \times 200 = 157$ об/хв, або $\omega_{\text{вал}} \approx 16,4$ рад/с. Враховуючи радіус колеса, лінійна швидкість:

$$V = \omega_{\text{вал}} \cdot R = 16,4 \times 0,0325 \approx 0,53 \text{ м/с.}$$

За $\Delta t = 0,2$ с (частота циклу керування) пристрій проходить приблизно 10 см між вимірюваннями датчика — це менше критичної відстані 20 см, тобто реакція своєчасна.

2.6 Розрахунок датчика дальності HC-SR04

Ультразвуковий датчик HC-SR04 вимірює відстань за часом пробігу звукового імпульсу до перешкоди та назад. Швидкість звуку в повітрі залежить від температури:

$$v_s = 331,5 + 0,6T \text{ (м/с)}, \quad (2.4)$$

де T — температура, °C. При $T = 20^\circ\text{C}$: $v_s = 343,5 \text{ м/с}$.

Вимірювана відстань:

$$S = \frac{v_s \cdot t_{\text{echo}}}{2}, \quad (2.5)$$

де t_{echo} — тривалість імпульсу на виводі Echo, мкс.

Критична відстань $S_{\min} = 20 \text{ см}$. Відповідний час:

$$t_{\text{echo}} = \frac{2S_{\min}}{v_s} = \frac{2 \times 0,20}{343,5} \approx 1,165 \text{ мс} = 1165 \text{ мкс}. \quad (2.6)$$

Функція `pulseIn()` Arduino вимірює тривалість з роздільною здатністю 1 мкс, що відповідає роздільній здатності за відстанню:

$$\Delta S = \frac{v_s \cdot 1 \mu\text{s}}{2} = \frac{343,5 \times 10^{-6}}{2} \approx 0,17 \text{ мм}.$$

Хоча паспортна точність датчика $\pm 3 \text{ мм}$, теоретична роздільна здатність є достатньою для надійного виявлення перешкод.

Повний цикл вимірювання: генерація імпульсу 10 мкс + час очікування відлуння (до 30 мс за замовчуванням) + обчислення - разом не більше 35 мс. Це на порядок менше за основну затримку циклу 200 мс, тобто вимірювання не гальмує роботу пристрою.

Кут огляду датчика HC-SR04 - близько 15° . При встановленні на висоті 30 мм від підлоги горизонтальна «пляма» на відстані 20 см має ширину $2 \times 20 \times \text{tg}(7,5^\circ) \approx 5,2 \text{ см}$. Для платформи шириною 26 см один фронтальний датчик є мінімально достатнім для виявлення стін і крупних меблів; маленькі предмети типу ніжок стільців можуть у теорії потрапити в «сліпу зону», що слід враховувати при реальній експлуатації.

2.7 Розрахунок вала ведучого колеса на міцність

Розрахункова маса пристрою зі спорядженням: $m = 1,5 \text{ кг}$ (консервативна оцінка з урахуванням пластику корпусу, батарей і рідини). Сила ваги:

$$G = m \cdot g = 1,5 \times 9,81 = 14,72 \text{ Н.} \quad (2.7)$$

Навантаження на один вал (два ведучих колеса+ролик, рівномірний розподіл):

$$F = \frac{G}{2} = 7,36 \text{ Н.}$$

Вал виготовлено зі сталі Ст3 (допустиме напруження $[\sigma] = 160 \text{ МПа}$).
Діаметр $d = 5 \text{ мм}$, консольний виліт $l = 40 \text{ мм}$.

Максимальний згинальний момент:

$$M = F \cdot l = 7,36 \times 0,04 = 0,294 \text{ Н}\cdot\text{м.} \quad (2.8)$$

Момент опору круглого перерізу:

$$W_x = \frac{\pi d^3}{32} = \frac{3,1416 \times (0,005)^3}{32} \approx 1,227 \times 10^{-8} \text{ м}^3. \quad (2.9)$$

Розрахункове напруження:

$$\sigma = \frac{M}{W_x} = \frac{0,294}{1,227 \times 10^{-8}} \approx 24 \text{ МПа.} \quad (2.10)$$

Запас міцності:

$$n = \frac{[\sigma]}{\sigma} = \frac{160}{24} \approx 6,7. \quad (2.11)$$

Значний запас міцності ($n \approx 6,7$) свідчить про те, що при реальній масі 1,5 кг вал витримає навантаження надійно навіть за умов динамічних перевантажень (удари, нерівності підлоги). Якщо повну масу прийняти $m = 5 \text{ кг}$ (максимально можливе навантаження), то $\sigma \approx 80 \text{ МПа}$, $n \approx 2,0$ — умова міцності виконується й у цьому випадку.

2.8 Розрахунок часу автономної роботи

Балансовий розрахунок потужності:

- Два двигуни BO Gear Motor: $P_{\text{mot}} = 2 \times 3 = 6$ Вт (номінальна споживана потужність при напрузі 6 В і струмі 0,5 А/двигун; на валу L298N напруга дещо менша через падіння на ключах 1,5 В, тому реально $2 \times (11,1 - 1,5) \times 0,5 \approx 9,6$ Вт, але ефективна потужність ближча до 6 Вт з урахуванням ШІМ 78 %).
- Атомайзер: $P_{\text{atm}} = 10$ Вт.
- Arduino Nano + датчики: $P_{\text{ctrl}} = 1$ Вт.
- Плата L298N (тепло на транзисторах): $P_{\text{drv}} = 1$ Вт.

Загальна потужність: $P_{\Sigma} = 6 + 10 + 1 + 1 = 18$ Вт. Середній струм споживання при напрузі 11,1 В:

$$I = \frac{P_{\Sigma}}{U} = \frac{18}{11,1} \approx 1,62 \text{ А.} \quad (2.12)$$

Теоретичний час безперервної роботи від батареї ємністю $C = 2,2$ А·год:

$$T = \frac{C}{I} = \frac{2,2}{1,62} \approx 1,36 \text{ год} \approx 82 \text{ хв.} \quad (2.13)$$

З урахуванням ефективності заряду 90 % та зниження ємності за температури реальний час роботи становитиме 60–70 хв — що цілком достатньо для 2–3 циклів дезінфекції кімнати площею 20–30 м² [68].

2.9 Технологія виготовлення деталей

2.9.1 Метод FDM 3D-друку для деталей корпусу

Деталі корпусу (власне корпус, бак, кришка бака, кронштейни) виготовляються методом пошарового осадження матеріалу (Fused Deposition Modelling, FDM) на настільному 3D-принтері [69]. Матеріал - полімолочна кислота (PLA), найпоширеніший термопластик для прототипування завдяки: низькій ціні (250-400 грн/кг), простоті обробки (температура сопла 195-210°C, стіл 50- 60°C),

відсутності неприємного запаху під час друку та достатній жорсткості для ненапружених корпусних деталей [70].

Параметри друку, обрані для деталей цього проєкту:

- Висота шару: 0,2 мм (оптимальний баланс якості поверхні і часу друку).
- Заповнення: 20 % (гексагональний паттерн - достатня жорсткість при мінімальній масі).
- Товщина стінок: 3 шари по 0,4 мм (перима 1,2 мм) - задовільна міцність корпусу.
- Підтримки: для нависаючих поверхонь кута $> 45^\circ$ (наприклад, дифузор).
- Орієнтація деталі: корпус друкується вертикально (циліндрична вісь = вісь друку), що забезпечує максимальну ізотропну міцність стінок.

