

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

**Радіотехнічний факультет  
Кафедра прикладної радіоелектроніки**

«На правах рукопису»  
УДК \_\_\_\_\_

«До захисту допущено»  
Завідувач кафедри  
\_\_\_\_\_ Михайло Степанов  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р

**Магістерська дисертація**

**на здобуття ступеня магістра**

**за освітньо-професійною програмою «Інтелектуальні технології  
мікросистемної радіоелектронної техніки»**

**за спеціальністю 172 «Телекомунікації та радіотехніка»**

**на тему: «Пристрій допомоги незрячим у просторовому орієнтуванні»**

Виконав:  
студент 2 курсу, групи РІ-01мп  
Мальцев Максим Олександрович



Керівник:  
доцент, к.т.н.  
Адаменко Юлія Федорівна



Рецензент:  
к.т.н., ст.викл  
Товкач Ігор Олегович



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

Студент 

Київ – 2021 року

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

**Радіотехнічний факультет**

**Кафедра прикладної радіоелектроніки**

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

Освітньо-професійна програма «Інтелектуальні технології мікросистемної радіоелектронної техніки»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о.зав. кафедрою

\_\_\_\_\_ Михайло СТЕПАНОВ

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ**

**на магістерську дисертацію студента  
Мальцева Максима Олександровича**

1. Тема дисертації « Пристрій допомоги незрячим у просторовому орієнтуванні»

науковий керівник дисертації доцент, к.т.н., Адаменко Юлія Федорівна, затверджені наказом по університету від «15» листопада 2021 р. №3744-с

2. Термін подання студентом дисертації 16 грудня 2021 року

3. Об'єкт дослідження є сучасні ультразвукові та оптичні дальноміри, на основі яких буде розроблений прилад \_\_\_\_\_

4. Предмет дослідження: створення схеми електричної принципової, та робочої моделі корпусу.

5. Перелік завдань, які потрібно розробити: 1. Розгляд та аналіз аналогічних пристроїв, та їх схемотехнічних рішень, 2. Вибір чутливих елементів та

аналіз їх діаграми направленості, 3. Розробка схемотехнічного рішення та тривимірної моделі пристрою.

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу Мультимедійна презентація.

7. Орієнтовний перелік публікацій \_\_\_\_\_

9. Дата видачі завдання 1 вересня 2021 року

#### Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Узгодження та аналіз ТЗ з науковим керівником	01.09.2021	
2	Огляд аналогічних пристроїв;		
3	Проведення дослідження раціонального розміщення давачів;		
4	Аналіз результатів та висновки;		
5	Проектування схеми електричної принципової та розробка корпусу;		
6	Стартап проєкт		
7	Представлення результатів	16.12.2021р	

Студент



Максим МАЛЬЦЕВ

Науковий керівник



Юлія АДАМЕНКО

## АНОТАЦІЯ

Обсяг пояснювальної записки магістерської дисертації становить 62 сторінку, що містить 4 розділи, 29 ілюстрацій, 27 таблицю та 24 посилання.

Проведено аналіз існуючих аналогів, визначено особливості схожих пристроїв, їх переваги та недоліки. Встановлено актуальність розробки пристрою. Проведено огляд чутливих елементів, обрано два типи дальномірів. Проведено аналіз раціонального розміщення чутливих елементів на тілі людини. В результаті визначено параметри встановлення датчиків. Спроектовано корпус пристрою та проведено аналіз його моделі.

Особливістю розробленого пристрою є надання об'ємного представлення про простір перед користувачем, за допомогою перекриття максимальної площі цього простору, та розбиття його на зони з окремими сигналізаторами.

Ключові слова: ультразвуковий дальномір, інфрачервоний дальномір, датчик, незрячий, соціальна адаптація, пристрій.

## **ABSTRACT**

The master dissertation consists of an explanatory note of 62 pages which include 4 chapters, 29 illustrations, 27 tables and 24 references.

The analysis of existing analogues is carried out, features of similar devices, their advantages and lacks are defined. The relevance of device development has been established. A review of sensitive elements was conducted, two types of rangefinders were selected. An analysis of the rational placement of sensitive elements on the human body was carried out. As a result, the parameters for installing sensors have already been determined. The case of the device is designed and the analysis of its model is carried out.

A feature of the developed device is to provide a three-dimensional view of the space in front of the user, by overlapping the maximum area of this space, and divide it into zones with separate alarms.

Keywords: ultrasonic sensor, infrared sensor, sensor, blind, social adaptation, device.

## ЗМІСТ

Перелік скорочень.....	4
Вступ.....	5
1 Огляд аналогів .....	6
1.1 Загальні відомості .....	6
1.2 Огляд та аналіз аналогів .....	6
1.2.1 Електронна тростина RAY.....	6
1.2.2 Ультразвуковий «ліхтар» для сліпих Сонар-5УФ-В4 .....	7
1.2.3 Розумна тростина «Робін» .....	8
1.2.4 Тростина «mySmartCane».....	10
2 Розробка пристрою .....	14
2.1 Вибір чутливих елементів .....	14
2.1.1 Ультразвуковий дальномір HC-SR04 .....	14
2.1.2 Ультразвуковий дальномір URM37 v5.0 .....	16
2.1.3 Ультразвуковий дальномір US-100.....	17
2.1.4 Інфрачервоний давач VL53L0X-v2 .....	18
2.2 Обґрунтування конструкції .....	20
2.2.1 Аналіз діаграми направленості, та пошук раціонального варіанту розміщення дальномірів.....	21
3 Розробка схеми та корпусу пристрою.....	31
3.1 Аналіз схемотехнічних рішень .....	31
3.2 Розробка схеми електричної принципової .....	32
3.3 Алгоритм роботи.....	33
3.4 Конструкція пристрою .....	35

4 Розробка стартап-проекту .....	39
4.1 Опис ідеї проекту .....	39
4.1.1 Аналізування потенційних техніко-економічних переваг ідеї порівняно із пропозиціями конкурентів. ....	39
4.2 Технологічний аудит ідеї проекту.....	40
4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту.....	41
4.3.1 Проведення аналізу попиту: наявність попиту, обсяг, динаміка розвитку ринку (табл. 4.4). ....	41
4.3.2 Визначення потенційної групи клієнтів, їх характеристик, та формування орієнтовного перелік вимог до товару для кожної групи (табл. 4.5).....	41
4.3.3 Аналіз ринкового середовища .....	42
4.3.4 Аналіз пропозиції.....	43
4.3.5 Детальний аналіз умов конкуренції в галузі .....	44
4.3.6 Визначення та обґрунтування переліку факторів конкурентоспроможності. ....	45
4.3.7 Аналіз сильних та слабких сторін стартап-проекту .....	45
4.3.8 Складання SWOT-аналізу. ....	46
4.3.9 Розроблення переліку заходів для виведення стартап-проекту на ринок.....	46
4.4 Розроблення ринкової стратегії проекту .....	47
4.4.1 Визначення стратегії охоплення ринку. ....	47
4.4.2 Формування базової стратегії розвитку.....	48
4.4.3 Вибір стратегії конкурентної поведінки.....	48
4.4.4 Розробка стратегії позиціонування.....	48
4.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту.....	49

4.5.1 Формування маркетингової концепції товару, який отримає споживач (табл. 4.18). .....	49
4.5.2 Розробка трирівневої маркетингової моделі товару .....	49
4.5.3 Аналіз фінансових аспектів.....	50
4.5.4 Визначення оптимальної системи збуту (табл. 4.21). .....	51
Висновки .....	52
Перелік джерел посилань .....	55



## ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

*DC — Direct current*

*OEM — Original equipment manufacturer*

*PWM — Pulse-width modulation*

*SWOT — Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats*

*ToF — Time of Flight*

*TTL — Time to live*

*UART — Universal Asynchronous Receiver-Transmitter*

*USB — Universal Serial Bus*

ІЧ — Інфрачервоний

ПЗ — Програмне забезпечення

УЗ — Ультразвук

## ВСТУП

Найважливіша функція зору – орієнтація в просторі і сприймання інформації про навколишній світ. Серйозні порушення зору, або повна сліпота, суттєво впливають на якість життя людини, змінюючи її в негативну сторону. По всьому світу ведуться розробки пристроїв, що призначені полегшити життя сліпих, та людей з поганим зором.

**Актуальність теми** обумовлена наявністю попиту на пристрої допомоги незрячим у просторовому орієнтуванні. На даний час основна частина таких приладів виготовляється за кордоном, і тому при замовленні такого пристрою його вартість може становити від кількох сотень доларів. Враховуючи простоту таких пристроїв, і використовуючи сучасні радіокомпоненти, на даний час, є можливість запустити власне виробництво таких приладів в Україні.

**Метою даної роботи** розробити пристрій, що призначений допомогти у просторовому орієнтуванні сліпим та сліпоглухим людям, що буде вигідно перевищувати продукти конкурентів, та при цьому буде дешевший.

**Об'єктом дослідження** пристрої допомоги незрячим у просторовому орієнтуванні.

**Предмет дослідження:** вибір та аналіз параметрів розміщення чутливих елементів для ефективної роботи пристрою, створення схеми електричної принципової та робочої моделі корпусу.

**Методи дослідження:** експериментальне дослідження за допомогою тривимірного моделювання, та візуальної оцінки результатів.

## 1 ОГЛЯД АНАЛОГІВ

### 1.1 Загальні відомості

Частіше за все, девайсами для незрячих є розробки на основі ультразвукових давачів, що призначені детектувати перешкоди. Про наявність перешкоди сигналізують звуковими сигналами, або вібрацією. Відбувається це наступним чином: УЗ-давач посилає імпульси з певною частотою, і приймає їх назад, якщо в зоні видимості є якісь перешкоди. Знаючи швидкість звуку, і час між моментом генерації імпульсу і до прийому відбитого ехо-сигналу, можна порахувати відстань до перешкоди, і вчасно попередити про це користувача. Також серед деяких не комерційних розробок зустрічаються локатори на основі ІЧ-давача перешкод, та схожі пристрої на основі лазерних систем. Принцип роботи чутливих елементів схожий до уже розглянутого, заснований на прийомі відбитих ехо-імпульсів. В даному розділі в якості аналогів розроблюваного пристрою розглянуто деякі із уже існуючих девайсів.

### 1.2 Огляд та аналіз аналогів

#### 1.2.1 Електронна тростина RAY

Пристрій (рис. 1.1) використовується як додаток до звичайної тростини, призначений для виявлення перешкод.



Рисунок 1.1 — Електронна тростина RAY [1]

Він має зручну особливість - додатковий режим роботи «*Escape*», в якому користувач зможе знаходити дверні отвори, або проходи [1]. Пристрій но-

ситься в руці, перешкоди виявляються шляхом направлення давача до імовірного об'єкту.

Основні характеристики:

1. Чутливий елемент – УЗ-локатор.
2. Дальність виявлення перешкод – до 2,85 м.
3. Живлення від двох батарейок типу ААА, по 1,5 В.
4. Вага – 50 г (включно з батареями).
5. Наявний порт *Mini-Jack*.
6. Спосіб сповіщення користувача – тональний звуковий сигнал (через навушники), або тактильно – через вібрацію (вмонтованим віброіндикатором).
7. Ціна – 360 доларів (приблизно 9680 грн).

Недоліки: висока ціна; необдуманий спосіб заміни елементів живлення (потрібно зняти кришку з батарейного відсіку, яка ніяк не прикріплена до корпусу і може випасти з рук та загубитися); детектування перешкод лише одним видом чутливого сенсора.

### **1.2.2 Ультразвуковий «ліхтар» для сліпих Сонар-5УФ-В4**

Пристрій (рис. 1.2) також використовується як додаток до звичайної тростини, призначений для виявлення перешкод. Девайс носить в руці, або на грудях, перешкоди виявляються шляхом направлення давача до імовірного об'єкту.



Рисунок 1.2 — Ультразвуковий «ліхтар» для сліпих Сонар-5УФ-В4 [2]

Зручною особливістю пристрою є можливість змінювати максимальну дальність виявлення об'єктів. Віброіндикатор виносний, з'єднаний із основним блоком через кабель, оснащений прищепкою для фіксації на одязі [2].

Основні характеристики:

1. Чутливий елемент – УЗ-локатор.
2. Дальність виявлення циліндричного об'єкту висотою 2 м і діаметром 50 мм не менш ніж 1,5 м. Дальність виявлення плоскої поверхні розміром від одного квадратного метра, що розміщена перпендикулярно осі локації не менш ніж 3,0 м.
3. Діапазон ручної установки максимальної дальності виявлення об'єктів від 1 до 7 метрів.
4. Живлення від акумулятора протягом 4 годин безперервної роботи. Зарядка пристрою відбувається від мережі 220 В, 50 Гц (протягом 10 годин).
5. Вага – 200 г.
6. Наявний порт *Mini-Jack*.
7. Спосіб сповіщення користувача – тональний звуковий сигнал (через навушники), або тактильно – через вібрацію (виносним віброіндикатором).
8. Ціна – 5000 грн.

