

Міністерство освіти і науки України  
Державний заклад  
«Луганський національний університет імені Тараса Шевченка»

Факультет технологій та інформаційних систем

Кафедра інформаційних технологій та систем

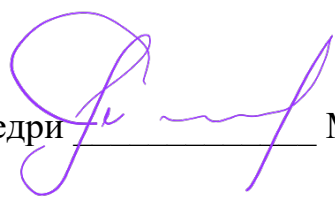
Самойлов Олександр Олександрович

**РОЗРОБКА СМАРТ-БРАСЛЕТА НА БАЗІ ІОТ-ТЕХНОЛОГІЙ ІЗ  
ТАКТИЛЬНИМ ЗВОРОТНИМ ЗВ'ЯЗКОМ ДЛЯ ПРОСТОРОВОЇ  
НАВІГАЦІЇ ТА ПОПЕРЕДЖЕННЯ ПРО НЕБЕЗПЕКУ ЛЮДЕЙ З  
ВАДАМИ ЗОРУ**

**кваліфікаційна робота  
здобувача вищої освіти першого (бакалаврського) рівня  
освітньої програми «Комп'ютерна інженерія»  
за спеціальністю 123 Комп'ютерна інженерія**

Особистий підпис \_\_\_\_\_  \_\_\_\_\_ Олександр САМОЙЛОВ

Науковий керівник \_\_\_\_\_  Володимир ДОНЧЕНКО,  
старший викладач  
кафедри інформаційних технологій  
та систем

Завідувач кафедри \_\_\_\_\_  Микола СЕМЕНОВ,  
кандидат педагогічних наук, доцент  
кафедри інформаційних технологій  
та систем

Міністерство освіти і науки України  
Державний заклад «Луганський національний університет  
імені Тараса Шевченка»

|                      |                                                               |
|----------------------|---------------------------------------------------------------|
| Факультет (інститут) | Факультет технологій та інформаційних систем<br>(повна назва) |
| Кафедра              | Кафедра інформаційних технологій та систем<br>(повна назва)   |
| Освітній ступень     | Бакалавр<br>(код, назва)                                      |
| Напрямок підготовки  | 123 Комп'ютерна інженерія<br>(код, назва)                     |

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ІТС  
М.А. Семенов

(підпис)

(ініціали, прізвище)

“ ” 2025 р.

ЗАВДАННЯ  
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТУ

Самойлову Олександру Олександровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Розробка смарт-браслета на базі IoT-технологій із тактильним зворотним зв'язком для просторової навігації та попередження про небезпеку людей з вадами зору

Керівник кваліфікаційної роботи

Донченко В.Ю. старший викладач

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджена наказом по університету

від

2. Строк подання студентом проекту (роботи)

3. Вихідні дані до роботи (проекту)

Розроблено смарт-браслета на базі

IoT- технологій із тактильним зворотним зв'язком

(визначаються кількісні або (та) якісні показники, яким повинен відповідати об'єкт розробки)

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) АНАЛІЗ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ПРОСТОРОВОЇ ОРІЄНТАЦІЇ ОСІБ ІЗ ПОРУШЕННЯМИ ЗОРУ.

ВИМОГИ ТА ВИБІР ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ СМАРТ-БРАСЛЕТУ НА БАЗІ IoT-ТЕХНОЛОГІЙ ІЗ ТАКТИЛЬНИМ ЗВОРОТНИМ ЗВ'ЯЗКОМ ДЛЯ ПРОСТОРОВОЇ НАВІГАЦІЇ. РОЗРОБКА АПАРАТНОГО ТА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ.

(визначаються назви розділів або (та) перелік питань, які повинні увійти до тексту ПЗ)

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

## 6. Консультанти розділів проекту/роботи

| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата   |                  |
|--------|-------------------------------------------|----------------|------------------|
|        |                                           | завдання видав | завдання прийняв |
|        |                                           |                |                  |
|        |                                           |                |                  |
|        |                                           |                |                  |
|        |                                           |                |                  |
|        |                                           |                |                  |
|        |                                           |                |                  |
|        |                                           |                |                  |

7. Дата видачі завдання „ 10 ” жовтня 2025р.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів дипломного проекту (роботи)                                                                                                                                                             | Строк виконання етапів проекту (роботи )    | Примітка |
|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|----------|
|       | Вибір теми роботи, вивчення наукової літератури, затвердження теми та керівника.                                                                                                                     | До 15 жовтня                                |          |
|       | Аналіз літературних джерел за темою роботи. Розробка та апробація методики дослідно-експериментальної роботи.<br>Подання структури теоретичної частини роботи та плану експериментальних досліджень. | Другий тиждень листопада<br>(10 листопада ) |          |
|       | Робота над теоретичною частиною.<br>Подання теоретичної частини роботи для першого читання науковим керівником.                                                                                      | До 15 грудня                                |          |
|       | Усунення зауважень, урахування рекомендацій наукового керівника.<br>Подання теоретичної частини роботи на друге читання.                                                                             | До 28 січня                                 |          |
|       | Проведення експериментальної роботи. Поетапний аналіз та обговорення її результатів. Перевірка стану виконання роботи.                                                                               | Перший тиждень березня                      |          |
|       | Урахування рекомендацій наукового керівника, усунення недоліків, підготовка варіанта роботи до передзахисту.<br>Розробка презентації.                                                                | До 31 березня                               |          |
|       | Попередній захист роботи на кафедрі                                                                                                                                                                  | квітень                                     |          |
|       | Доопрацювання роботи з урахуванням рекомендацій після передзахисту. Подання роботи науковому керівникові та рецензентові на підготовку відгуку та рецензії                                           | За 10 днів до державної атестації           |          |
|       | Подання на кафедру остаточного варіанта роботи, переплетеного та підписаного автором, науковим керівником і рецензентом.                                                                             | За 5 днів до державної атестації            |          |

**Студент**

\_\_\_\_\_

підпис

**О. О. Самойлов**

\_\_\_\_\_

(ініціали, прізвище)

**Керівник проекту (роботи)**

\_\_\_\_\_

підпис

**В. Ю. Донченко**

\_\_\_\_\_

(ініціали, прізвище)

## АНОТАЦІЯ

**Самойлов О. О.**

**Тема:** Розробка смарт-браслета на базі IoT-технологій із тактильним зворотним зв'язком для просторової навігації та попередження про небезпеку людей з вадами зору.

**Спеціальність:** 123 «Комп'ютерна інженерія»

**Установа:** ЛНУ імені Тараса Шевченка, 2026 р.

**Бакалаврська робота містить:** 118 с., 61 рис., 3 табл., 67 джерел.

**Об'єкт дослідження** – процеси просторової орієнтації, навігації та безконтактного детектування перешкод у міському середовищі для осіб із порушеннями зору.

**Предмет дослідження** – апаратно-програмні засоби, алгоритми обробки сенсорних даних та математичні моделі тактильного зворотного зв'язку в складі смарт-браслета на базі IoT-технологій.

**Мета дослідження** – розробка та апаратно-програмна реалізація смарт-браслета на базі IoT-технологій із тактильним та звуковим зворотним зв'язком для забезпечення безконтактної просторової навігації, виявлення перешкод та попередження про небезпеку людей з вадами зору.

**Результати роботи.** Обґрунтовано елементну базу та реалізовано смарт-браслет на основі мікроконтролера Arduino Nano. Сенсорна підсистема з трьох ультразвукових датчиків HC-SR04 забезпечує сканування простору у фронтальній та бічних зонах (до 4 м, кут 15°) із використанням експоненціального згладжування завад. Керування вібромотором і зумером реалізовано на базі математичної моделі з функцією для плавного тактильного відгуку в діапазоні 35–150 см. Інтегровані модулі GPS Neo-6M та GSM SIM800L дозволили впровадити функцію трекінгу й надсилання SMS-повідомлень із координатами Google Maps у разі небезпеки. У середовищі MATLAB за методами TDOA та крос-кореляції успішно змодельовано алгоритм визначення напрямку прибуття звуку (DOA) для мікрофонного масиву Pmod PDM (MEMS IM69D130).

Практичне значення отриманих результатів полягає у створенні завершеного, економічно доступного та високотехнологічного асистивного комплексу смарт-браслета на базі IoT-технологій із тактильним зворотним зв'язком для просторової навігації та попередження про небезпеку людей з вадами зору. Спроектована друкована плата, програмні алгоритми нелінійного керування тактильним відгуком та інтегрована функція GSM-трекінгу дозволяють суттєво підвищити безпеку локомоції незрячих, знизити їхнє когнітивне навантаження та забезпечити опікунів інструментом дистанційного моніторингу координат в екстрених ситуаціях.

**Ключові слова.** СМАРТ-БРАСЛЕТ, ІОТ-ТЕХНОЛОГІЇ, АСИСТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ, ЛЮДИ З ВАДАМИ ЗОРУ, ПРОСТОРОВА НАВІГАЦІЯ, ТАКТИЛЬНИЙ ЗВОРОТНИЙ ЗВ'ЯЗОК, ARDUINO NANO, УЛЬТРАЗВУКОВИЙ ДАТЧИК HC-SR04, GSM/GPS ТРЕКІНГ, МІКРОФОННИЙ МАСИВ PMOD PDM.

## ABSTRACT

**Samoilov Oleksandr**

**Theme:** Development of a smart bracelet based on IoT technologies with haptic feedback for spatial navigation and warning of danger for people with visual impairments.

**Speciality:** 123 "Computer Engineering"

**Institution:** Luhansk Taras Shevchenko National University (LTSNU), 2026.

**Diploma work contains:** 118 pages, 61 Fig., 3 Table, 67 source.

**A research object** is the processes of spatial orientation, navigation and non-contact obstacle detection in the urban environment for people with visual impairments.

**The article of research** hardware and software, algorithms for processing sensor data and mathematical models of tactile feedback as part of a smart bracelet based on IoT technologies.

**An aim of research** is development and hardware and software implementation of a smart bracelet based on IoT technologies with tactile and audio feedback to provide contactless spatial navigation, obstacle detection and danger warning for people with visual impairments.

**Job performances.** The element base was substantiated and a smart bracelet based on the Arduino Nano microcontroller was implemented. The sensor subsystem of three ultrasonic HC-SR04 sensors provides space scanning in the frontal and side zones (up to 4 m, angle 15°) using exponential smoothing of interference. Control of the vibration motor and buzzer was implemented based on a mathematical model with the function for a smooth tactile response in the range of 35–150 cm. Integrated GPS Neo-6M and GSM SIM800L modules allowed implementing the tracking function and sending SMS messages with Google Maps coordinates in case of danger. In the MATLAB environment, the algorithm for determining the direction of arrival (DOA) of sound for the Pmod PDM microphone array (MEMS IM69D130) was successfully simulated using TDOA and cross-correlation methods.

The practical significance of the results obtained lies in the creation of a complete, affordable and high-tech assistive complex of a smart bracelet based on IoT technologies with tactile feedback for spatial navigation and warning of danger for people with visual impairments. The designed printed circuit board, software algorithms for nonlinear tactile feedback control and integrated GSM tracking function allow to significantly increase the safety of locomotion of the blind, reduce their cognitive load and provide caregivers with a tool for remote monitoring of coordinates in emergency situations.

**Keywords.** SMART BRACELET, IoT TECHNOLOGIES, ASSISTANT TECHNOLOGIES, VISUALLY IMPAIRED PEOPLE, SPATIAL NAVIGATION, TACTILE FEEDBACK, ARDUINO NANO, HC-SR04 ULTRASOUND SENSOR, GSM/GPS TRACKING, PMOD PDM MICROPHONE ARRAY.

**Розробка смарт-браслета на базі IoT-технологій із тактильним зворотним зв'язком для просторової навігації та попередження про небезпеку людей з вадами зору.**

|           |      |                |        |      |                    |  |  |                                |      |         |   |
|-----------|------|----------------|--------|------|--------------------|--|--|--------------------------------|------|---------|---|
|           |      |                |        |      | ІТС.4КІ.0426.01-ВП |  |  |                                |      |         |   |
| Змн.      | Арк. | № докум.       | Підпис | Дата |                    |  |  |                                |      |         |   |
| Розроб.   |      | Самойлов О. О. |        |      | ВІДОМІСТЬ ПРОЄКТУ  |  |  | Літ.                           | Арк. | Акрушіє |   |
| Керівник  |      | Донченко В.Ю.  |        |      |                    |  |  |                                |      | 1       | 1 |
| Реценз.   |      | Козуб Ю.Г.     |        |      |                    |  |  | ЛНУ<br><br>Кафедра ІТС, Гр.4КІ |      |         |   |
| Н. Контр. |      |                |        |      |                    |  |  |                                |      |         |   |
| Зав. каф. |      | Семенов М.А..  |        |      |                    |  |  |                                |      |         |   |

**Міністерство освіти і науки України**  
**Державний заклад «Луганський національний університет**  
**імені Тараса Шевченка»**

Факультет (інститут)

Факультет технологій та інформаційних  
систем

(повна назва)

Кафедра

Кафедра інформаційних технологій та  
систем

(повна назва)

(код, назва)

**ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ**

на виконання програмної розробки (ПР):

**"РОЗРОБКА СМАРТ-БРАСЛЕТА НА БАЗІ ІОТ-ТЕХНОЛОГІЙ ІЗ  
ТАКТИЛЬНИМ ЗВОРОТНИМ ЗВ'ЯЗКОМ ДЛЯ ПРОСТОРОВОЇ  
НАВІГАЦІЇ ТА ПОПЕРЕДЖЕННЯ ПРО НЕБЕЗПЕКУ ЛЮДЕЙ З  
ВАДАМИ ЗОРУ"**

**ІТС.4КІ.0425.02-ТЗ**

**ПОГОДЖЕНО**

Керівник кваліфікаційної роботи

\_\_\_\_\_  
Донченко В.Ю.

“ \_\_\_\_\_ ” 2026р

**ВИКОНАВЕЦЬ**

Студент групи 4КІ

\_\_\_\_\_  
Самойлов О. О.

“ \_\_\_\_\_ ” 2026р

Лубни – 2026

## ЗМІСТ

|                                                                              |          |
|------------------------------------------------------------------------------|----------|
| <b>1. ВСТУП .....</b>                                                        | <b>3</b> |
| <b>2. ПРИЗНАЧЕННЯ ПРОДУКЦІЇ .....</b>                                        | <b>3</b> |
| <b>3. МЕТА СТВОРЕННЯ СИСТЕМИ.....</b>                                        | <b>3</b> |
| <b>4. ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА.....</b>                                        | <b>4</b> |
| 4.1. Основні задачі та функції об'єкта .....                                 | 4        |
| <b>5. ВИМОГИ ДО СИСТЕМИ .....</b>                                            | <b>4</b> |
| 5.1. Вимоги до системи в цілому .....                                        | 4        |
| 5.1.1. Вимоги до структури та функціонування системи .....                   | 4        |
| 5.1.2. Вимоги до способів та засобів зв'язку між компонентами системи .      | 5        |
| 5.1.3. Вимоги до діагностування системи .....                                | 5        |
| 5.1.4. Перспективи розвитку та модернізації системи .....                    | 6        |
| 5.1.5. Вимоги до надійності системи .....                                    | 6        |
| 5.1.6. Вимоги до функцій та задач, які виконує система .....                 | 6        |
| 5.1.7. Вимоги до апаратного забезпечення.....                                | 7        |
| 5.1.8. Вимоги до програмного забезпечення.....                               | 7        |
| <b>6. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ВИМОГИ ДО КІНЦЕВОГО ПРОДУКТУ .....</b>              | <b>8</b> |
| <b>7. ВИМОГИ ДО МАТЕРІАЛІВ ТА КОМПЛЕКТУЮЧИХ.....</b>                         | <b>8</b> |
| <b>8. ЕТАПИ ВИКОНАННЯ ПР.....</b>                                            | <b>8</b> |
| <b>9. ПРИЙМАННЯ .....</b>                                                    | <b>8</b> |
| <b>10. ПОРЯДОК ВНЕСЕННЯ ЗМІН ДО ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ, ЩО ЗАТВЕРДЖЕНО.....</b> | <b>9</b> |

|           |      |                |        |      |                    |                            |      |         |  |
|-----------|------|----------------|--------|------|--------------------|----------------------------|------|---------|--|
|           |      |                |        |      | ІТС.4КІ.0426.03-ПЗ |                            |      |         |  |
|           |      |                |        |      |                    |                            |      |         |  |
| Змн.      | Арк. | № докум.       | Підпис | Дата |                    |                            |      |         |  |
| Розроб.   |      | Самойлов О. О. |        |      | ЗМІСТ              | Літ.                       | Арк. | Акрушів |  |
| Керівник  |      | Донченко В.Ю.  |        |      |                    |                            | 2    | 1       |  |
| Реценз.   |      | Козуб Ю.Г.     |        |      |                    | ЛНУ<br>Кафедра ІТС, Гр.4КІ |      |         |  |
| Н. Контр. |      |                |        |      |                    |                            |      |         |  |
| Зав. каф. |      | Семенов М.А.   |        |      |                    |                            |      |         |  |



## 1. ВСТУП

**1.1 Найменування:** Розробка смарт-браслета на базі IoT-технологій із тактильним зворотним зв'язком для просторової навігації та попередження про небезпеку людей з вадами зору.

**1.2 Шифр ПР:** АДР-9

**1.3 Підстава до виконання ПР:** Підставою для виконання даної розробки є завдання на дипломний проєкт.

**1.4 Терміни розробки:**

1.4.1 Початок 30 жовтня 2025р.

1.4.2 Закінчення 20 квітня 2026р.

**1.5 Фінансується** за рахунок коштів замовника.

## 2. ПРИЗНАЧЕННЯ ПРОДУКЦІЇ

### 2.1. Призначення:

Смарт-браслет призначений для підвищення мобільності, автономності та безпеки людей із повним або частковим порушенням зорової функції в умовах сучасного урбанізованого середовища. Пристрій забезпечує користувачу можливість безконтактного виявлення перешкод, просторової орієнтації та визначення напрямку потенційної небезпеки за допомогою комбінованого тактильного (вібраційного) й звукового сповіщення. Також виріб призначений для дистанційного моніторингу місцезнаходження незрячого його опікунами в екстрених ситуаціях.

## 3. МЕТА СТВОРЕННЯ СИСТЕМИ

Метою проєкту є розробка, апаратно-програмна реалізація та експериментальне калібрування компактного, економічно доступного та автономного носимого пристрою (смарт-браслета). Система має компенсувати обмеження традиційних засобів навігації (білих тростині) шляхом превентивного активного сканування навколишнього простору, інтелектуальної обробки сенсорних даних та передачі інформації користувачу у формі, що знижує його когнітивне навантаження.

|      |      |          |        |      |                    |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|      |      |          |        |      | ІТС.4КІ.0426.03-ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    | 3    |

## 4. ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА

Об'єктом розробки та дослідження є процеси локомоції, безконтактного детектування перешкод та просторової орієнтації осіб із порушеннями зору. Пристрій функціонує як елемент асистивних IoT-технологій особистого використання.

### 4.1. Основні задачі та функції об'єкта

Об'єкт розробки повинен забезпечувати виконання таких ключових завдань:

1. **Безконтактне сканування простору:** безперервне вимірювання відстані до об'єктів у фронтальній та бікових зонах руху користувача.
2. **Адаптивне інформування користувача:** генерація тактильних вібраційних сигналів різної інтенсивності й частоти, а також звукових тонів залежно від відстані до виявленої перешкоди.
3. **Визначення кута приходу звуку (DOA):** аналіз акустичного оточення за допомогою мікрофонного масиву для локалізації джерела звукових завад (наприклад, транспортних сигналів).
4. **Супутникова геолокація та зв'язок:** визначення поточних географічних координат та автоматичне надсилання SOS-повідомлень з посиланням на карту опікуну за допомогою мобільної мережі.

## 5. ВИМОГИ ДО СИСТЕМИ

### 5.1. Вимоги до системи в цілому

Система повинна бути виконана у вигляді легкого автономного наручного браслета, що не обмежує рухи кисті, та може використовуватись як самостійно, так і спільно з традиційною білою тростиною.

#### 5.1.1. Вимоги до структури та функціонування системи

Система має будуватися за модульним принципом на базі центрального мікроконтролерного блока, який координує роботу сенсорів та виконавчих механізмів.

|      |      |          |        |      |                           |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>ІТС.4КІ.0426.03-ПЗ</i> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                           | 4    |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                           |      |

Процес функціонування має бути циклічним:

- опитування ультразвукових давачів, GPS/GSM модулів та сенсора дощу;
- цифрова фільтрація та математичне оброблення сигналів;
- формування керуючого ШІМ-сигналу для вібромотора та зумера;
- обробка вхідних команд (запитів координат) та подій тактової кнопки тривоги.

### 5.1.2. Вимоги до способів та засобів зв'язку між компонентами системи

Внутрішньосистемний зв'язок між мікроконтролером та периферійними модулями повинен здійснюватись за допомогою стандартних інтерфейсів: **I<sup>2</sup>C** (для дисплея/допоміжних плат), **UART / SoftwareSerial** (для обміну з модулями GPS і GSM), а також цифрових та аналогових ліній введення-виведення (I/O).

Взаємодія з мікрофонним масивом має використовувати інтерфейс **PDM (Pulse Density Modulation)** із тактовою частотою синхронізації від внутрішнього таймера мікроконтролера.

Зовнішній бездротовий зв'язок із стільниковою мережею опікуна здійснюється через GSM-канал (діапазони 850/900/1800/1900 МГц) за допомогою стандартних **АТ-команд**.

### 5.1.3. Вимоги до діагностування системи

При увімкненні пристрою повинна відбуватись первинна ініціалізація всіх підключених апаратних модулів.

Система повинна реалізовувати звукову індикацію (короткий тональний сигнал зумера або висхідний тон) у разі успішного старту та підключення до GSM-мережі.

У разі критичного зниження рівня напруги акумулятора або втрати зв'язку із супутниками система має сповістити користувача спеціальним паттерном вібрації.

|      |      |          |        |      |                           |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <b>ІТС.4КІ.0426.03-ПЗ</b> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                           | 5    |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                           |      |

#### 5.1.4. Перспективи розвитку та модернізації системи

Архітектура друкованої плати та програмного коду повинна мати високу масштабованість для подальшої інтеграції бездротових модулів зв'язку короткої дії (Bluetooth / Wi-Fi).

Повинна бути передбачена можливість заміни обчислювального ядра на більш продуктивні платформи (наприклад, ESP32) для розгортання локальних нейромережових алгоритмів штучного інтелекту та розпізнавання об'єктів.

#### 5.1.5. Вимоги до надійності системи

**Стабільність зчитування даних:** для запобігання хибних спрацювань через стрибки вимірювань далекоміра у коді має бути реалізований алгоритм експоненціального згладжування сенсорних даних.

**Електричний захист:** ланцюг живлення чутливих модулів (наприклад, GSM-модуля SIM800L, який має високі імпульсні струми до 2 А) повинен бути стабілізований за допомогою надійного DC-DC знижувального перетворювача напруги.

Код програми має стабільно виконуватись у циклі без зависань (час одного вимірювального циклу далекоміра має становити не менше 60 мс для виключення явища накладання ехо-сигналів).

#### 5.1.6. Вимоги до функцій та задач, які виконує система

**Функція далекометрії:** виявлення перешкод розміром понад 0,5 м<sup>2</sup> у діапазоні від 2 до 400 см.

**Функція тактильного кодування:** нелінійне керування інтенсивністю вібрації на основі математичної моделі гіперболічного тангенса ( $\tanh$ ) у межах відстаней від 35 до 150 см для плавного та інтуїтивного відгуку.

**Функція DOA-локалізації:** розрахунок кута приходу акустичної хвилі на основі аналізу різниці часу приходу сигналу (TDOA) методами крос-кореляції.

**Екстрена функція (SOS):** автоматичне формування та відправка SMS із текстом допомоги та точним посиланням на Google Maps при натисканні кнопки.

#### 5.1.7. Вимоги до апаратного забезпечення

Апаратний комплекс повинен складатись із такої елементної бази:

- **Мікроконтролер:** Arduino Nano (на базі 8-бітного чіпа ATmega328P, тактова частота 16 МГц, 32 КБ Flash, 2 КБ SRAM).
- **Сенсори відстані:** 3 шт. ультразвукових далекомірів HC-SR04 (робоча частота 40 кГц).
- **Навігаційний модуль:** GPS NEO-6M із вбудованою EEPROM та резервним акумулятором.
- **Комунікаційний модуль:** GSM/GPRS SIM800L.
- **Акустичний аналізатор:** Масив Pmod PDM мікрофонних плат на базі MEMS-чіпів IM69D130.
- **Пристрої індикації та відгуку:** плоский вібромотор (діаметр 10 мм), активний зумер (5 В, робочий струм до 15 мА).
- **Система живлення:** імпульсний DC-DC перетворювач LM2596, вимикач живлення та літій-іонний акумулятор.

#### 5.1.8. Вимоги до програмного забезпечення

Програмне забезпечення мікроконтролера має бути розроблене на мові C/C++ у середовищі Arduino IDE з використанням оптимізованих відкритих бібліотек для роботи з периферією.

Програма повинна забезпечувати роботу вводу-виводу без блокування основного процесу (мінімальне обчислювальне навантаження на процесор за рахунок використання активного зумера з вбудованим осцилятором).