2.9.2 Підготовка до друку (слайсинг)

Файли деталей з SolidWorks експортуються у форматі STL. Слайсинг виконується у програмному забезпеченні Cura 5 або PrusaSlicer. Особлива увага приділяється герметичності бака для дезрозчину - зовнішня стінка друкується в 5 шарів, а по завершенні друку посудина обробляється нейтральним епоксидним клеєм (AquaMend) для виключення мікропор. Бак виготовляється з PETG (поліетилентерефталат гліколь) - матеріалу, стійкого до дії 6 % H_2O_2 - оскільки PLA може поступово деградувати від тривалого контакту з окисниками [71].

2.9.3 Механічна обробка після друку

Після друку:

1. Видалення підтримок спеціальним щипцями або скальпелем.
2. Шліфування посадкових місць для підшипників і пінів (наждачний папір №120 та №240).
3. Свердління отворів під вали двигунів ($d=3-5$ мм) ручним свердлом - отвори рекомендується утворювати нижче номінального розміру в моделі на 0,2 мм, а потім доводити вручну.
4. Нарізання різьби (M3) у монтажних стійках для плат - мітчик M3×0,5.

2.9.4 Складання електромеханічного вузла

Послідовність складання:

1. Монтаж двигунів у нижній частині шасі (болти М3×8).
2. Встановлення опорного ролика.
3. Укладання акумулятора і плати BMS, фіксація стяжками.
4. Монтаж Arduino Nano, L298N та реле на центральній полиці.
5. Підключення проводів згідно зі схемою (рис. 2.7).
6. Встановлення атомайзера та бака в верхньому відсіку.
7. Закріплення датчика HC-SR04 на передній панелі.
8. Закриття кришки бака та тестування тумблером.

2.10 Охорона праці та безпека при виготовленні та експлуатації

2.10.1 Електробезпека

Пристрій живиться від акумуляторної батареї 11,1 В, що відповідає БНОНС (безпечна напруга не обмеженого напруженого середовища за ПУЕ - до 42 В змінного або 60 В постійного струму). Тим не менш, зарядний пристрій підключається до мережі 220 В, тому зарядку слід виконувати тільки справним зарядником і не залишати без нагляду [12].

Плата BMS забезпечує захист від: перезаряду (відключення при $U > 12,6$ В), глибокого розряду (відключення при $U < 9,0$ В), КЗ (відключення при $I > 20$ А). Забороняється замінювати BMS на перемичку або дріт.

2.10.2 Хімічна безпека при роботі з пероксидом водню

Пероксид водню 6 % відноситься до II класу небезпеки за ГОСТ 12.1.007. Заходи безпеки:

- Під час заливання розчину - гумові рукавички та захисні окуляри.
- Заборонено вдихати туман під час обробки; входити до приміщення після завершення дезінфекції дозволяється через 15 хвилин провітрювання.
- Зберігати розчин у темному прохолодному місці, подалі від джерел тепла.

- ГДК H_2O_2 у повітрі робочої зони - $0,1 \text{ мг/м}^3$ [11].

2.10.3 Механічна та пожежна безпека

Рухомі частини (колеса, вал двигуна) закриті нижнім кожухом. Максимальна швидкість $0,5 \text{ м/с}$ є достатньо низькою для запобігання серйозних ударів. При 3D-друку деталей корпусу - дотримуватись вимог безпеки конкретного принтера (захисне скло, вентиляція). Акумулятор заряджати лише в металевому ящику або спеціальному вогнетривкому чохлі.

Висновки до розділу 2

У другому розділі розроблено структурну схему системи та блок-схему алгоритму керування. Описано конструкцію мобільної платформи (циліндричний корпус $\varnothing 300 \times 150$ мм, PLA/PETG). Виконано такі розрахунки: математична модель кінематики диференціального привода; розрахунок датчика HC-SR04 (критичний час $t_{echo} = 1165$ мкс, роздільна здатність 0,17 мм); перевірка вала на міцність (при масі 1,5 кг $n \approx 6,7$; при 5 кг $n \approx 2$); розрахунок часу автономної роботи ($T \approx 82$ хв). Описано технологію виготовлення деталей методом FDM 3D-друку (параметри слайсингу, матеріали PLA/PETG, послідовність складання). Наведено заходи безпеки.

РОЗДІЛ 3

РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ

ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

3.1 Архітектура програмного забезпечення

Програмне забезпечення для мікроконтролера Arduino Nano написано мовою C++ у середовищі Arduino IDE 2.3, компілятор AVR-GCC. Архітектурно прошивка складається з трьох логічних шарів:

- Рівень драйверів - набір функцій низького рівня для керування GPIO, ШІМ та таймерами ATmega328P: `motorsForward()`, `motorsStop()`, `motorsTurn()`, `getDistance()`.

- Рівень логіки - головний цикл `loop()`, що реалізує детермінований алгоритм керування.

- Рівень ініціалізації - функція `setup()`, яка налаштовує пін-режими та встановлює початковий стан виконавчих пристроїв.

Таке розділення спрощує відлагодження та можливе розширення функціоналу - наприклад, додавання другого датчика або лічильника циклів.

3.2 Алгоритм керування

3.2.1 Детермінований цикл без машини станів

Оскільки пристрій керується тумблером (не кнопкою), при подачі живлення апарат відразу починає роботу - ніяких станів очікування немає. Логіка головного циклу:

1. Виміряти відстань до перешкоди.

2. Якщо відстань < 20 см:

- (а) Зупинити двигуни.

- (б) Виконати розворот (500 мс).

- (в) Зупинити двигуни.

- (г) Відновити рух вперед.

3. Затримка 200 мс.

4. Перейти до п. 1.

Атомайзер вмикається в `setup()` і ніколи не вимикається протягом роботи - він вимкнеться разом із живленням при переведенні тумблера у «викл».

3.2.2 Деталі реалізації функцій вимірювання відстані

Для датчика з одним спільним піном (TRIG/ECHO = D9) реалізовано наступний трюк: пін спочатку налаштовується як OUTPUT і генерує ультразвуковий імпульс, потім перемикається в INPUT і слухає відлуння. Такий підхід економить один пін мікроконтролера і не впливає на точність за умови коректної затримки між фазами [72, 73].