Недоліки: висока ціна; світловий індикатор заряду батареї; детектування перешкод лише одним видом чутливого сенсора; довгий час зарядки.

### ***1.2.3 Розумна тростина «Робін»***

Інтелектуальний пристрій «Робін» заснований на роботі з штучним інтелектом, що розпізнає обличчя, попереджає про перешкоди і допомагає орієнтуватися людям з порушеннями зору (сліпим і сліпоглухим) як на вулиці, так і в приміщенні. «Робін» може працювати із дисплеями Брайля, та виводити інформацію про зафіксовані в пам'яті пристрою об'єкти на цифрові носії. Та-

кож пристрій (рис. 1.3) підключається по інтерфейсу *Bluetooth* до телефону, і може бути використаний для його пошуку в радіусі 10 м [3].



Рисунок 1.3 — Розумна тростина «Робін» [3]

Основні характеристики:

1. Чутливі елементи – дві камери, УЗ-локатор.
2. Дальність виявлення перешкод – до 10 м.
3. Живлення від вмонтованого акумулятора протягом 3 годин.
4. Розпізнання і озвучування речей.
5. Обчислення відстані до предметів, чи об'єктів.
6. Вага – 480 г.
7. Наявний порт *Mini-Jack, Mini-USB*.
8. Спосіб сповіщення користувача – тональний звуковий сигнал (через навушники), тактильно – через вібрацію (вмонтованим віброіндикатором), голосом (через навушники).
9. Ціна – 2320 доларів (приблизно 63 тис. грн).

Недоліки: висока ціна; світловий індикатор заряду батареї; власне для детектування перешкод використовується всього один УЗ-давач; довгий час зарядки (6 годин).

### 1.2.4 Тростина «mySmartCane»

Тростина (рис. 1.4) відрізняється від класичної наявністю в нижній частині кулі, в якій вмонтований ультразвуковий давач. Принцип роботи схожий на роботу автомобільного парктроніка – чим ближче давач до перешкоди, тим більша частота звукових сигналів, що передаються в навушники користувача [4].



Рисунок 1.4 — Тростина «mySmartCane» [4]

Шляхом маніпуляції тростини в просторі, можна побудувати відносно безпечний маршрут у приміщенні. Даний проект знаходиться на стадії ранньої розробки, розробник планує модернізувати пристрій шляхом збільшення кількості давачів, що будуть давати більш об'ємну інформацію про оточуючий світ.

Недоліки: детектування перешкод лише одним видом чутливого сенсора; неможливість виявлення одночасно різних видів перешкод, наприклад шлагбаум і сходинку.

### Постановка задачі

На даний час комерційних пристроїв для покращення орієнтації в просторі сліпих людей дуже мало. Некомерційні розробки, як правило, на порядок дешевші, але і менш функціональні. Основна їх частина реалізована на

базі Arduino, де чутливими елементами обрані УЗ-давачі. Також існує багато розробок, що знаходяться на стадії стартап проекту.

Порівняння основних характеристик розглянутих існуючих моделей наведено в табл.1.1.

Таблиця 1.1 - Порівняння основних характеристик розглянутих пристроїв

Назва	Тип давача	Діапазон відстаней	Наявність дод. функцій	Живлення	Ціна
<i>RAY</i>	УЗ	3 см - 2,85 м	-	2 х ААА (3В)	9680 грн.
Сонар-5УФ-В4	УЗ	1 м - 7 м	-	Акумулятор (4 год. роботи)	5000 грн.
Робін	УЗ, дві камери	3 см - 10 м	+	Акумулятор (3 год. роботи)	63000 грн.
<i>mySmart Cane</i>	УЗ	2 м	-	2 х АА (3В)	12000 грн.

Розглянуті пристрої для орієнтації сліпих людей у просторі мають достатньо велику вартість, не зважаючи на їх простоту. Використовуючи сучасні складові та деталі, можна розробити ефективніший девайс за більш доступну ціну.

Проаналізувавши існуючі пристрої, видно, що бажаючи зробити найбільш простим і доступним, розробники використали чутливий елемент одного типу. Використання давачів одного типу спрощує конструкцію, однак створює певний ризик для користувача, що обумовлений особливостями функціонування давачів. Наприклад, УЗ-давач не завжди успішно справляється з визначенням відстані до ворсистих, пористих, та матеріалів з тканини, так як такі матеріали можуть поглинати ультразвукові імпульси. Також на зняті показники впливає погіршення погодних умов, наприклад низька температу-



ра, або висока вологість, тому використовувати його в деяких ситуаціях ненадійно. Аналогічно, у ІЧ-давача є свої особливості роботи, що можуть створити певну проблему для користувача. Наприклад, ІЧ світло не відбивається від скляних, або просто прозорих поверхонь, а проходить крізь них, і таким чином перешкода не детектується.

Отже, для нівелювання вищеописаних особливостей чутливих елементів, доцільно використати одночасно кілька типів давачів. Враховуючи велику вартість лазерних вимірювачів відстані, та їхню потенційну шкоду, що вони можуть нанести – вирішено зупинитися на збірці із ІЧ- і УЗ-давачів.

При розробці пристрою необхідно обрати керуючий елемент (плата з мікропроцесором і готовим програматором), сигналізатор, що буде сповіщати про перешкоди, елементи живлення, та спосіб їх зарядки/заміни.

Для того, щоб кожен зміг повторити розроблюваний пристрій, з метою допомогти сліпій людині, в якості основного елемента конструкції буде використовуватися одна із популярних програмних платформ.

В якості УЗ-локатора можна використати популярний давач *HC-SR04*, або його модернізовані аналоги.

В якості ІЧ-давача потрібно обрати вимірювач із покоління *ToF (Time-of-Flight)*, так як такі моделі характеризуються високою точністю показників вимірювання, не залежно від відбиваючих характеристик поверхні вимірюваного об'єкту, на відміну від традиційних технологій.

Так як сліпі люди більшість інформації сприймають в аудіо форматі, доцільно не використовувати звукову сигналізацію перешкоди. В якості дешевої та не менш ефективної альтернативи можна обрати віброіндикатори. В свою чергу, як індикатор вмикання та вимикання пристрою, можна використати п'єзокерамічний звуковипромінювач.

Живлення системи найкраще буде організувати від акумулятора, щоб запобігти ситуації втрати компонентів пристрою.

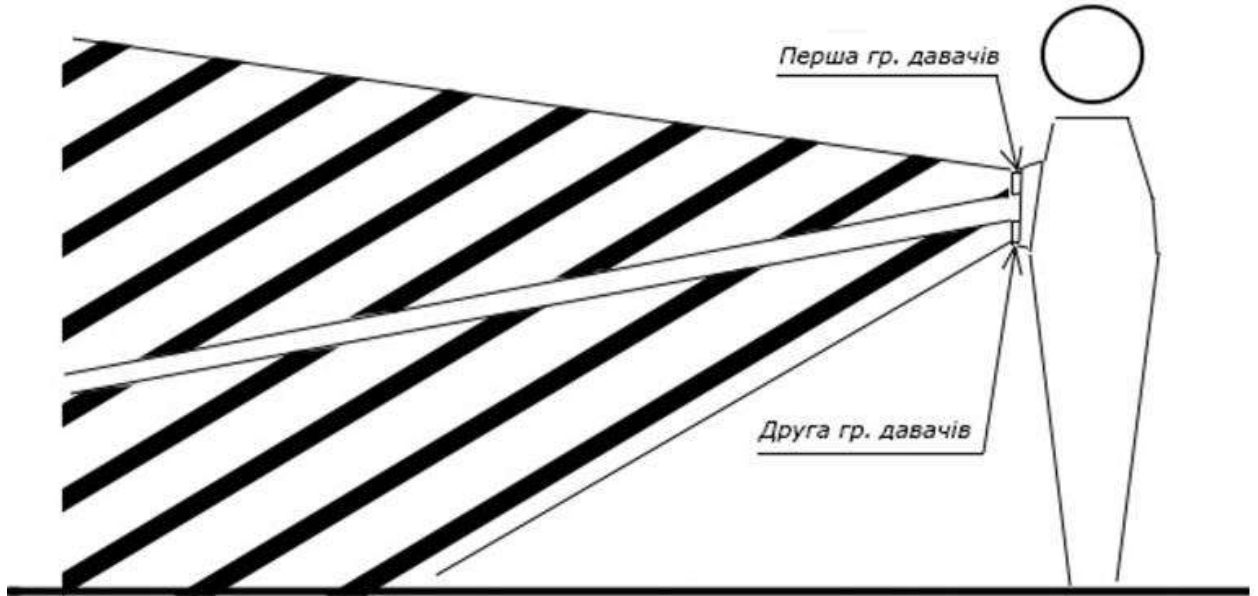


Рисунок 1.5 — Приклад розміщення датчиків відстані

Враховуючи недоліки уже готових пристроїв, а саме неможливість одночасного детектування перешкод на різних висотах, доцільно розмістити кілька груп датчиків відстані, як показано на рис. 1.5.

## 2 РОЗРОБКА ПРИСТРОЮ

### 2.1 Вибір чутливих елементів

Для огляду наявних на ринку чутливих елементів обрано найпоширеніші та найдоступніші моделі, та наведено їх основні характеристики.

#### 2.1.1 Ультразвуковий дальномір HC-SR04

Дальномір (Рис. 2.1) являється прибором безконтактного типу.

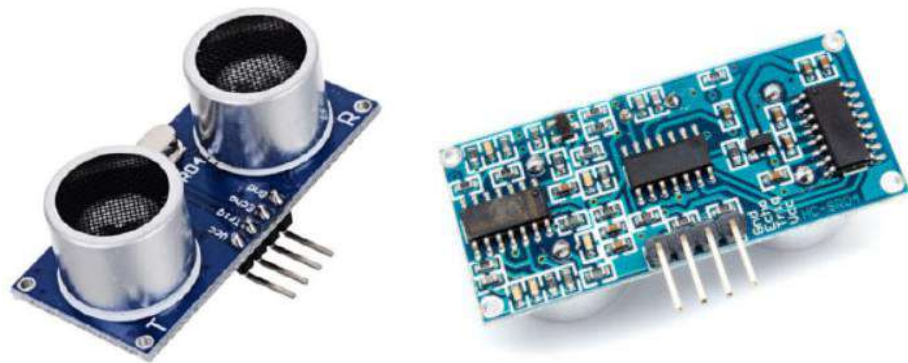


Рисунок 2.1 – Ультразвуковий давач *HC-SR04* [5]

В основі принципу роботи лежить ехолокація. Давач складається з випромінювача сигналу, що генерує ультразвукові хвилі, приймача, що детектує відбиті «ехо» сигнали, і обв'язки для коректної роботи модуля. Спрощено принцип роботи даного давача можна представити наступним чином (рис. 2.2). Дальномір генерує хвилі частотою 40 кГц.

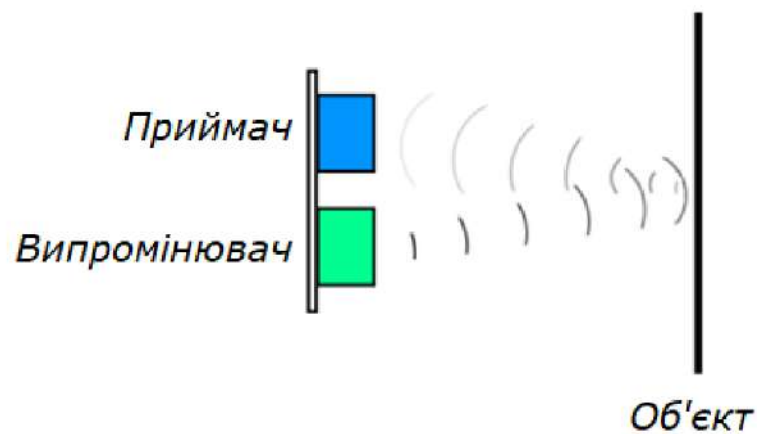


Рисунок 2.2 – Рух ультразвукового сигналу від випромінювача до приймача [6]

Після того, як ці хвилі відіб'ються від об'єкту і повернуться на приймач, давач надасть інформацію про час, який був затрачений на проходження звуку від давача до об'єкту і на зворотній напрямок загалом. За оглянутим принципом роботи працюють більшість давачів такого типу, враховуючи ті, що будуть розглянуті нижче.

Попит на цей пристрій зумовлений його низькою ціною, та простотою в налаштуванні та використанні. Він достатньо популярний, і часто використовується для різноманітних розробок в робототехніці [5].