ПЗ має містити алгоритми переведення PDM-сигналу з мікрофонів у PCM-формат для подальшого обчислення кореляційних функцій у реальному часі.

|      |      |          |        |      |                    |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|      |      |          |        |      | ІТС.4КІ.0426.03-ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    | 7    |

## 6. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ВИМОГИ ДО КІНЦЕВОГО ПРОДУКТУ

Вартість робіт по розробці даної ПР визначається згідно договору на розробку. Вартість запропонованих аналогів повинна забезпечити економічну доцільність їх застосування.

## 7. ВИМОГИ ДО МАТЕРІАЛІВ ТА КОМПЛЕКТУЮЧИХ

7.1. Вимоги до екологічної безпечності під час експлуатації.

Не пред'являються.

7.2. Спеціальні вимоги до кінцевого продукту.

Не пред'являються.

7.3. Вимоги до безпеки для населення під час експлуатації продукції.

Не пред'являються.

## 8. ЕТАПИ ВИКОНАННЯ ПР.

Етапи виконання ПР можуть уточнювати згідно календарного плану робіт по узгодженню між замовником та виконавцем

| № | Етапи виконання роботи                                                                                                                | Термін виконання та обсяг робіт | звітні матеріали                                                                                            |
|---|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | Аналіз розробки програмного комплексу та розробка першої версії. Аналіз вимог. Розробка структури. Попереднє тестування               |                                 | Частковий програмний комплекс на ЕОМ замовника, що виконує всі основні функції та звітна документація п.8.2 |
| 2 | Коректування структури. Розробка допоміжних функцій. Розробка остаточної версії програмного комплексу та його опрацювання. Тестування |                                 | Готовий програмний комплекс на ЕОМ замовника та звітна документація п.8.2                                   |
| 3 | Доопрацювання окремих модулів та навчання користувачів. Розробка звітних матеріалів згідно п.8 цього ТЗ                               |                                 | звітні матеріали згідно пункту 8                                                                            |

## 9. ПРИЙМАННЯ

7.1. Необхідні вимоги для впровадження ПР та завершення робіт.

|      |      |          |        |      |                           |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <b>ІТС.4КІ.0426.03-ПЗ</b> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                           | 8    |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                           |      |

Оцінка результатів розробки і доцільність її продовження здійснюється замовником по представленню наступних матеріалів:

- встановлений програмний комплекс на ЕОМ замовника;
- перелік файлів на резервному носії;
- стислий опис роботи ПР та опис всіх файлів, які необхідні для роботи ПР.
- перелік документів
  - Технічне завдання
  - Пояснювальна записка

7.2. Перелік звіних документів, необхідних для прийняття етапів роботи:

- стислий опис результатів етапу у вигляді анотованого звіту(для 1 та 2 етапів);
- частковий програмний комплекс на ЕОМ замовника згідно календарного плану робіт;
- акт приймання продукції.

7.3. Загальний перелік до приймання звітних документів, макетів, експериментальних зразків.

До приймання пред'являються: акт здачі-приймання продукції, акт впровадження ПР.

7.4. Тестування ПР

Тестування виконується до "Програми та методики тестування", яка розробляється виконавцем та затверджується замовником

**10. ПОРЯДОК ВНЕСЕННЯ ЗМІН ДО ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ, ЩО ЗАТВЕРДЖЕНО.**

Дане технічне завдання може уточнюватися в процесі розробки ПР при узгодженні сторін з оформленням доповнень до ТЗ.

|      |      |          |        |      |                           |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>ІТС.4КІ.0426.03-ПЗ</i> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                           | 9    |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                           |      |

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ДЗ «ЛУГАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА»**

---

**Факультет технологій та інформаційних систем**  
(назва факультету, інституту)

---

**Інформаційних технологій та систем**  
(назва кафедри)

---

**Пояснювальна записка**  
до дипломного проекту (роботи)  
**БАКАЛАВРА**  
(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему:

**РОЗРОБКА СМАРТ-БРАСЛЕТА НА БАЗІ ІoT-ТЕХНОЛОГІЙ ІЗ  
ТАКТИЛЬНИМ ЗВОРОТНИМ ЗВ'ЯЗКОМ ДЛЯ ПРОСТОРОВОЇ  
НАВІГАЦІЇ ТА ПОПЕРЕДЖЕННЯ ПРО НЕБЕЗПЕКУ ЛЮДЕЙ З  
ВАДАМИ ЗОРУ**

Виконав: студент 4 курсу, групи \_\_\_\_  
напряму підготовки (спеціальності)  
**123 «Комп'ютерна інженерія»**  
(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

**Самойлов О. О.**  
(прізвище та ініціали)

Керівник **Донченко В. Ю.**  
(прізвище та ініціали)

Рецензент **Козуб Ю. Г.**  
(прізвище та ініціали)

Лубни – 2026 року



## ЗМІСТ

|                                                                                                                                                        |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>ВСТУП.....</b>                                                                                                                                      | <b>4</b>  |
| <b>РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ПРОСТОРОВОЇ ОРІЄНТАЦІЇ ОСІБ ІЗ ПОРУШЕННЯМИ ЗОРУ .....</b>                                                       | <b>9</b>  |
| 1.1. Сенсорна компенсація та когнітивні механізми орієнтації у просторі .....                                                                          | 9         |
| 1.2. Стан та перспективи розвитку асистивних технологій для навігації в Україні .....                                                                  | 26        |
| 1.3. Традиційні методи навігації та бар'єри їх використання в міському середовищі .....                                                                | 29        |
| 1.4. Інноваційні асистивні технології: від мобільних додатків до IoT-пристроїв та комп'ютерного зору .....                                             | 37        |
| Висновки до розділу .....                                                                                                                              | 47        |
| <b>РОЗДІЛ 2. ВИМОГИ ТА ВИБІР ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ СМАРТ-БРАСЛЕТУ НА БАЗІ ІОТ-ТЕХНОЛОГІЙ ІЗ ТАКТИЛЬНИМ ЗВОРОТНИМ ЗВ'ЯЗКОМ ДЛЯ ПРОСТОРОВОЇ НАВІГАЦІЇ .....</b> | <b>49</b> |
| 2.1 Основні елементи системи орієнтації в просторі для сліпих .....                                                                                    | 49        |
| 2.2. Обґрунтування вибору обладнання для смарт-браслету на базі IoT-технологій із тактильним зворотним зв'язком .....                                  | 51        |
| 2.2.1. Мікроконтролер .....                                                                                                                            | 51        |
| 2.2.2. Ультразвуковий датчик .....                                                                                                                     | 58        |
| 2.2.3. Модуль GPS .....                                                                                                                                | 60        |
| 2.2.4. Модуль GSM.....                                                                                                                                 | 62        |
| 2.2.5. Стабілізатор напруги на основі LM2596 .....                                                                                                     | 63        |
| 2.2.6. Зумер Active Buzzer Module.....                                                                                                                 | 65        |
| 2.2.7. Масив Pmod PDM мікрофонів .....                                                                                                                 | 68        |
| Висновки до розділу .....                                                                                                                              | 72        |

|           |      |                |        |      |                    |                            |      |         |  |
|-----------|------|----------------|--------|------|--------------------|----------------------------|------|---------|--|
|           |      |                |        |      | ІТС.4КІ.0426.03-ПЗ |                            |      |         |  |
|           |      |                |        |      |                    |                            |      |         |  |
| Змн.      | Арк. | № докум.       | Підпис | Дата | ЗМІСТ              | Літ.                       | Арк. | Акрушів |  |
| Розроб.   |      | Самойлов О. О. |        |      |                    |                            |      |         |  |
| Керівник  |      | Донченко В.Ю.  |        |      |                    |                            | 2    | 2       |  |
| Реценз.   |      | Козуб Ю.Г.     |        |      |                    | ЛНУ<br>Кафедра ІТС, Гр.4КІ |      |         |  |
| Н. Контр. |      |                |        |      |                    |                            |      |         |  |
| Зав. каф. |      | Семенов М.А.   |        |      |                    |                            |      |         |  |

|                                                                        |            |
|------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА АПАРАТНОГО ТА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ .....</b> | <b>75</b>  |
| 3.1. Розробка апаратного забезпечення .....                            | 75         |
| 3.2. Розробка програмного забезпечення.....                            | 84         |
| 3.3. Проєктування смарт-браслету .....                                 | 90         |
| <b>РОЗДІЛ 4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ.....</b>                     | <b>96</b>  |
| 4.1. Моделювання в MATLAB .....                                        | 96         |
| 4.2. Моделювання впливу перешкоди.....                                 | 104        |
| Висновки до розділу .....                                              | 106        |
| <b>ВИСНОВКИ .....</b>                                                  | <b>108</b> |
| <b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....</b>                                | <b>111</b> |
| <b>ДОДАТОК А .....</b>                                                 | <b>119</b> |

## ВСТУП

У сучасному суспільстві проблема забезпечення мобільності та безпечного пересування людей із порушеннями зору набуває особливої актуальності. Втрата або обмеження зорової функції суттєво ускладнює процес орієнтації у просторі, знижує рівень автономності людини та створює додаткові труднощі під час повсякденного пересування. Особливо складними є умови міського середовища, де велика кількість динамічних перешкод, транспортних потоків і шумового навантаження потребує швидкого реагування та постійного аналізу навколишнього середовища.

Традиційні засоби орієнтації, такі як білі тростини та собаки-поводирі, залишаються важливими інструментами допомоги людям із вадами зору, однак їх функціональні можливості є обмеженими. Вони не завжди забезпечують своєчасне виявлення перешкод, особливо на рівні голови, а також не дозволяють отримувати розширену інформацію про навколишнє середовище. У зв'язку з цим зростає потреба у створенні сучасних асистивних технологій, здатних підвищити рівень безпеки, мобільності та незалежності користувачів.

Стрімкий розвиток мікроелектроніки, сенсорних систем, цифрової обробки сигналів та вбудованих систем відкриває нові можливості для створення доступних і функціональних пристроїв допомоги орієнтації. Сучасні технології дозволяють поєднувати датчики відстані, аудіосистеми, мікроконтролери та алгоритми обробки сигналів у єдині інтегровані системи, здатні аналізувати навколишнє середовище в режимі реального часу та надавати користувачеві необхідну інформацію у зручній формі.

Актуальність даної дипломної роботи полягає у необхідності розробки доступної, компактної та ефективної системи допомоги орієнтації в просторі для людей із порушеннями зору, яка б поєднувала функції виявлення перешкод і визначення напрямку надходження звукових сигналів.

|           |      |                |        |      |                    |  |  |                            |      |         |
|-----------|------|----------------|--------|------|--------------------|--|--|----------------------------|------|---------|
|           |      |                |        |      | ІТС.4КІ.0426.03-ПЗ |  |  |                            |      |         |
|           |      |                |        |      |                    |  |  |                            |      |         |
| Змн.      | Арк. | № докум.       | Підпис | Дата | ВСТУП              |  |  | Лім.                       | Арк. | Акрушіє |
| Розроб.   |      | Самойлов О. О. |        |      |                    |  |  |                            |      |         |
| Керівник  |      | Донченко В.Ю.  |        |      |                    |  |  |                            | 4    | 5       |
| Реценз.   |      | Козуб Ю.Г.     |        |      |                    |  |  | ЛНУ<br>Кафедра ІТС, Гр.4КІ |      |         |
| Н. Контр. |      |                |        |      |                    |  |  |                            |      |         |
| Зав. каф. |      | Семенов М.А.   |        |      |                    |  |  |                            |      |         |

Особливу увагу приділено використанню недорогих та енергоефективних компонентів, що дозволяє створити систему з потенціалом для широкого практичного застосування.

**Об'єкт дослідження** – процеси просторової орієнтації, навігації та безконтактного детектування перешкод у міському середовищі для осіб із порушеннями зору.

**Предмет дослідження** – апаратно-програмні засоби, алгоритми обробки сенсорних даних та математичні моделі тактильного зворотного зв'язку в складі смарт-браслета на базі IoT-технологій.

**Мета дослідження** – розробка та апаратно-програмна реалізація смарт-браслета на базі IoT-технологій із тактильним та звуковим зворотним зв'язком для забезпечення безконтактною просторовою навігацією, виявлення перешкод та попередження про небезпеку людей з вадами зору.

**Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:**

- проаналізувати сучасний стан асистивних технологій для людей із порушеннями зору;
  - дослідити традиційні та інноваційні методи просторової орієнтації;
  - обґрунтувати вибір елементної бази та сформуванню структурної й електричної схеми асистивного комплексу на основі мікроконтролера Arduino Nano;
  - розробити програмне забезпечення для інтелектуальної обробки сигналів далекометрії, інтеграції модулів GPS/GSM та датчиків навколишнього середовища;
  - спроектувати та реалізувати автономний носимий девайс у вигляді браслета для активного сканування простору з калібруванням оптимального тактильного відгуку;
  - провести комп'ютерне моделювання алгоритмів оцінки напрямку прибуття звукового сигналу (DOA) та дослідити вплив зовнішніх перешкод на точність локалізації джерела звуку в середовищі MATLAB.

|      |      |          |        |      |                    |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|      |      |          |        |      | ІТС.4КІ.0426.03-ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                    | 5    |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

**Методи дослідження.** У роботі використано методи цифрової обробки сигналів для фільтрації та аналізу даних далекометрії, методи крос-кореляційного аналізу та оцінки різниці часу приходу хвиль (TDOA) для визначення напрямку звуку, методи експоненціального згладжування сигналів для мінімізації шумів, а також методи комп'ютерного імітаційного моделювання в середовищі MATLAB.

**Практичне значення отриманих результатів** полягає у створенні завершеного, економічно доступного та високотехнологічного асистивного комплексу смарт-браслета на базі IoT-технологій із тактильним зворотним зв'язком для просторової навігації та попередження про небезпеку людей з вадами зору. Спроектowana друкована плата, програмні алгоритми нелінійного керування тактильним відгуком та інтегрована функція GSM-трекінгу дозволяють суттєво підвищити безпеку локомоції незрячих, знизити їхнє когнітивне навантаження та забезпечити опікунів інструментом дистанційного моніторингу координат в екстрених ситуаціях. Запропоноване рішення може стати основою для подальшого розвитку інтелектуальних асистивних систем із використанням технологій штучного інтелекту, мобільних сервісів та бездротових комунікацій.

У першому розділі дипломної роботи було проведено теоретичний аналіз проблем просторової орієнтації людей із вадами зору. Досліджено особливості формування ментальних карт простору на основі слухових, тактильних та нюхових сенсорних каналів. Розглянуто процес адаптації людей із порушеннями зору до навколишнього середовища та труднощі, що виникають під час пересування у знайомому й незнайомому просторі.

Також у розділі проаналізовано сучасний стан і перспективи розвитку асистивних технологій в Україні та світі. Особливу увагу приділено традиційним засобам навігації, таким як білі тростини, собаки-поводирі та системи звукових підказок, а також сучасним технологіям — GPS-навігації, мобільним додаткам, IoT-пристроєм, системам комп'ютерного зору та рішенням на основі штучного інтелекту.

|      |      |          |        |      |                    |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|      |      |          |        |      | ІТС.4КІ.0426.03-ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                    | 6    |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

У результаті аналізу було визначено основні недоліки існуючих систем та сформовано вимоги до розробки доступної й ефективної системи допомоги орієнтації в просторі.

У другому розділі було здійснено вибір апаратних компонентів системи допомоги орієнтації та обґрунтовано доцільність їх використання. Основою системи обрано мікроконтролер Arduino Nano завдяки його компактності, доступності та достатній функціональності для реалізації поставлених задач.

Для виявлення перешкод було використано датчик відстані, який дозволяє визначати дистанцію до об'єктів у реальному часі. Для передачі інформації користувачу реалізовано систему звукового та тактильного сповіщення на основі зумера та вібромотора.

Крім того, у межах розділу було інтегровано мікрофонний масив Rmod PDM на базі цифрових MEMS-мікрофонів IM69D130. Це дозволило реалізувати функцію визначення напрямку надходження звукового сигналу, що значно розширило функціональні можливості системи.

Також було розроблено структурну та функціональну схеми пристрою, описано принцип взаємодії між апаратними модулями та визначено алгоритми обробки сигналів.

У третьому розділі було реалізовано програмне забезпечення для керування системою допомоги орієнтації. Розроблено алгоритми зчитування даних із датчика відстані, обробки інформації та формування сигналів оповіщення для користувача.

Для виявлення перешкод реалізовано алгоритм аналізу дистанції до об'єктів із подальшим генеруванням вібраційних і звукових сигналів залежно від відстані до перешкоди. Це забезпечило оперативне інформування користувача про небезпечні об'єкти на маршруті пересування.

Також було реалізовано алгоритм визначення напрямку звуку на основі мікрофонного масиву Rmod PDM. Для цього використано метод аналізу часової затримки приходу сигналу між мікрофонами та алгоритми крос-кореляції. На основі отриманих даних система обчислює орієнтовний напрямок джерела звуку.

У межах розділу проведено налаштування програмного середовища Arduino IDE, інтеграцію бібліотек для роботи з сенсорами та реалізацію логіки взаємодії між усіма компонентами системи.

У четвертому розділі було проведено тестування розробленої системи в різних умовах експлуатації. Перевірено працездатність датчика відстані, вібромотора, зумера та мікрофонного масиву.

У ході експериментів оцінено точність виявлення перешкод, швидкість реагування системи та ефективність визначення напрямку звукового сигналу. Встановлено, що система здатна стабільно працювати в умовах реального середовища та забезпечувати користувача необхідною інформацією для безпечного пересування.

Результати тестування підтвердили доцільність використання запропонованої архітектури системи та ефективність поєднання сенсорних технологій, тактильного і звукового зворотного зв'язку. Також визначено перспективи подальшого вдосконалення системи шляхом інтеграції бездротових технологій, GPS-навігації та алгоритмів штучного інтелекту.

|      |      |          |        |      |                    |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|      |      |          |        |      | ІТС.4КІ.0426.03-ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                    | 8    |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

# РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ПРОСТОРОВОЇ ОРІЄНТАЦІЇ ОСІБ ІЗ ПОРУШЕННЯМИ ЗОРУ

## 1.1. Сенсорна компенсація та когнітивні механізми орієнтації у просторі

У сучасному соціально-технологічному середовищі візуальна інформація є домінуючим каналом сприйняття навколишнього світу для людей з нормальним зором. Саме за допомогою зорового аналізатора людина здатна розпізнавати кольори, геометричні характеристики, просторові взаємозв'язки та текстурні особливості об'єктів, що забезпечує швидку та ефективну орієнтацію в просторі. Зорове сприйняття формує основу для когнітивних процесів, соціальної взаємодії, професійної діяльності та творчої самореалізації.

Водночас для осіб із повною або частковою втратою зору даний канал сприйняття є обмеженим або повністю недоступним, що суттєво ускладнює процес просторової орієнтації. Люди, які є незрячими від народження внаслідок генетичних порушень або внутрішньоутробних факторів, не мають сформованих візуальних образів предметів навколишнього середовища. У таких умовах провідну роль у пізнанні простору відіграють альтернативні сенсорні системи, зокрема слух, тактильна чутливість і нюх. Орієнтація здійснюється на основі аналізу акустичних сигналів, фактури поверхонь, температурних відчуттів та запахів, що дозволяє формувати уявлення про навколишнє середовище без використання зору [1].

Інша ситуація характерна для осіб, які втратили зорову функцію поступово. Вони володіють накопиченим запасом візуальних спогадів про об'єкти, простір і людей, які оточували їх раніше. Проте з плином часу, за відсутності можливості постійного підкріплення цих образів зоровими стимулами, відбувається їх поступова деградація. Знижується здатність відтворювати дрібні деталі, точні кольорові відтінки або текстурні особливості предметів.

|           |                |          |        |      |                                                                                                        |  |  |
|-----------|----------------|----------|--------|------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|
|           |                |          |        |      | <b>ІТС.4КІ.0426.03-ПЗ</b>                                                                              |  |  |
|           |                |          |        |      |                                                                                                        |  |  |
| Змн.      | Арк.           | № докум. | Підпис | Дата | <b>РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ МЕТОДІВ<br/>ТА ЗАСОБІВ ПРОСТОРОВОЇ<br/>ОРІЄНТАЦІЇ ОСІБ ІЗ<br/>ПОРУШЕННЯМИ ЗОРУ</b> |  |  |
| Розроб.   | Самойлов О. О. |          |        |      |                                                                                                        |  |  |
| Керівник  | Донченко В.Ю.  |          |        |      |                                                                                                        |  |  |
| Реценз.   | Козуб Ю.Г.     |          |        |      |                                                                                                        |  |  |
| Н. Контр. |                |          |        |      |                                                                                                        |  |  |
| Зав. каф. | Семенов М.А.   |          |        |      | Літ.      Арк.      Акрушів                                                                            |  |  |
|           |                |          |        |      | 9      39                                                                                              |  |  |
|           |                |          |        |      | ЛНУ                                                                                                    |  |  |
|           |                |          |        |      | Кафедра ІТС, Гр.4КІ                                                                                    |  |  |



Так, загальні уявлення про форму об'єкта можуть зберігатися, однак конкретні візуальні характеристики стають нечіткими або повністю втрачаються.

Найбільш складним психологічно та когнітивно є процес адаптації для людей, які втратили зір у зрілому віці. Наявні візуальні образи близьких осіб, знайомих місць чи об'єктів із часом перестають відповідати реальному стану речей. Це створює додаткові труднощі у сприйнятті соціального середовища та формуванні актуальної картини світу. Крім того, природні вікові зміни центральної нервової системи можуть призводити до поступового стирання зорових спогадів і зниження здатності до їх детального відтворення [2].

Водночас у осіб із порушеннями зору відбувається інтенсивний розвиток альтернативних сенсорних механізмів сприйняття. Зокрема, слухова система зазнає функціональної компенсації, що проявляється у підвищеній чутливості до звукових сигналів та здатності розрізняти незначні акустичні відмінності. Не менш важливу роль відіграє тактильне сприйняття, яке дозволяє ідентифікувати об'єкти шляхом аналізу їх геометричної форми, фактури поверхні та матеріалу виготовлення (див. рисунок 1.1). Нюхова чутливість також має істотне значення, оскільки запахи можуть слугувати орієнтирами у просторі, сприяти впізнаванню місць та формуванню асоціативних зв'язків із навколишнім середовищем [3].



Рис. 1.1. Люди з вадами зору мають добре розвинуті органи чуття

Таким чином, попри те, що втрата зорової функції є суттєвим фізіологічним та соціальним викликом, організм людини демонструє високий рівень адаптаційних можливостей. Компенсація дефіциту зору шляхом

|      |      |          |        |      |                    |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|      |      |          |        |      | ІТС.4КІ.0426.03-ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                    | 10   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

посиленого розвитку інших сенсорних каналів забезпечує можливість активної життєдіяльності, ефективної адаптації до навколишнього середовища та формування альтернативних способів пізнання об'єктивної реальності.

Для осіб із набутою або вродженою сліпотою однією з ключових компенсаційних функцій є слухове сприйняття. Саме слух виступає основним інструментом просторової орієнтації, дозволяючи отримувати інформацію про структуру середовища, наявність перешкод, рухомі об'єкти та динаміку простору. Акустичні сигнали сприяють формуванню уявлень про відстань, напрямок та просторове розташування об'єктів без використання зорового аналізатора.

Слухові стимули виконують функцію своєрідних «орієнтаційних маркерів», які забезпечують:

*Оцінювання відстані до об'єктів.* Аналіз звукових хвиль, що відбиваються від різних поверхонь (стін, меблів, архітектурних конструкцій), дає змогу приблизно визначати віддаленість об'єктів. Даний механізм має певну схожість із принципом ехолокації, притаманним тваринам, хоча у людини він реалізується на іншому нейрофізіологічному рівні.

*Локалізацію джерел звуку.* Незрячі особи здатні точно визначати напрямок наближення людей, тварин або транспортних засобів, що дозволяє орієнтуватися у просторі без безпосереднього тактильного контакту з об'єктами.

*Акустичну ідентифікацію об'єктів.* Різні предмети та явища характеризуються специфічними звуковими ознаками. Наприклад, транспортні засоби мають унікальні акустичні характеристики роботи двигуна, тоді як людські кроки відрізняються за ритмом, силою звуку та типом поверхні, по якій відбувається рух.

Особливого значення набувають голосові параметри як основний засіб ідентифікації знайомих осіб. У процесі регулярної комунікації незрячі люди формують здатність швидко розпізнавати співрозмовників за тембром, інтонацією та ритмом мовлення. Додатково можуть використовуватися

індивідуальні несловесні акустичні сигнали, зокрема особливості ходи або характерні рухи (див. рисунок 1.2) [4].



Рис. 1.2. Засіб просторової обізнаності: слух

За умов відсутності або значного обмеження зорової інформації слух набуває провідного значення та характеризується підвищеною чутливістю до акустичних стимулів. Особи з порушеннями зору здатні сприймати та аналізувати тонкі відмінності звуків, які зазвичай не фіксуються людьми зі збереженим зором. Це забезпечує можливість:

- оперативної орієнтації у добре знайомих приміщеннях;
- своєчасного виявлення потенційних загроз, зокрема наближення транспортних засобів або різких звукових сигналів;
- формування просторового уявлення про навколишнє середовище на основі акустичної інформації навіть за відсутності безпосереднього тактильного контакту з об'єктами.

Разом із тим слухове сприйняття має низку функціональних обмежень. У середовищах із підвищеним рівнем шуму, таких як громадські простори, транспортні вузли або вулиці з інтенсивним рухом, ефективність орієнтації суттєво знижується. Надмірний фоновий шум призводить до перевантаження слухового аналізатора, що ускладнює:

- диференціацію значущих акустичних сигналів серед загального шумового фону;
- оперативне реагування на звукові маркери, критично важливі для безпечної навігації.