3.3 Фінальна версія прошивки для готового приладу

Нижче наведено повний вивірений код для готового пристрою (лістинг 3.1). Відмінності від симуляційної версії: відсутня кнопка BTN; пін 9 є спільним для Trig та Echo; пристрій стартує відразу при подачі живлення; немає допоміжних виводів у Serial.

```
1 // =====
2 // Автоматизований мехатронний дезінфектор приміщень
3 // Мікроконтролер: Arduino Nano (ATmega328P)
4 // Версія: 1.0-PROD травень ( 2026)
5 // Керування: тумблер SW1 без( кнопок, без EEPROM)
6 // =====
7
8 // —Призначення пінів—
9 #define TRIG_PIN 9 // УЗ датчик - спільний вивід Trig/Echo
10 #define ECHO_PIN 9 // спільний вивід
11 #define RELAY_PIN 12 // реле керування атомайзером
12
13 // Драйвер L298N
14 #define ENA 5 // ШІМ лівий двигун
15 #define IN1 6
16 #define IN2 7
17 #define ENB 8 // ШІМ правий двигун
18 #define IN3 4
19 #define IN4 3
20
21 // —Ініціалізація—
22 void setup() {
23 // Реле: відразу вмикаємо атомайзер
```

```

24 pinMode(RELAY_PIN, OUTPUT);
25 digitalWrite(RELAY_PIN, HIGH); // HIGH = релеспрацьовує
    (NO замкнено)
26
27 // Драйвердвигунів
28 pinMode(ENA, OUTPUT); pinMode(IN1, OUTPUT); pinMode(IN2,
    OUTPUT);
29 pinMode(ENB, OUTPUT); pinMode(IN3, OUTPUT); pinMode(IN4,
    OUTPUT);
30
31 // Стартуємо: рухуперед
32 motorsForward();
33 }
34
35 // —Вимірюваннявідстані—
36 unsigned int getDistance() {
37     // Генеруємоультразвуковийімпульс
38     pinMode(TRIG_PIN, OUTPUT);
39     digitalWrite(TRIG_PIN, LOW);
40     delayMicroseconds(2);
41     digitalWrite(TRIG_PIN, HIGH);
42     delayMicroseconds(10);
43     digitalWrite(TRIG_PIN, LOW);
44
45     // Слухаємовідлуння
46     pinMode(ECHO_PIN, INPUT);
47     unsigned long duration = pulseIn(ECHO_PIN, HIGH, 30000);
48
49     // Якщовідлуннянемає—повертаємо 400 немає( перешкоди)
50     if (duration == 0) return 400;
51
52     // Відстаньусантиметрах (v_sound = 0.0343 сммкс/)
53     return (unsigned int)(duration * 0.0343 / 2);
54 }
55
56 // —Головнийцикл—
57 void loop() {
58     if (getDistance() < 20) {
59         motorsStop();
60         motorsTurn();
61         delay(500);

```

```

62     motorsStop();
63     motorsForward();
64 }
65 delay(200);
66 }
67
68 // —————Функції керування двигунами—————
69 void motorsForward() {
70     digitalWrite(IN1, HIGH); digitalWrite(IN2, LOW);
71     digitalWrite(IN3, HIGH); digitalWrite(IN4, LOW);
72     analogWrite(ENA, 200); analogWrite(ENB, 200);
73 }
74
75 void motorsStop() {
76     digitalWrite(IN1, LOW); digitalWrite(IN2, LOW);
77     digitalWrite(IN3, LOW); digitalWrite(IN4, LOW);
78     analogWrite(ENA, 0); analogWrite(ENB, 0);
79 }
80
81 void motorsTurn() {
82     digitalWrite(IN1, HIGH); digitalWrite(IN2, LOW);
83     digitalWrite(IN3, LOW); digitalWrite(IN4, HIGH);
84     analogWrite(ENA, 200); analogWrite(ENB, 200);
85 }

```

Лістинг 3.1 - Фінальна прошивка для готового дезінфектора (тумблерна версія)

3.4 Версія для симуляції у Wokwi

Для верифікації алгоритму без фізичного прототипу використано онлайнсимулятор Wokwi (<https://wokwi.com>). Оскільки у симуляторі неможливо перемикає тумблер живлення, симуляційна версія додає кнопку BTN на пін D2 - натискання вмикає/вимикає режим дезінфекції (лістинг 3.2). Крім того, у Wokwi джерелом живлення є 3 батарейки AA (4,5 В всього), підключені до пін 5V Arduino - цього достатньо для симуляції логіки, але не відображає реальний рівень напруги готового приладу.

Також у симуляційній версії пін ECHO відокремлений (D10), що відповідає стандартному підключенню HC-SR04 у Wokwi.

```

2 // Автоматизований дезінфектор-ВЕРСІЯ ДЛЯ WOKWI
3 // Живлення: 3× батарейки AA (4.5 В) → пін 5V
4 // Кнопка BTN (D2, INPUT_PULLUP) замість тумблера
5 // Датчик HC-SR04: → TrigD9, → EchoD10 окремі (пін)
6 // =====
7
8 #define TRIG_PIN 9
9 #define ECHO_PIN 10 // окремий пін для Wokwi
10 #define BTN_PIN 2 // кнопка замість тумблера
11 #define RELAY_PIN 12
12
13 #define ENA 5
14 #define IN1 6
15 #define IN2 7
16 #define ENB 8
17 #define IN3 4
18 #define IN4 3
19
20 bool isActive = false;
21 bool isTurning = false;
22 unsigned long turnStartTime = 0;
23
24 void setup() {
25     pinMode(BTN_PIN, INPUT_PULLUP);
26     pinMode(TRIG_PIN, OUTPUT);
27     pinMode(ECHO_PIN, INPUT);
28     pinMode(RELAY_PIN, OUTPUT);
29     pinMode(ENA, OUTPUT); pinMode(IN1, OUTPUT); pinMode(IN2,
        OUTPUT);
30     pinMode(ENB, OUTPUT); pinMode(IN3, OUTPUT); pinMode(IN4,
        OUTPUT);
31     digitalWrite(RELAY_PIN, LOW);
32     motorsStop();
33     Serial.begin(9600);
34     delay(100);
35 }
36
37 void loop() {
38     // Опитування кнопки перемикач (режиму)
39     if (!digitalRead(BTN_PIN)) {
40         isActive = !isActive;

```

```

41     if (isActive) {
42         digitalWrite(RELAY_PIN, HIGH);
43         motorsForward();
44         Serial.println("Режим дезінфекції: УВІМК");
45     } else {
46         digitalWrite(RELAY_PIN, LOW);
47         motorsStop();
48         isTurning = false;
49         Serial.println("Режим дезінфекції: ВІМК");
50     }
51     delay(300); // антидребезг
52 }
53
54 if (isActive) {
55     if (isTurning) {
56         // Чекаємо завершення розвороту (500 мс)
57         if (millis() - turnStartTime > 500) {
58             isTurning = false;
59             motorsForward();
60         }
61     } else {
62         unsigned int dist = ping_cm();
63         Serial.print("Відстань: "); Serial.print(dist);
64         Serial.println(" см");
65         if (dist < 20) {
66             isTurning = true;
67             turnStartTime = millis();
68             motorsTurn();
69             Serial.println("Перешкода! Розворот...");
70         }
71     }
72     delay(200);
73 }
74
75 unsigned int ping_cm() {
76     digitalWrite(TRIG_PIN, LOW); delayMicroseconds(2);
77     digitalWrite(TRIG_PIN, HIGH); delayMicroseconds(10);
78     digitalWrite(TRIG_PIN, LOW);
79     unsigned long duration = pulseIn(ECHO_PIN, HIGH);
80     if (duration == 0) return 400;

```

```

81   return duration * 0.0343 / 2;
82 }
83
84 void motorsForward() {
85   digitalWrite(IN1, HIGH); digitalWrite(IN2, LOW);
86   digitalWrite(IN3, HIGH); digitalWrite(IN4, LOW);
87   analogWrite(ENA, 200); analogWrite(ENB, 200);
88 }
89
90 void motorsStop() {
91   digitalWrite(IN1, LOW); digitalWrite(IN2, LOW);
92   digitalWrite(IN3, LOW); digitalWrite(IN4, LOW);
93   analogWrite(ENA, 0); analogWrite(ENB, 0);
94 }
95
96 void motorsTurn() {
97   digitalWrite(IN1, HIGH); digitalWrite(IN2, LOW);
98   digitalWrite(IN3, LOW); digitalWrite(IN4, HIGH);
99   analogWrite(ENA, 200); analogWrite(ENB, 200);
100 }