Основні характеристики давача наведено в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Характеристики дальноміра *HC-SR04*

Характеристика	Значення
Тип	Ультразвуковий
Похибка	$\pm 3$ мм
Діапазон вимірювання	Від 2 до 400 см
Тип сигналу на виході	Цифровий
Вартість	30 грн.

Недоліком давача є збільшення похибки вимірювань до  $\pm 3$  см при детектуванні перешкод на відстані, що перевищує 3-3,5 м. Також, за умови несприятливих погодних умов, таких як підвищена вологість, або низька температура, наявні похибки в виміряних показниках. Цю проблему можна вирішити, використавши модернізований аналог з інтегрованою температурною поправкою значень. Також, можна реалізувати самому дану поправку використавши не дорогий давач вологості та температури, наприклад *DHT11* [7].

### 2.1.2 Ультразвуковий дальномір *URM37 v5.0*

*URM37 v5.0* (Рис. 2.3) є потужним вимірювачем відстані, з температурною компенсацією для забезпечення точного вимірювання відстані в місцях з непостійною температурою.



Рисунок 2.3 – Ультразвуковий давач *URM37 v5.0* [8]

Модуль має елемент для вимірювання температури, що відображає температуру навколишнього середовища з роздільною здатністю 0.1 °С.

Вимірювач оснащений функцією керування сервоприводом. Давач можна поєднати з сервоприводом у вимірювальний модуль для сканування перешкод в діапазоні 0 ~ 180 °.

Пристрій може працювати з різними інтерфейсами, наприклад RS232, TTL, *PWM*, і також має можливість передавати зняті значення напруги, що пропорційні отриманим значенням відстані через аналоговий вихід, для підключення до платформи *Arduino*, або до схожих платформ [8].

Основні характеристики давача наведено в табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Характеристики дальноміра *URM37 v5.0*

Характеристика	Значення
Тип	Ультразвуковий
Похибка	±3 %
Діапазон вимірювання	Від 2 до 800 см

Характеристика	Значення
Тип сигналу на виході	Аналоговий
Вартість	480 грн.

Основним недоліком є порівняно велика вартість даного давача.

### 2.1.3 Ультразвуковий дальномір US-100

US-100 – дальномір (Рис. 2.4), що працює за принципом ехолокації. Переважна кількість УЗ-давачів не обчислюють самостійно відстань до об'єкта, а надсилають мікроконтролеру інформацію про час, за який сигнал повернувся назад до давача.

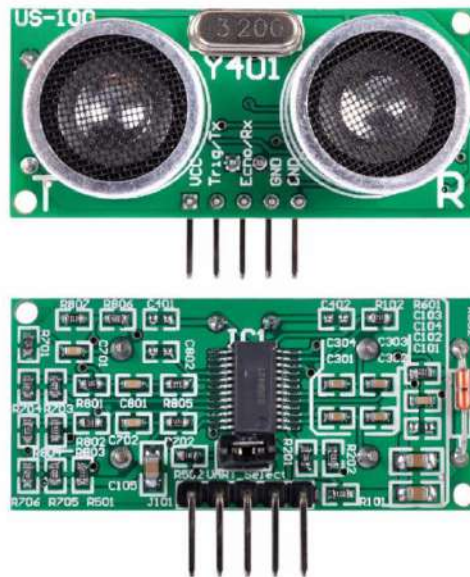


Рисунок 2.4 – Ультразвуковий дальномір US-100 [9]

Всі необхідні розрахунки для обчислення відстані виконує мікропроцесор, зв'язаний з давачем. Але є і такі дальноміри, що самі виконують необхідні обчислення і надають на виході вже готовий результат.

Описаний вимірювач підтримує обидва способи взаємодії. З одного боку це дозволяє використовувати його в схемах і програмах, призначених для датчиків першого типу (наприклад, HC-SR04). З іншого боку ми можемо звільнити мікроконтролер від описаних вище розрахунків і отримувати з датчика результат вимірювань через послідовний інтерфейс (в даному випадку –

UART). А з урахуванням того, що *US-100* має вбудовану термокомпенсацію, результати розрахунків на стороні датчика будуть більш точними. Одночасно можна отримувати дані про відстань і інформацію про температуру оточуючого середовища, що в свою чергу надає можливість використовувати давач для деяких цілей. Наприклад, можна вносити поправки в виміряні значення інших давачів [9].

Основні характеристики давача наведено в табл. 2.3.

Таблиця 2.3 – Характеристики дальноміра *US-100*

Характеристика	Значення
Тип	Ультразвуковий
Похибка	$\pm 3\%$
Діапазон вимірювання	Від 2 до 450 см
Тип сигналу на виході	Цифровий
Вартість	60 грн.

Недоліком даного пристрою є невелика популярність, яка впливає на можливість придбання давача. Але, найбільш вірогідно, що це пов'язано з тим, що версія «100» нещодавно з'явилася на ринку, на заміну більш відомому попереднику *US-025* [10].

#### 2.1.4 Інфрачервоний давач *VL53L0X-v2*

Даний ІЧ-давач (Рис. 2.5) представляє собою нове покоління *ToF* (*Time of Flight*) давачів відстані.

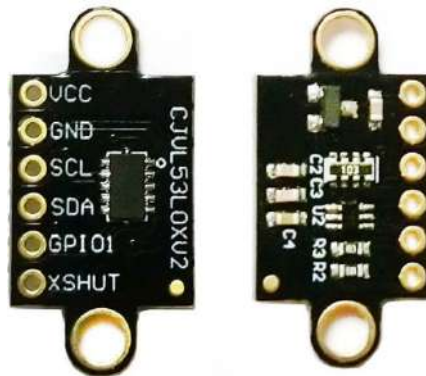


Рисунок 2.5 – Інфрачервоний давач *VL53L0X-v2* [11]

Вони забезпечують високу точність вимірювання значень відстані, і при цьому мають відносно малі габаритні розміри. Відбиваючі поверхні об'єктів, що вимірюються, не впливають на спотворення отриманих пристроєм значень, на відміну від традиційних технологій лазерних вимірювачів.

Оптичний сигнал, що випромінюється пристроєм, має довжину хвилі 940 нм. Такий сигнал повністю невидимий для людського ока, що дозволяє нівелювати ризик шкоди здоров'ю. Також пристрій облаштований інтегрованим ІЧ-фільтром, що дає меншу чутливість до рівня зовнішнього освітлення, і стійкість до перехресних завад, що викликаються скляними поверхнями [11].

Основні характеристики давача наведено в табл. 2.4.

Таблиця 2.4 – Характеристики давача *VL53L0X-v2*

Характеристика	Значення
Тип	Інфрачервоний
Похибка	±2,5 %
Діапазон вимірювання	Від 3 до 200 см
Тип сигналу на виході	Аналоговий
Вартість	130 грн.

Недоліком даного модуля є порівняно висока вартість, але слід зазначити, що серед запропонованих на ринку оптичних випромінювачів, давач *VL53L0X-v2* має найбільш підходяще співвідношення ціни і максимальної довжини вимірювання, являючи собою достатньо бюджетний пристрій. Вартість оптичних вимірювачів з більшою максимальною довжиною вимірювання зростає в геометричній прогресії, і використання потужніших дальномірів є економічно не вигідним рішенням.



## **Висновок**

Оглянуто три моделі УЗ-дальномірів, з метою вибору найбільш підходящого для розроблюваного пристрою. Давачі аналогічні за принципом роботи, за єдиною суттєвою відмінністю, що стосується власне вимірних значень. Мова іде про температурну стабілізацію, яка відсутня у *HC-SR04*, і наявна у *URM37 v5.0* та у *US-100*. Інші додаткові функції давача *URM37 v5.0* не знадобляться для розроблюваного пристрою, навіть діапазон вимірювання до 8 метрів в умовах пересування населеним пунктом буде завдавати додаткових незручностей у користуванні.

Опираючись на вищеописані факти доцільно не завищувати вартість кінцевого пристрою. Вчинити можна наступним чином – обрати в якості УЗ-дальноміра бюджетну модель *HC-SR04* в збірці з модернізованим *US-100*, що оснащений схемою температурної стабілізації, і має покращені характеристики. Інформація про температурний стан оточуючого середовища буде використана для покращення результатів вимірювання давачів *HC-SR04*. Звичайно, можна використати окремий виносний давач температури для його подальшої взаємодії з кількома пристроями *HC-SR04*, проте враховуючи вимогу до простоти, доцільніше зупинитися на варіанті з різними давачами.

Інфрачервоний давач більш точний, порівняно з розглянутими УЗ-дальномірами. Його можна використати для детектування сходинки, або заглиблення в площині, що знаходиться попереду крокуючої людини, і розміщене на рівні умовної дороги.

## **2.2 Обґрунтування конструкції**

Для раціонального розміщення дальномірів на тілі людини необхідно розглянути діаграми направленості давачів та зробити висновок про їх потрібну кількість. Попередньо можна зазначити, що необхідно максимально «перекрити» простір перед людиною, щоб уникнути небажаних зіткнень з будь-якими об'єктами, що знаходяться на шляху сліпого. Також, як уже зазначало-

ся вище – використати ІЧ-дальноміри для виявлення сходінок, підвищень рівня поверхні, або детектування заглибин у поверхні.

### **2.2.1 Аналіз діаграми направленості, та пошук раціонального варіанту розміщення дальномірів.**

У двох розглянутих і обраних для подальшого дослідження дальномірів HC-SR04 та US-100 діаграми направленості є аналогічними. Одна з них наведена на рис. 2.6.

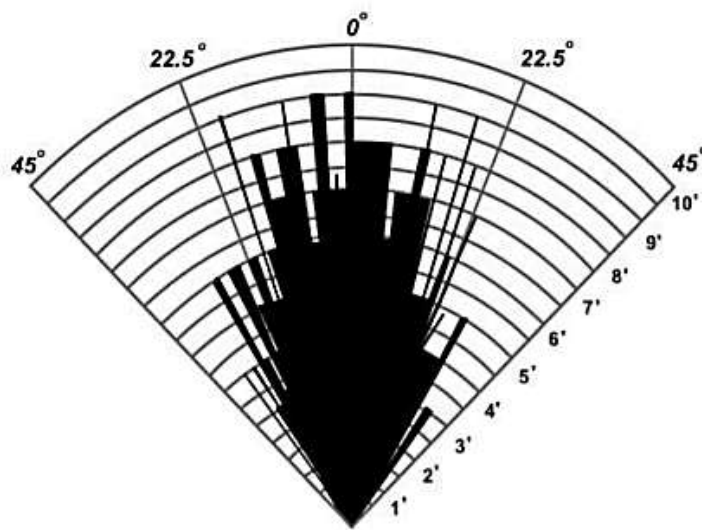


Рисунок 2.6 – Діаграма направленості обраних ультразвукових датчиків [6]

Ультразвуковий сигнал поширюється хвилею під кутом в 30 градусів, і нагадує форму конуса. Найбільш ефективним кутом вимірювання є 15 градусів, проте в такому разі сторонні об'єкти що трапляються поза зоною 15-ти градусного конуса, але знаходяться в межах 30-ти градусного — можуть вносити похибки у вимірювання.

Аналізуючи діаграму направленості, можна побачити, що найдовша вимірювана відстань, яку можна ефективно обрахувати за допомогою датчика, становить 9 футів, або приблизно 275 сантиметрів. Ця відстань може бути виміряна у межах умовного 15 градусного конуса. Для 30-ти градусної зони, максимальна ефективна відстань приблизно дорівнює 6 футам, або ж становить 183 сантиметрів. Слід зазначити, що заявлена виробником максимальна відстань яку можна виміряти — 4 м, але це стосується об'єктів з рівними

плоскими сторонами загальною площею 1 кв. метр і більше, що розташовані перпендикулярно до давача [12]

Отже, при моделюванні будуть використані схематичні конусні моделі діаграм направленості ультразвукових давачів. Умовна модель виконана в середовищі *SolidWorks*, і наведена на рис. 2.7.