У таких умовах особи з порушеннями зору змушені використовувати додаткові стратегії орієнтації, зокрема активніше залучати тактильні відчуття або застосовувати допоміжні технічні засоби. До них належать тростини, звукові індикатори на пішохідних переходах, а також спеціалізовані навігаційні пристрої, призначені для підтримки просторової обізнаності.

Для людей із порушеннями зору тактильна інформація є одним із ключових каналів отримання даних про навколишнє середовище (див. рисунок 1.3). Тактильне сприйняття забезпечує безпосередній контакт із фізичними об'єктами та поверхнями, дозволяючи визначати їхню форму, структуру, твердість і просторове розташування. Особливо важливою ця сенсорна система стає у ситуаціях, коли слухове сприйняття обмежене через високий рівень шуму або надмірну кількість одночасних звукових стимулів, що робить тактильний канал надійним інструментом компенсації відсутньої візуальної інформації [5].



Рис. 1.3. Засіб просторової обізнаності: дотик

Тактильна інформація забезпечує сприйняття фізичних характеристик навколишнього середовища та є одним із ключових механізмів просторової орієнтації осіб із порушеннями зору. Завдяки тактильному контакту стає можливим виконання низки важливих навігаційних функцій [5]:

1. Розпізнавання типів поверхонь. За допомогою безпосереднього дотику або використання білої тростини незрячі люди здатні диференціювати різні покриття, зокрема асфальт, бетон, ґрунт, траву чи гравій. Це дозволяє визначати межі пішохідних доріжок, своєчасно виявляти відхилення від безпечного маршруту та коригувати напрямок руху.

2. Виявлення перешкод і нерівностей. Використання тростини сприяє своєчасному визначенню бордюрів, сходинок, ям, підвищень або інших об'єктів, які можуть становити потенційну небезпеку. Така інформація дає змогу уникати травматичних ситуацій і підтримувати стабільну просторову орієнтацію.

3. Ідентифікація функціональних об'єктів і зон. Тактильні навігаційні елементи, зокрема рельєфні вказівники, спеціалізовані текстуровані покриття підлоги або тактильна плитка, використовуються для позначення важливих локацій, таких як входи до будівель, пішохідні переходи чи зони очікування.

Ефективність тактильного сприйняття значною мірою підвищується за умови застосування спеціалізованих засобів та орієнтирів (див. рисунок 1.4) [6–7]:

1. Біла тростина як базовий інструмент навігації. Тростина виконує функцію продовження тактильного сприйняття, дозволяючи завчасно отримувати інформацію про об'єкти та поверхні, що знаходяться попереду. Через вібраційні та механічні сигнали користувач отримує уявлення про відстань, форму та текстуру перешкод.

2. Тактильні орієнтири в громадському просторі. Спеціальні рельєфні елементи інфраструктури, зокрема тактильна плитка з напрямними або попереджувальними візерунками, застосовуються для формування безпечних маршрутів пересування та полегшення визначення напрямку руху.

3. Текстурні особливості поверхонь. У разі безпосереднього контакту стопи з поверхнею (наприклад, під час перебування босоніж)

|      |      |          |        |      |                    |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|      |      |          |        |      | ІТС.4КІ.0426.03-ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                    | 14   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |



людина може чітко розрізняти матеріали, такі як дерево, пісок або камінь. Це забезпечує додаткову просторову інформацію та підвищує точність орієнтації порівняно з іншими сенсорними каналами.



Рис. 1.4. Інструменти та додаткові атрибути для просторової обізнаності

Одним із ключових досягнень у сфері забезпечення доступності для осіб із порушеннями зору є впровадження шрифту Брайля, який функціонує як універсальна тактильна мова для читання та просторової орієнтації. Використання даної системи значно розширює можливості самостійної взаємодії незрячих людей з інформаційним і фізичним середовищем (див. рисунок 1.5) [8, 11].

Застосування шрифту Брайля забезпечує:

- Орієнтацію в навколишньому середовищі. Тактильні написи шрифтом Брайля наносяться на об'єкти інфраструктури підвищеної важливості, зокрема кнопки ліфтів, інформаційні таблички в громадських місцях, двері установ, офісних приміщень або торговельних закладів. Це дозволяє людині ідентифікувати власне місцезнаходження, визначати призначення приміщень і самостійно знаходити необхідні об'єкти.
- Доступ до текстової інформації. Рельєфно-крапкове письмо надає можливість отримувати інформацію шляхом дотику, що є критично важливим у ситуаціях відсутності супроводу або альтернативних джерел інформації.

Завдяки тактильному читанню забезпечується доступ до освітніх матеріалів, інструкцій, попереджувальних повідомлень і навігаційних даних.



Рис. 1.5. Шрифт Брайля як засіб читання та сприйняття інформації через дотик

Попри високу значущість тактильних каналів, ефективність їх використання значною мірою визначається умовами навколишнього середовища. Зокрема:

- у разі надмірної однорідності поверхонь знижується здатність до їх диференціації;
- відсутність або нерегулярне розміщення тактильних вказівників у нових чи незнайомих просторах може ускладнювати процес навігації та просторового орієнтування.

Нюхова інформація виконує допоміжну, проте важливу функцію в системі орієнтації осіб із порушеннями зору. Хоча нюхові стимули використовуються рідше порівняно зі слуховими або тактильними сигналами, вони суттєво доповнюють загальну картину сприйняття навколишнього середовища. Запахи можуть слугувати індикаторами певних місць або об'єктів, сприяти впізнаванню знайомих локацій та формуванню асоціативних зв'язків із простором (див. рисунок 1.6) [9].



Рис. 1.6. Нюх як засіб формування просторової обізнаності

Нюхові сигнали можуть виступати джерелом додаткової інформації про наявність певних об'єктів або функціональних зон, що характеризуються специфічними запахами. Для осіб із порушеннями зору такі сигнали здатні виконувати роль орієнтаційних маркерів навколишнього середовища.

До ознак, що дозволяють ідентифікувати характеристики простору, належать:

1. Індикатори навколишнього середовища:

1. запах свіжоспеченого хліба або кондитерських виробів, що може свідчити про розташування пекарні чи закладу харчування поблизу;

2. аромати деревини, трави або квітів, які зазвичай асоціюються з парками, скверами або іншими зеленими зонами;

3. характерні запахи громадського транспорту, зокрема вихлопні гази або продукти згоряння пального, що вказують на близькість автобусної зупинки, трамвайної колії або жвавого перехрестя.

2. Особливості функціонального призначення місцевості.

Запахи бензину, мастил або технічних рідин можуть бути маркерами розташування автозаправних станцій, автомайстерень або промислових об'єктів.



В умовах міського середовища нюхові стимули часто є інтенсивними та різноманітними, що дозволяє людям із вадами зору більш точно визначати власне місцезнаходження. Зокрема:

1. Транспортні вузли та зупинки. Стійка присутність запахів вихлопних газів від автобусів і маршрутних транспортних засобів сигналізує про наближення до зони громадського транспорту, навіть без залучення інших сенсорних каналів.

2. Публічні та торговельні простори. У торгових центрах, на ринках або в зонах громадського харчування запахи їжі, спецій чи продуктів дозволяють ідентифікувати окремі функціональні ділянки або точки продажу.

Разом із тим нюх не може розглядатися як основне джерело інформації для просторової орієнтації через низку обмежувальних факторів:

1. Нестабільність нюхових сигналів. Інтенсивність та поширення запахів істотно залежать від погодних умов, напрямку вітру та часу доби.

2. Сенсорна конкуренція. У міському середовищі запахи часто змішуються, що ускладнює їх точну ідентифікацію.

3. Обмежена просторово-кількісна інформативність. Нюхові сигнали не забезпечують точної інформації щодо відстані до об'єкта або його конкретних характеристик. Наприклад, запах вихлопних газів може вказувати на наявність зупинки, проте не дозволяє визначити номер або тип транспортного засобу.

З огляду на зазначені обмеження, ефективне орієнтування осіб із порушеннями зору зазвичай ґрунтується на комбінуванні нюхової інформації з іншими сенсорними каналами [6–9]:

1. Тактильні орієнтири. Використання білої тростини або рельєфних елементів інфраструктури сприяє визначенню входів, меж зон та напрямків руху.

2. Слухове сприйняття. Аналіз звуків транспорту або вербальна комунікація з оточуючими дозволяють уточнювати тип і напрямок руху транспортних засобів.

3. Інформаційні елементи середовища. Додаткові навігаційні засоби, зокрема написи шрифтом Брайля, підсилюють ефективність слухових і нюхових сигналів.

Сенсорна компенсація є природним адаптаційним механізмом, що забезпечує пристосування осіб із порушеннями зору до умов навколишнього середовища шляхом функціонального посилення інших сенсорних систем — слухової, тактильної та нюхової (див. рисунок 1.7). Завдяки цьому механізму формується альтернативна модель сприйняття простору, яка дозволяє зберігати самостійність, безпеку пересування та соціальну активність навіть за повної або часткової відсутності зорової інформації.

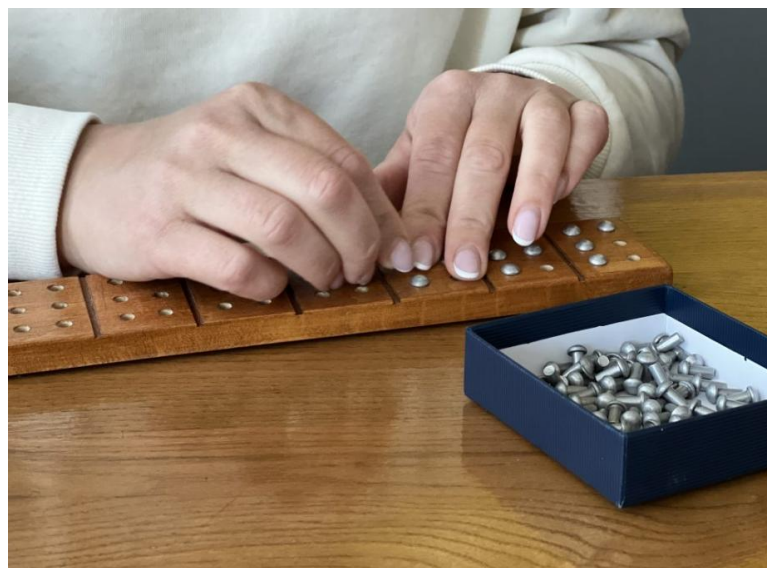


Рис. 1.7. Сенсорна компенсація як механізм адаптації людини до втрати зору

У разі повної або часткової втрати зорової функції в центральній нервовій системі відбувається процес функціональної реорганізації, під час якого мозок переорієнтовує обробку інформації на альтернативні сенсорні канали [10]. Зокрема, підвищується чутливість слухового аналізатора, що дозволяє людині розпізнавати малопомітні акустичні сигнали, які зазвичай не фіксуються людьми зі збереженим зором. Аналогічно посилюється тактильне сприйняття, що забезпечує більш точне отримання інформації через дотик до поверхонь або під час використання допоміжних засобів навігації, таких як біла тростина.

|      |      |          |        |      |                    |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|      |      |          |        |      | ІТС.4КІ.0426.03-ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    | 19   |

Завдяки таким адаптаційним механізмам особи з порушеннями зору здатні ефективніше інтерпретувати сигнали навколишнього середовища, формуючи цілісне уявлення про простір і компенсуючи дефіцит візуальної інформації. Сенсорна компенсація виступає важливою передумовою збереження самостійності, безпеки пересування та соціальної активності.

Когнітивне картування являє собою процес формування внутрішніх ментальних моделей простору на основі інтеграції даних, отриманих через слухові, тактильні та нюхові стимули. Такі когнітивні «карти» дозволяють людині орієнтуватися у навколишньому середовищі, навіть за відсутності попереднього візуального досвіду або у випадках, коли відповідна локація ніколи раніше не спостерігалася зором (див. рисунки 1.8–1.9) [11].

Формування когнітивних карт є складним когнітивним процесом, який включає аналіз просторових взаємозв'язків, запам'ятовування послідовності орієнтирів та їх функціонального значення. Для осіб із порушеннями зору цей механізм є фундаментальним елементом навігації та основою для ефективного використання як традиційних, так і сучасних технологічних засобів просторової орієнтації.

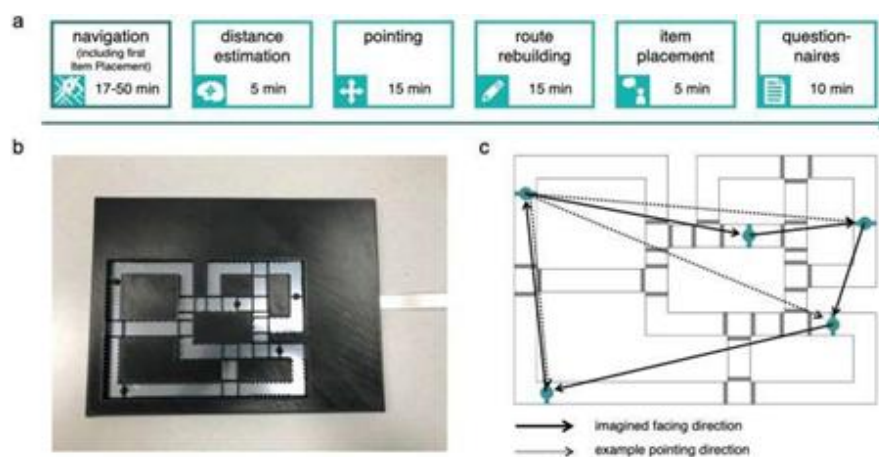


Рис. 1.8. Ментальні карти



Рис. 1.9. Ментальна (тактильна) карта 2-поверху

Наприклад, людина може зафіксувати у пам'яті просторове розташування певного об'єкта, зокрема кав'ярні, визначивши, що вона знаходиться на відстані кількох кварталів від житла та межує із зеленою зоною. Орієнтація при цьому здійснюється на основі сукупності альтернативних сенсорних маркерів: характерних акустичних сигналів (дзвін дверей закладу, шум листя дерев), тактильних ознак (тип тротуарного покриття) та нюхових стимулів (стійкий аромат кави). У процесі багаторазового відвідування таких локацій сформовані ментальні просторові уявлення поступово деталізуються та уточнюються, що сприяє зростанню впевненості у пересуванні та підвищенню рівня самостійності.

Разом із тим формування когнітивних карт значно ускладнюється в умовах підвищеного сенсорного навантаження, характерного для міського середовища з інтенсивним транспортним потоком, великою кількістю людей та високим рівнем фонових шумів. У таких ситуаціях слухове перевантаження перешкоджає адекватному сприйняттю релевантних сигналів, що може призводити до дезорієнтації, зростання когнітивного навантаження та психоемоційної втоми, особливо під час перебування у нових або незнайомих просторах [11–12].

Наприклад, у щільно забудованих районах із безперервним рухом транспорту та скупченням пішоходів стає складно виділяти значущі акустичні

|      |      |          |        |      |                    |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|      |      |          |        |      | ІТС.4КІ.0426.03-ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    | 21   |

або тактильні орієнтири, необхідні для побудови стабільної когнітивної карти. За таких умов людина з порушеннями зору може тимчасово втрачати просторову орієнтацію або відчувати підвищений рівень стресу.

Незважаючи на зазначені труднощі, розвиток когнітивного картування залишається одним із ключових чинників підвищення рівня незалежності та адаптації осіб із порушеннями зору. Зі зростанням практичного досвіду та накопиченням сенсорних даних ментальні карти стають більш структурованими, деталізованими та ефективними для використання в різних середовищах.

Особи, які втратили зорову функцію поступово, мають можливість адаптуватися до змін за рахунок активного використання пам'яті та раніше сформованого просторового досвіду. Їх орієнтація у просторі значною мірою ґрунтується на рутинних діях і маршрутах, засвоєних у період збереженого зору. Такі звичні шляхи пересування стають базисом для формування нових навігаційних стратегій в умовах сенсорної перебудови.

У цьому процесі пам'ять відіграє провідну роль, оскільки людина зберігає у свідомості послідовність поворотів, переходів і об'єктів, які раніше виконували функцію візуальних орієнтирів. Після втрати зору ці орієнтири замінюються слуховими, тактильними або нюховими сигналами. Таким чином, нові сенсорні враження інтегруються з накопиченим досвідом, формуючи адаптовану систему навігації. Це, у свою чергу, сприяє зниженню когнітивного навантаження, оскільки людина спирається на знайомі рутинні дії, доповнюючи їх альтернативними джерелами сенсорної інформації (див. рисунок 1.10) [11–13].

|      |      |          |        |      |                    |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|      |      |          |        |      | ІТС.4КІ.0426.03-ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                    | 22   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |



Рис. 1.10. Інтеграція сенсорних каналів у процесі формування ментальних просторових карт

Одним із ключових аспектів адаптації осіб із порушеннями зору є здатність ефективно використовувати сенсорні орієнтири під час пересування. Орієнтирами можуть виступати будь-які об'єкти або явища, що сприймаються альтернативними органами чуття та мають стабільні характеристики у просторі, зокрема:

*Слухові орієнтири:* постійні або періодичні звуки, такі як робота вентиляційних систем, шум кондиціонера, звуковий сигнал дверей чи механізмів.

*Тактильні орієнтири:* особливості поверхонь і конструкцій, зокрема текстура тротуарної плитки, форма поручнів, перепади висоти або зміна матеріалу покриття під ногами.

*Нюхові орієнтири:* характерні запахи закладів харчування (пекарень, кав'ярень), технічних об'єктів або природних елементів, таких як рослинність.

Використання таких сенсорних маркерів дозволяє формувати стійкі асоціативні зв'язки між конкретними сигналами та відповідними локаціями. Наприклад, регулярне проходження маршруту, що включає ділянку з характерним запахом або акустичним фоном, сприяє закріпленню просторових уявлень та формуванню ментальних карт. Повторюваність маршрутів у поєднанні з чіткими орієнтирами підвищує впевненість пересування та знижує рівень когнітивного навантаження.

Для людини, яка втратила зорову функцію, навіть добре знайомий простір потребує повторного освоєння з урахуванням змінених сенсорних умов. Ефективність орієнтації у таких ситуаціях залежить від здатності перебудувати процес сприйняття та активно залучити слухові, тактильні й нюхові канали. Так, у межах власного житлового простору людина з порушеннями зору, маючи сформовану внутрішню модель розташування предметів, може безпечно пересуватися навіть за повної відсутності освітлення. Натомість особа зі збереженим зором у подібних умовах часто стикається з труднощами орієнтації та ризиком травмування.

Поступове навчання та багаторазове повторення рухів у знайомому середовищі сприяють формуванню точної когнітивної карти простору, що базується на сенсорних відчуттях. Такий процес є фундаментом подальшої адаптації та забезпечує можливість комфортного та безпечного повсякденного життя без використання зорового аналізатора.

Для осіб, які втратили зір у процесі життя, перебування у новому або незнайомому просторі є значним адаптаційним викликом. У минулому їх просторове орієнтування ґрунтувалося на візуальних образах та сформованих ментальних картах, які забезпечували швидке створення нових маршрутів. У незнайомому середовищі така можливість істотно обмежується через відсутність зорової інформації, що ускладнює побудову первинних просторових уявлень [5–13].

Відсутність усталених маршрутів і знайомих сенсорних підказок може призводити до станів дезорієнтації, коли людина не має чіткого уявлення про розташування об'єктів навколо. У таких умовах виникає необхідність повністю покладатися на слухові, тактильні та нюхові сигнали, поступово досліджуючи простір. Цей процес вимагає значних когнітивних зусиль і часових ресурсів, що часто супроводжується підвищеним рівнем стресу та тривожності [14].

У незнайомому середовищі особи з порушеннями зору змушені функціонувати за принципами, характерними для людей із вродженою сліпотою: відмовлятися від раніше сформованих візуально зумовлених стратегій орієнтації та вибудовувати нові ментальні просторові карти практично з нуля. Попри те що



з часом адаптація стає можливою, процес просторового навчання є тривалим, поступовим і потребує багаторазового повторення дій у реальних умовах.

Сучасні цифрові технології істотно розширюють можливості просторової орієнтації для людей із порушеннями зору, особливо в незнайомих локаціях. Розвиток навігаційних систем, мобільних додатків і сервісів із підтримкою аудіоінтерфейсу дозволяє отримувати актуальну інформацію про маршрут та навколишнє середовище. Основні підходи до підвищення ефективності орієнтації включають:

1. **Використання GPS-навігації.** Навігаційні сервіси на основі глобальних систем позиціонування, зокрема Google Maps, оснащені функціями голосового супроводу маршруту. Аудіонавігація надає покрокові інструкції щодо напрямку руху, відстані до поворотів та інформує про наближення до ключових орієнтирів. Це дає змогу особам із порушеннями зору впевнено пересуватися навіть у середовищах, з якими вони стикаються вперше.

2. **Формування нових когнітивних карт простору.** Поєднання навігаційних технологій із сенсорними каналами сприйняття — слухом, дотиком і нюхом — сприяє створенню більш детальних і надійних ментальних моделей нового простору. Акустичні сигнали транспортного потоку, тактильні особливості покриття, а також характерні запахи навколишніх об'єктів доповнюють інформацію, отриману з GPS-навігації, що дозволяє краще усвідомлювати структуру середовища та підвищує точність просторової орієнтації.

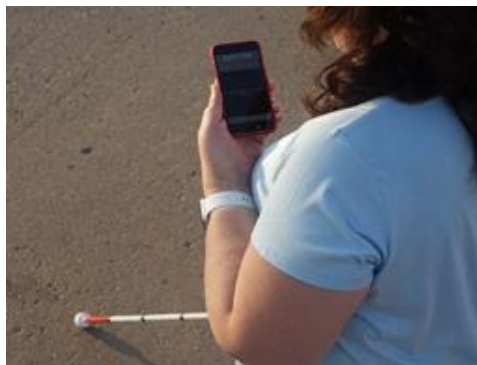


Рис. 1.11. Технології як інструмент покращення взаємодії з навколишнім середовищем

|      |      |          |        |      |                    |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|      |      |          |        |      | ІТС.4КІ.0426.03-ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    | 25   |



Навіть найсучасніші технологічні засоби можуть формувати лише умовні, «крихкі» когнітивні карти, якщо вони не підкріплюються даними від сенсорних каналів людини. Для надійного засвоєння просторової інформації особа з порушеннями зору потребує багаторазового повторення маршруту, що дозволяє закріпити отримані дані і інтегрувати їх у власну ментальну карту. Залежність виключно від технологій без підтримки сенсорного досвіду створює потенційний ризик дезорієнтації у випадку технічних несправностей або відсутності доступу до цифрових систем.

## **1.2. Стан та перспективи розвитку асистивних технологій для навігації в Україні**

Застосування систем допомоги орієнтації в просторі для осіб із порушеннями зору в Україні є важливим напрямом сучасних технологій, що спрямовані на підвищення автономності та якості життя цих людей. За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ), у світі налічується приблизно 285 млн осіб із порушеннями зору, з яких близько 39 млн є сліпими. Переважна більшість цих людей проживає в країнах із низьким і середнім рівнем доходу, де доступ до медичних послуг і сучасних технологій обмежений. В Україні впровадження систем допомоги орієнтації для сліпих є відносно новим технологічним рішенням, яке поступово набуває популярності, однак його масштабне застосування ще перебуває у стадії розвитку.

Одним із відомих прикладів є проєкт «Слухаюча система орієнтації», розроблений компанією Esoisme. Цей пристрій створений для підтримки осіб із вадами зору, зокрема тих, хто страждає на діабетичну ретинопатію. Система оснащена датчиками, які фіксують нерівності дорожнього покриття та інші перешкоди, попереджаючи користувача про можливі небезпеки за допомогою звукових сигналів. Це підвищує рівень безпеки та комфорту під час пересування.

Ще одним прикладом є спільний проєкт Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут» та компанії «Майстерня Світла». Розробка передбачає тростину з вбудованим екраном для визначення відстані до перешкод та GPS-модулем для відстеження

|      |      |          |        |      |                           |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <b>ITC.4KI.0426.03-ПЗ</b> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                           | 26   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                           |      |

місцезнаходження користувача. Система також здатна передавати інформацію близьким у разі екстреної ситуації, що підвищує рівень безпеки пересування.

Актуальною є ініціатива «Навігатор» (2023 р.), яка поєднує технології GPS, ультразвукові сенсори та мобільний додаток для надання користувачам інформації про навколишнє середовище в реальному часі. Проєкт реалізується у співпраці з організаціями, що підтримують людей із вадами зору, для тестування та вдосконалення функціоналу тростин у різних регіонах України.

Перспективним є стартап «SmartVision UA» (заснований у 2022 р.), що працює над зниженням вартості виробництва систем орієнтації через використання технологій 3D-друку та відкритих апаратно-програмних рішень.

Незважаючи на досягнення в розвитку систем допомоги орієнтації, в Україні зберігаються суттєві перешкоди для їх широкого впровадження. Основними проблемами є відсутність чітких стандартів розробки та тестування таких пристроїв, а також висока вартість, що обмежує доступ до них більшості потенційних користувачів. Для подолання цих бар'єрів уряд України у 2023 році розпочав розробку програм підтримки технологій для осіб з обмеженими можливостями, пропонуючи гранти та субсидії для стимулювання розвитку відповідних ініціатив. Важливо також забезпечити користувачів навчальними програмами щодо правильного використання систем орієнтації та надавати їм постійну технічну підтримку.