```

Лістинг 3.2 - Код для симуляції у Wokwi (версія з кнопкою та окремими Trig/Echo)

3.5 Порівняння двох версій прошивки

Таблиця 3.1 - Відмінності між версіями прошивки

Параметр	Фінальна (готовий прилад)	Wokwi (симуляція)
Керування	Тумблер SW1 (апаратне)	Кнопка BTN (D2, програмна)
TRIG/ECHO	Спільний пін D9	Окремі D9/D10
Serial	Відсутній	Активний (9600 бод)
Живлення	3S Li-ion 11,1 В	3×AA 4,5 В (у Wokwi)
Старт після ввімк.	Відразу (setup)	Після натискання кнопки

3.6 Верифікація у симуляторі Wokwi

3.6.1 Опис налаштування симуляції

Онлайн-симулятор Wokwi дозволяє завантажити код і конфігурацію схеми у форматі diagram.json та відтворити роботу пристрою у браузері без фізичного макету [74]. У схемі підключено:

- Arduino Nano як центральний МК;
- 3 батарейки AA (послідовно, загальна напруга 4,5 В) →пін 5V;
- HC-SR04 (Trig→D9, Echo→D10) - імітація датчика;
- кнопка на D2 (замість тумблера);
- модуль реле на D12 зі світлодіодом (імітує атомайзер);
- два двигуни через L298N (Wokwi має спрощену модель двигуна).

3.6.2 Результати тестування

Після завантаження симуляційного коду (лістинг 3.2) та запуску симуляції отримано наступні результати:

1. При натисканні кнопки BTN у Serial Monitor з'являється повідомлення «Режим дезінфекції: УВІМК», світлодіод (атомайзер) вмикається, обидва двигуни отримують ШІМ-сигнал.

2. Поточні значення відстані виводяться кожні 200 мс: «Відстань: 35 см», «Відстань: 40 см» тощо.

3. При зменшенні показника датчика нижче 20 см у Serial Monitor з'являється «Перешкода! Розворот...»; двигуни змінюють режим на розворот на 500 мс, після чого відновлюється рух вперед.

4. Повторне натискання кнопки виводить «Режим дезінфекції: ВІМК» та зупиняє обидва двигуни і реле.

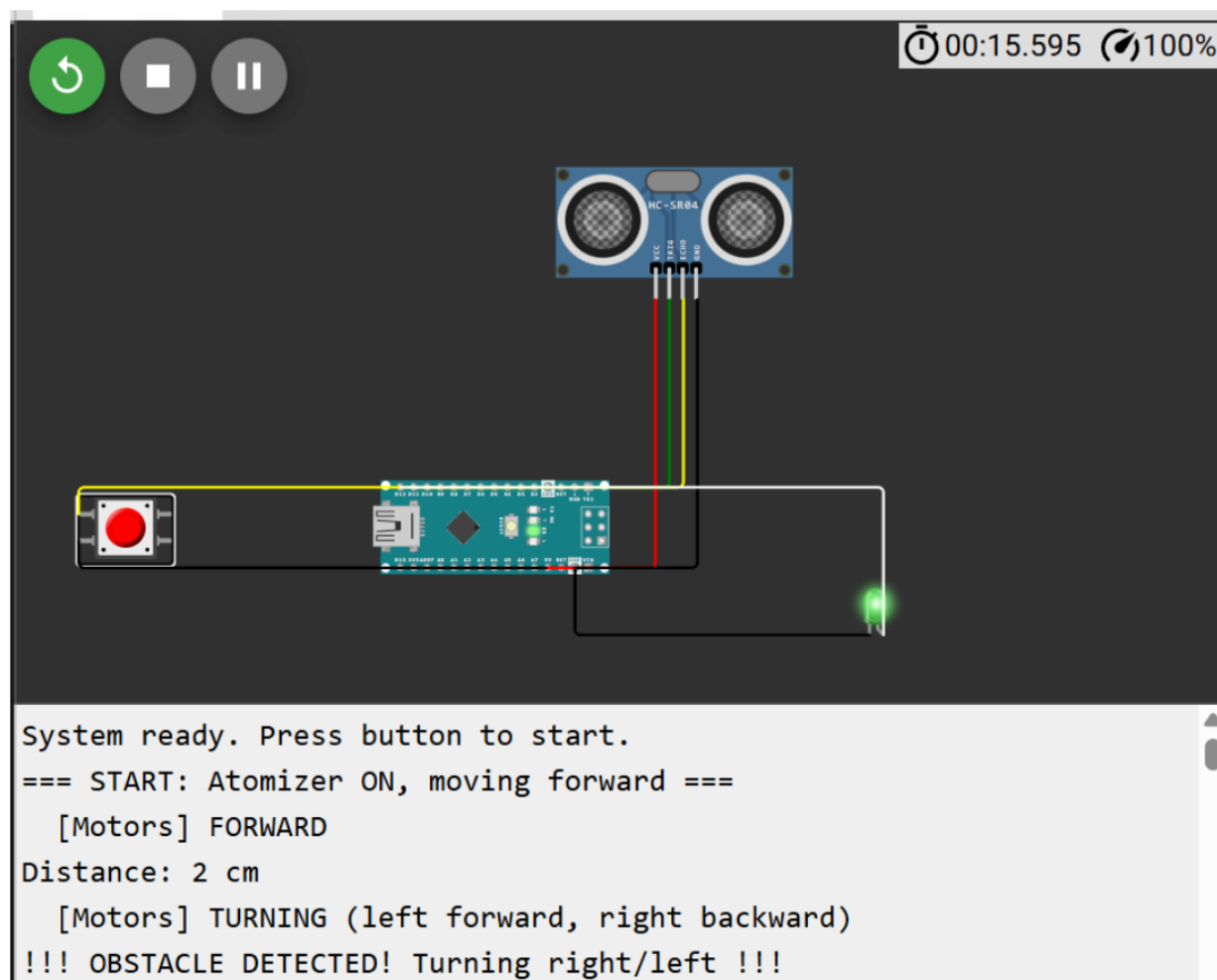


Рисунок 3.1 - Скріншот симуляції у середовищі Wokwi (момент виявлення перешкоди)

Джерело: скріншот із онлайн-симулятора Wokwi [74], проєкт доступний за адресою: <https://wokwi.com/projects/464322144954392577>

Результати симуляції підтверджують коректність логіки алгоритму: виявлення перешкоди, розворот і відновлення руху відпрацьовують відповідно до технічного завдання.

Висновки до розділу 3

У третьому розділі:

1. Описано архітектуру програмного забезпечення із розподілом на рівень драйверів та рівень логіки.
2. Наведено детальний опис алгоритму керування - детермінований цикл без машини станів, адаптований для тумблерного вмикання.
3. Представлено дві версії прошивки: фінальну для готового приладу (тумблер, спільний пін Trig/Echo, без Serial) та симуляційну для Wokwi (кнопка, окремі піни, Serial).
4. Проведено верифікацію алгоритму в симуляторі Wokwi; результати підтвердили коректність обхідного маневру при виявленні перешкоди на відстані < 20 см.

ВИСНОВКИ

У дипломній роботі розроблено автоматизований мехатронний дезінфектор приміщень у відповідності до поставленого завдання - мобільний роботизований пристрій на основі мікроконтролера Arduino Nano, здатний самостійно переміщуватися та розпилювати аерозоль 6 % H₂O₂.