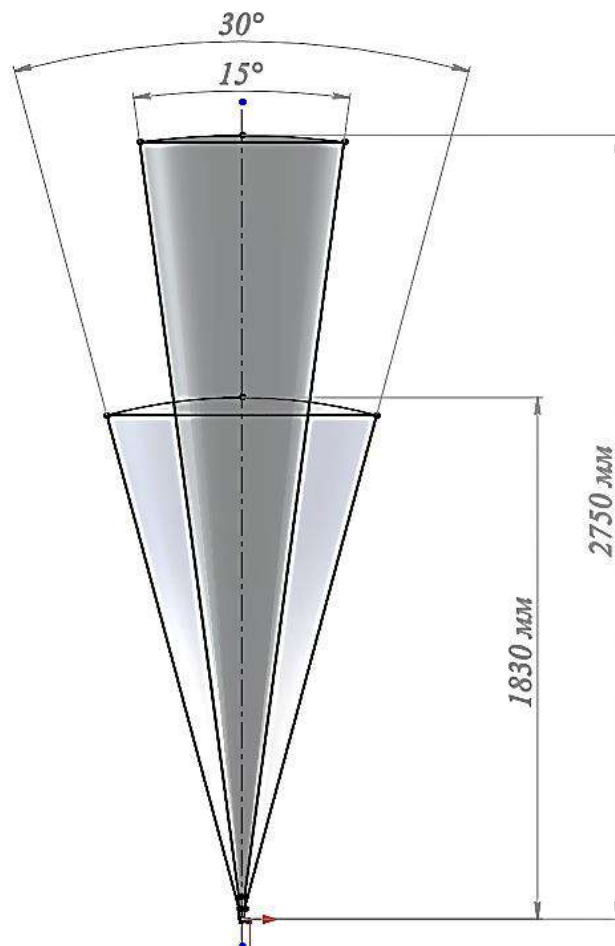


Рисунок 2.7 – Модель діаграми направленості в середовищі *SolidWorks*.

Для кращого візуального сприйняття діаграма виконана не однією суцільною моделлю, а створена з двох різнокольорових конусів.

Згідно з оприлюдненими на сайті Державної служби статистики даними, середні зріст і вага повнолітніх українців становлять 169 сантиметрів і 75 кілограмів [13]. Для розробки пристрою знадобиться саме інформація про зріст, щоб змодельовати середньостатистичну людину для дослідження. Мова іде про візуальний аналіз раціонального розміщення давачів на тілі людини, на основі даних про діаграму направленості давачів. Моделювання виконане

в середовищі *SolidWorks*, так як цей застосунок достатньо зручний для роботи.

Отриману модель людини, висотою 169 см наведено на рис. 2.8.



Рисунок 2.8 — Модель потенційного користувача [14]

Дослідження особливостей УЗ-дальномірів є достатньо популярною темою для різноманітних наукових робіт. В процесі пошуку потрібної інформації для розробки пристрою виявлена магістерська робота, де досліджено залежність відносної похибки від відстані вимірювання при різних висотах розміщення давача відносно поверхні [15]. Звичайно, мова іде про дальномір *HC-SR04*.

Автор експерименту провів кілька дослідів, а саме вимірювання відстані трьома окремими давачами *HC-SR04*, що відбувалися при різних висотах відносно поверхні. В результаті було виявлено, що відносна похибка набуває найменших значень при розміщенні дальноміра на висоті від 80 сантиметрів над поверхнею.

Висота 80 сантиметрів незручна для розміщення давачів, так як це надто низько розміщена зона, що знаходиться дещо нижче пояса. Зручніше розмістити давач в області грудної клітини, наприклад в спеціальному носимому жилеті, або на накладках на одяг. В такому разі руки користувача за-

лишуться вільними, і можуть бути використані для інших завдань. Для середньостатистичної людини зростом близько 169 см, приблизна середина грудної клітини припадає на висоту 135 см. На рис. 2.9 розміщено один давач, на рівні 135 см, та показано розташування діаграми направленості відносно користувача.

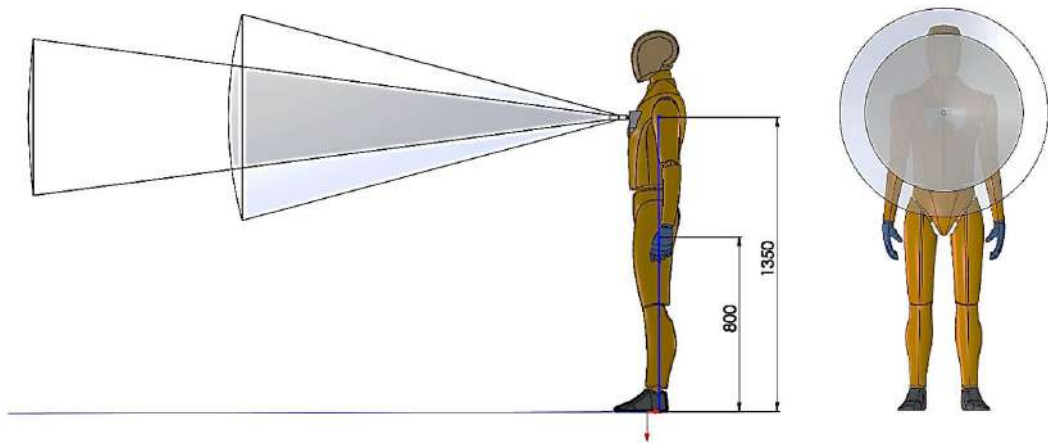


Рисунок 2.9 — Розміщення одного УЗ давача на висоті 135 см

Діаграма направлена перпендикулярно відносно тіла моделі. При такому розміщенні давача залишаються «сліпі зони», отже потрібно додати ще один давач, щоб детектувати перешкоди на рівні нижньої частини тулуба. Також, щоб виявляти перешкоду яка знаходиться на рівні обличчя, ефективним рішенням є поворот уже встановленого давача на кут 7 градусів вгору. Така зміна положення давача надасть можливість виявляти перешкоду на довшій дистанції, і більше часу для реакції на неї.

Додатковий ультразвуковий дальномір розміщено нижче попереднього на висоті 127 см, та нахилено під кутом 22 градуси вниз, щоб запобігти перетину двох діаграм направленості, та для забезпечення максимальної площі перекриття простору перед людиною. Параметри встановлення обох давачів вибрані в процесі візуального аналізу моделювання.

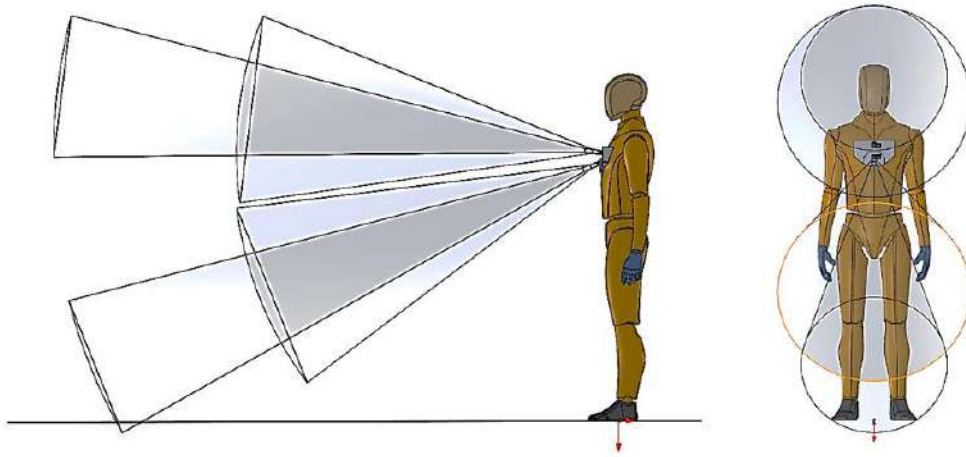


Рисунок 2.10 — Розміщення двох УЗ-давачів на різних висотах

Результат маніпуляції з дальномірами та їх діаграмами направленостей зображений на рис. 2.10. Таке розміщення дальномірів забезпечить максимальне перекриття простору перед людиною. Слід зазначити, що діаграма «нижнього» дальноміра пересікається з умовним рівнем поверхні. Отже, для уникнення шумів потрібно програмно обмежити діапазон виявлення перешкод для цього давача до 240 см. Відредагована таким чином модель зображена на рис. 2.11.

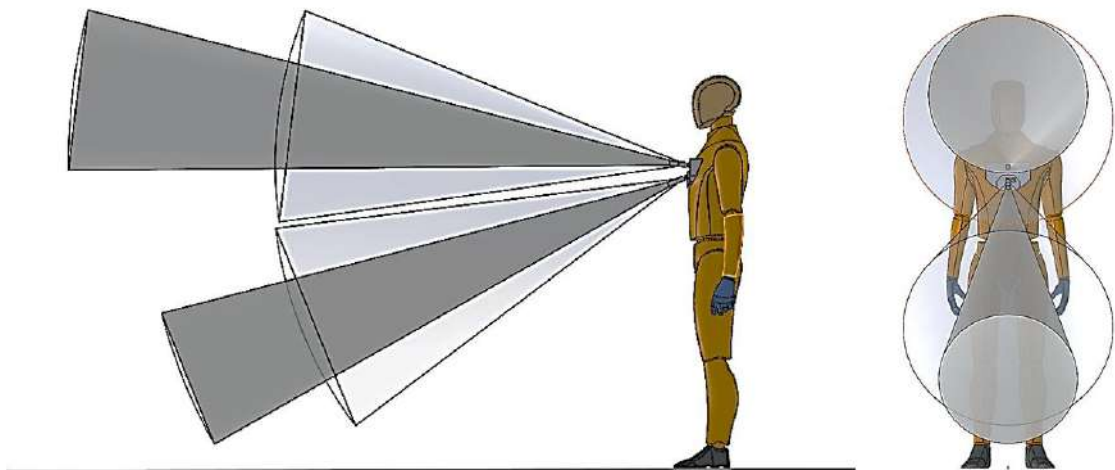


Рисунок 23.11 — Кінцевий вигляд збірки з двох УЗ дальномірів

Для ефективного виявлення перешкод та заглибин використані ІЧ-дальноміри. Заявлена виробником максимальна відстань яку вони можуть виміряти — 2 метра, кут огляду 25 градусів. Дальноміри розміщені під кутом  $50^\circ$  відносно вертикальної осі. При такому нахилі пристрою створюється за-

пас по висоті в приблизно 24,5 см, отже пристроєм зможуть користуватися люди з нестандартним зростом. Мінімальний запас по висоті має становити не менше 4 см — для врахування нерівностей поверхні, та зміни показників під час руху. На рисунку 2.12 показано перетин спрощеної діаграми направленості з уявною поверхнею.

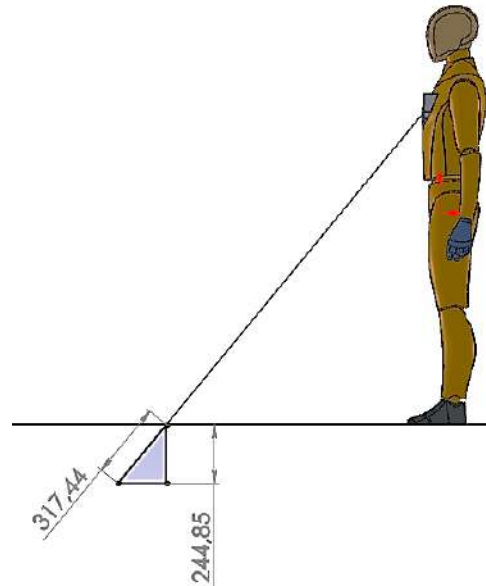


Рисунок 2.12 — Розміщення ІЧ-давача

Відстань від точки перетину спрощеної діаграми направленості з уявною поверхнею до потенційного користувача становить в середньому 1068 мм (Рис 2.13). При нешвидкому русі, цієї відстані до потенційної перешкоди, або заглиблення буде достатньо, щоб встигнути зреагувати на небезпеку.

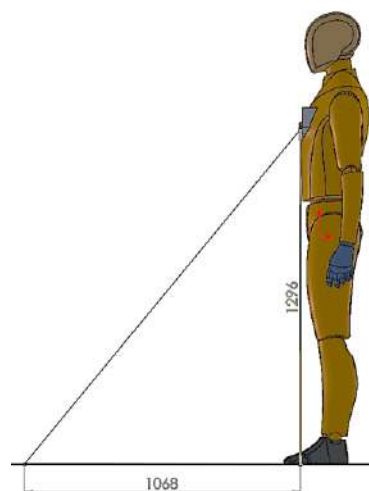


Рисунок 2.13 — Візуалізація відстані до уявної перешкоди

Беручи до уваги порівняно невисоку вартість обраних ГЧ-дальномірів, вирішено використати два дальноміри, з метою перекрити простір перед обома ногами користувача. Для цього обидва давачі окрім нахилу донизу під кутом  $50^\circ$ , повернуто під кутом  $11^\circ$  відносно горизонтальної осі. Результат зображений на рисунку 2.14.