Інтерес до таких технологій серед українців з вадами зору зростає, оскільки вони не лише підвищують безпеку під час пересування, а й забезпечують доступ до цифрових сервісів, що сприяє більшій автономності користувачів. Проте, на сьогодні більшість систем орієнтації залишається недоступною через їхню високу вартість і недостатньо розвинену інфраструктуру для їхнього застосування. Одним із пріоритетних завдань є адаптація технологій до українських реалій та локальне виробництво тростин і навігаційних пристроїв, що дозволить знизити витрати та розширити доступність для більшої кількості осіб з порушеннями зору.

Зростаюча міжнародна співпраця України з Європейським Союзом та міжнародними технологічними компаніями у 2025 році сприяє впровадженню

|      |      |          |        |      |                    |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|      |      |          |        |      | ІТС.4КІ.0426.03-ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    | 27   |

нових рішень у сфері підтримки людей із вадами зору. Спільні проєкти та фінансування дозволяють реалізовувати інноваційні ідеї та інтегрувати передові технології на національному рівні. Крім того, громадські організації, зокрема «Асоціація сліпих України», активно проводять освітню та просвітницьку діяльність, організовують тренінги для користувачів систем орієнтації та підвищують загальну обізнаність суспільства щодо потреб і викликів, з якими стикаються люди з вадами зору.

Попри наявні виклики, впровадження систем допомоги орієнтації в Україні має значний потенціал для підвищення якості життя осіб із вадами зору. Хоча ці технології демонструють перспективність, у країні досі відсутні чіткі стандарти щодо використання та тестування систем орієнтації, що ускладнює їхнє широке запровадження. Висока вартість пристроїв обмежує доступ до них більшості людей із порушеннями зору. Для забезпечення масового використання таких технологій необхідна скоординована робота держави, бізнесу та громадських організацій, включно з розробкою програм навчання користувачів і наданням технічної підтримки. Важливо залучати осіб із вадами зору до розробки програмного забезпечення та функціональних можливостей тростин, щоб системи максимально відповідали потребам користувачів.

Загальний інтерес до систем орієнтації в Україні зростає, що свідчить про значний потенціал цих технологій для вирішення актуальних проблем людей із порушеннями зору. Системи орієнтації можуть ефективно полегшувати пересування в просторі, підвищувати рівень безпеки та забезпечувати доступ до інформації й різних послуг. Одним із ключових напрямів розвитку є адаптація таких технологій до українських умов, що передбачає зниження вартості пристроїв та створення відповідної інфраструктури для їх застосування. Важливо розробляти більш доступні моделі, здатні стати масовими, що дозволить забезпечити більшу кількість людей з вадами зору необхідними інструментами для комфортного життя.

Наразі системи орієнтації залишаються технологією з обмеженим поширенням в Україні через високу вартість та недостатній розвиток інфраструктури. Проте, з урахуванням сучасних тенденцій, у перспективі

|      |      |          |        |      |                    |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|      |      |          |        |      | ІТС.4КІ.0426.03-ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                    | 28   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

можливе значне розширення їхнього застосування завдяки здешевленню виробництва, розвитку нових технологій та підтримці з боку держави і громадських організацій. Розвиток інновацій у сфері допоміжних технологій для людей із вадами зору має стратегічне значення для формування інклюзивного суспільства та підвищення якості життя цих людей.

### 1.3. Традиційні методи навігації та бар'єри їх використання в міському середовищі

Для адаптації в навколишньому середовищі люди з вадами зору використовують не лише сенсорні канали (слух, дотик, нюх), а й допоміжні інструменти, що забезпечують більшу автономність, мобільність і незалежність [5–10]. Традиційними та ефективними засобами орієнтації є білі тростини, собаки-поводирі та звукові сигнали. Кожен із цих засобів має свої особливості, а їх комбіноване застосування підвищує ефективність пересування [6].

Біла тростина є простим, але надзвичайно ефективним інструментом для орієнтації осіб із вадами зору (див. рисунок 1.12). Виготовляється з легких матеріалів (дерево, пластик) і зазвичай оснащується гумовими накладками для зручності використання. Її довжина розраховується так, щоб досягати від талії користувача до поверхні ґрунту, забезпечуючи тактильний зворотний зв'язок через постукування або змахування.



Рис. 1.12. Традиційний інструмент орієнтації: біла тростина

Тростина дозволяє користувачу:

- виявляти перешкоди на рівні землі (сходи, бордюри, нерівності);
- розпізнавати переходи між поверхнями (наприклад, із тротуару на

дорогу).

Використання білої тростини варіюється залежно від умов середовища:

- постійний контакт – застосовується на нерівних поверхнях для безперервного отримання інформації про перешкоди;
- двоточковий дотик – для рівних шляхів із рідкісними перешкодами.

Переваги білої тростини:

1. Доступність – проста конструкція забезпечує низьку вартість пристрою;
2. Надійність – не потребує складного обслуговування;
3. Автономія – забезпечує орієнтацію без сторонньої допомоги;
4. Сигнал для оточуючих – біла тростина інформує інших про наявність у користувача порушень зору, сприяючи соціальній підтримці.

Обмеження тростини:

- виявляє лише наземні перешкоди, не захищає від об'єктів на рівні голови (гілки, знаки, виступи);
- ефективне використання потребує навчання та практики, особливо для осіб, які недавно втратили зір;
- орієнтація виключно за тактильним зворотним зв'язком у шумних або динамічних середовищах може бути складною.

Для багатьох користувачів біла тростина є не лише інструментом орієнтації, а символом незалежності та безпеки. Вона дозволяє відчувати автономію, підтримує впевненість у пересуванні і слугує інструментом соціальної інтеграції, сигналізуючи оточенню про потреби людини з вадами зору.

Собаки-поводирі – це спеціально навчені тварини (див. рисунок 1.13), які виконують роль супутників і навігаційних помічників для людей із порушеннями зору [15].



Рис. 1.13 Традиційний інструмент орієнтації: собаки-поводирі

Їх функції виходять далеко за межі простої допомоги у пересуванні:

- реагують на команди та уникають перешкод;
- приймають автономні рішення для забезпечення безпеки власника;
- виконують роль емоційної підтримки, підвищуючи впевненість та автономність людини.

Щоб стати повноцінним помічником, собака проходить інтенсивну підготовку протягом кількох місяців. Основні елементи навчання включають [15]:

1. Слухняність – тварина реагує на команди, такі як «ліворуч», «праворуч», «вперед»;
2. Уникнення перешкод – собака вчиться безпечно вести людину навіть у складних умовах;
3. Розумна непокоря – навик відмови від виконання команди, якщо це може загрожувати безпеці власника (наприклад, утримання від переходу дороги, де рухається транспорт).

Для ефективної взаємодії між собакою та власником необхідно встановити довіру та взаєморозуміння, оскільки успішність роботи залежить від їхніх стосунків.

Переваги використання собак-поводирів [15]:

*Мобільність та автономність*

- допомагають людині впевнено орієнтуватися в просторі, активно уникаючи перешкод;

- знижують когнітивне навантаження на власника, дозволяючи зосередитися на рухах собаки, а не на аналізі середовища;
- особливо корисні в швидких, шумних або багатолюдних умовах.

#### *Емоційна підтримка*

- зменшують відчуття ізоляції;
- створюють відчуття безпеки та супроводжують власника не лише фізично, а й морально.

#### *Обмеження та виклики:*

##### *Вартість та доступність*

- навчання собаки-поводиря коштує від \$20,000 до \$60,000 (дані США);
- витрати зазвичай покривають некомерційні організації або державні програми, що створює обмежену доступність.

##### *Навчання власника*

- людина з порушенням зору повинна пройти підготовку для правильної взаємодії з собакою;
- це вимагає часу, терпіння та практики.

##### *Регулярний догляд*

- собака потребує годування, фізичних вправ, догляду та медичного контролю.

##### *Обмеження у громадських місцях*

- незважаючи на законодавчі гарантії, собаки можуть стикатися з відмовою у доступі до певних об'єктів або небажаною увагою.

##### *Тривалість служби*

- собаки-поводирі працюють близько 8–10 років, після чого власнику доводиться шукати нового помічника.

Собаки-поводирі – це не лише практичні помічники, а партнери, які забезпечують мобільність, автономність та емоційну підтримку людям із вадами зору. Незважаючи на фінансові, часові та організаційні виклики, їхня роль у житті користувачів є незамінною, оскільки вони сприяють підвищенню впевненості та незалежності.

|      |      |          |        |      |                           |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <b>ІТС.4КІ.0426.03-ПЗ</b> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                           | 32   |

Голосові та слухові сигнали є важливими засобами орієнтації для людей із вадами зору, що сприяють підвищенню мобільності, автономності та безпеки у повсякденному житті. На відміну від інструментів, які потребують особистого придбання чи навчання, таких як білі тростини або собаки-поводирі, ці сигнали зазвичай безкоштовні та широко доступні у громадських місцях (див. рисунок 1.14) [16].



Рис. 1.14. Допоміжні інструменти орієнтації: голосові та слухові підказки

Голосові та слухові системи надають інформацію про навколишнє середовище через звуки або голосові повідомлення. Вони допомагають людям із вадами зору визначати напрямок руху, орієнтуватися у просторі та адаптуватися до змінних умов [16].

*Основні сфери застосування слухових сигналів:*

- пішохідні переходи;
- громадський транспорт;
- перехрестя та інші місця з інтенсивним рухом.

Одним із найбільш поширених застосувань є інтеграція звукових сигналів на пішохідних переходах. Вони повідомляють, коли можна безпечно перейти дорогу, або попереджають про зміну сигналу світлофора.

*Принципи роботи сигналів [16]:*

1. Типи звуків: регіональні відмінності у сигналах (стрекотіння, короткі мелодії, голосові вказівки: «Перехід дозволено», «Червоне світло»).
2. Час і тривалість сигналу: адаптовані до ширини переходу; чим ширший перехід, тим довший сигнал.



3. Інформативність: допомагають оцінити масштаб перехрестя, інтенсивність руху та орієнтуватися в просторі.

Без звукових сигналів перехід може стати небезпечним для людей із вадами зору, що підвищує ризик дезорієнтації або затримки.

*Обмеження:*

- у місцях із невеликим транспортним потоком або без світлофорів сигналів зазвичай немає;
- у підземних або наземних переходах без звукового супроводу орієнтація ускладнюється.

Слухові підказки у громадському транспорті та громадських приміщеннях. Сучасні транспортні системи активно використовують голосові повідомлення для пасажирів із вадами зору [16].

*Функції:*

1. Орієнтація в просторі:

- оголошення про поточну та наступну зупинки;
- інформація про відкриття та закриття дверей;
- попередження про кінцеву зупинку.

2. Безпека:

- забезпечення дотримання правил у метро та наземному транспорті;
- запобігання небезпечним ситуаціям.

*Переваги систем:*

1. Незалежність:

- користувачі можуть самостійно орієнтуватися без сторонньої допомоги;

2. Адаптація до шуму:

- сигнали налаштовані так, щоб бути чутними у шумному середовищі;

3. Універсальність:

- впроваджуються у наземному та підземному транспорті, хоча у маршрутках практика менш поширена.

|      |      |          |        |      |                    |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|      |      |          |        |      | ITC.4KI.0426.03-ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                    | 34   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

### *Слухові системи у громадських приміщеннях:*

- магазини, лікарні, торговельні центри, вокзали, аеропорти;
- системи гучного зв'язку повідомляють про напрямки, прибуття та відправлення транспорту;
- кнопки екстреного виклику, обладнані шрифтом Брайля, дозволяють отримати допомогу персоналу.

### *Значення для людей із вадами зору:*

1. Збільшення автономності: впевненіше пересування у незнайомому середовищі, зменшення стресу.
2. Підвищення рівня безпеки: швидке реагування на небезпечні ситуації завдяки аудіопідказкам та кнопкам виклику.
3. Соціальна інтеграція: створення доступного та комфортного середовища для взаємодії з навколишнім світом.

Слухові підказки відіграють важливу роль у забезпеченні орієнтації людей із вадами зору в міському середовищі. Проте їх ефективність обмежена певними факторами, що можуть створювати додаткові труднощі [16].

#### 1. Обмежена доступність у деяких місцях

У багатьох локаціях, таких як невеликі міста, периферійні райони або окремі зони великих міст, слухові підказки відсутні. Це особливо критично у місцях із високим рівнем шуму, наприклад:

- транспортні розв'язки;
- багатолюдні ринки;
- громадські площі.

В таких умовах людина з вадами зору може легко дезорієнтуватися та відчувати підвищений рівень стресу.

#### 2. Потреба в додатковій підтримці.

Відсутність сигналів ускладнює самостійне пересування, тому важлива підтримка з боку оточуючих. Наприклад, інші люди, помітивши людину з білою тростиною чи собакою-поводирем, можуть запропонувати допомогу у орієнтації або супроводі до потрібного місця.

#### 3. Мобільність і самостійність.

|      |      |          |        |      |                    |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|      |      |          |        |      | ІТС.4КІ.0426.03-ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                    | 35   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

Багато людей із вадами зору прагнуть залишатися мобільними та незалежними, навіть якщо фінансові можливості обмежені. Послуги доставки або супроводу не завжди доступні через високу вартість. Самостійне пересування допомагає підтримувати впевненість у власних силах та активний спосіб життя.

#### 4. Психологічний аспект.

Втрата зору є серйозним випробуванням, проте багато людей успішно адаптуються до нових умов. Важливо, щоб суспільство сприяло інтеграції таких людей та створювало комфортні умови пересування, що допомагає зберігати позитивний настрій та уникати депресивних станів.

#### Відсутність стандартизації та обслуговування

Ще однією проблемою є відсутність єдиних стандартів для звукових сигналів, що знижує їхню ефективність та створює плутанину [16].

1. Нестача узгодженості. У різних місцях однакові сигнали можуть мати різне значення. Наприклад, звук, який у одному місці позначає перехід для пішоходів, в іншому може сигналізувати про іншу дію. Така непослідовність дезорієнтує користувачів, особливо тих, хто звик до певних звукових асоціацій.

2. Недостатнє врахування потреб користувачів. Багато систем створюють особи, які самі не стикаються з проблемами зору. Це може призводити до невідповідності сигналів реальним потребам користувачів, знижуючи ефективність орієнтації.

3. Необхідність регулярного обслуговування. Звукові системи потребують технічного догляду. Несправні або некалібровані сигнали можуть не лише дезорієнтувати користувача, а й створювати потенційно небезпечні ситуації (наприклад, на пішохідних переходах).

Відсутність надійності та стандартизації слухових підказок може призвести до того, що люди з вадами зору перестануть покладатися на ці системи, що обмежить їхню мобільність та участь у суспільному житті.

Для підвищення ефективності систем необхідно:

- розробити єдині стандарти для звукових сигналів;
- враховувати потреби користувачів під час створення сигналів;

|      |      |          |        |      |                    |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|      |      |          |        |      | ІТС.4КІ.0426.03-ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                    | 36   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

- забезпечити регулярне технічне обслуговування систем.

#### **1.4. Інноваційні асистивні технології: від мобільних додатків до IoT-пристроїв та комп'ютерного зору**

Сьогодні технології відіграють важливу роль у різних сферах життя, зокрема у покращенні умов для людей із вадами зору. Історично основними засобами орієнтації були традиційні інструменти, такі як білі тростини та собаки-поводирі. Вони залишаються актуальними і сьогодні, але їх функціональні можливості обмежені, а впровадження сучасних технологій значно розширює спектр доступних рішень та підвищує автономність користувачів [6, 15–16].

##### *Традиційні засоби*

Білі тростини та собаки-поводирі допомагають уникати фізичних перешкод і орієнтуватися в просторі. Проте їхній функціонал є базовим і не завжди дозволяє швидко отримувати детальну інформацію про навколишнє середовище. Це обмежує мобільність і рівень незалежності людини в сучасному урбанізованому середовищі.

##### *Сучасні технології*

Впровадження технологій кардинально змінило ситуацію, пропонуючи нові інструменти, які полегшують орієнтацію та пересування людей із вадами зору. Серед найбільш поширених рішень [17]:

##### *Звуковий зворотний зв'язок*

- Аудіопідказки забезпечують оперативну інформацію про оточення в реальному часі.
- Дозволяють визначати місцезнаходження предметів або попереджають про перешкоди на маршруті.

##### *Датчики та пристрої просторового орієнтування*

- Виявляють фізичні перешкоди та допомагають безпечно пересуватися у різних умовах.
- Можуть інтегруватися в тростини, окуляри або мобільні додатки, що підвищує ефективність орієнтації.

##### *Штучний інтелект і машинне навчання*

|      |      |          |        |      |                           |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <b>ITC.4KI.0426.03-ПЗ</b> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                           | 37   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                           |      |

- Аналізують оточення, розпізнають об’єкти, читають тексти та ідентифікують обличчя.

Наприклад, деякі додатки здатні «читати» написи на дорожніх знаках або попереджати про світлофори, що суттєво підвищує безпеку пересування.



Рис. 1.15. Технології у орієнтації: мобільні додатки

Сучасні технології значно підвищують мобільність, автономність та рівень комфорту для людей із вадами зору. Завдяки ним вони можуть активніше брати участь у суспільному житті, легше орієнтуватися в незнайомих просторах та отримувати доступ до інформації, яка раніше була недосяжною.

#### *Електронні засоби орієнтування*

Сучасні навігаційні технології, зокрема GPS (глобальна система позиціонування), стали важливим інструментом для полегшення пересування людей із вадами зору. Вони дозволяють орієнтуватися на місцевості, планувати маршрути та підвищують рівень незалежності. Водночас, як і будь-яка технологія, GPS має свої переваги та обмеження, які слід враховувати [18].

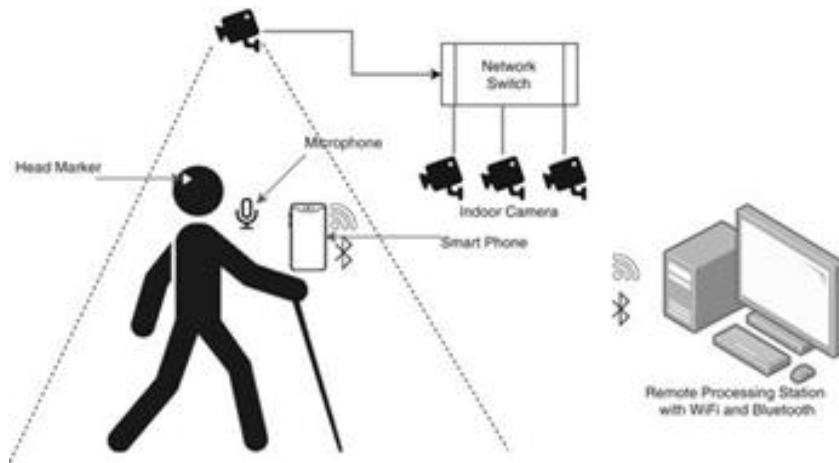


Рис. 1.16. Взаємодія пристроїв зі системами для навігації у закритих приміщеннях

GPS-системи працюють через взаємодію пристрою з супутниками. Наприклад, смартфони з GPS-модулем, використовуючи додатки, такі як Google Maps, здатні надавати покрокові інструкції для навігації.

Для користувачів із вадами зору ці інструкції адаптовані у вигляді звукових підказок, які повідомляють:

- маршрут до пункту призначення;
- назви вулиць;
- відстань до наступного повороту;
- інформацію про об'єкти, що знаходяться поблизу.

#### *Спеціалізовані додатки для орієнтації*

• **Google Maps** надає голосові підказки, що допомагають людині слідувати маршрутом.

• **BlindSquare** та **Soundscape** пропонують більш детальні звукові інструкції, спеціально адаптовані для потреб людей із порушеннями зору [19-20].

**BlindSquare** інтегрується з Open Street Map і за допомогою голосових підказок описує навколишнє середовище (дивись рисунок 1.17) [19]:

- назви вулиць;
- місця та об'єкти поблизу;
- маршрути до конкретних точок.



Рис. 1.17. Спеціалізовані додатки для орієнтації: BlindSquare

**BlindSquare** також підтримує роботу з навушниками та смарт-окулярами, які аналізують навколишнє середовище за допомогою камер і передають користувачу звукову інформацію про перешкоди.

**Soundscape (Microsoft)** використовує технологію 3D-аудіо, створюючи просторові звукові підказки. Користувач відчуває напрямок завдяки зміненим звуковим сигналам, які вказують, куди рухатися. Це дозволяє орієнтуватися інтуїтивно, не обмежуючись лише голосовими командами, а реагуючи на тривимірне аудіо (дивись рисунок 1.18) [20].

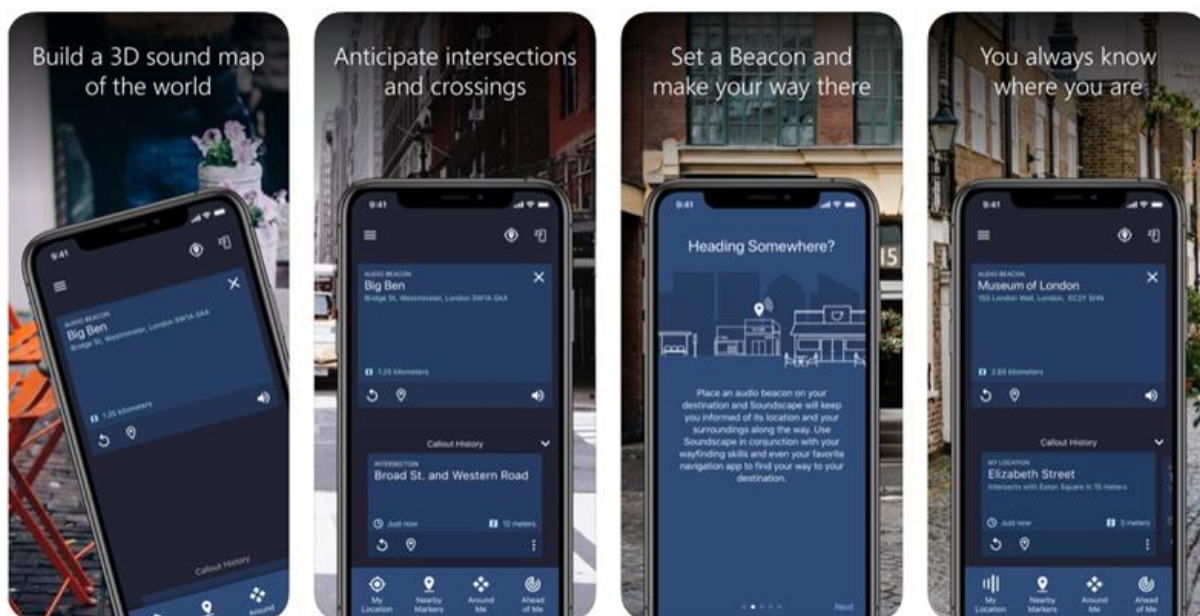


Рис. 1.18. Спеціалізовані додатки для орієнтації: Soundscape (Microsoft)

Переваги використання GPS для людей із вадами зору

1. Мобільність і незалежність – користувач може пересуватися без постійної допомоги сторонніх.

|      |      |          |        |      |                    |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|      |      |          |        |      | ІТС.4КІ.0426.03-ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    | 40   |

2. Інтуїтивна орієнтація – звукові підказки та просторове аудіо дозволяють швидко адаптуватися до незнайомого середовища.

3. Деталізація інформації про маршрут – GPS-додатки допомагають уникати непотрібних перешкод і пропонують оптимальний маршрут.

#### Обмеження технології GPS

1. Точність і доступність сигналу

- у густонаселених районах або серед висотних будівель сигнал GPS може слабшати, що знижує точність визначення місцезнаходження;
- у віддалених місцевостях із поганим мобільним покриттям система може працювати нестабільно.

2. Відсутність реального часу виявлення перешкод

- GPS не визначає фізичні бар'єри, такі як нерівності на дорозі чи рухомі об'єкти.

3. Обмежена адаптація додатків до потреб людей із вадами зору

- стандартні додатки, наприклад Google Maps, орієнтовані на візуальне використання і не враховують специфічні потреби цієї аудиторії.

Для максимальної ефективності люди з вадами зору зазвичай поєднують:

- традиційні інструменти (білі тростини, собаки-поводирі);
- спеціалізовані додатки для навігації;
- формування когнітивної карти маршруту на основі власного досвіду пересування [6-13, 17-20].

Таке комплексне поєднання технологій та інструментів забезпечує найкращу адаптацію до середовища, підвищує автономність та безпеку користувачів.

*Носимі пристрої та датчики.*

Сучасні смартфони та планшети зазвичай оснащені GPS-модулями, що дозволяють орієнтуватися на місцевості за допомогою супутникових сигналів.

Дані GPS часто інтегруються з картографічними сервісами, наприклад

|      |      |          |        |      |                    |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|      |      |          |        |      | ITC.4KI.0426.03-ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                    | 41   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |



OpenStreetMap — відкритою платформою, на основі якої створюється багато карт і навігаційних систем.

Проте можливості GPS обмежені: він може прокладати маршрути та повідомляти, коли і куди потрібно повертати, але не здатен попередити про фізичні перешкоди на шляху, такі як бордюри, сходи або низько розташовані гілки.

Для людей зі слабким зором або сліпих недостатньо знати лише напрямок руху. Важливо отримувати інформацію про об'єкти, яких слід уникати, щоб запобігти травмам. У таких випадках стандартний GPS не забезпечує повної безпеки, тому користувачі часто комбінують його з традиційними інструментами, наприклад, білими тростинами, які механічно виявляють перешкоди, хоча й не є технологічними пристроями.