За результатами виконаної роботи зроблено наступні висновки:

1. Проведений аналіз підтверджує масштаб проблеми ВЛІ (понад 1,4 млн випадків щорічно у світі) та обґрунтовує потребу в доступних автоматизованих рішеннях. Метод холодного туману пероксиду водню є оптимальним завдяки ефективному покриттю затінених зон та відсутності токсичних залишків.

2. Аналіз промислових аналогів (UVD Robot, Xenex, OmniGen, THOR) показав, що жоден із них не поєднує повну автономію руху з методом холодного туману при вартості, прийнятній для малих закладів. Розроблений прототип коштує ≈2025 грн — у 600-1400 разів дешевше аналогів.

3. Розраховано та підтверджено: час автономної роботи ≈82 хв при загальному споживанні 18 Вт; запас міцності вала $n = 6,7$ при реальній масі 1,5 кг; критичний час відлуння датчика HC-SR04 становить 1165 мкс, що відповідає зупинній відстані 20 см.

4. Описано технологію виготовлення деталей методом FDM 3D-друку (PLA/PETG), включаючи параметри слайсингу, обробку після друку та послідовність механічного складання.

5. Розроблено дві версії прошивки: фінальну (тумблер, спільний пін) та симуляційну (кнопка, Wokwi). Верифікація у симуляторі підтвердила коректність алгоритму.

Перспективи розвитку: додавання картографування (низькобюджетний лідар або система камер), другого датчика для кутів приміщення, сигналізації про закінчення рідини (ємнісний або поплавковий датчик), та WiFi-модуля для дистанційного моніторингу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Klotchko T.R., Rozumnyak R.L., Zhiglyi D.V. Robotic mechatronic platform for a healthcare facility // XXV Міжнар. наук.-техн. конф. «Приладобудування: стан і перспективи», 12-13 трав. 2026 р. Київ: КПП ім. Ігоря Сікорського, 2026.

[2] Радченко Ю.Д., Клочко Т.Р. Використання автономних роботів у логістичних операціях медичного закладу // Зб. статей XV наук.-практ. конф. студентів та аспірантів «Погляд у майбутнє», 14-15 черв. 2022 р. Київ: КПП ім. Ігоря Сікорського, 2022.

[3] World Health Organization. Report on the burden of endemic health care associated infection worldwide. — Geneva: WHO, 2011. — 40 p.

[4] Allegranzi B., Nejad S.B., Combescure C. et al. Burden of endemic healthcare-associated infection in developing countries: systematic review and metaanalysis // The Lancet. — 2011. — Vol. 377, No 9761. — P. 228-241.

[5] Vincent J.L. Nosocomial infections in adult intensive-care units // The Lancet. — 2003. — Vol. 361, No 9374. — P. 2068-2077.

[6] Кравченко Н.О., Салата Д.В. Внутрішньолікарняні інфекції в Україні: сучасний стан проблеми // Медичні перспективи. — 2019. — Т. 24, №2. — С. 122-128.

[7] Всесвітня організація охорони здоров'я. Глобальний план дій щодо боротьби з антибіотикорезистентністю. — Женева: ВООЗ, 2015. — 28 с.

[8] Rutala W.A., Weber D.J. Disinfection and sterilization in health care facilities: what clinicians need to know // Clinical Infectious Diseases. — 2004. — Vol. 39, No 5. — P. 702-709.

[9] ДСанПіН 3.3.1.001-96. Дезінфекційний режим в лікувальнопрофілактичних закладах. — Київ: МОЗ України, 1996. — 45 с.

[10] Наказ МОЗ України №552 від 22.04.2013. Про затвердження Інструкції з дезінфекції, передстерилізаційного очищення та стерилізації медичних виробів. — Київ: МОЗ України, 2013. — 32 с.

[11] ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. — Київ: МОЗ України, 1999.

[12] НПАОП 0.00-1.28-10. Правила охорони праці під час роботи з акумуляторними батареями. — Київ, 2010.

[13] Kampf G., Todt D., Pfaender S., Steinmann E. Persistence of coronaviruses on inanimate surfaces and their inactivation with biocidal agents // *Journal of Hospital Infection*. — 2020. — Vol. 104, No 3. — P. 246-251.

[14] Jones R.M. The use of automated disinfection robots in healthcare facilities // *American Journal of Infection Control*. — 2021. — Vol. 49, No 6. — P. 820- 825.

[15] Lv M., Wang C., Yu G. et al. A review of automatic disinfection robots in hospitals // *Journal of Healthcare Engineering*. — 2021. — Vol. 2021. — Article ID 6685024.

[16] Boyce J.M. Modern technologies for improving cleaning and disinfection of environmental surfaces in hospitals // *Antimicrobial Resistance and Infection Control*. — 2016. — Vol. 5, No 1. — P. 10.

[17] Weber D.J., Rutala W.A., Miller M.B. et al. Role of hospital surfaces in the transmission of emerging health care-associated pathogens // *American Journal of Infection Control*. — 2010. — Vol. 38, No 5. — P. S25-S33.

[18] Carling P.C., Parry M.F., Von Beheren S.M. Identifying opportunities to enhance environmental cleaning in 23 acute care hospitals // *Infection Control and Hospital Epidemiology*. — 2008. — Vol. 29, No 1. — P. 1-7.

[19] Dancer S.J. Controlling hospital-acquired infection: focus on the role of the environment and new technologies for decontamination // *Clinical Microbiology Reviews*. — 2014. — Vol. 27, No 4. — P. 665-690.

[20] Otter J.A., Yezli S., Perl T.M. et al. The role of ‘no-touch’ automated room disinfection systems in infection prevention and control // *Journal of Hospital Infection*. — 2013. — Vol. 83, No 1. — P. 1-13.

[21] Kowalski W. Ultraviolet Germicidal Irradiation Handbook: UVGI for Air and Surface Disinfection. — Berlin: Springer, 2009. — 501 p.

[22] Havill N.L., Moore B.A., Boyce J.M. Comparison of the microbiological efficacy of hydrogen peroxide vapor and ultraviolet light processes for room decontamination // *Infection Control and Hospital Epidemiology*. — 2012. — Vol. 33, No 5. — P. 507-512.

[23] Rutala W.A., Gergen M.F., Weber D.J. Room decontamination with UV radiation // *Infection Control and Hospital Epidemiology*. — 2010. — Vol. 31, No 10. — P. 1025-1029.

[24] CDC. Guidelines for Environmental Infection Control in Health-Care Facilities. — Atlanta: CDC, 2003. — 235 p.

[25] OSHA. Chlorine: hazard summary. — Washington: Occupational Safety and Health Administration, 2011.

[26] Coates D. A comparison of sodium hypochlorite and peracetic acid as disinfectants // *Journal of Hospital Infection*. — 1996. — Vol. 32, No 4. — P. 313-319.

[27] Scully J.R. The corrosion of stainless steel by chlorine and hypochlorite // *Corrosion Science*. — 1981. — Vol. 21, No 8. — P. 591-610.

[28] Bloomfield S.F. et al. The global burden of hygiene-related diseases in relation to the home and community. — International Scientific Forum on Home Hygiene, 2009.

[29] Sharma M., Hudson J.B. Ozone gas is an effective and practical antibacterial agent // *American Journal of Infection Control*. — 2008. — Vol. 36, No 8. — P. 559-563.