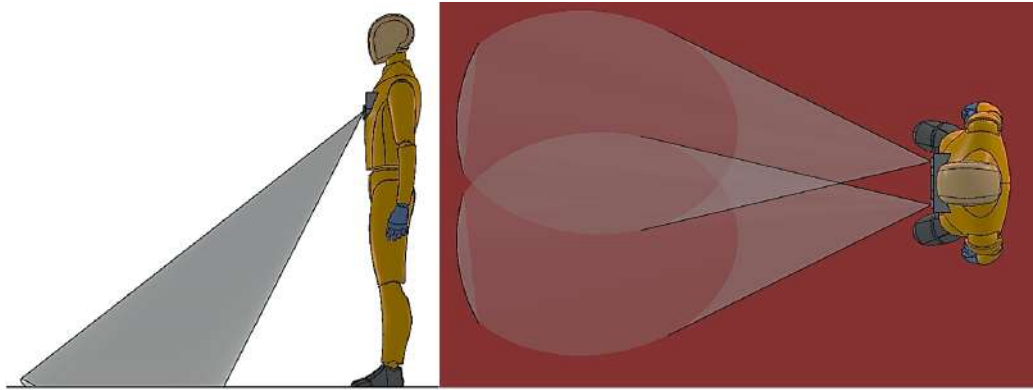


Рисунок 2.14 — Візуалізація діаграми направленості давача

Як видно з загального рисунка, на якому зображені діаграми направленості УЗ-дальномірів та промальовані лазерні промені, — є чотири умовні зони, які контролюються давачами (Рис 2.15). Щоб забезпечити просторову модель навколишнього середовища для користувача, вирішено для кожної зони влаштувати окрему індикацію перешкоди.

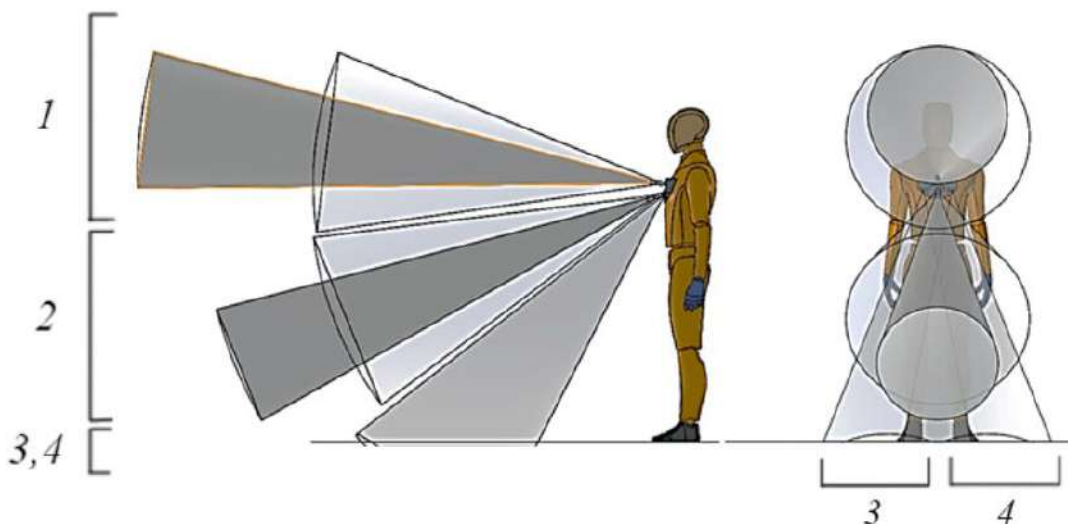


Рисунок 2.15 — Чотири зони, що контролюються давачами

Слід зазначити, що зазвичай в подібних пристроях для орієнтації незрячих у просторі, використовуються звукові або віброіндикатори. В посібнику



для вчителів та вихователів шкіл сліпих «Просторове орієнтування сліпих», автором якого є Сверлов В. С. сказано, що «... якщо вібраційна чутливість має невелике практичне значення для сліпих які мають слух, але вона має виняткове значення для сліпих, позбавлених слуху. Обсяг сприйняття сліпоглухих дуже малий, внаслідок чого у них виробляється підвищена чутливість до доступних їм подразників, зокрема і до вібрацій. ...» [16]. З огляду на ці дані, для більшої універсальності розроблюваного пристрою вирішено обрати в якості сигнального елементу віброіндикацію. В перспективі можна буде додати також і звукову індикацію перешкод.

Отже, в якості сигналізатора обрано вібромотор постійного струму (Рис 2.16) від компанії *OEM* [17]. Основні характеристики наведені в таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Характеристики вібромотора

Характеристика	Значення
Тип	Вібромотор постійного струму
Напруга живлення	Від 1,5 до 3 В
Струм	Від 0,05 до 0,1 А
Розміри	10 x 2,7 мм
Вартість	22 грн.

Серед інших аналогів він являється найбільш доступним в теперішніх умовах.



Рисунок 2.16 — Вібромотор [17]

Такий тип вібромоторів розповсюджений у смартфонах, та інших компактних пристроях. Керувати таким пристроєм можна за допомогою мікрос-

хеми з силовими ключами на основі транзисторів Дарлінгтона. Таке рішення обумовлене недостатнім максимальним струмом (до 40 мА) який можуть видати піни платформового програматора.

### **Висновки за розділом**

Розглянуто кілька найпопулярніших моделей УЗ-дальномірів. В результаті порівняння основних характеристик прийняте рішення використати дальномір із вмонтованою термостабілізацією, а саме *US-100*, у збірці з більш відомим давачем *HC-SR04*. Таке рішення спрямоване на зменшення похибки вимірних значень.

В якості ПЧ-дальноміра обраний модуль *VL53L0X-v2*. Довжина хвилі, що випромінюється, становить 940 нм, що нівелює ризики для здоров'я. Такий давач доцільно використати в якості детектора сходинок, або заглиблень на шляху.

Для раціонального розміщення давачів на тілі людини проведено аналіз діаграми направленості УЗ-давачів, в результаті зроблено висновки про максимальну довжину, що можуть виміряти УЗ-давачі, та розроблено модель діаграми направленості.

Спираючись на дослідження магістранта Цветкова В. І. проведено моделювання діаграми направленості УЗ-дальноміра, і виконано візуальний аналіз її розміщення відносно моделі людини. Моделювання виконане в програмному забезпеченні *SolidWorks*. В результаті, для максимального перекриття простору перед потенційним користувачем, прийнято рішення розмістити два УЗ-дальноміри.

Для ефективного виявлення перешкод та заглибин використані два ПЧ-дальноміри, та визначені параметри їх розміщення.

Простір, який перекривають чутливі елементи умовно поділений на чотири зони. Для кожної із них передбачена окрема сигналізація перешкоди. Спираючись на дослідження Сверлова В. С., в якості сигналізатора використано віброіндикатори.

Слід зазначити що одночасна робота однонаправлених УЗ-дальномірів призведе до спотворення результатів вимірювання відстані. Отже, для коректної роботи пристрою доцільно організувати роботу двох сенсорів по чергово, витримуючи паузу між вимірами кожного сенсора, що становить 50 мс. Аналогічно потрібно вчинити і з ІЧ-дальномірами.

З метою отримання стабільного значення показників відстані доцільно використати фільтрацію вхідних значень за допомогою медіанного фільтра, та фільтра «рухоме середнє». Поєднуючи ці фільтри можна майже нівелювати жорсткі викиди значень, і виконувати фільтрацію постійного шуму. Принцип роботи медіанного фільтра заснований на виборі середнього значення із кількох останніх отриманих, які при цьому посортовані в порядку зростання або спадання. Він дозволяє ігнорувати різкі викиди вимірних значень. В свою чергу фільтр «рухоме середнє» працює за принципом вирахування середнього арифметичного значення, але він функціонує у часі і за допомогою редагування коефіцієнта фільтрації має можливість налаштування різкості фільтрації.

Слід зазначити, що для врахування різного зросту користувачів доцільно проводити калібрування пристрою під конкретну особу. Це дозволить зробити користування пристроєм максимально безпечним.

## 3 РОЗРОБКА СХЕМИ ТА КОРПУСУ ПРИСТРОЮ

### 3.1 Аналіз схемотехнічних рішень

На даний час, існує кілька схожих за своєю ідеєю проєктів. Для прикладу розглянуто схему електричну принципову одного із них (Рис. 3.1).

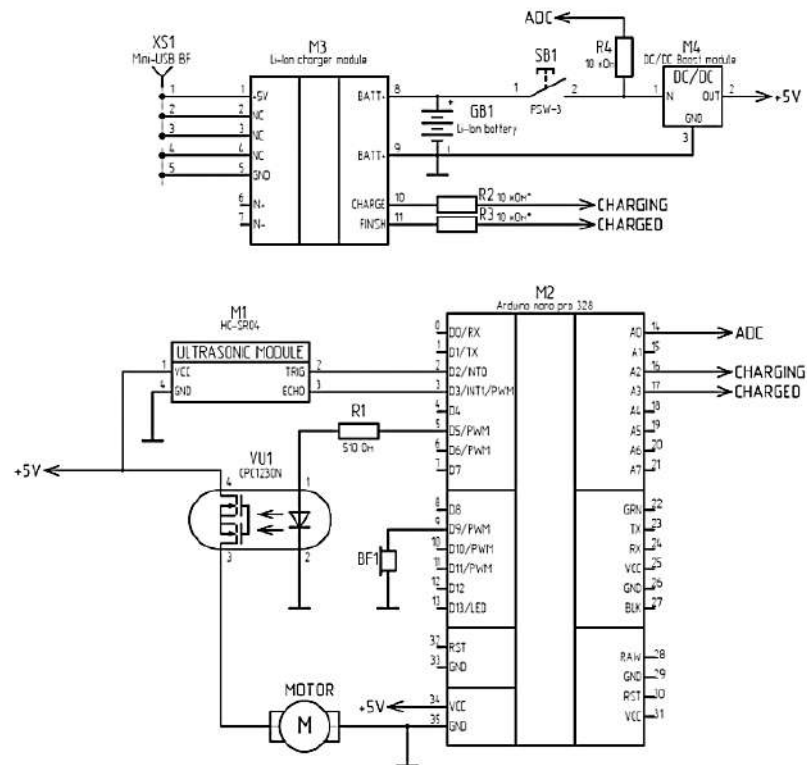


Рисунок 3.1 — Схема електрична принципова схожого пристрою [18]

Даний проєкт є ще однією варіацією пристрою для незрячих, з використанням ультразвукового датчика *HC-SR04*. Основним елементом є модуль *Arduino Pro Mini*, основною відмінністю якого від мініатюрних аналогів є відсутність порту *USB mini*. Сигналізатором про наближення до перешкод виступає вібромотор постійного струму з напругою живлення 1,5-3 В, та струмом споживання від 0,05 до 0,1 А, що керується через оптрон. Живлення схеми відбувається від *Li-ion* акумулятора який розрахований на 1 – 1,5 годину роботи схеми.

Недоліком даної схеми є подавання на мотор, що розрахований на 3 В, напругу 5 В, що призведе до виведення його з ладу. На мою думку, розробники вважали, що падіння напруги на польовому транзисторі зменшить на-

пругу, що поступає на мотор, але не врахували, що це падіння недостатньо велике. Також ємність акумулятора становить 300 мА, а такі акумулятори непоширені, та дорогі. Ще недоліком є невеликий час роботи схеми від акумулятора.

Використання модуля *Arduino Pro Mini* [19] є гарним рішенням, тому, що дозволяє зменшити габарити і вартість кінцевого пристрою. Також корисним є зчитування поточного рівня зарядки акумулятора.

### 3.2 Розробка схеми електричної принципової

За допомогою програми *Altium Designer* розроблено схему електричну принципову.

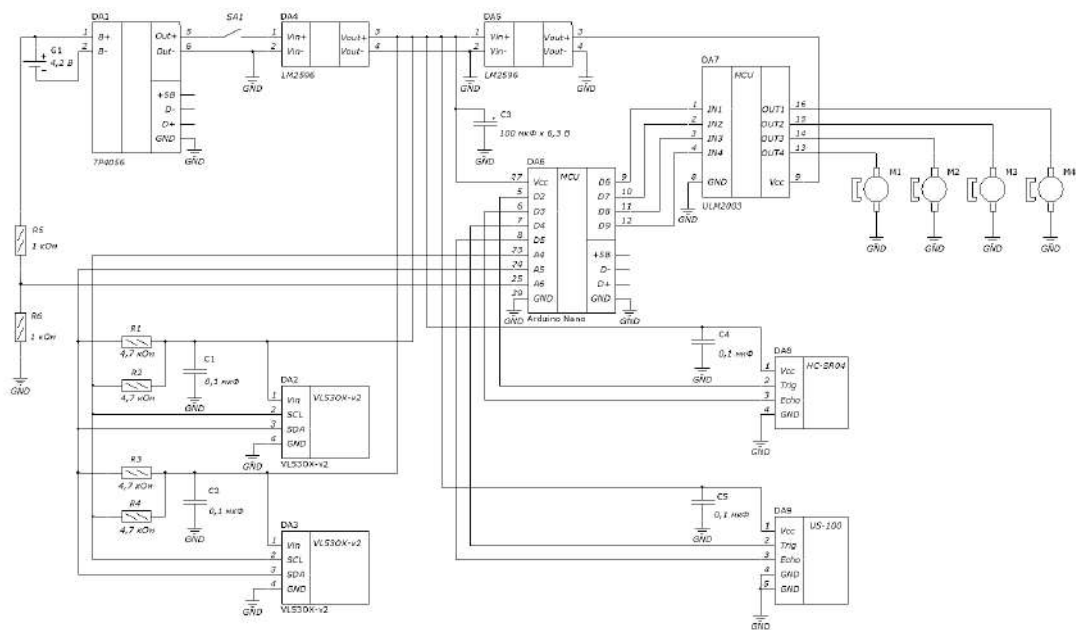


Рисунок 3.2 — Схема електрична принципова

Для спрощення схеми, та зниження терміну її розробки, та налагодження, вирішено використовувати модульну систему. Модулі підключені згідно рекомендації виробника.