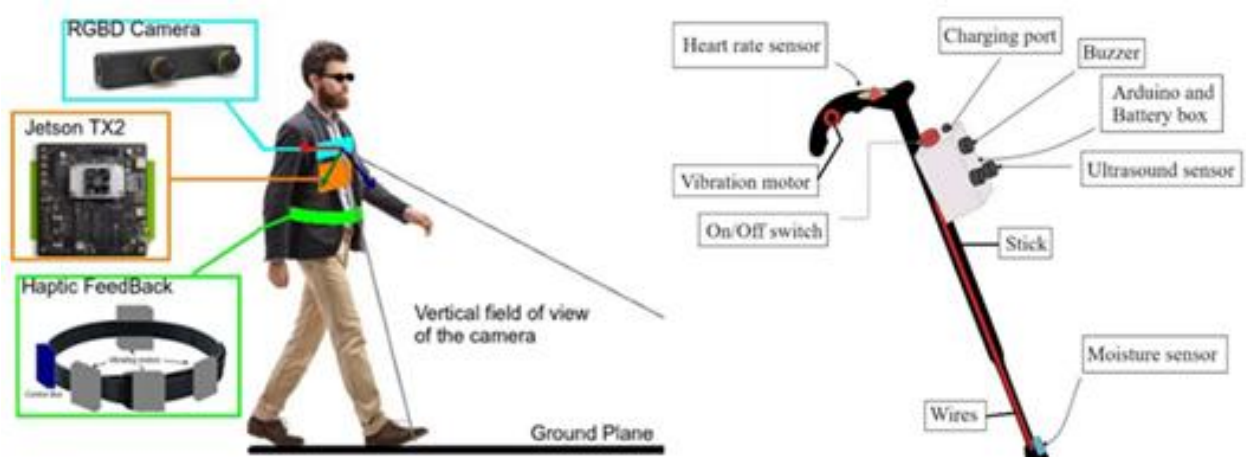


Рис. 1.19. Прототипи носимих пристроїв для людей з вадами зору

Сучасні технології сприяли появі спеціальних носимих пристроїв, що доповнюють можливості GPS і значно розширюють функціонал традиційних інструментів [21–22]:

1. **Розумні годинники та браслети.** Ці пристрої оснащені датчиками, які сканують простір навколо користувача. Вони попереджають про перешкоди за допомогою звукових сигналів або тактильних вібрацій, що дозволяє оперативно реагувати на небезпечні об'єкти.
2. **Датчики навколишнього середовища.** Сучасні пристрої застосовують технології ультразвуку, інфрачервоного випромінювання або вбудовані камери для точного визначення розташування перешкод.

3. **Інтеграція з GPS.** Носимі пристрої поєднують супутникові дані з інформацією від сенсорів, створюючи більш повну картину навколишнього середовища.

Такі пристрої дозволяють людям із вадами зору:

- отримувати детальнішу інформацію про навколишнє середовище;
- підвищувати безпеку під час пересування;
- почуватися більш незалежними навіть у складних умовах, наприклад у шумному міському середовищі.

Деякі носимі пристрої адаптуються до індивідуальних потреб користувача, наприклад, відтворюючи спрощену «візуальну» картину через аудіосигнали або інші зручні способи, що особливо корисно для людей, які мають труднощі з використанням слуху або дотику в умовах міського шуму.



Рис. 1.20. Розроблений прототип носимого пристрою: розумна тростина

Датчики наближення та ультразвукові пристрої є сучасними інструментами, що значно підвищують рівень мобільності та безпеки. Вони працюють за принципом випромінювання звукових хвиль, які відбиваються від об'єктів. Пристрій обчислює відстань до перешкод та їхнє розташування на основі відбитих хвиль.

Носимі пристрої зазвичай портативні й можуть бути прикріплені до різних частин тіла або виконувати функцію окремого гаджета (див. рисунки

1.19–1.20) [21–23].

|      |      |          |        |      |                    |  |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|--|------|
|      |      |          |        |      | ІТС.4КІ.0426.03-ПЗ |  | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |  | 43   |

- **Зап'ястя (браслети)** — передають інформацію про відстань до об'єктів через вібрації: чим ближче об'єкт, тим інтенсивніші та частіші сигнали.
- **Жилети чи ремені** — забезпечують сканування простору без необхідності тримати пристрій у руках.

Як приклад, **Sunu Band** — ультразвуковий браслет, який дозволяє виявляти перешкоди на відстані кількох метрів і передає інформацію через вібрації, що забезпечує ефективний зворотний зв'язок (див. рисунок 1.21) [23].



Рис. 1.21. Промисловий зразок серійного виробництва: браслет-навігатор з інтегрованим ультразвуковим сонаром

#### *Функціональні переваги ультразвукових систем:*

Ефективність у складних середовищах: забезпечення детекції перешкод у динамічних умовах (місця масового скупчення людей, інтенсивний дорожній рух), де традиційні методи орієнтування можуть бути недостатніми.

Формування просторових репрезентацій: сприяння розвитку когнітивного картографування навколишнього середовища, що дозволяє користувачу вибудовувати цілісну ментальну модель простору.

Світлова інваріантність: стабільність функціонування незалежно від рівня освітленості, оскільки фізичні принципи поширення ультразвукових хвиль не корелюють із візуальною видимістю.

#### *Технічні та експлуатаційні обмеження:*

Енергозалежність: необхідність регулярної регенерації заряду

|      |      |          |        |      |                    |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|      |      |          |        |      | ITC.4KI.0426.03-ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    | 44   |

акумулятора. Раптове вичерпання енергоресурсу в критичних ситуаціях створює ризик дезорієнтації суб'єкта.

Когнітивне навантаження та адаптаційний період: потреба у тривалому навчанні для коректної інтерпретації тактильних (вібраційних) або акустичних сигналів, що генеруються пристроєм.

#### *Оптичні системи та технології комп'ютерного зору*

Смарт-окуляри, оснащені відеосенсорами, представляють високотехнологічний сегмент реабілітаційних засобів. Функціонування таких систем базується на поєднанні відеофіксації в реальному часі та алгоритмів інтелектуального аналізу отриманих даних.

Згідно з дослідженнями [25-26], серед найбільш репрезентативних зразків виділяють:

**Aira.** Платформа, що реалізує концепцію «віддаленого асистента», де користувач через окуляри отримує вербальний опис середовища від оператора в режимі реального часу (див. рис. 1.22).

**ESight.** Високотехнологічний пристрій, спрямований на оптимізацію залишкових зорових функцій. Шляхом цифрової обробки зображення система підвищує чіткість і контрастність об'єктів, що сприяє їх кращому розпізнаванню (див. рис. 1.23).



Рис. 1.22. Окуляри Aira



Рис. 1.22. Окуляри ESight

Функціональні можливості та верифікація систем на основі комп'ютерного зору

Системи смарт-окулярів та інтегрованих відеосенсорів забезпечують високий рівень автономності користувача завдяки наступним ключовим функціям:

- Об'єктна ідентифікація: автоматичне розпізнавання та класифікація елементів навколишнього середовища.
- Оптичне розпізнавання символів (OCR): зчитування текстової інформації та її вокалізація в реальному часі.
- Навігаційна підтримка: ефективне пересування у складних акустичних умовах або зоні інтенсивного трафіку, де звукові підказки можуть бути перекриті шумом.

Обмеження відеосенсорних систем:

- Економічний бар'єр: висока вартість обладнання значно обмежує його масову доступність.
- Енергетична автономність: інтенсивні обчислювальні процеси швидко розряджають акумулятор.
- Етико-правові аспекти: постійна відеофіксація актуалізує питання конфіденційності та захисту персональних даних, що може викликати соціальне занепокоєння або юридичні складнощі.



## Висновки до розділу

У першому розділі виконано комплексний аналіз принципів орієнтації на місцевості для людей з вадами зору з позиції використання сенсорних каналів, традиційних засобів та сучасних технологічних рішень. Показано, що ефективна навігація за відсутності зорової інформації базується на інтеграції слухових, тактильних і нюхових даних, а також на використанні технічних систем підтримки орієнтації.

Встановлено, що слухові сигнали є основним джерелом просторової інформації для незрячих користувачів і широко застосовуються в технічних системах орієнтації у вигляді голосових підказок, акустичних маяків та 3D-аудіо. Разом із тим доведено, що ефективність слухових каналів суттєво знижується в умовах високого рівня фонового шуму, що обумовлює необхідність поєднання аудіоінтерфейсів із тактильними та вібраційними механізмами зворотного зв'язку.

Проаналізовано роль тактильних засобів орієнтації, зокрема білих тростин, тактильних поверхонь та шрифту Брайля, які забезпечують надійний фізичний зворотний зв'язок і високу стабільність роботи незалежно від зовнішніх умов. Водночас визначено, що традиційні тактильні засоби мають обмежений функціонал щодо виявлення перешкод на рівні голови та не забезпечують попереджувальної інформації на відстані, що створює передумови для їх модернізації шляхом інтеграції електронних сенсорів.

Окрему увагу приділено сучасним електронним і програмним системам орієнтації, зокрема пристроям на базі ультразвукових сенсорів, GPS-навігації, мобільних застосунків і систем штучного інтелекту. Встановлено, що використання GPS-орієнтації та аудіонавігаційних алгоритмів дозволяє формувати покрокові маршрути, ідентифікувати об'єкти навколишнього середовища та підвищувати автономність користувачів. Разом із тим GPS-системи мають обмеження щодо точності позиціонування, особливо в щільній міській забудові та закритих приміщеннях, що вимагає застосування гібридних навігаційних рішень.

|      |      |          |        |      |                           |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>ITC.4KI.0426.03-ПЗ</i> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                           | 47   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                           |      |

Розглянуто процес формування когнітивних карт простору як результат інтеграції сенсорних даних і технічних підказок. Показано, що навіть за наявності високотехнологічних навігаційних систем користувач потребує повторюваного сенсорного підтвердження маршруту для створення стійких ментальних моделей простору. Це свідчить про те, що технічні засоби мають доповнювати, а не замінювати природні механізми орієнтації.

Проаналізовано стан упровадження систем допомоги орієнтації для людей з вадами зору в Україні. Виявлено, що існуючі розробки перебувають на етапі обмеженого впровадження та стикаються з проблемами відсутності стандартизації, високої вартості апаратних компонентів і недостатнього рівня інтеграції з міською інфраструктурою. Водночас встановлено, що використання модульних апаратно-програмних рішень, відкритих платформ і мобільних технологій є перспективним напрямом для зниження вартості та підвищення доступності таких систем.

У результаті проведеного аналізу зроблено висновок, що найбільш ефективні системи орієнтації для людей з вадами зору повинні будуватися за принципом багатосенсорної інтеграції, поєднуючи традиційні тактильні засоби з електронними сенсорами, мобільними застосунками та інтелектуальними алгоритмами обробки даних.

## РОЗДІЛ 2. ВИМОГИ ТА ВИБІР ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ СМАРТ-БРАСЛЕТУ НА БАЗІ ІoT-ТЕХНОЛОГІЙ ІЗ ТАКТИЛЬНИМ ЗВОРОТНИМ ЗВ'ЯЗКОМ ДЛЯ ПРОСТОРОВОЇ НАВІГАЦІЇ

### 2.1. Основні елементи системи орієнтації в просторі для сліпих

Сучасні асистивні комплекси просторової орієнтації є високотехнологічними рішеннями, що розробляються з метою максимізації мобільності та автономності осіб із глибокими порушеннями зорової функції. Ключовою ознакою таких систем є високий рівень адаптивності та модульності архітектури. Відсутність суворо фіксованої апаратної конфігурації уможливорює гнучке налаштування комплексу під індивідуальні антропометричні, соматичні та когнітивні потреби конкретного користувача.

Залежно від цільового призначення, інтегрована структура пристрою може об'єднувати сенсори руху, ультразвукові чи інфрачервоні давачі наближення, модулі супутникової навігації (GPS), високопродуктивні мікроконтролери, автономні джерела живлення, а також засоби аудіального та тактильного (вібраційного) зворотного зв'язку. Універсальність концепції дозволяє застосовувати її для реабілітації осіб не лише з дефіцитом зору, а й із супутніми соматосенсорними порушеннями. Функціонал пристрою забезпечує превентивне детектування перешкод, упередження про потенційні загрози на маршруті та оптимізацію взаємодії користувача з урбанізованим середовищем.

Висока масштабованість системи гарантує її перманентну модернізацію відповідно до розвитку технологій. Зокрема, базовий апаратний склад може розширюватися шляхом інтеграції додаткових сенсорних матриць, алгоритмів голосового керування або біометричних модулів для моніторингу фізичного стану (детекторів частоти серцевих скорочень, акселерометричних крокомірів тощо). Можливість апгрейду відповідно до розвитку ІoT-технологій забезпечує тривалий життєвий цикл пристрою у змінному технологічному середовищі.

|           |      |                |        |      |                                                                                                                                                            |  |                                |      |         |    |
|-----------|------|----------------|--------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--------------------------------|------|---------|----|
|           |      |                |        |      | ІТС.4КІ.0426.03-ПЗ                                                                                                                                         |  |                                |      |         |    |
|           |      |                |        |      |                                                                                                                                                            |  |                                |      |         |    |
| Змн.      | Арк. | № докум.       | Підпис | Дата |                                                                                                                                                            |  |                                |      |         |    |
| Розроб.   |      | Самойлов О. О. |        |      | РОЗДІЛ 2. ВИМОГИ ТА ВИБІР<br>ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ СМАРТ-<br>БРАСПЕТУ НА БАЗІ ІoT-<br>ТЕХНОЛОГІЙ ІЗ ТАКТИЛЬНИМ<br>ЗВОРОТНИМ ЗВ'ЯЗКОМ ДЛЯ<br>ПРОСТОРОВОЇ НАВІГАЦІЇ |  | Лім.                           | Арк. | Акрушів |    |
| Керівник  |      | Донченко В.Ю.  |        |      |                                                                                                                                                            |  |                                |      | 48      | 25 |
| Реценз.   |      | Козуб Ю.Г.     |        |      |                                                                                                                                                            |  | ЛНУ<br><br>Кафедра ІТС, Гр.4КІ |      |         |    |
| Н. Контр. |      |                |        |      |                                                                                                                                                            |  |                                |      |         |    |
| Зав. каф. |      | Семенов М.А.   |        |      |                                                                                                                                                            |  |                                |      |         |    |



Головною метою проєктування є диференційований підхід, де пріоритет зміщується з уніфікованого масового виробництва на створення кастомізованих асистивних рішень. Наприклад, для однієї категорії користувачів критично важливою є ближня локація та детектування фізичних бар'єрів у реальному часі, тоді як для інших пріоритетом виступає макронавігація із покроковим голосовим супроводом. Синхронізація комплексу з мобільними застосунками суттєво розширює його універсальність.

Отже, розроблюваний асистивний комплекс є не стаціонарним набором елементів, а динамічною екосистемою інструментів. Індивідуалізований підхід та адаптивність архітектури дозволяють радикально підвищити безпеку, інклюзивність та якість повсякденного життя незрячих. У порівнянні з класичною тактильною білою тростиною, можливості якої обмежені контактним виявленням наземних перешкод, інтелектуальна система просторової навігації пропонує безконтактний превентивний аналіз середовища, забезпечуючи вищий рівень свободи та психологічної впевненості під час локомоції.

Структурна архітектура комплексної системи просторової орієнтації містить низку взаємопов'язаних базових компонентів, що визначають її загальну функціональність:

- **Датчик відстані.** Цей модуль призначений для визначення дистанції між користувачем і навколишніми об'єктами або перешкодами. Для роботи можуть застосовуватись різні технології, зокрема ультразвукові, інфрачервоні чи лазерні сенсори. Завдяки високій точності вимірювання датчик дозволяє своєчасно виявляти небезпечні об'єкти та попереджати користувача про можливе зіткнення.
- **Зумер або аудіомодуль.** Зумер (динамік) забезпечує звуковий зв'язок між системою та користувачем. Він відтворює попереджувальні сигнали, голосові повідомлення або інструкції щодо подальшого руху. Використання аудіосповіщень дає змогу оперативно інформувати користувача про небезпеку, зміну маршруту чи інші важливі події в навколишньому середовищі.

|      |      |          |        |      |                    |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|      |      |          |        |      | ІТС.4КІ.0426.03-ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                    | 50   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

- **Мікропроцесор або мікроконтролер.** Цей компонент є центральним елементом системи, який відповідає за обробку інформації та керування всіма її функціями. Мікропроцесор аналізує дані, отримані від датчиків, визначає необхідну реакцію системи та координує роботу інших модулів. Саме він забезпечує швидке прийняття рішень і стабільну роботу всього пристрою.
- **Вібромотор.** Вібромотор створює тактильні сигнали у вигляді вібрацій, які допомагають користувачу отримувати інформацію без використання слуху. Інтенсивність або частота вібрації може змінюватися залежно від рівня небезпеки чи типу повідомлення. Такий спосіб сповіщення є особливо корисним у шумному середовищі або для людей із порушеннями слуху.
- **Світлові індикатори.** Світлодіодні індикатори (LED) використовуються для візуального відображення стану системи. Різні кольори можуть сигналізувати про певні події або режими роботи: наприклад, червоний колір попереджає про небезпеку, зелений підтверджує безпечний напрямок руху, а жовтий вказує на необхідність підвищеної уваги. Це робить взаємодію із системою більш зрозумілою та зручною.
- **Бездротовий модуль зв'язку.** Модулі Bluetooth або Wi-Fi забезпечують бездротову передачу даних між системою та зовнішніми пристроями, такими як смартфони, планшети чи комп'ютери. Завдяки цьому користувач може здійснювати дистанційне налаштування системи, оновлювати програмне забезпечення, синхронізувати дані або інтегрувати пристрій з іншими цифровими та медичними сервісами.

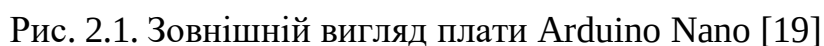
## 2.2. Обґрунтування вибору обладнання для смарт-браслету на базі IoT-технологій із тактильним зворотним зв'язком

### 2.2.1. Мікроконтролер

Мікроконтролер являє собою компактну інтегральну мікросхему, що поєднує в одному корпусі центральне обчислювальне ядро, пам'ять та програмовані периферійні засоби введення і виведення. Основним призначенням мікроконтролерів є реалізація конкретних алгоритмів керування та обробки

|      |      |          |        |      |                    |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|      |      |          |        |      | ІТС.4КІ.0426.03-ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    | 51   |

Вибір мікроконтролера є одним із ключових етапів під час розроблення автоматизованої системи супроводу людей у вигляді розумної тростини. Для реалізації поставлених функцій було обрано мікроконтролерну плату **Arduino Nano** (рисунок 2.1), яка належить до найбільш поширених і доступних рішень на сучасному ринку. До переваг цієї плати слід віднести компактні розміри, наявність необхідних інтерфейсів введення-виведення, а також простий і інтуїтивно зрозумілий інтерфейс програмування, що дозволяє суттєво скоротити час розробки та налагодження пристрою.



Таблиці 2.1.

| Параметр        | Значення     |
|-----------------|--------------|
| Мікроконтролер  | ATmega328P   |
| Архітектура     | AVR, 8-бітна |
| Тактова частота | 16 МГц       |

|      |      |          |        |      |                           |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <p>ИТС.4КІ.0426.03-ПЗ</p> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                           | 52   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                           |      |

| Параметр                           | Значення                              |
|------------------------------------|---------------------------------------|
| Робоча напруга логіки              | 5 В                                   |
| Вхідна напруга живлення (VIN)      | 7–12 В                                |
| Живлення через USB                 | 5 В                                   |
| Споживаний струм                   | до 40 мА                              |
| Flash-пам'ять                      | 32 КБ ( $\approx$ 2 КБ – Bootloader)  |
| SRAM                               | 2 КБ                                  |
| EEPROM                             | 1 КБ                                  |
| Кількість цифрових I/O             | 14                                    |
| Кількість PWM-виходів              | 6                                     |
| Кількість аналогових входів        | 8                                     |
| Роздільна здатність АЦП            | 10 біт                                |
| Інтерфейс UART                     | 1                                     |
| Інтерфейс SPI                      | 1                                     |
| Інтерфейс I <sup>2</sup> C (TWI)   | 1                                     |
| Таймери                            | 2 × 8-бітні, 1 × 16-бітний            |
| Максимальний струм одного I/O піну | 40 мА                                 |
| Максимальний сумарний струм I/O    | 200 мА                                |
| Режими енергозбереження            | Idle, Power-down, Power-save, Standby |
| Фізичні розміри плати              | 45 × 18 мм                            |
| Маса плати                         | $\approx$ 7 г                         |
| Інтерфейс програмування            | USB, ISP                              |
| Середовище розробки                | Arduino IDE                           |
| Мова програмування                 | C/C++ (Arduino framework)             |

Плата Arduino Nano побудована на базі мікроконтролера ATmega328P та забезпечує достатні апаратні ресурси для підключення периферійних компонентів системи. Мікроконтролер має 22 лінії введення-виведення, з яких 6 підтримують режим широтно-імпульсної модуляції (ШІМ), що дозволяє реалізувати керування виконавчими пристроями та інтерфейс з різноманітними датчиками і кнопками керування.

|      |      |          |        |      |                    |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|      |      |          |        |      | ITC.4KI.0426.03-ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    | 53   |

Крім того, плата оснащена 8 аналоговими входами, які використовуються для оцифрування аналогових сигналів, зокрема даних від інфрачервоних далекомірів та інших аналогових сенсорів [19].

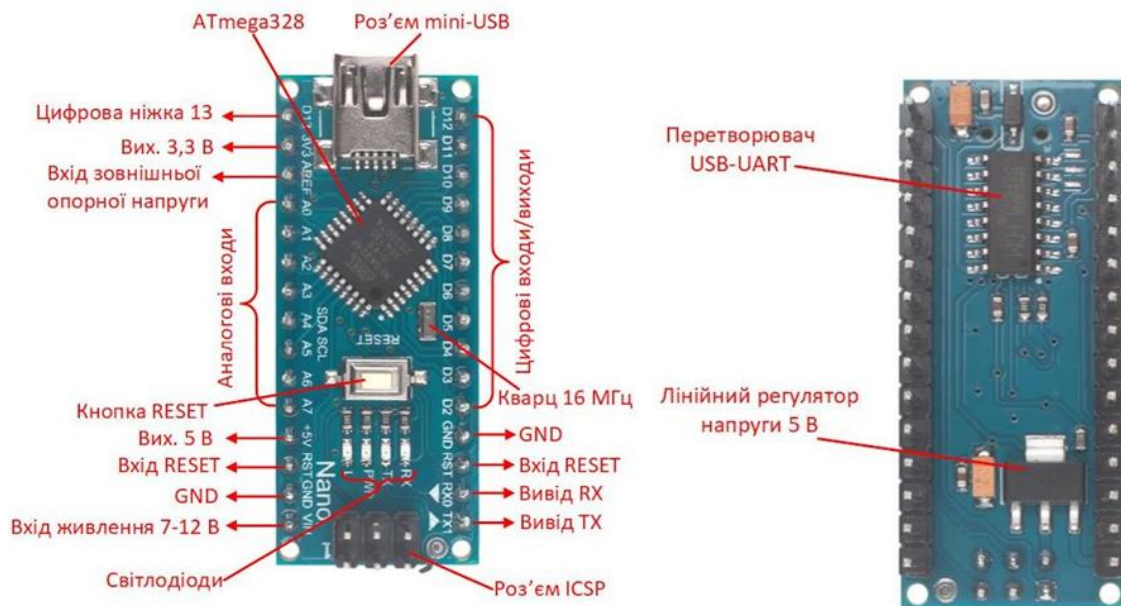
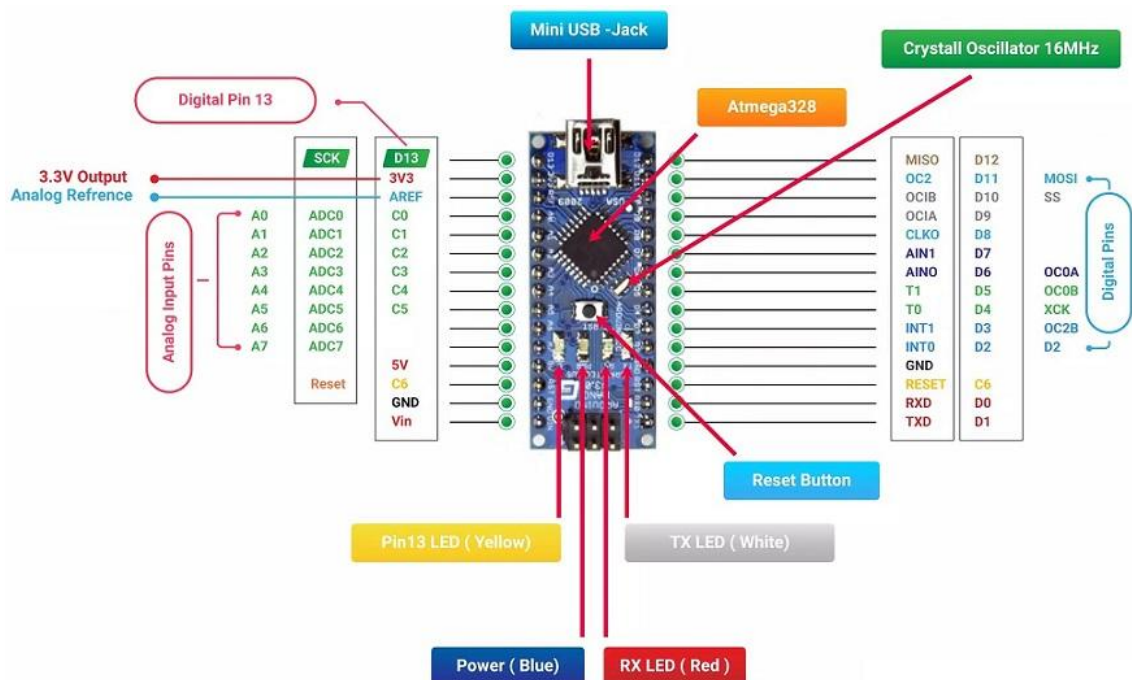


Рис. 2.2. Опис плати Arduino Nano

Схему розташування виводів плати наведено на рисунку 2.3.