[30] EPA. Ozone generators that are sold as air cleaners. — US Environmental Protection Agency, 2019 [Электронный ресурс]. — Режим досту-

пу: <https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/ozone-generators-sold-air-cleaners>.

[31] Dynes K., Sleigh P.A., Noakes C.J. Ozone disinfection: a review of the literature // *Indoor Air*. — 2019. — Vol. 29, No 4. — P. 536-550.

[32] Razumovskii S.D., Zaikov G.E. Ozone and its Reactions with Organic Compounds. — Amsterdam: Elsevier, 1984. — 408 p.

[33] Spry C. The use of heat for disinfection and sterilization // *Central Service*. — 2004. — Vol. 12, No 4. — P. 240-244.

[34] Rutala W.A., Weber D.J. Steam sterilization // *Infection Control and Hospital Epidemiology*. — 2006. — Vol. 27, No 4. — P. 357-364.

[35] Zandi S., Kamali M., Amini N. A review of ultrasonic atomization for disinfection // *Ultrasonics Sonochemistry*. — 2019. — Vol. 52. — P. 1-12.

[36] Otter J.A., Yezli S., French G.L. The role of hydrogen peroxide vapor in hospital decontamination // *Journal of Hospital Infection*. — 2012. — Vol. 81, No 4. — P. 223-230.

[37] Pottage T., Macken S., Walker J.T., Bennett A.M. The decontamination of surfaces using hydrogen peroxide vapour // *Journal of Hospital Infection*. — 2012. — Vol. 80, No 2. — P. 123-128.

[38] McDonnell G., Russell A.D. Antiseptics and disinfectants: activity, action, and resistance // *Clinical Microbiology Reviews*. — 1999. — Vol. 12, No 1. — P. 147-179.

[39] Block S.S. *Disinfection, Sterilization, and Preservation*. — 5th ed. — Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 2001. — 1481 p.

[40] Andersen B.M., Rasch M., Hochlin K. et al. Decontamination of rooms, items and fabrics with disinfectant-fog generated by the Hygienair system // *Journal of Hospital Infection*. — 2006. — Vol. 62, No 2. — P. 149-155.

[41] Fu T.Y., Gent P., Kumar V. Efficacy, efficiency and safety aspects of hydrogen peroxide vapour and aerosolised hydrogen peroxide room disinfection systems // *Journal of Hospital Infection*. — 2013. — Vol. 84, No 2. — P. 116-122.

[42] Blue Ocean Robotics. UVD Robot Product Specification. — 2020 [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://uvd.blue-ocean-robotics.com>.

[43] Xenex. LightStrike Germ-Zapping Robot: Technical Datasheet. — 2019. <https://ortoday.com/xenex-lightstrike-2/>

[44] OmniGen. Fogger Disinfection System User Manual. — 2021. <https://www.airpurifiersandcleaners.com/fogging-disinfection-products-systems>

[45] THOR. UVC Disinfection Robot Product Brochure. — 2020. <https://www.vision-uvc.com/thor-uvc/>

- [46] Mertz L. Automated disinfection robots: a review of current products // IEEE Pulse. — 2020. — Vol. 11, No 4. — P. 14-17.
- [47] Donskey C.J. The role of hydrogen peroxide vapor disinfection in infection prevention // Infection Control and Hospital Epidemiology. — 2016. — Vol. 37, No 7. — P. 863-866.
- [48] Kong L., Hu Y., Wang Z. A review of mobile disinfection robots // Robotics and Autonomous Systems. — 2021. — Vol. 142. — Article ID 103794.
- [49] Arduino. Arduino Nano Technical Specifications [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://docs.arduino.cc/hardware/nano/> (дата звернення: 01.06.2026).
- [50] Arduino. Arduino Mega 2560 Rev3 Technical Specifications [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://docs.arduino.cc/hardware/mega-2560/> (дата звернення: 01.06.2026).
- [51] STMicroelectronics. STM32F103xx Datasheet. Rev. 17. — 2019.
- [52] Atmel. ATmega328P Datasheet. — Microchip Technology Inc., 2016. — 508 p.
- [53] ElecFreaks. HC-SR04 Ultrasonic Sensor User Guide. — 2013.
- [54] STMicroelectronics. VL53L0X Datasheet. — 2016.
- [55] Sharp. GP2Y0A21 Datasheet. — 2010.
- [56] BO Motor Dual-Shaft Gear Motor Datasheet / Unnamed manufacturer catalogue. — 2024.
- [57] STMicroelectronics. L298N Dual Full-Bridge Driver Datasheet. — 2000.
- [58] Texas Instruments. L293D Quadruple Half-H Drivers Datasheet. — 2015.
- [59] Toshiba. TB6612FNG Dual DC Motor Driver Datasheet. — 2010.
- [60] Buchmann I. Batteries in a Portable World. — 4th ed. — Richmond: Cadex Electronics, 2016. — 348 p.
- [61] Linden D., Reddy T.B. Handbook of Batteries. — 4th ed. — New York: McGraw-Hill, 2011. — 1200 p.
- [62] AES. Ultrasonic Atomizer Module Specification. — 2021.
- [63] Zhang Y., Li X., Wang S. Performance of ultrasonic atomizers for disinfection // Journal of Aerosol Science. — 2019. — Vol. 132. — P. 12-22.