Основним компонентом схеми є плата керування *Arduino Nano* [20]. Критеріями вибору були компактність, і простота в налаштуванні, а також відповідність до потреб проєкту. Слід зазначити, що існує ще компактніший аналог *Arduino Pro Mini*, плата без порту *USB-mini*. Проте, враховуючи пот-

ребу в калібруванні пристрою під конкретну людину, в даному випадку доцільніше обрати *Arduino Nano*.

Живлення схеми відбувається від *Li-ion* акумулятора типорозміру 18650, напругою 4,2 В, та ємністю 3800 мА [21]. Такі характеристики акумуляторної батареї, по грубим прогнозам забезпечуть роботу схеми на протязі 8 годин.

Для зарядки використана спеціалізована плата контролю заряду та розряду *Li-ion* акумуляторів на основі мікросхеми *TP4056* [22].

Відповідно до проведеного дослідження в схемі присутні два ІЧ дальноміра *VL53L0X-v2*, а також УЗ дальноміри *HC-SR04*, та *US-100*.

Необхідна напруга живлення 5 В для давачів забезпечується на виході збільшуючого *DC/DC* перетворювача *LM2596 (DA4)* на схемі [23].

Для забезпечення необхідним струмом споживання вібромоторів, використано модуль *ULM2003*, на основі однойменної мікросхеми [24]. Необхідну напругу живлення в 3 В забезпечує понижуючий *DC/DC* перетворювач *LM2596 (DA5)* на схемі [23].

Через резисторний дільник (резистори *R5*, *R6*) проводиться контроль рівня заряду акумулятора. Сповіщення про низький рівень заряду відбувається за допомогою одночасного переривчастого імпульсу на усіх вібродвигунах.

Сповіщення про перешкоду яку виявив один або обидва ультразвукових дальномірів відбуватиметься за допомогою відповідних вібромоторів.

### **3.3 Алгоритм роботи**

Сигнали про увімкнення та вимкнення для помітності мають відрізнятися від інших сигналів під час роботи пристрою. Тому прийнято рішення при увімкненні сповіщати користувача трьома наростаючими сигналами усіх вібродвигунів, з інтервалом в 0,5 секунд. Відповідно при вимкненні пристрою буде сповіщення трьома понижаючими сигналами, з таким же часовим інтервалом.

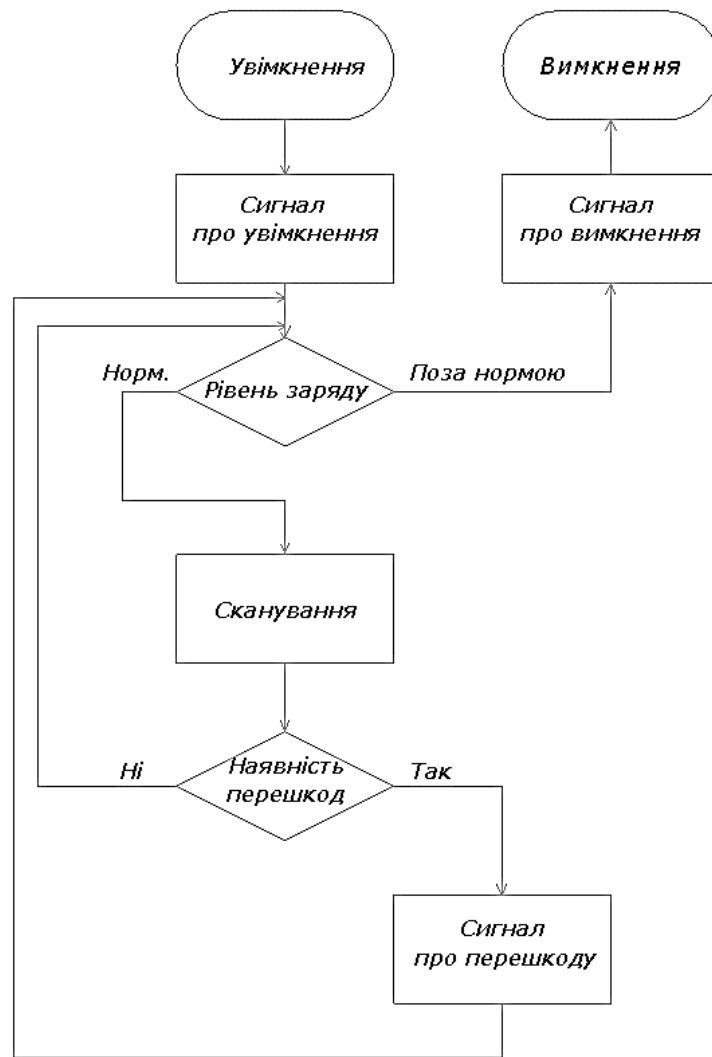


Рисунок 3.3 — Алгоритм роботи пристрою

На рисунку 3.3 показано загальний алгоритм роботи пристрою.

ІЧ-дальноміри призначені для детектування підвищення, або заглиблення. Алгоритм виявлення таких перешкод наступний — при різкій зміні вимірюваної відстані (в 3 см), аналізуються показники відстані для визначення в яку сторону змінилася довжина. При збільшенні — короткий сигнал (тривалістю 1 секунду) про заглиблення, відповідно при зменшенні, два коротких сигнали з 1 секундною тривалістю і такою ж паузою між ними.

Сигналізація про перешкоду для УЗ-дальномірів працюватиме по принципу парктроніка — чим ближче об'єкт, тим частіші імпульси віброторів.

### 3.4 Конструкція пристрою

За допомогою програмного забезпечення *SolidWorks* створено модель корпусу пристрою (Рис. 3.4).

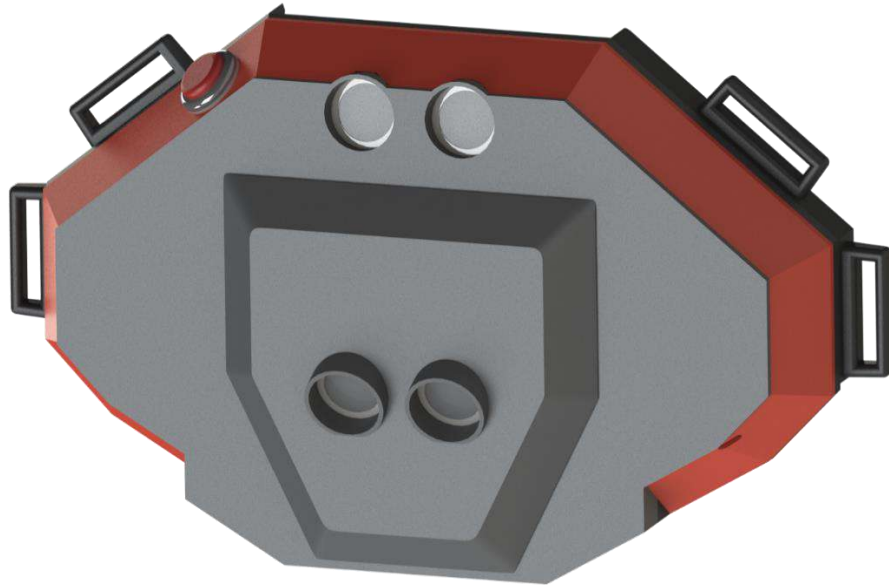


Рисунок 3.4 — Модель корпусу пристрою, лицева сторона

На рисунку, по боках пристрою розміщені пряжки для еластичних ремнів, за допомогою яких він буде закріплюватися на тілі людини. Наприклад як на рис. 3.5.



Рисунок 3.5 — Приклад фіксації пристрою на тілі людини



Вид на тильну частину корпусу пристрою зображений на рис. 3.6. На ній можна побачити гвинтові кріплення, на яких тримається кришка, і бокові нарощення, які створені для упору і додаткової фіксації.

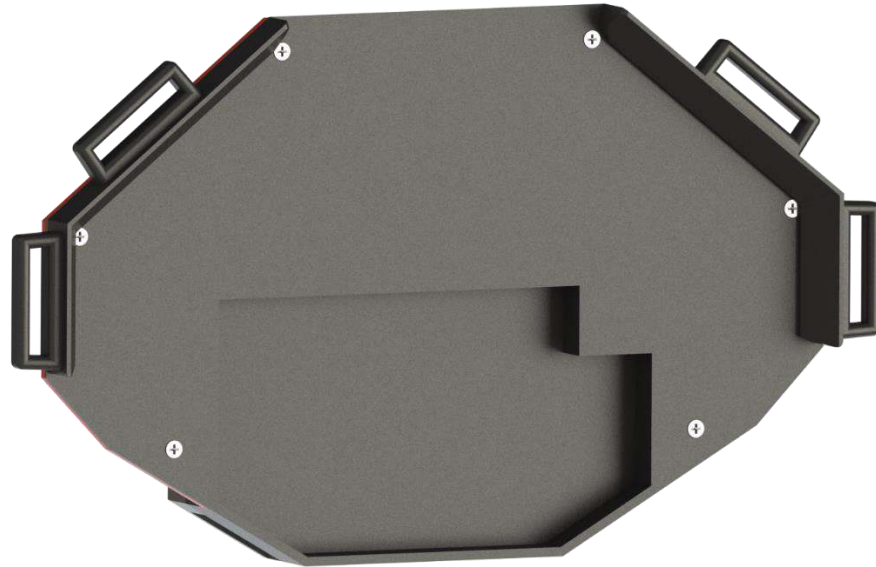


Рисунок 3.6 — Задня частина корпусу

Вид на пристрій без верхньої кришки зображений на рис. 3.7. Акумуляторну батарею розміщено під кришкою, так як регулярно діставати її потреби немає, адже реалізовано спосіб підзарядки, за допомогою відповідної плати. Спосіб закріплення модулів гвинтовий, за виключенням модуля *TP4056*, що закріплений на термостійкий клей, так як він не має отворів для кріплення.

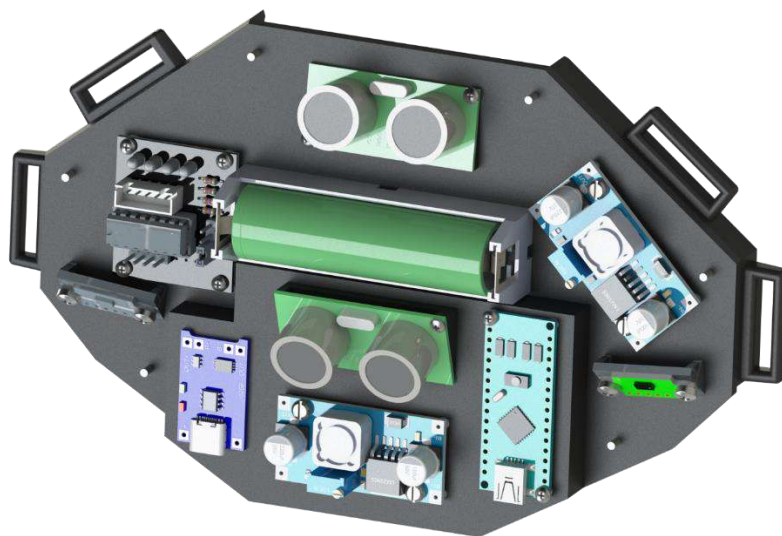


Рисунок 3.7 — Пристрій без верхньої кришки

Для уникнення прямого потрапляння на електроніку дощу, передбачені прокладки із силікованої гуми, на місцях стику накривки та нижньої частини корпусу, а також в районі контакту УЗ-датчиків з корпусом. Порти для зарядки та перепрошивки розміщені в нішах, які розташовані спеціальним чином, як показано на рис. 3.8.