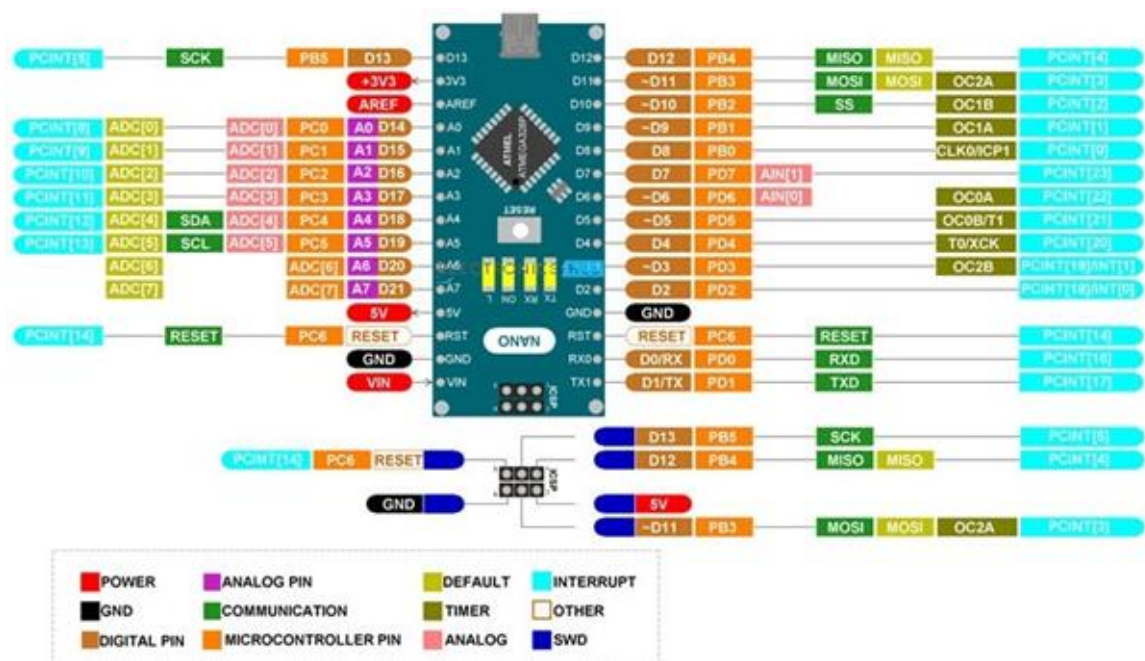


Рис. 2.3. Схема розташування виводів плати Arduino Nano [19]

Опис виводів та інтерфейсів плати **Arduino Nano**:

- **GND** – загальні контакти, що забезпечують замикання електричного кола та є спільним логічним опорним рівнем для всіх компонентів схеми.
- **5V і 3V3** – контакти для стабілізованого живлення зовнішніх пристроїв напругою 5 В та 3,3 В відповідно.
- **D0 (RX) і D1 (TX)** – цифрові контакти для послідовного обміну даними (UART), де RX приймає, а TX передає інформацію.
- **RESET** – контакт для апаратного скидання мікроконтролера.
- **ADC (A0–A7)** – аналогові входи для підключення сенсорів, перетворюють аналогові сигнали у цифровий формат через вбудований АЦП.
- **D2–D13** – цифрові входи/виходи; **D11–D13** використовуються для інтерфейсу **SPI** (MOSI, MISO, SCK), а D10 – контакт **SS (CS)** для вибору підлеглого пристрою. D13 також підключений до вбудованого світлодіода.

**SPI (Serial Peripheral Interface)** – синхронний протокол для обміну даними між головним (Arduino) та підлеглими пристроями.

- **MISO (D12)** – передача даних від підлеглого до головного пристрою.
- **MOSI (D11)** – передача даних від головного до підлеглого пристрою.
- **SCK (D13)** – тактовий сигнал для синхронізації обміну.
- **SS (D10)** – вибір підлеглого пристрою для комунікації.

**I2C (A4 – SDA, A5 – SCL)** – дволінійний протокол для зв'язку кількох пристроїв на одній шині. Кожен пристрій має унікальну адресу, а лінії:

- **SCL** – тактовий сигнал,
- **SDA** – передача даних.

#### **Живлення плати:**

- через **USB Mini-B** (5 В, до 500 мА),
- через **VIN** (зовнішнє джерело 7–12 В),
- через контакт **5V** для стабілізованого живлення зовнішніх модулів.

При живленні через USB використовується чіп **FTDI FT232RL** для обміну даними між комп'ютером та Arduino. При зовнішньому живленні 3,3 В від FTDI стає неактивним, що може викликати мерехтіння світлодіодів RX/TX при високому рівні сигналу на D0/D1.

**ICSP і роз'єми живлення** забезпечують доступ до програмування та зовнішнього живлення без демонтажу плати. Кнопка **RESET** дозволяє апаратно перезапустити Arduino Nano.

Принципова електрична схема плати наведена на рисунку 2.4.



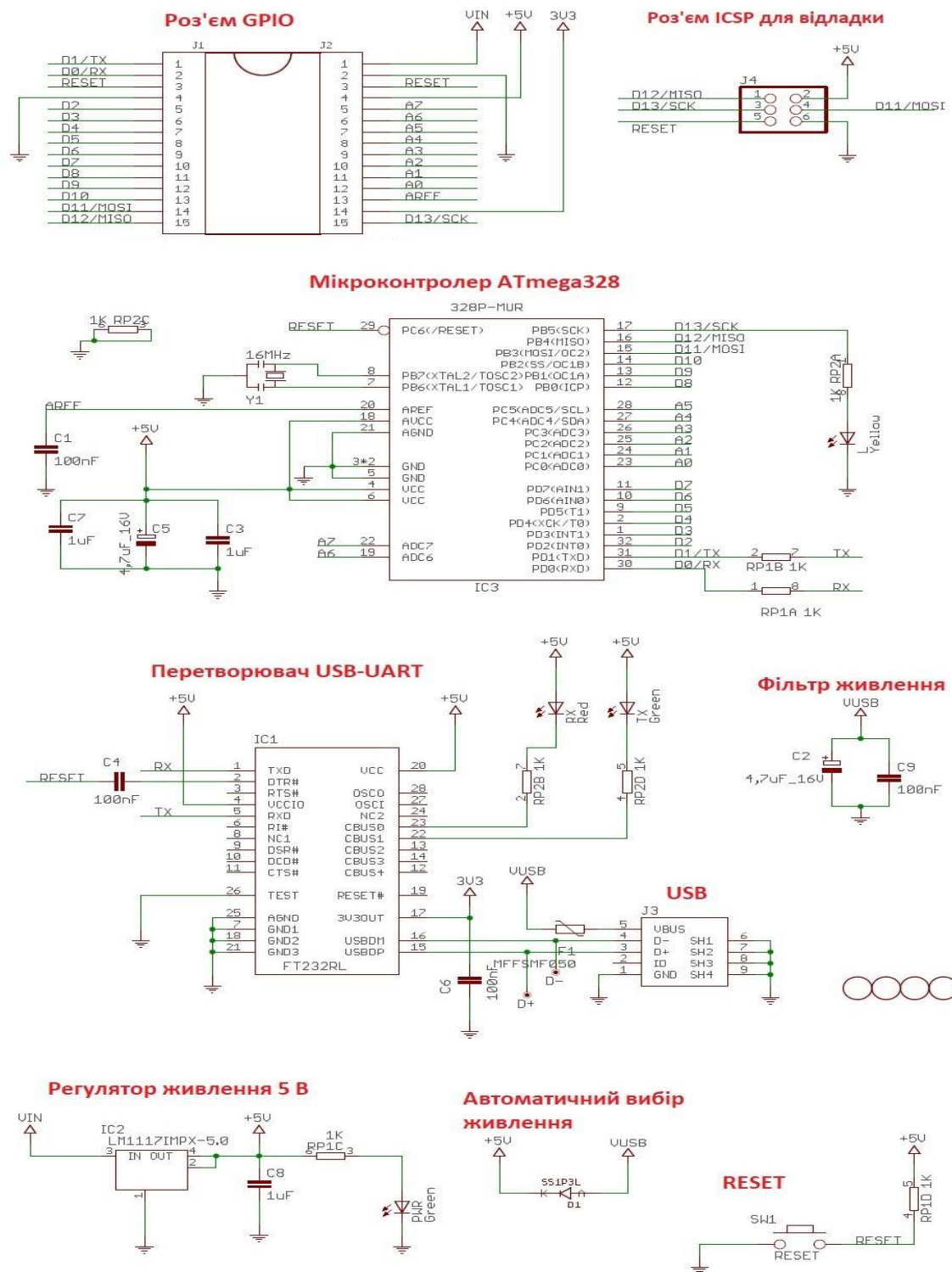


Рис. 2.4. Електрична принципова схема плати Arduino Nano [19]

З технічної точки зору, Arduino Nano є надійним та доступним мікроконтролером із простим інтерфейсом, що повністю відповідає вимогам для створення системи орієнтування у просторі людей з вадами зору у вигляді «розумної тростини». Його обчислювальні ресурси, поширеність на ринку, широка підтримка спільноти та сумісність із різноманітними модулями розширення забезпечують ефективну реалізацію функціональних завдань проекту.



### 2.2.2. Ультразвуковий датчик

Одним із найбільш розповсюджених і надійних ультразвукових далекомірів, який часто застосовується в системах супроводу людей з вадами зору, є HC-SR04 Ultrasonic Sensor (рисунок 2.5). Цей модуль вирізняється високою популярністю та широкою доступністю на ринку, забезпечуючи точні вимірювання відстані за допомогою ультразвукових хвиль.

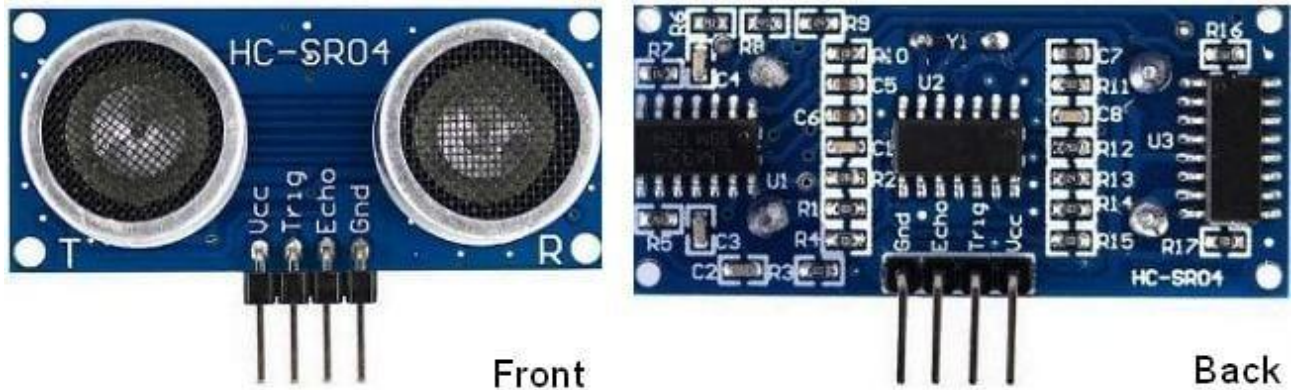


Рис. 2.5. Ultrasonic Sensor HC-SR04 [12]

Датчик HC-SR04 функціонує за принципом випромінювання ультразвукових хвиль і подальшого вимірювання часу, за який відбитий сигнал повертається після відбиття від об'єкта. Аналізуючи часову затримку між передачею та прийомом сигналу, модуль визначає відстань до перешкоди.

#### Алгоритм роботи датчика:

1. **Формування тригерного сигналу.** На вхід **Trig** подається керуючий імпульс високого рівня тривалістю близько 10 мкс.
2. **Генерація ультразвуку.** Після отримання тригерного імпульсу датчик випромінює пакет з 8 ультразвукових коливань частотою 40 кГц.
3. **Приймання відбитого сигналу.** У разі наявності об'єкта на шляху поширення хвилі ультразвук відбивається та фіксується приймальним елементом.
4. **Вимірювання часової затримки.** Контакт **Echo** утримується у високому логічному рівні протягом часу, необхідного для проходження ультразвукової хвилі до об'єкта та назад.
5. **Обчислення відстані.** Відстань розраховується за формулою:

$$Distance = \frac{Time \times Speed\ of\ Sound}{2}$$

де швидкість звуку в повітрі становить приблизно **343 м/с**.

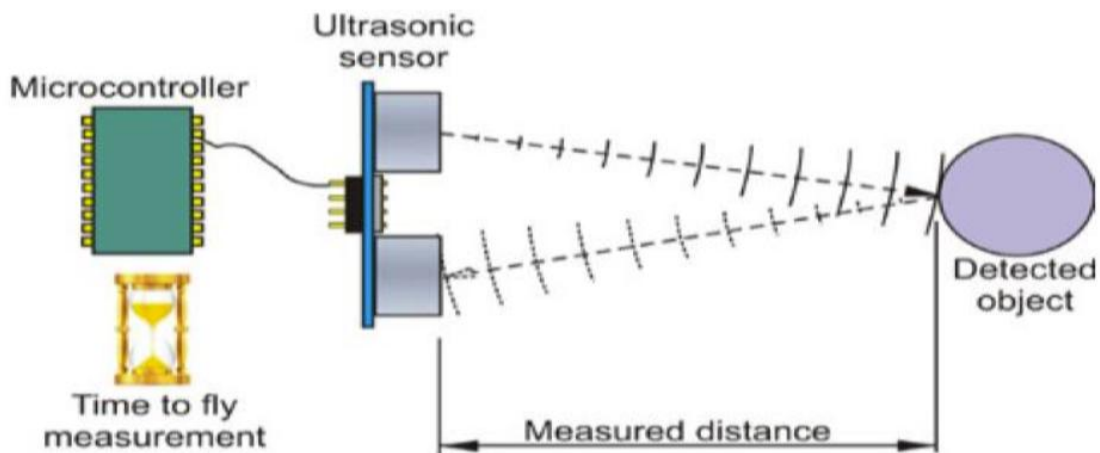


Рис. 2.6. HC-SR04 працює: вид зверху

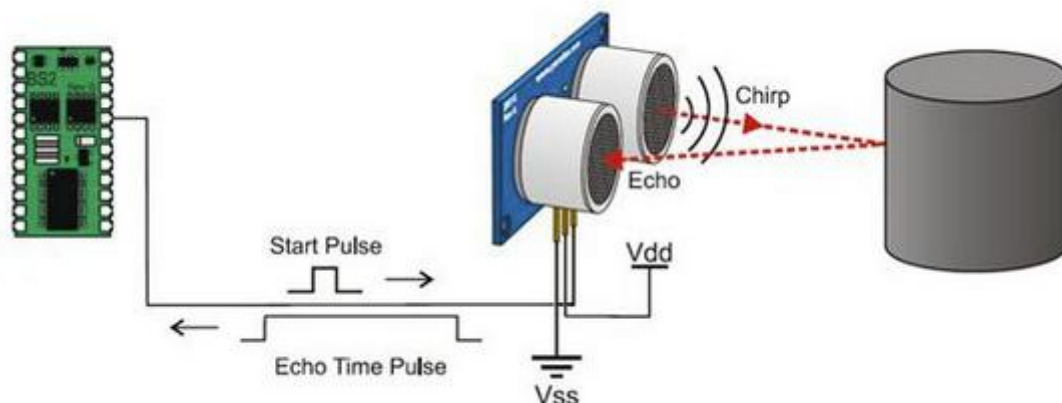


Рис. 2.7. HC-SR04 принцип роботи

Саме цей ультразвуковий далекомір було обрано завдяки його здатності виконувати вимірювання відстані до об'єктів у діапазоні від 2 до 400 см з високою роздільною здатністю та точністю до міліметра. Модуль HC-SR04 відзначається простотою підключення та експлуатації, оскільки має лише чотири основні виводи:

- **VCC (Voltage Common Collector)** – контакт живлення датчика, який підключається до джерела постійної напруги для забезпечення його роботи;
- **GND (Ground)** – заземлювальний вивід, що слугує опорним нульовим потенціалом та забезпечує замикання електричного кола;
- **Trig (Trigger)** – вхідний контакт запуску, на який подається короткий імпульс для ініціювання випромінювання ультразвукової

- **Echo** – вихідний контакт, що формує сигнал, тривалість якого відповідає часу проходження ультразвукової хвилі до об'єкта та назад, на основі чого визначається відстань.

Ультразвуковий датчик HC-SR04 тривалий час представлений на ринку та широко доступний у магазинах електроніки й на онлайн-платформах. Його невисока вартість у поєднанні з надійністю та достатньою точністю вимірювань робить цей модуль доцільним вибором для реалізації дипломного проекту.

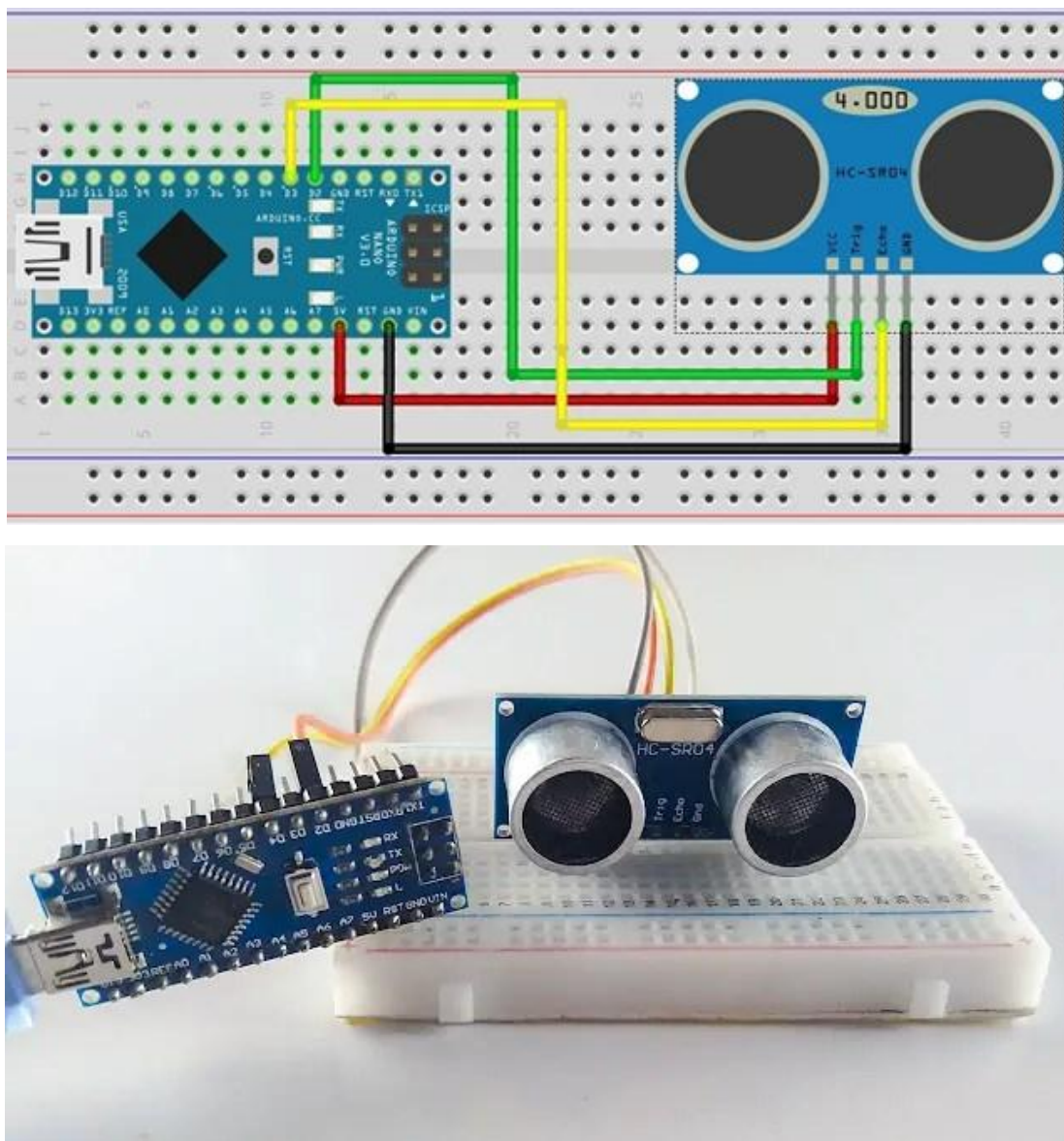


Рис. 2.8. Підключення HC-SR04 до Arduino Nano

### 2.2.3. Модуль GPS

Для реалізації системи було обрано GPS-модуль NEO-6M (рисунок 2.9), оскільки він належить до найбільш розповсюджених, точних і надійних рішень у своєму класі.

Модуль забезпечує високоточне визначення координат користувача на основі даних глобальної навігаційної супутникової системи.

NEO-6M підтримує декілька протоколів обміну даними, зокрема NMEA, UBX та SkyTraq, що спрощує інтеграцію з мікроконтролерними платформами. Крім того, він оснащений власним резервним акумулятором і вбудованою EEPROM-пам'яттю для збереження конфігураційних параметрів, а також підтримує режим швидкого старту, який забезпечує оперативне та стабільне отримання геолокаційної інформації.



Рис. 2.9. Зовнішній вигляд модуля GPS NEO-6M

Пристрій характеризується низьким енергоспоживанням, що робить його доцільним для використання в мобільних та автономних системах із живленням від акумулятора. Підтримка діапазону напруг живлення 3,3–5 В забезпечує сумісність із різними типами мікроконтролерів і сенсорних платформ.

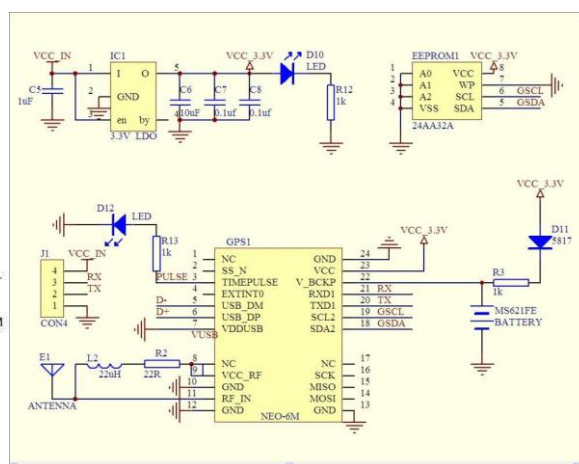
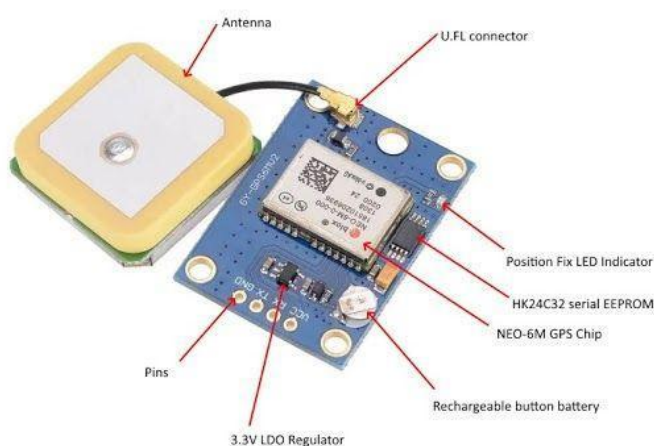


Рис. 2.10. Модуль GPS NEO-6M

|      |      |          |        |      |
|------|------|----------|--------|------|
|      |      |          |        |      |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |



У цілому GPS-модуль NEO-6M є надійним, зручним в інтеграції, точним і економічно доступним рішенням для реалізації функцій глобального позиціонування в різноманітних проєктах. Його функціональні можливості та підтримка кількох протоколів обміну даними роблять модуль доцільним вибором для даної розробки.