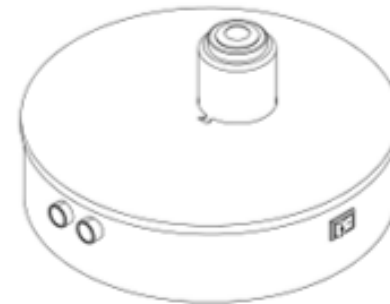
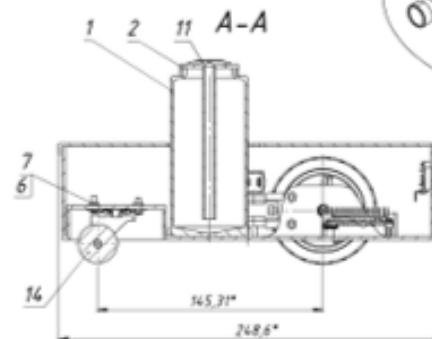
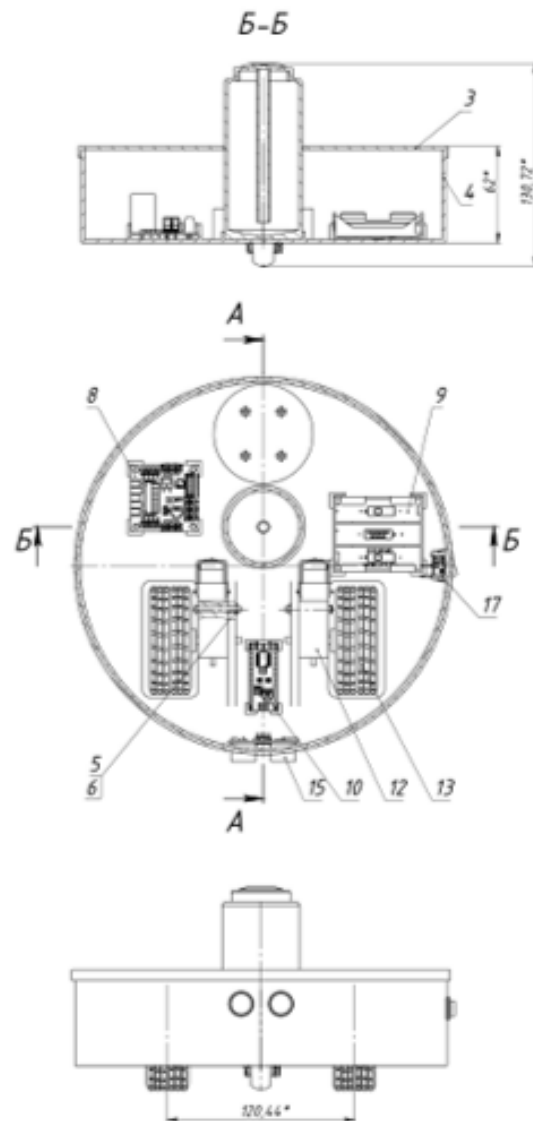
- [64] Kissell T.E. Industrial Electronics. — 3rd ed. — Upper Saddle River: Pearson, 2010. — 896 p.
- [65] Prom.ua. Ціни на електронні компоненти, травень 2026 р. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://prom.ua/Elektronika> (дата звернення: 01.06.2026).
- [66] Ulbrich H. Economics of Scale in Manufacturing. — Berlin: Springer, 2018.
- [67] Siegwart R., Nourbakhsh I.R., Scaramuzza D. Introduction to Autonomous Mobile Robots. — 2nd ed. — Cambridge: MIT Press, 2011. — 472 p.
- [68] Battery capacity calculation method // Journal of Power Sources. — 2020. — Vol. 450. — Article 227650.
- [69] Gibson I., Rosen D., Stucker B. Additive Manufacturing Technologies. — 3rd ed. — Berlin: Springer, 2021. — 498 p.
- [70] Wittbrodt B.T. et al. Life-cycle economic analysis of distributed manufacturing with open-source 3-D printers // Mechatronics. — 2013. — Vol. 23, No 6. — P. 713-726.
- [71] Rodzen K. Chemical resistance of PETG printed parts to hydrogen peroxide solutions // Polymer Degradation and Stability. - 2022. - Vol. 195. - Article 109793.
- [72] Monk S. Programming Arduino: Getting Started with Sketches. - 2nd ed. - New York : McGraw-Hill, 2016. - 192 p.
- [73] Blum J. Exploring Arduino: Tools and Techniques for Engineering Wizardry. - Indianapolis : Wiley, 2013. - 356 p.
- [74] Wokwi Online Simulator [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://wokwi.com/> (дата звернення: 01.06.2026). Проект: <https://wokwi.com/projects/464322144954392577>.
- [75] Rashid M.H. Power Electronics: Circuits, Devices and Applications. - 4th ed. - Upper Saddle River : Pearson, 2013. - 1056 p.
- [76] Horowitz P., Hill W. The Art of Electronics. - 3rd ed. - Cambridge : Cambridge University Press, 2015. - 1224 p.
- [77] Kinsler L.E., Frey A.R., Coppens A.B., Sanders J.V. Fundamentals of Acoustics. - 4th ed. - New York : Wiley, 1999. - 560 p.

Додаток А

Формат	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кіл.	Примітка	
Перв. застосує.							
				<u>Документація</u>			
	A2		ДПБ.ПБ22.05.1702.000 СК	Складальний кресленик			
				<u>Деталі</u>			
	A4	1	ДПБ.ПБ22.05.1702.001	Бак	1		
	A4	2	ДПБ.ПБ22.05.1702.002	Кришка бака	1		
	A4	3	ДПБ.ПБ22.05.1702.003	Кришка корпусу	1		
Довід. №	A3	4	ДПБ.ПБ22.05.1702.004	Корпус	1		
				<u>Стандартні вироби</u>			
		5		Гвинт М3х30	2		
				DIN 7985			
		6		Гайка М3	6		
				DIN 934			
		7		Гвинт М3х10	2		
				DIN 7985			
Підпис та дата				<u>Інші вироби</u>			
		8		L298N motor driver	1		
		9		Відсік для батарейок 3хАА	1		
		10		Arduino NANO v.3	1		
		11		Ultrasonic Nebulizer Humidifier	1		
		12		DC gear motor 5v	2		
		13		Колесо моделі автомобіля	2		
		14		Caster wheel	1		
Підпис та дата	ДПБ.ПБ22.05.1702.000						
	Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		
	Розроб.	Жигнлій Д.В.					
	Перев.	Клочко Т.Р.					
	Н.контр.						
	Затв.	Клочко Т.Р.					
	Специфікація						
	Інв. № ориг.	Автоматизований мехатронний дезинфектор приміщень				Лім.	Аркуш
					1	2	
				ФРП, КПІ ім. Ігоря Сікорського			

[illegible]

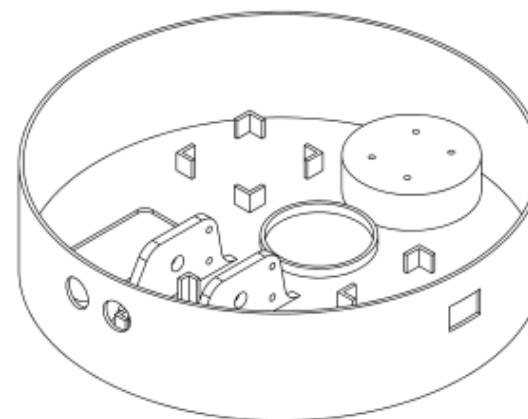
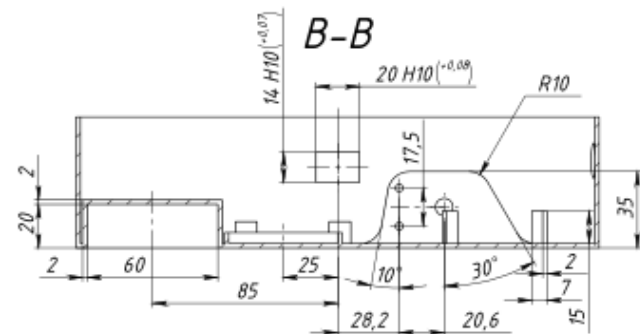
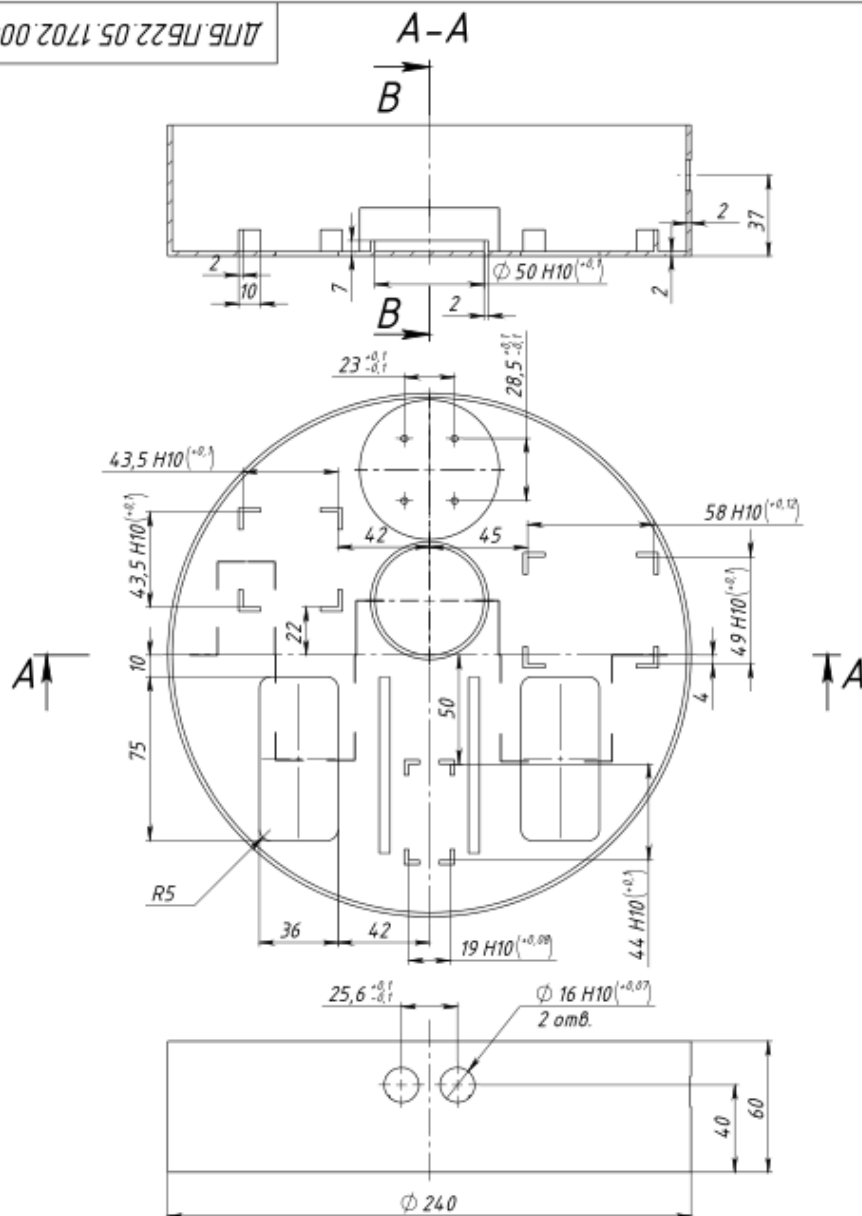
ДПБ.ПБ22.05.1702.000 СК