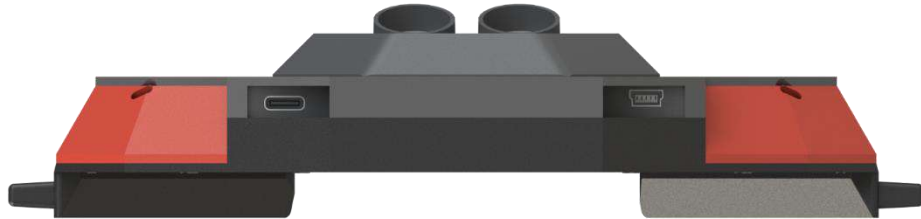


Рисунок 3.8 — Вид знизу

Такий спосіб їх встановлення спрямований захистити електроніку від прямого потрапляння дощу під час негоди. Також на рис. 3.8 видно отвори для ІЧ давачів, що розміщені по бокам від ніш для портів.

Вібромотори слід розмістити по одному, на еластичному ремені, два на плечах, і два на боках, таким чином вони будуть достатньо рознесені, та зможуть дати об'ємну картинку оточуючого середовища.

### **Висновки за розділом**

Розглянуто одне із наявних схемотехнічних рішень схожого за принципом пристрою. В результаті аналізу схеми виявлено недоліки у проектуванні, а саме некоректний спосіб живлення двигуна постійного струму, та вибір розробником непопулярної та непоширеної ємності для батареї, що призведе до збільшення вартості виробу. Також ємність батареї не дозволить заявленій схемі працювати упродовж тривалого часу, наприклад більше чим 3 години. Слід зазначити, що використання в якості плати керування модуля *Arduino Pro Mini* є гарним конструктивним рішенням, яке спрямоване на спрощення виготовлення та пришвидшення прошивки пристрою і здешевлення конструкції, що позитивно впливає на виробництво у промислових масштабах.

Розроблено схему електричну принципову, за допомогою ПЗ *Altium Designer*. Живлення схеми реалізовано від *Li-ion* акумулятора, типорозміру 18650 напругою 4,2 В, та ємністю 3800 мА, що забезпечить приблизно 8 годин безперервної роботи.

Розроблено тривимірну модель корпусу пристрою за допомогою ПЗ *SolidWorks*. Параметри корпусу (ШхВхГ): 201x117x47 мм. Такі габарити дозволять зручно розмістити його на потрібній висоті, і зафіксувати за допомогою еластичних ременів.

## 4 РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЄКТУ

### 4.1 Опис ідеї проєкту

Короткі відомості про ідею, та можливі ринки збуту, в межах яких знаходяться потенційні клієнти наведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1. Опис ідеї стартап-проєкту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Пристрій допомоги незрячим у просторовому орієнтуванні	1. Люди з повною, або частковою втратою зору і слуху.	Можливість відносно комфортно пересуватися містом з вільними руками.

#### *4.1.1 Аналізування потенційних техніко-економічних переваг ідеї порівняно із пропозиціями конкурентів.*

Основними конкурентами є прилади: Робін, Сонар-5УФ-В4, RAY. Порівняння їх особливостей з моїм проєктом наведено в табл. 4.2. W, N, S є відповідно слабкою, нейтральною, та сильною стороною.

Таблиця 4.2. Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проєкту

№ п/п	Техніко-економічні характеристики ідеї	Товари-конкуренти				W	N	S
		Мій проєкт	Робін	Сонар-5УФ-В4	RAY			
1.	Доступність людям з вадами слуху та зору	+	-	+	+			+
2.	Калібрування	+	+	+	-			+

## Продовження таблиці 4.2

3.	Додаткові функції	-	+	-	-		+	
4.	Використання в приміщенні	+	+	+	+		+	

Основними перевагами проєкту є калібрування під кожного користувача та доступність людям з вадами слуху та зору, так як деякі конкуренти зовсім не пропонують цей функціонал.

#### 4.2 Технологічний аудит ідеї проєкту

Визначення технологічної здійсненності ідеї з аналізом основних складових наведених в табл. 4.3.

Таблиця 4.3. Технологічна здійсненність ідеї проєкту

№ п/п	Ідея проєкту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1.	Пристрій допомоги незрячим у просторовому орієнтуванні	Технологія 1 (Розроблення пристрою самостійно з нуля)	Необхідно розробити	Доступно
2.		Технологія 2 (Запозичення готових модулів, і їх об'єднання в схему)	Невідомо	Доступно
3.		Технологія 3 (Модернізація готового продукту)	Наявна	Доступно
Обрана технологія реалізації ідеї проєкту: Технологія 2				

В результаті аналізу таблиці визначено, що проєкт можливо реалізувати використовуючи технологію 2, так як вона передбачає швидкість у розробці та тестуванні.

### 4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

В даному підрозділі розглянуто та проаналізовано ринкові можливості, та загрози, що в перспективі можуть виникнути на шляху ринкового впровадження пристрою.

#### **4.3.1 Проведення аналізу попиту: наявність попиту, обсяг, динаміка розвитку ринку (табл. 4.4).**

Таблиця 4.4. Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1.	Кількість головних гравців, од	4-5
2.	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	2000
3.	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Стала
4.	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Відповідні знання і вміння
5.	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	—
6.	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	Невідомо

Проаналізувавши таблицю можна зробити висновок про привабливу обстановку на ринку, для входження за попереднім оцінюванням.

#### **4.3.2 Визначення потенційної групи клієнтів, їх характеристик, та формування орієнтовного перелік вимог до товару для кожної групи (табл. 4.5).**

Таблиця 4.5. Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
	Необхідність соціальної адаптації незрячих	Люди з вадами зору та слуху	—	<ul style="list-style-type: none"> <li>- зручне використання</li> <li>- габаритні розміри (залежать від розміру тварини)</li> <li>- швидкість адаптації до особливостей пристрою</li> <li>- надійність, та довгий час роботи</li> </ul>

### 4.3.3 Аналіз ринкового середовища

В таблиці 4.6 наведено фактори, що створюють загрози ринковому впровадженню.

Таблиця 4.6. Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Конкуренти	Імовірність появи кращого продукту, або дешевшого	Удосконалення власного продукту, масштабна рекламна кампанія
2	Економічний	Різка інфляція	Перегляд цінової політики та особливостей виробництва
3	Контрагенти	Різке припинення торгових взаємовідносин	Робити запас запчастин, та передбачати загрози зникнення партнерів.

В таблиці 4.7 наведено фактори, що сприяють ринковому впровадженню проекту

Таблиця 4.7. Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Тематичні заходи	На різних виставках та заходах презентувати свій продукт	Активна реклама пристрою, демонстрація його переваг
2	Співпраця спеціалізованими закладами	Реклама товару людям, котрі його потребують	Впровадження рекламного агента від компанії на точку продажу

З аналізу випливає, що найбільшою загрозою є різке припинення торгових відносин із контрагентами, а можливістю є презентація та рекламування пристрою на тематичних заходах.

#### 4.3.4 Аналіз пропозиції

В таблиці 4.8 наведено загальні риси конкуренції на ринку.

Таблиця 4.8. Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
1. Вказати тип конкуренції - олігополія	Невелика кількість конкурентів	Розширення можливостей пристрою, реклама
2. За рівнем конкурентної боротьби - національний	Даний товар виробляється та постачається в багатьох країнах світу	Посилення роботи менеджменту і реклами по залученню клієнтів
3. За галузевою ознакою - внутрішньогалузева	Конкуренція в рамках однієї галузі	
4. Конкуренція за видами товарів - товарно-видова	Надання різних продуктів одного принципу роботи	
5. За характером конкурентних переваг - нецінова	Конкуренція в пропозиції, тобто конкуренція рекламою, функціональністю.	



Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
		тинг; більший функціонал, ніж у конкурентів.
6. За інтенсивністю - не марочна	Немає відомих брендів	Створити власний бренд

#### 4.3.5 Детальний аналіз умов конкуренції в галузі

На основі отриманих в попередньому підпункті даних проведено більш детальний аналіз умов конкуренції на існуючому ринку (табл. 4.9).

Таблиця 4.9. Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
	- Робін; - RAY; - mySmarCane	Виробники аналогічних пристроїв	Велика база постачальників	Платоспроможність, вимоги до сервісу	Ціпок для сліпих
Висновки:	Інтенсивність конкурентної боротьби не висока, у конкурентів менший, або аналогічний функціонал	є можливість входу в ринок	Постачальники не диктують умови роботи на ринку	Клієнти мають вплив на цінову політику	Потрібно здешевити пристрій та зробити його доступнішим

В результаті можна зробити висновок, що працювати на ринку можна незважаючи на конкурентну ситуацію. Перед поширенням продукт має володіти кращими характеристиками аніж у конкурентів.

#### 4.3.6 *Визначення та обґрунтування переліку факторів конкурентоспроможності.*

На основі аналізу конкуренції, з урахуванням характеристик ідеї проекту і вимог споживачів до товару та факторів маркетингового середовища визначено та обґрунтовано перелік факторів конкурентоспроможності (Табл. 4.10)

Таблиця 1. Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1	Простота	Дана розробка не вимагає у користувача особливих знань у галузі
2	Естетичність	Привабливий дизайн
3	Безпека	Товар не шкідливий для здоров'я
4	Ефективність	Висока швидкодія та підбір оптимальних параметрів

#### 4.3.7 *Аналіз сильних та слабких сторін стартап-проекту*

За визначеними факторами конкурентоспроможності (табл. 4.10) проводиться аналіз сильних та слабких сторін стартап-проекту (табл. 4.11).

Таблиця 4.11. Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін «Пристрій допомоги незрячим у просторовому орієнтуванні»

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні моєю розробкою						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Простота	12							
2	Естетичність	19							
3	Безпека	9							
4	Ефективність	12							

### 4.3.8 Складання SWOT-аналізу.

В таблиці 4.12 наведено складання SWOT-аналізу на основі виділених ринкових загроз та можливостей, та сильних і слабких сторін проєкту.

Таблиця 4.12. SWOT-аналіз стартап-проєкту

<p><b>Сильні сторони:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Естетичність;</li> <li>– Ефективність;</li> <li>– Надійність;</li> <li>– Відповідність потребам споживачів;</li> <li>– Безпека.</li> </ul>	<p><b>Слабкі сторони:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Нова компанія;</li> <li>– Відсутність стартового капіталу.</li> <li>– Непророблений продукт</li> </ul>
<p><b>Можливості:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Розширення функціоналу;</li> <li>– Використання нових технологій.</li> </ul>	<p><b>Загрози:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Продукти-замінники;</li> <li>– Зміна тенденції попиту;</li> </ul>

### 4.3.9 Розроблення переліку заходів для виведення стартап-проєкту на ринок

На основі SWOT-аналізу розробляються альтернативи ринкової поведінки для виведення стартап-проєкту на ринок та орієнтовний оптимальний час їх ринкової реалізації з огляду на потенційні проєкти конкурентів, що можуть бути виведені на ринок (табл. 4.13).

Таблиця 4.13. Альтернативи ринкового впровадження стартап-проєкту

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Стратегія проникнення на ринок (зайняти нову нішу серед існуючих продуктів)	Середня	4 місяці
2	Стратегія розвитку ринку (адаптувати та вивести продукт на новий ринок)	Висока	5 місяців
3	Стратегія розвитку товару (удосконаленого продукту для виведення на новий ринок)	Середня	6 місяців

Продовження до таблиці 4.13

4	Стратегія диверсифікації (вихід принципово нового продукту на новий ринок)	Середня	5 місяців
---	--	---------	-----------

З аналізу випливає, що найбільш оптимальною є стратегія розвитку ринку, оскільки для неї отримання ресурсів є більш простим та ймовірним та строки реалізації середні.

#### 4.4 Розроблення ринкової стратегії проекту

##### 4.4.1 Визначення стратегії охоплення ринку.

Таблиця 4.14. Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1.	Люди з вадами зору та слуху	Готові	Високий	Середня	Середня
Які цільові групи обрано: Основною є перша цільова група					

Головним пріоритетом обрана перша група, оскільки попит даного сегмента більший, та більше потенційних покупців.

#### 4.4.2 Формування базової стратегії розвитку.

Для роботи в обраних сегментах ринку сформована базова стратегію розвитку (табл. 4.15).

Таблиця 4.15. Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
	Стратегія розвитку ринку	Стратегія концентрованого маркетингу	Новий функціонал, естетичність продукту, доступність	Стратегія диференціації

#### 4.4.3 Вибір стратегії конкурентної поведінки.

Таблиця 2. Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки
	Ні	Так	Частково, використання УЗ-давачів	Заняття конкурентної ніші

#### 4.4.4 Розробка стратегії позиціонування

На основі вимог споживачів з обраних сегментів до постачальника та до продукту, а також в залежності від обраної базової стратегії розвитку та стратегії конкурентної поведінки розроблена стратегія позиціонування (табл. 4.17). що полягає у формуванні ринкової позиції.

Таблиця 4.17. Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- зручне встановлення</li> <li>- габаритні розміри</li> <li>- ергономіка</li> <li>- надійність</li> </ul>	Диференціації	Новий функціонал, естетичність продукту, доступність	Надійність, проста, соціальна адаптація

За результатами аналізу в цьому підрозділі обрані стратегія диференціації та базова стратегія розвитку, заняття конкурентної ніші як стратегія конкурентної поведінки та визначені основні ринкові позиції на ринку.