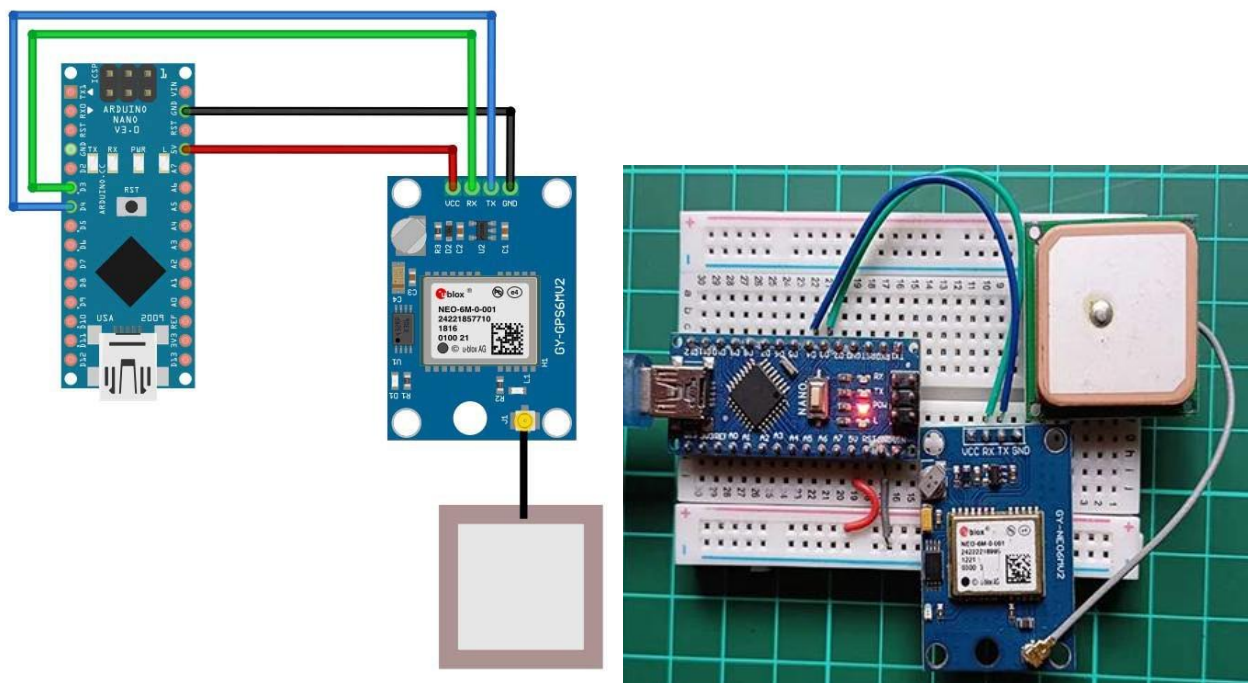


Рис. 2.11. Схема підключення GPS-модуля до Arduino

#### 2.2.4. Модуль GSM

Для реалізації функції передавання сигналу тривоги та повідомлень про необхідність допомоги використовується модуль стільникового зв'язку GSM/GPRS, побудований на базі SIM800L. Він працює в діапазонах GSM/GPRS 850/900/1800/1900 МГц, що забезпечує підтримку більшості мобільних мереж у різних регіонах світу та сумісність із широким спектром операторів стільникового зв'язку.

Модуль SIM800L підтримує передачу даних за технологією GPRS (General Packet Radio Service), що дає змогу здійснювати обмін даними через мережу Інтернет. Це відкриває можливості для взаємодії з віддаленими серверами, надсилання інформації на хмарні сервіси або організації зв'язку з іншими пристроями системи.

Зовнішній вигляд модуля наведено на рисунку 2.12.



Рис. 2.12. Модуль GPS SIM800L з позначенням виходів  
Розпинування GSM-модуля SIM800L.

Модуль SIM800L оснащений 12 контактами, які забезпечують підключення до мікроконтролера, а також до мікрофона і динаміка. Розташування контактів та їх призначення такі:

- **NET** — вивід для підключення спіральної антени;
- **VCC** — живлення модуля, напруга 3,4–4,4 В;
- **RST (Reset)** — контакт для скидання модуля;
- **RxD (Receiver)** — контакт прийому даних для послідовного зв'язку;
- **TxD (Transmitter)** — контакт передачі даних для послідовного зв'язку;
- **GND** — контакт заземлення, що підключається до GND на Arduino;
- **RING** — вивід індикатора вхідного дзвінка;
- **DTR** — контакт керування активацією та деактивацією режиму сну;
- **MIC ±** — входи для підключення мікрофона;
- **SPK ±** — виходи для підключення динаміка.

Для стабільного функціонування модуля SIM800L необхідне живлення з напругою від 3,4 до 4,4 В (оптимально – 4,1 В) і максимальним робочим струмом до 2 А. Джерелом живлення може слугувати літій-іонний акумулятор ємністю не менше 1200 мА·год або стабілізатор напруги на базі LM2596.

### 2.2.5. Стабілізатор напруги на основі LM2596

Перетворювач напруги DC-DC LM2596, представлений на рисунку 5.10, є широко застосовуваним і ефективним пристроєм для стабілізації вихідної напруги з більш високої вхідної напруги. Він підтримує вхідну напругу в

|      |      |          |        |      |                    |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|      |      |          |        |      | ИТС.4КІ.0426.03-ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    | 63   |

діапазоні 4,5–40 В, а за допомогою вбудованого регулятора дозволяє налаштувати вихідну напругу в межах 1,23–37 В відповідно до потреб конкретного проєкту.

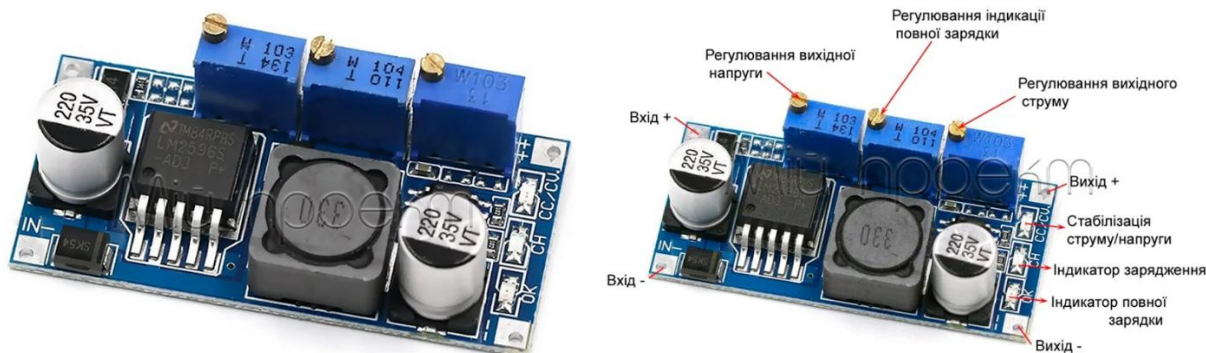


Рис. 2.21. Зовнішній вигляд перетворювача напруги LM2596

У автоматизованій системі орієнтування у просторі людей з вадами зору у вигляді «розумної тростини» LM2596 може застосовуватися для стабілізації напруги, необхідної для роботи модуля GSM SIM800L або інших компонентів, що потребують певних параметрів живлення. Використання цього перетворювача дозволяє отримати стабільне та надійне живлення від джерела з більш високою вхідною напругою, що є критично важливим для коректної роботи пристрою.

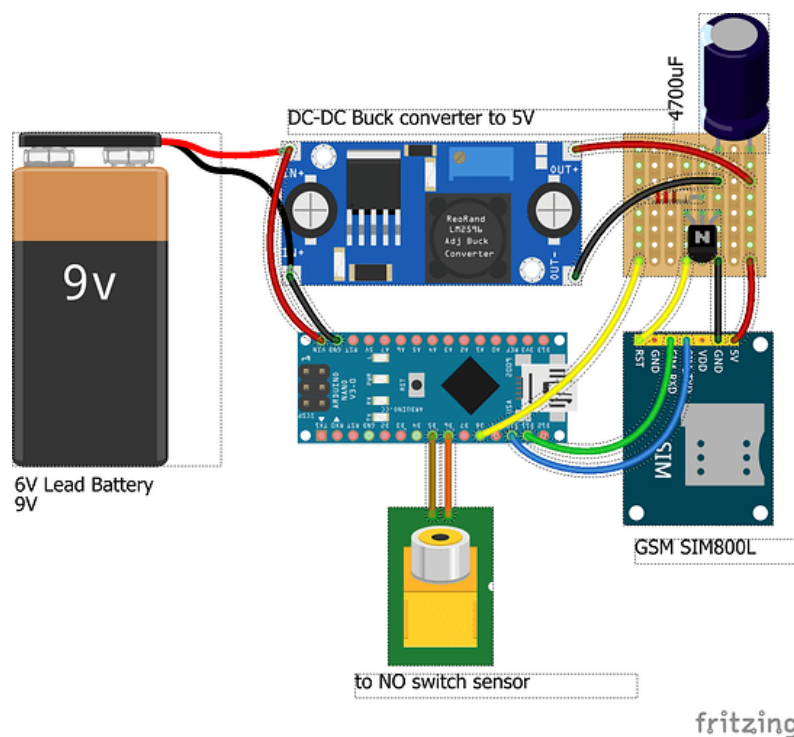


Рис. 2.22. Підключення модуля SIM800L до Arduino Nano

|      |      |          |        |      |
|------|------|----------|--------|------|
|      |      |          |        |      |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |

## 2.2.6. Зумер Active Buzzer Module

**Зумери (звуковипромінювачі)** — це електронні компоненти, призначені для генерації звукових сигналів, що найчастіше працюють на основі п'єзоелектричного або електромагнітного ефектів. Їх широко застосовують в апаратних комплексах, IoT-системах та робототехніці для звукового оповіщення або відтворення простих мелодій.

За способом керування зумери поділяються на два основні типи:

- **Активні зумери:** Оснащені вбудованим генератором (осцилятором). Для початку відтворення звуку достатньо подати на них постійну напругу живлення. Вони максимально прості в інтеграції, проте генерують сигнал лише однієї фіксованої частоти, що робить їх ідеальними для базових тривожних сповіщень.
- **Пасивні зумери:** Не мають вбудованого генератора. Вони функціонують як мініатюрні динаміки і потребують зовнішнього керуючого сигналу (наприклад, ШІМ-сигналу від мікроконтролера) для створення звуку. Змінюючи частоту вхідного сигналу, пасивний зумер здатний відтворювати складні мелодії та тональні сигнали різної висоти.

Для роботи з Arduino Nano найзручніше використовувати компоненти або готові модулі, які працюють від напруги **5 В** і мають низьке споживання струму (до 20–30 мА). Це дозволяє підключати їх безпосередньо до цифрових виводів (I/O) мікроконтролера.

Залежно від логіки роботи пристрою, варто обрати один із двох варіантів:

### 1. Активний зумер (для простих звукових сигналів та тривоги)

Якщо пристрою потрібно просто подавати періодичні звукові сигнали (наприклад, монотонний писк при спрацюванні датчика чи аварійне сповіщення), найкраще підійде активний зумер.

- **Популярна модель:** **ТМВ12А05** або готовий модуль **KY-012**.
- **Як працює:** Не потребує програмного генерування частоти. Досить подати на пін логічну одиницю (`digitalWrite(pin, HIGH)`) — і він одразу зазвучить.



- **Мінус:** Частота звуку фіксована (зазвичай в районі 2.3 кГц), змінити тональність не вийде.

## 2. Пасивний зумер (для мелодій та інтерфейсних звуків)

Якщо пристрій має видавати різні типи сигналів (наприклад, короткий клік при натисканні кнопки, висхідний звуковий тон при увімкненні або повноцінну мелодію), необхідний пасивний зумер.

- **Популярна модель:** Голий п'єзовипромінювач (наприклад, діаметром 12 мм) або модуль **KY-006**.
- **Як працює:** Керується за допомогою ШІМ або вбудованої функції `tone(pin, frequency)`. Змінюючи частоту в коді, ви повністю контролюєте висоту звуку.
- **Мінус:** Потребує постійної роботи процесора для генерації частоти під час звучання.

Таблиця 2.2.

### Порівняння готових модулів для швидкого прототипування

| Характеристика                  | "Голий" активний зумер(компонент без плати)                | 3.3–5V Active Buzzer Module(з транзистором)                               | Пасивний модуль(наприклад, KY-006)                          |
|---------------------------------|------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| Тип звукового сигналу           | Монотонний писк (одна фіксована частота)                   | Монотонний писк (одна фіксована частота)                                  | Мелодії, тональні сигнали, звуки різної висоти              |
| Робоча напруга                  | Фіксована (переважно 5 В)                                  | Універсальна (3.3 В – 5 В)                                                | Універсальна (3.3 В – 5 В)                                  |
| Струм на цифровому піні Arduino | Високий (~20–30 мА)<br><i>Є ризик перевантаження порту</i> | Мінімальний (<1 мА)<br><i>Струм бази транзистора — абсолютно безпечно</i> | Середній (~15 мА)<br><i>Обмежений вбудованим резистором</i> |
| Принцип керування               | Подача живлення на пряму                                   | Подача логічного сигналу (HIGH / LOW) на керуючий пін (I/O)               | Подача прямокутного сигналу частоти (ШІМ)                   |

| Характеристика           | "Голий"<br>активний<br>зумер(компонент<br>без плати)                         | 3.3–5V Active<br>Buzzer<br>Module(з<br>транзистором)                  | Пасивний<br>модуль(наприклад,<br>KY-006)    |
|--------------------------|------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| Програмна<br>складність  | Мінімальна<br>(digitalWrite())                                               | Мінімальна<br>(digitalWrite())                                        | Середня<br>(використання<br>функції tone()) |
| Сумісність<br>іншими MCU | Обмежена<br>(потребує<br>додаткових<br>елементів для 3.3-<br>вольтових плат) | Повна<br>(підходить для<br>Arduino, ESP32,<br>STM32,<br>Raspberry Pi) | Повна                                       |

Для реалізації функції звукового сповіщення в пристрої застосовано модуль активного звуковипромінювача «3.3–5V Active Buzzer Module».

Основні технічні характеристики модуля [14]:

- Частота звукового сигналу:  $2300 \pm 500$  Гц;
- Робоча напруга живлення: 3,3–5 В;
- Струм споживання: 10–15 мА.

Специфіка підключення та керування: Модуль інтегрується безпосередньо з цифровим виводом (I/O) мікроконтролера.

Обґрунтування вибору компонента: Вибір активного зумера зумовлений наявністю вбудованого внутрішнього генератора. На відміну від пасивних аналогів, цей компонент не потребує програмного формування частотного сигналу (ШІМ) засобами мікроконтролера. Активація звукового оповіщення відбувається шляхом звичайної подачі логічного рівня на керуючий пін, що мінімізує обчислювальне навантаження на процесор.

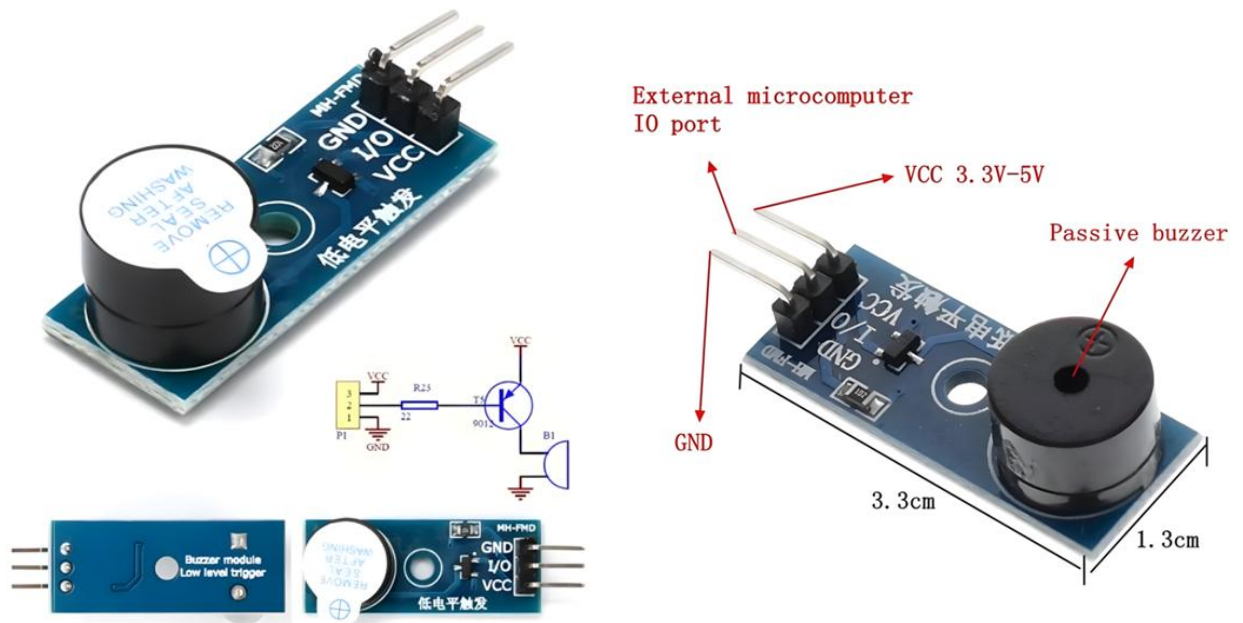


Рис. 2.23. 3.3–5V Active Buzzer Module [15]

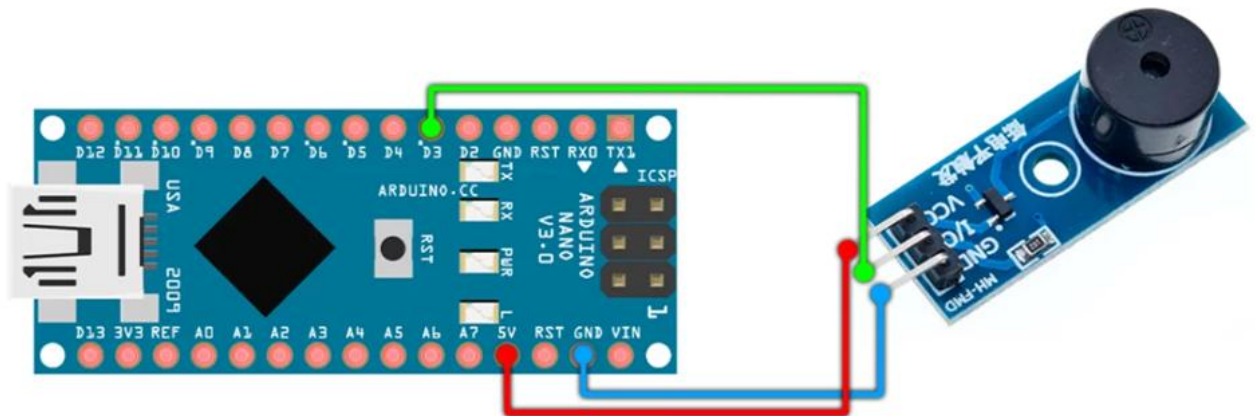


Рис. 2.24. Підключення модуля Active Buzzer Module до Arduino Nano

### 2.2.7. Масив Pmod PDM мікрофонів

Інтеграція мікрофонного масиву Pmod PDM для визначення напрямку надходження звукового сигналу.

Для підвищення ефективності системи просторової орієнтації для людей із порушеннями зору доцільно інтегрувати мікрофонний масив Pmod PDM. Використання такого масиву дає змогу реалізувати алгоритми визначення напрямку надходження звукового сигналу (Direction of Arrival, DoA), що значно розширює функціональні можливості системи. Завдяки цьому користувач зможе краще орієнтуватися у просторі, сприймаючи звукові сигнали від різних джерел навколишнього середовища.

|      |      |          |        |      |
|------|------|----------|--------|------|
|      |      |          |        |      |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |

Мікрофонний масив забезпечує одночасне зчитування аудіосигналів із кількох мікрофонів та їх подальшу обробку для визначення місця розташування джерела звуку. Принцип роботи базується на аналізі різниці часу приходу звукової хвилі до кожного мікрофона масиву. На основі цих часових затримок система обчислює кут надходження звуку.

Основні етапи обробки сигналу:

1. **Збір аудіоданих.** Мікрофони масиву Pmod PDM розташовуються на фіксованій відстані один від одного, що створює необхідну геометричну основу для визначення часових затримок між отриманими сигналами. Така конфігурація дозволяє системі оцінювати напрямок поширення звукової хвилі.
2. **Обробка сигналів.** Для аналізу отриманих аудіоданих застосовуються методи крос-кореляції та алгоритми визначення часової затримки (Time Difference of Arrival, TDOA). Це дає змогу обчислити різницю між моментами надходження сигналу до кожного мікрофона.
3. **Визначення напрямку звуку.** На основі отриманих часових затримок виконуються тригонометричні обчислення кута прибуття звукової хвилі. Для підвищення точності можуть додатково використовуватися методи аналізу фазового зсуву та цифрової фільтрації сигналів.

**Необхідні компоненти системи:**

- масив мікрофонів Pmod PDM — для збору аудіосигналів;
- мікроконтролер Arduino Nano — для зчитування даних, попередньої обробки сигналів та обчислення часових затримок;
- цифрові мікрофони IM69D130 — як основні сенсори звукового сигналу.

### **Використання мікрофонів IM69D130**

Для реалізації системи визначення напрямку звуку обрано цифрові MEMS-мікрофони IM69D130, які забезпечують високу якість зчитування та обробки аудіосигналів. Їхні технічні характеристики роблять ці мікрофони оптимальними для систем допомоги орієнтації у просторі.

Основні переваги IM69D130:

|      |      |          |        |      |                           |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>ІТС.4КІ.0426.03-ПЗ</i> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                           | 69   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                           |      |

- Висока чутливість і низький рівень шуму. Мікрофони здатні ефективно працювати навіть у середовищах із низьким рівнем звукового сигналу. Це підвищує точність визначення напрямку джерела звуку та покращує стабільність роботи системи.
- Цифровий інтерфейс PDM. Наявність цифрового інтерфейсу PDM спрощує інтеграцію з мікроконтролерами, зокрема Arduino Nano, та забезпечує швидку передачу аудіоданих без суттєвих втрат якості.
- Широкий частотний діапазон. Мікрофони здатні розпізнавати широкий спектр звукових частот — від низьких до високих. Це дозволяє системі коректно аналізувати різноманітні звуки навколишнього середовища та точніше визначати їхнє розташування.
- Переваги інтеграції. Поєднання мікрофонного масиву Pmod PDM із мікрофонами IM69D130 та алгоритмами визначення напрямку звуку забезпечує високу точність просторового аналізу аудіосигналів. У результаті система орієнтації стає більш інформативною, адаптивною та зручною у використанні для людей із порушеннями зору, що суттєво покращує безпечність і комфорт пересування у навколишньому середовищі.