- 1 * Розміри для довідки;
2 Плати зафіксувати у відповідних посадочних місцях посадков з напівном;
3 Електричні компоненти з'єднати згідно Схеми електричної принципи/примітки типу Дурант

ДПБ.ПБ22.05.1702.000 СК				Лист	Рис.	Насити
Автоматизований мехатронний дезінфектор приміщень						1.2
Поліактив РІА ВСТУ ISO 1043-12022				Архив 1	Архив 1	
ФРП КІПІ ім. Ігоря Сікорського				Формат А3		
Ім'я, прізвище	Ім'я, прізвище	Ім'я, прізвище	Ім'я, прізвище			
Розроб	Класифікація	Д.В.	Класифікація			
Перев	Класифікація	Т.Р.	Класифікація			
Голов	Класифікація	Т.Р.	Класифікація			
Мод. АБ	Класифікація	Т.Р.	Класифікація			
Мод. АБ	Класифікація	Т.Р.	Класифікація			

ДПБ.ПБ22.05.1702.004



- Невказані граничні відхилення: $\pm H12$, $h12$, $IT12/2$.
- Метод виготовлення: адитивне виробництво (технологія FDM/FFF).
- Параметри адитивного процесу:
товщина шару – 0,2 мм;
заповнення внутрішньої структури – не менше 20%;
тип заповнення – $\frac{1}{2}$ сітка (grid).
- Видалити технологічні елементи (підтримки, брими, рафти), напливи та нитки пластику до досягнення чистої поверхні деталі.

Інв. № ориг. Підпис та дата Взам. інв. № Інв. № дубл. Підпис та дата

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

Змк.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата
Розроб.	Жиглій Д.В.			
Перев.	Клочко Т.Р.			
Т.контр.				
Н.контр.				
Утв.	Клочко Т.Р.			
Копія				

ДПБ.ПБ22.05.1702.004

Корпус

Поліактид PLA ДСТУ ISO 1043-1:2022

Літ.	Маса	Масштаб
		1:2
Аркуш	Аркушів	
ФРП, КПІ ім. Ігоря Сікорського		
Формат А3		

Перв. застосує.	ДПБ.ПБ22.05.1702.003				✓
Довід. №					
Підпис та дата	1. Невказані граничні відхилення: $\pm H12$, $h12$, $IT12/2$. 2. Метод виготовлення: адитивне виробництво (технологія FDM/FFF). 3. Параметри адитивного процесу: товщина шару – 0,2 мм; заповнення внутрішньої структури – не менше 20%; тип заповнення – $\frac{1}{4}$ сітка $\frac{1}{2}$ (grid). 4. Видалити технологічні елементи (підтримки, дрими, рафти), напливи та нитки пластику до досягнення чистої поверхні деталі.				
Інв. № дудл.	ДПБ.ПБ22.05.1702.003				
Взам. інв. №	Кришка бака				Лім.
Підпис та дата	Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата
Інв. № ориг.	Поліактид PLA ДСТУ ISO 61043-1:2022				Маса
	ФРП, КПІ ім. Ігоря Сікорського				Масштаб
	2:1				Аркуш
	Аркушів 1				Формат A4

Довід. №	Перв. застосує.	ДПБ.ПБ22.05.1702.001																																	
Підпис та дата	Інв. № дубл.	Інв. №	Взам. інв. №	1. Невказані граничні відхилення: $\pm H12, h12, IT12/2$. 2. Метод виготовлення: адитивне виробництво (технологія FDM/FFF). 3. Параметри адитивного процесу: товщина шару – 0,2 мм; заповнення внутрішньої структури – не менше 20%; тип заповнення – $\frac{1}{4}$ сітка $\frac{1}{2}$ (grid). 4. Видалити технологічні елементи (підтримки, дрими, рафти), напливи та нитки пластику до досягнення чистої поверхні деталі.																															
Підпис та дата	Інв. № ориг.	ДПБ.ПБ22.05.1702.001				<table border="1"> <tr> <td colspan="2">Лім.</td> <td>Маса</td> <td>Масштаб</td> </tr> <tr> <td colspan="2"></td> <td></td> <td>1:1</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Аркуш</td> <td colspan="2">Аркушів 1</td> </tr> </table>				Лім.		Маса	Масштаб				1:1	Аркуш		Аркушів 1															
		Лім.		Маса	Масштаб																														
			1:1																																
Аркуш		Аркушів 1																																	
<table border="1"> <tr> <td>Змн. Арк.</td> <td>№ докум.</td> <td>Підп.</td> <td>Дата</td> </tr> <tr> <td>Розроб.</td> <td>Жиглій Д.В.</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Перев.</td> <td>Ключко Т.Р.</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Т.контр.</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Нач. КБ</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Н.контр.</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Утв.</td> <td>Ключко Т.Р.</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>		Змн. Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	Розроб.	Жиглій Д.В.			Перев.	Ключко Т.Р.			Т.контр.				Нач. КБ				Н.контр.				Утв.	Ключко Т.Р.			Бак		Поліактид PLA ДСТУ ISO 1043-1:2022		ФРП, КПІ ім. Ігоря Сікорського	
Змн. Арк.	№ докум.	Підп.	Дата																																
Розроб.	Жиглій Д.В.																																		
Перев.	Ключко Т.Р.																																		
Т.контр.																																			
Нач. КБ																																			
Н.контр.																																			
Утв.	Ключко Т.Р.																																		

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

Копіював

Формат A4