#### 4.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

##### 4.5.1 Формування маркетингової концепції товару, який отримає споживач (табл. 4.18).

Таблиця 4.18. Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
	Соціальна адаптація незрячих	Повне задоволення потреби з високою надійністю та простотою керування	Наявність об'ємного просторового уявлення у користувачів.

##### 4.5.2 Розробка тривірневої маркетингової моделі товару

В цьому підрозділі розробляється тривірнева маркетингова модель товару: уточнюється ідея продукту, його фізичні складові, особливості процесу його надання (табл. 4.19).

Таблиця 4.19. Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові
I. Товар за задумом	Пристрій для допомоги орієнтації у просторі незрячим
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики
	1. Ергономічність
	2. Фільтрація вхідних даних
	3. Використання різних типів чутливих елементів
	Якість: стандарти щодо безпеки електронного обладнання, відповідність міжнародній сертифікації
Пакування: відсутнє	
Марка: Mikater	
III. Товар із підкріпленням	До продажу: консультація, гарантія.
	Після продажу: доставка, технічне обслуговування, сервіс.
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: Захист інтелектуальної власності.	

Проект буде захищено від копіювання за рахунок захисту інтелектуальної власності.

#### 4.5.3 Аналіз фінансових аспектів

В цьому підпункті визначено цінові межі, якими необхідно керуватись при встановленні ціни на потенційний товар, проаналізовано ціни на товари-аналоги або товари субститути, а також аналіз рівня доходів цільової групи споживачів (табл. 4.20).

Таблиця 4.3. Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товари-замінники, грн.	Рівень цін на товари-аналоги, грн.	Рівень доходів цільової групи споживачів, грн.	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар, грн.
	5000-60000	5000-60000	5000-15000	Нижня межа визначається собівартістю продукту +n% – 1200

#### 4.5.4 Визначення оптимальної системи збуту (табл. 4.21).

Таблиця 4.21. Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати пос-тачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
	Невідома	Доставка, консультація, вільний доступ до товару	До 3	Змішана

Збут можливо реалізувати у змішаному форматі, тобто виробник розміщує свій товар на інтернет-магазинах або співпрацює з спеціалізованими закладами або службами.

#### Висновки за розділом

З огляду на те, що на даний час немає достатньо бюджетного пристрою на ринку з подібним функціоналом, передбачується попит на ринку на даний продукт. Для розробки пристрою використана сучасна елементна база, яка є доступною і задає підґрунтя для низької вартості пристрою, що є перевагою перед конкурентами.

Обрано стратегію розвитку ринку як найдоцільнішу. Також слід зазначити, що імплементація проекту є доцільною.



## ВИСНОВКИ

1. В результаті огляду аналогів зроблено висновок про наявні недоліки уже готових продуктів. Основними із них є висока вартість, неможливість забезпечити об'ємну картину оточуючого середовища, розміщення та спосіб взаємодії з пристроєм (носимий руці, або на додатковому аксесуарі, що знаходиться в руках).

2. Для розробки пристрою здійснено огляд існуючих чутливих елементів, описано їх переваги та недоліки. В результаті порівняння основних характеристик прийняте рішення використати кілька видів чутливих елементів, а саме ультразвукові дальноміри *US-100* та *HC-SR04*, та інфрачервоний дальномір *VL53L0X-v2*. Серед обраних ультразвукових давачів *US-100* має можливість отримувати точніші виміряні значення відстані при використанні пристрою в різних погодних умовах, за рахунок термостабілізації. Довжина хвилі ІЧ-давача становить 940 нм. Такий лазерний промінь невидимий для людського ока, і не несе шкоди здоров'ю.

3. Для раціонального розміщення давачів на тілі людини проведено аналіз діаграми направленості УЗ-давачів. В результаті виявлено, що найдовша вимірювана відстань, яку можна ефективно обрахувати за допомогою давача, становить 275 сантиметрів. Ця відстань може бути виміряна у межах умовного 15 градусного кута огляду. Для зони з кутом огляду в 30 градусів максимальна ефективна відстань становить 183 сантиметрів.

4. Спираючись на дослідження магістранта Цветкова В. І. проведено моделювання діаграми направленості УЗ-дальноміра, і виконано візуальний аналіз її розміщення відносно користувача. Моделювання виконане в програмному забезпеченні *SolidWorks*. В результаті, виявлено, що для максимального перекриття простору перед потенційним користувачем достатньо два УЗ-дальноміри. Перший дальномір встановлено на висоті 135 см і нахилено під кутом  $7^\circ$  відносно вертикальної осі вгору. Другий — на висоті 127 см і нахилено під кутом  $22^\circ$  відносно вертикальної осі донизу. Такі параметри

встановлення вибрані для того, щоб діаграми направленості не пересікалися, і при цьому було охоплена максимальна площа простору перед користувачем. Для уникнення шумів програмно обмежено діапазон виявлення перешкод для нижнього УЗ-давача до 240 см.

5. Для ефективного виявлення перешкод та заглибин вирішено використати два ІЧ-дальноміри. Кут огляду одного давача становить  $25^\circ$ , що дозволяє захопити порівняно велику область. Прийнято рішення встановлювати їх на висоті 130 см, нахиленими під кутом  $50^\circ$  донизу, і розвернутими на  $11^\circ$  назовні відносно користувача. Такі параметри розміщення дозволяють контролювати простір перед користувачем на відстані більш ніж 1 м від нього. Також при такому встановленні чутливих елементів створюється запас по висоті близько 20 см, який дозволяє використовувати пристрій людям з нестандартним зростом, відповідне калібрування пристрою доцільно проводити під час першого використання.

6. Простір, який перекривають чутливі елементи умовно поділений на чотири зони. Для кожної із них передбачена окрема сигналізація перешкоди. Спираючись на дослідження Сверлова В. С., в якості сигналізатора використано віброіндикатори.

7. Так як одночасна робота однонаправлених УЗ-дальномірів призведе до спотворення результатів вимірювання відстані. Отже, для коректної роботи пристрою організовано роботу двох сенсорів по чергово, витримуючи паузу між вимірами кожного сенсора, що становить 50 мс. Аналогічно вчинено і з ІЧ-дальномірами.

8. З метою отримання стабільного значення показників відстані доцільно використати фільтрацію вхідних значень за допомогою медіанного фільтра, та фільтра «рухоме середнє». Поєднуючи ці фільтри можна майже нівелювати жорсткі викиди значень, і виконувати фільтрацію постійного шуму.

9. Розглянуто наявні схемотехнічні рішення схожого за принципом пристрою. В результаті аналізу визначено переваги та недоліки запропонованої схеми.

10. Розроблено схему електричну принципову, за допомогою ПЗ *Altium Designer*. Живлення схеми реалізовано від *Li-ion* акумулятора, типорозміру 18650 напругою 4,2 В, та ємністю 3800 мА, що забезпечить близько 8 годин безперервної роботи, що становить повний робочий день. Також прийнято рішення про модульність системи, що обумовлене особливістю розміщення давача.

11. Розроблено тривимірну модель корпусу пристрою за допомогою ПЗ *SolidWorks*. Параметри корпусу (ШхВхГ): 201x117x47 мм. Такі габарити дозволять зручно розмістити його на потрібній висоті, і зафіксувати за допомогою еластичних ременів.

12. Мета розробки комфортного та функціонального пристрою виконана. Забезпечено можливість «об'ємного» сканування простору перед потенційним користувачем. При роботі пристрою у користувача залишаться вільними руки. Розроблений пристрій забезпечить повну конкурентоспроможність, так як собівартість його відносно низька, і на даний час становить близько 2 тисяч гривень.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Електронна тростина RAY — *istok-audio.com* [Електронний ресурс]. — Режим доступу до ресурсу: [istok-audio.com](http://istok-audio.com) — Назва з екрану.
2. Ультразвуковий «ліхтар» для сліпих Сонар-5УФ-В4 — *trosti.com.ua* [Електронний ресурс]. — Режим доступу до ресурсу: [trosti.com.ua](http://trosti.com.ua) — Назва з екрану.
3. Розумна тростина «Робін» — *robin.sensor-tech.ru* [Електронний ресурс]. — Режим доступу до ресурсу: [robin.sensor-tech.ru](http://robin.sensor-tech.ru) — Назва з екрану.
4. Тростина «mySmartCane» — *ipkey.com.ua* [Електронний ресурс]. — Режим доступу до ресурсу: [ipkey.com.ua](http://ipkey.com.ua) — Назва з екрану.
5. Давач HC-SR04 — *arduino.ua* [Електронний ресурс]. — Режим доступу до ресурсу: [arduino.ua](http://arduino.ua) — Назва з екрану.
6. Ультразвуковий давач вимірювання відстані HC-SR04 / [В. А. Жмудь, М. О. Кондратьєв, К. А. Кузнєцов та ін.]. // Автоматика і програмна інженерія. – 2017. – С. 18.
7. Давач вологості та температури [Електронний ресурс] // *arduino.ua*. – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <https://arduino.ua/prod185-datchik-vlajnosti-i-temperatyri-dht11>.
8. Ультразвуковий датчик відстані URM37 V5.0 [Електронний ресурс] // <https://uamper.com/>. – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <https://uamper.com/URM37-V5>.
9. Ультразвуковий давач відстані US-100 [Електронний ресурс] // *www.mini-tech.com.ua* – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.mini-tech.com.ua/datchik-rasstoyaniya-ultrazvukovoy-US-100>.
10. Ультразвуковий датчик відстані US-025 [Електронний ресурс] // *arduino.ua*. – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <https://arduino.ua/prod3710-yltrazvykovoi-datchik-rasstoyaniya-us-025>.
11. Дальноміри на основі технології ToF— *terabee.com* [Електронний ресурс]. — Режим доступу: [terabee.com](http://terabee.com) — Назва з екрану.

12. Дальномір на основі ультразвукового сенсора [Електронний ресурс] // *alexgyver.ru*. – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <https://alexgyver.ru/range-meter/>.
13. Середній зріст і вага повнолітніх українців [Електронний ресурс] // *lb.ua*. – 2021. – Режим доступу до ресурсу: [https://lb.ua/society/2021/08/10/491375\\_derzhstat\\_rozrahuvav\\_portret..](https://lb.ua/society/2021/08/10/491375_derzhstat_rozrahuvav_portret..).
14. *The model of human* [Електронний ресурс] // *grabcad.com* – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <https://grabcad.com/library/human-37>.
15. Електронний вимірювач відстані [Електронний ресурс] // Кафедра радіоконструювання та виробництва радіоапаратури (КіВРА). – 2020. – Режим доступу до ресурсу: [https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/39449/1/Tsvetkov\\_magistr.pdf](https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/39449/1/Tsvetkov_magistr.pdf).
16. Свєрлов В. С. Просторове орієнтування сліпих. Посібник для вчителів та вихователів шкіл сліпих / В. С. Свєрлов. – Москва: Учпедгиз, 1951. – 150 с. – (Учпедгиз).
17. Вібромотор постійного струму [Електронний ресурс] // *www.rcscomponents.kiev.ua*. – 2021. – Режим доступу до ресурсу: [https://www.rcscomponents.kiev.ua/product/vibro-mikro-motor-tabletka\\_107234.html](https://www.rcscomponents.kiev.ua/product/vibro-mikro-motor-tabletka_107234.html).
18. Бюджетний пристрій на основі Arduino [Електронний ресурс] // *habr.com* – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <https://habr.com/ru/post/257943/>.
19. *Arduino Pro Mini* [Електронний ресурс] // *doc.arduino.ua* – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <https://doc.arduino.ua/ru/hardware/ProMini>.
20. *Arduino Nano* [Електронний ресурс] // *arduino.ua* – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <https://arduino.ua/prod166-arduino-nano-v3-0-avr-atmega328p-s-raspayannimi-razemami>.
21. Аккумулятор 18650 *Li-ion* 4.2v [Електронний ресурс] // *prom.ua*. – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <https://prom.ua/p1511935591-akkumulyator-18650-ion.html>.

22. Зарядний пристрій з захистом для *Li-ion* акумуляторів [Електронний ресурс] // *micro-pi.ru*. – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <https://micro-pi.ru/TP4056>.

23. *DC/DC converter LM2596* [Електронний ресурс] // *arduino.ua* – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <https://arduino.ua/prod650-DC-DC-ponijaushhii-konverter-c-4-5-60V-do-3-35V>.

24. Модуль *ULN2003* [Електронний ресурс] // *3v3.com.ua* – 2021. – Режим доступу до ресурсу: [https://3v3.com.ua/product\\_1269.html](https://3v3.com.ua/product_1269.html).