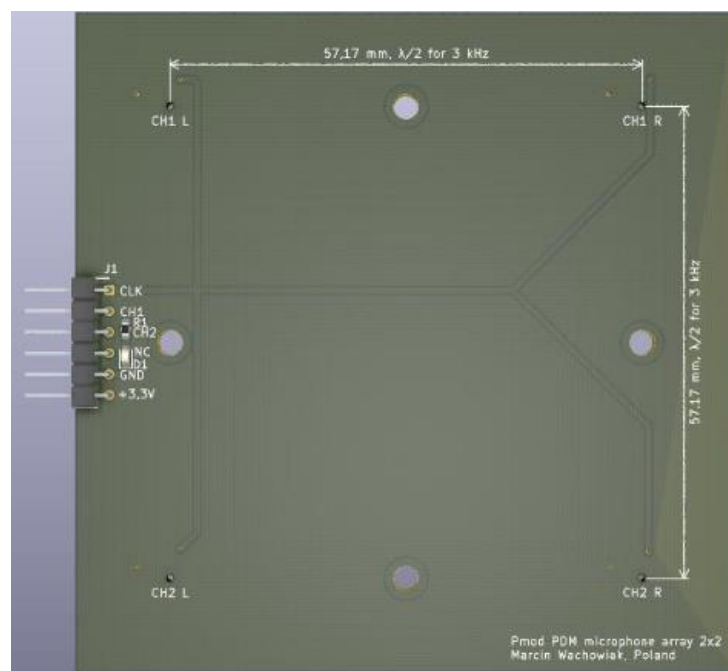


Рис. 2.25. Pmod PDM [24]

|      |      |          |        |      |                    |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|      |      |          |        |      | ІТС.4КІ.0426.03-ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    | 70   |

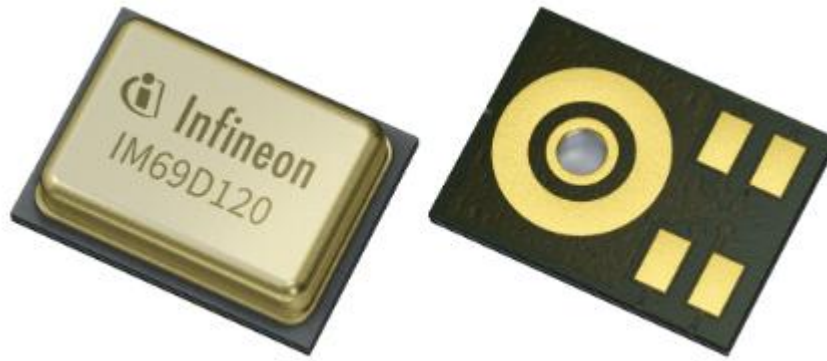


Рис. 2.26. Мікрофони IM69D130 [25]

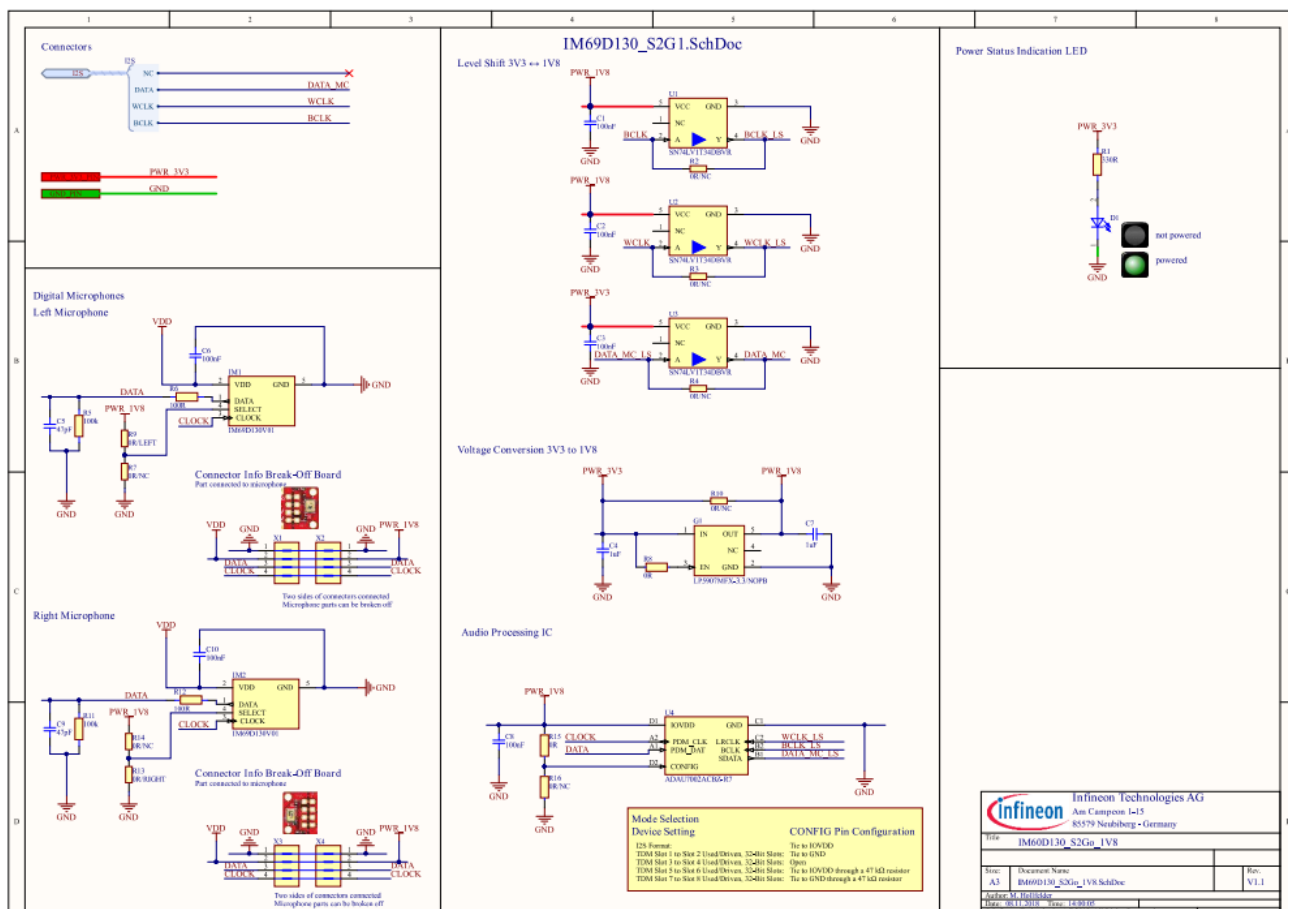


Рис. 2.27. Електрична принципова схема IM69D130

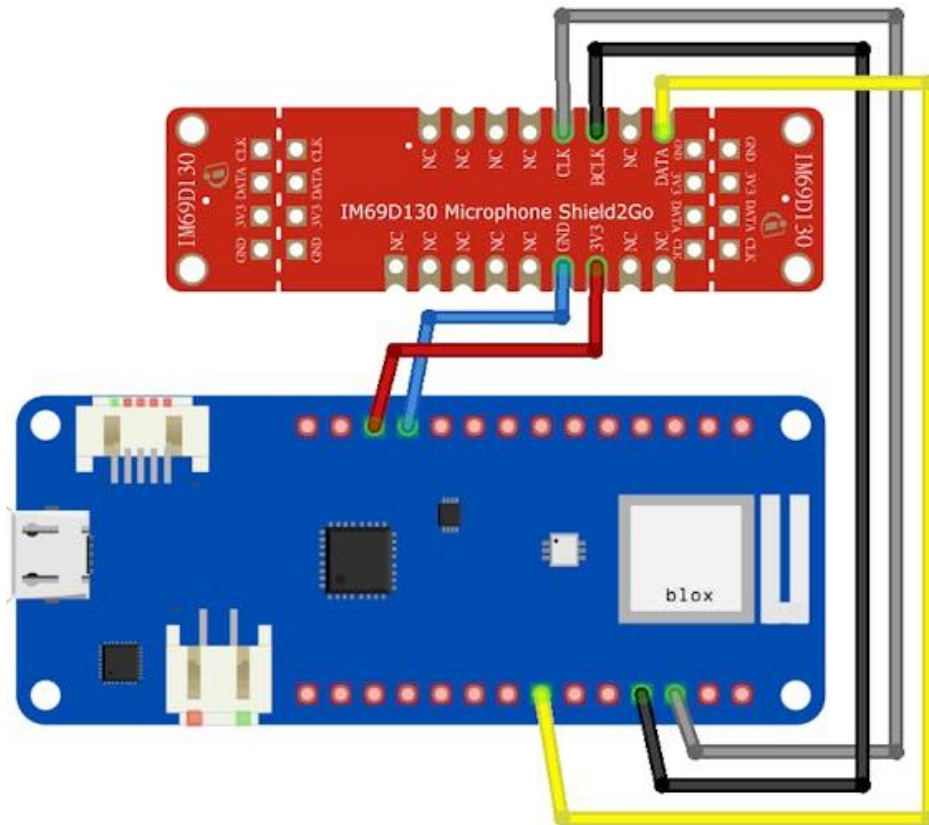


Рис. 2.28. Підключення модуля IM69D130 до Arduino Nano

Переваги застосування Pmod PDM масиву:

Інтеграція масиву мікрофонів дозволяє системі орієнтації для сліпих орієнтуватися на основі звукових сигналів, що значно підвищує її точність.

### Висновки до розділу

У межах цього дослідження для розробки системи допомоги просторової орієнтації для людей із порушеннями зору було обрано платформу Arduino Nano, датчик відстані, вібромотор, зумер та мікрофонний масив Pmod PDM. Вибір саме цих компонентів зумовлений їхньою доступністю, невисокою вартістю, простотою інтеграції та відповідністю функціональним вимогам проєкту.

Основою системи стала плата Arduino Nano, яка поєднує компактні розміри, достатню обчислювальну потужність і широкий набір функцій. Незважаючи на малі габарити, вона забезпечує можливості, аналогічні Arduino UNO, що робить її оптимальним рішенням для створення портативної системи орієнтації. Крім того, Arduino Nano має значну підтримку з боку спільноти розробників і сумісна з великою кількістю периферійних модулів.

Для виявлення перешкод у навколишньому середовищі використовується датчик відстані. Його основне призначення — вимірювання дистанції до об'єктів та своєчасне виявлення потенційно небезпечних перешкод на шляху користувача. Отримані дані дозволяють системі оперативно реагувати на зміни в оточенні та попереджати користувача про небезпеку.

Як засоби взаємодії з користувачем було обрано вібромотор і зумер. Вібромотор забезпечує тактильне сповіщення за допомогою вібрації, що є особливо важливим для швидкого й інтуїтивного інформування про наявність перешкод або зміну стану системи. Зумер, своєю чергою, використовується для генерації звукових сигналів, які можуть дублювати або доповнювати вібросигнали, підвищуючи ефективність сповіщення.

У процесі вдосконалення системи до її складу було додано мікрофонний масив Pmod PDM, який забезпечує можливість визначення напрямку надходження звукового сигналу. Завдяки цьому система може аналізувати звукове середовище та орієнтувати користувача відносно джерел звуку, таких як автомобільні сигнали, голоси людей або інші важливі аудіоподії. Це значно розширює функціональність пристрою та підвищує рівень безпеки користувача під час пересування.

Використання мікрофонного масиву також створює передумови для впровадження сучасних алгоритмів цифрової обробки сигналів, зокрема методів визначення напрямку звуку (Direction of Arrival, DoA), крос-кореляції та фільтрації шумів. Це дозволяє підвищити точність локалізації джерел звуку навіть у складних умовах міського середовища.

Важливою перевагою обраних компонентів є підтримка відкритого програмного забезпечення та наявність великої спільноти користувачів і розробників. Це забезпечує доступ до значної кількості технічної документації, готових бібліотек, прикладів програмного коду та рекомендацій щодо інтеграції компонентів. Завдяки цьому процес розробки системи стає швидшим, ефективнішим і менш витратним.

У результаті проведеного дослідження та вибору відповідних апаратних компонентів було сформовано надійну, доступну та функціональну систему

|      |      |          |        |      |                    |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|      |      |          |        |      | ІТС.4КІ.0426.03-ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                    | 73   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |



допомоги орієнтації в просторі для людей із порушеннями зору. Розроблений пристрій здатний підвищити рівень самостійності користувачів, покращити їхню мобільність і забезпечити додаткову безпеку під час пересування.

Подальший розвиток проєкту може передбачати розширення функціональних можливостей системи шляхом інтеграції додаткових сенсорів, бездротових модулів зв'язку та синхронізації з мобільними пристроями. Перспективним напрямом також є впровадження технологій штучного інтелекту та машинного навчання для інтелектуального аналізу навколишнього середовища, розпізнавання типів перешкод і підвищення точності роботи системи в реальних умовах експлуатації.

|      |      |          |        |      |                           |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>ІТС.4КІ.0426.03-ПЗ</i> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                           | 74   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                           |      |

## РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА АПАРАТНОГО ТА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

### 3.1. Розробка апаратного забезпечення

Основне завдання пристрою полягає у виявленні перешкод під час руху, а також визначенні місцезнаходження користувача. Для реалізації системи були використані такі компоненти: плата Arduino Nano, ультразвуковий датчик відстані HC-SR04, вібромотор, зумер, GPS-модуль Neo-6M, GSM-модуль Sim800L, дисплей 16×2 LCD, модуль I2C та датчик вологості. На основі цих елементів і допоміжних компонентів було побудовано повноцінну систему орієнтації.

Функціональна схема розробленої системи наведена на рис. 3.1.

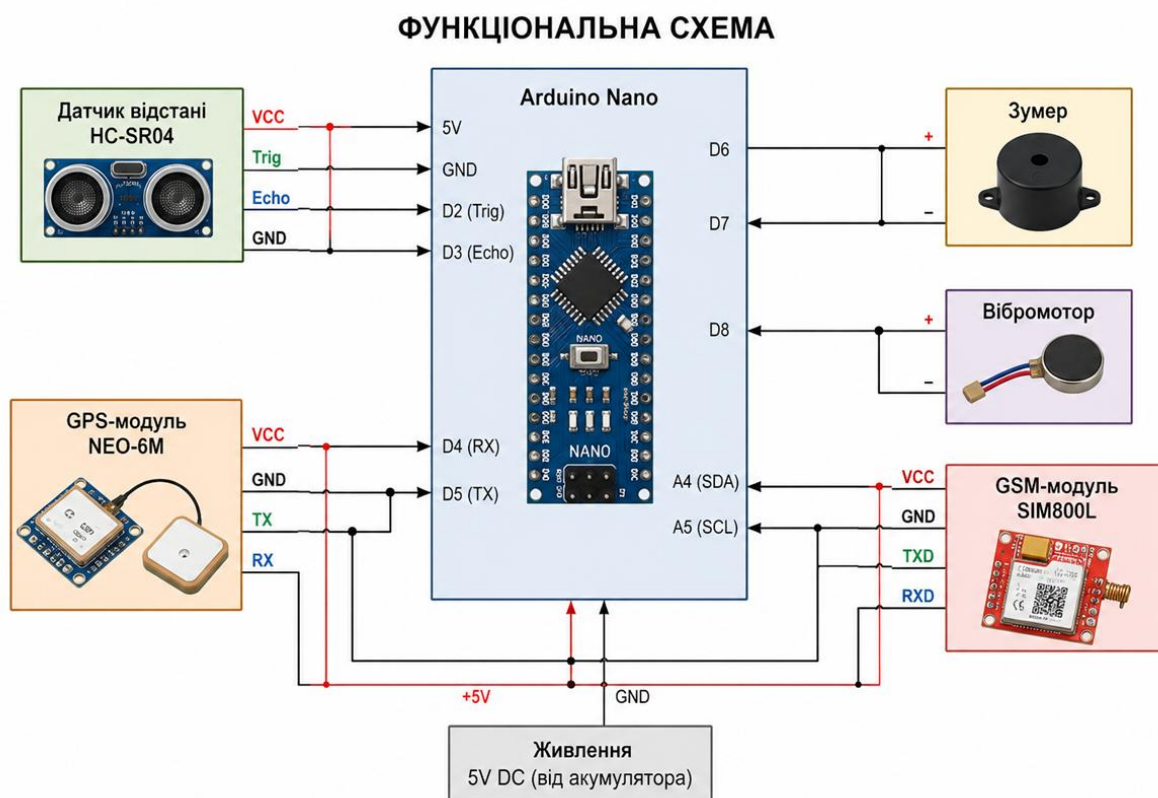


Рис. 3.1. Функціональна схема системи орієнтації

Якщо пояснити простіше, усі датчики та модулі підключаються до центрального елемента пристрою — мікроконтролера Arduino Nano, який обробляє отримані дані та керує роботою системи.

|           |                |          |        |      |                                                                 |  |  |                     |      |         |    |  |
|-----------|----------------|----------|--------|------|-----------------------------------------------------------------|--|--|---------------------|------|---------|----|--|
|           |                |          |        |      | ІТС.4КІ.0426.03-ПЗ                                              |  |  |                     |      |         |    |  |
| Змн.      | Арк.           | № докум. | Підпис | Дата | РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА<br>АПАРАТНОГО ТА ПРОГРАМНОГО<br>ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ |  |  | Лім.                | Арк. | Акрушіє |    |  |
| Розроб.   | Самойлов О. О. |          |        |      |                                                                 |  |  |                     |      | 75      | 21 |  |
| Керівник  | Донченко В.Ю.  |          |        |      |                                                                 |  |  | ЛНУ                 |      |         |    |  |
| Реценз.   | Козуб Ю.Г.     |          |        |      |                                                                 |  |  | Кафедра ІТС, Гр.4КІ |      |         |    |  |
| Н. Контр. |                |          |        |      |                                                                 |  |  |                     |      |         |    |  |
| Зав. каф. | Семенов М.А.   |          |        |      |                                                                 |  |  |                     |      |         |    |  |

Розроблена система орієнтації складається із плати Arduino Nano, датчика відстані, вібромотора, зумера, GPS- та GSM-модулів, джерела живлення і вимикача. Вона призначена для підвищення безпеки та полегшення пересування людей із вадами зору. Принцип роботи системи базується на виявленні перешкод у навколишньому середовищі та повідомленні користувача за допомогою звукових і вібраційних сигналів.

Крім цього, система дає можливість відстежувати місцезнаходження користувача та передавати ці дані опікуну.

Пристрій працює за таким принципом:

*Датчик відстані.*

Ультразвуковий датчик HC-SR04 встановлюється у верхній частині системи та використовується для визначення відстані до об'єктів попереду. Робота датчика ґрунтується на використанні ультразвукових хвиль, за допомогою яких визначається наявність та віддаленість перешкод.

*Arduino Nano.*

Плата Arduino Nano виконує роль основного керуючого елемента системи. Вона отримує сигнали від датчиків, аналізує їх та приймає рішення щодо подальших дій. Мікроконтролер запрограмований таким чином, щоб реагувати на різні ситуації, які можуть виникати під час руху користувача.

*Зумер.*

Зумер застосовується для подачі звукових сигналів. Залежно від отриманих даних і запрограмованих умов, він може відтворювати різні звуки для попередження користувача про перешкоди або інші важливі події.

*Вібромотор.*

Вібромотор створює вібраційні сигнали, які передаються користувачу через тростину або корпус пристрою. Такий спосіб сповіщення є додатковим методом інформування про небезпеку чи зміну умов пересування, наприклад про наближення до перешкоди.

*Джерело живлення.*

|      |      |          |        |      |                    |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|      |      |          |        |      | ITC.4KI.0426.03-ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                    | 76   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

Для забезпечення роботи всіх компонентів використовується батарея або інше компактне джерело живлення. Воно повинно бути достатньо автономним для тривалого використання пристрою.

#### *GPS-модуль.*

GPS-модуль Neo-6M приймає сигнали із супутників та визначає координати користувача, що дозволяє відстежувати його місцезнаходження.

#### *GSM-модуль.*

GSM-модуль Sim800L забезпечує передачу даних через мобільну мережу. Для роботи модуля необхідна SIM-карта мобільного оператора. Завдяки цьому модулю координати користувача можуть передаватися опікуну або родичам.

#### *Вимикач.*

Вимикач призначений для керування живленням пристрою. За його допомогою користувач може вмикати або вимикати систему за потреби.

Загальний принцип роботи розробленої системи орієнтації полягає у визначенні відстані до навколишніх об'єктів за допомогою датчиків відстані, подальшій обробці отриманих даних мікроконтролером Arduino Nano та передачі користувачу відповідних сигналів через зумер і вібромотор. Звукові та вібраційні сповіщення допомагають людині своєчасно виявляти перешкоди під час пересування.

Додатковою функцією системи є відстеження місцезнаходження користувача та передача координат опікуну у вигляді посилання. Така можливість є особливо корисною у випадках, коли людині може знадобитися стороння допомога або виникає небезпечна ситуація. Завдяки цьому користувач отримує більше впевненості та безпеки під час пересування у незнайомому середовищі.

Схема підключення пристрою наведена на рис. 3.2.

|      |      |          |        |      |                    |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|      |      |          |        |      | ІТС.4КІ.0426.03-ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                    | 77   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

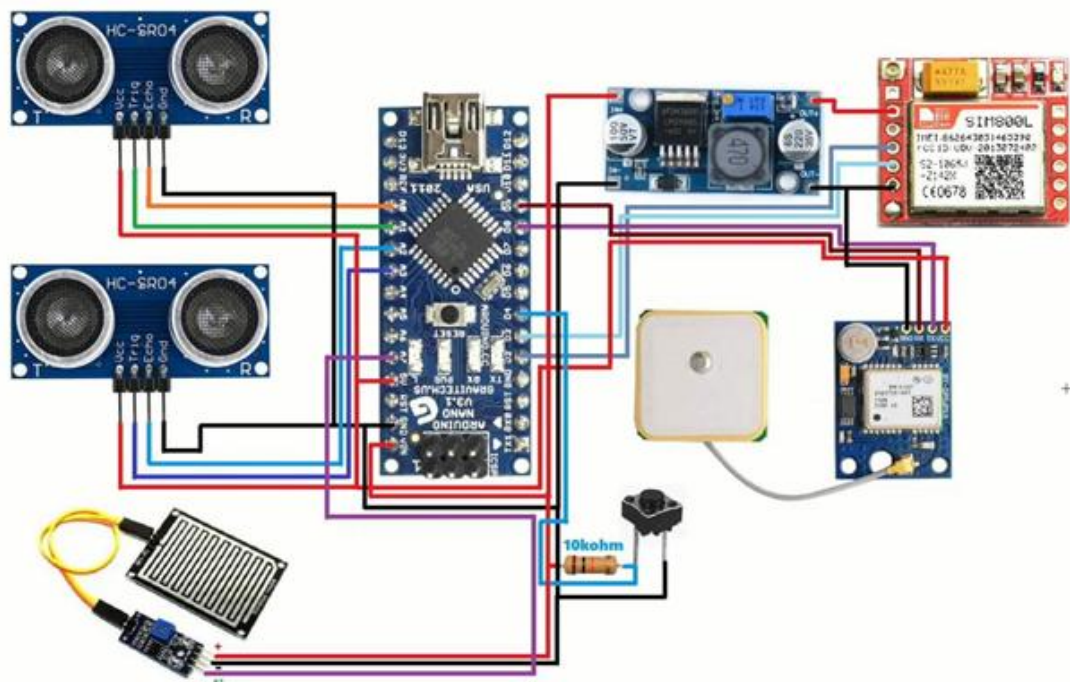


Рис. 3.2. Схема підключення компонентів системи

У даній системі плата Arduino Nano виконує функцію центрального керуючого блоку, який обробляє сигнали від усіх підключених датчиків та модулів.

Кожен ультразвуковий датчик використовується для вимірювання відстані до об'єктів у різних напрямках.

***Датчик 1 (верхній лівий):***

VCC — підключений до піну 5V Arduino;

GND — до GND;

Trig — до цифрового піну D2;

Echo — до цифрового піну D3.

***Датчик 2 (нижній лівий):***

VCC — до 5V;

GND — до GND;

Trig — до D4;

Echo — до D5.

***Датчик 3 (нижній правий):***

VCC — до 5V;

GND — до GND;

Trig — до D6;

Echo — до D7.

### ***GSM-модуль SIM800L***

GSM-модуль використовується для передачі даних через мобільну мережу, зокрема для надсилання SMS-повідомлень або здійснення дзвінків.

Підключення модуля:

VCC — підключений до виходу OUT+ DC-DC перетворювача, який забезпечує стабільну напругу 5V;

GND — до загального GND;

RX — до D8 через резистор для зниження напруги;

TX — до D9.

### ***GPS-модуль***

GPS-модуль відповідає за визначення координат місцезнаходження користувача.

Підключення:

VCC — до 5V Arduino;

GND — до GND;

RX — до TX1 Arduino через SoftwareSerial;

TX — до RX1 Arduino.

### ***Модуль вимірювання вологості***

Датчик вологості використовується для визначення рівня вологості або виявлення дощу.

Підключення:

позитивний контакт (+) — до аналогового піну A7;

негативний контакт (–) — до GND.

### ***Кнопка з pull-down резистором***

Кнопка використовується для взаємодії користувача із системою, наприклад для активації окремих функцій.

Підключення:

один контакт кнопки — до піну D10;

інший контакт — до GND через резистор 10 кОм.

|      |      |          |        |      |                                  |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <b><i>ITC.4KI.0426.03-ПЗ</i></b> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                                  | 79   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                  |      |

### **DC-DC понижуючий перетворювач**

Даний компонент використовується для стабілізації напруги живлення GSM-модуля.

Підключення:

IN+ та IN– — до джерела живлення (акумулятора або павербанка);

OUT+ — забезпечує стабільні 5V для GSM-модуля;

OUT– — до GND.

Живлення плати Arduino Nano здійснюється через USB-кабель, який може бути підключений до павербанка або іншого джерела живлення.

Таблиця 3.1 – Система допомоги орієнтації

Таблиця 3.1

#### **Специфікація апаратних компонентів системи орієнтації**

| <b>№ з/п</b> | <b>Назва компонента</b>       | <b>Кількість</b> | <b>Призначення в системі</b>                         |
|--------------|-------------------------------|------------------|------------------------------------------------------|
| 1            | Мікроконтролер Arduino Nano   | 1 шт.            | Центральний блок обробки даних та керування системою |
| 2            | Ультразвуковий датчик HC-SR04 | 3 шт.            | Виявлення перешкод у фронтальній та бокових зонах    |
| 3            | GSM-модуль SIM800L            | 1 шт.            | Передача SMS-повідомлень та зв'язок з опікуном       |
| 4            | GPS-модуль Neo-6M             | 1 шт.            | Визначення координат місцезнаходження користувача    |
| 5            | DC-DC перетворювач LM2596     | 1 шт.            | Стабілізація напруги живлення GSM-модуля             |
| 6            | Датчик вологості (дощу)       | 1 шт.            | Виявлення вологи та опадів                           |
| 7            | Тактова кнопка                | 1 шт.            | Активація функцій системи                            |
| 8            | Резистор 10 кОм               | 1 шт.            | Стабілізація сигналу кнопки (pull-down)              |
| 9            | Вібромотор                    | 1 шт.            | Тактильне сповіщення користувача                     |
| 10           | Зумер                         | 1 шт.            | Звукове сповіщення користувача                       |

Після етапу проектування апаратної частини та розробки топології друкованої плати (рис. 3.3), було розроблено програмний алгоритм, який забезпечує інтелектуальну обробку даних.





Ультразвукові датчики постійно вимірюють відстань до перешкод у трьох напрямках та передають отримані дані на плату Arduino Nano для подальшої обробки.

GPS-модуль визначає поточне місцезнаходження користувача та формує координати.

GSM-модуль забезпечує передачу та отримання повідомлень. У разі необхідності система може надсилати координати користувача опікуну або іншій відповідальній особі.

Датчик вологості контролює рівень вологості в навколишньому середовищі, наприклад може сигналізувати про дощ або мокру поверхню.

Кнопка використовується для взаємодії користувача із системою та активації окремих функцій.

Arduino Nano аналізує всі отримані дані та виконує відповідні дії: активує звукові або вібраційні сигнали, а також передає інформацію через GSM-модуль.

GPS-трекінг (Global Positioning System tracking) являє собою технологію визначення координат об'єкта за допомогою сигналів GPS-супутників. У межах даної системи орієнтації GPS-трекінг використовується для відстеження місцезнаходження користувача та забезпечення додаткової безпеки.

Основний принцип роботи полягає у тому, що GPS-приймач отримує сигнали від супутників і на їх основі визначає точні координати пристрою. Після цього дані можуть передаватися на смартфон або інший пристрій, де користувач чи опікун отримує інформацію про місцезнаходження людини.

Використання GPS-трекінгу у системі допомоги орієнтації значно спрощує пересування людей із порушенням зору, підвищує рівень їхньої безпеки та дозволяє краще орієнтуватися у незнайомому середовищі.

Після завершення підключення всіх компонентів необхідно завантажити бібліотеки та програмний код у мікроконтролер. При налаштуванні системи потрібно вказати номер телефону опікуна, на який будуть надходити повідомлення з координатами користувача.

```
1 char phone_no[] = "+91xxxxxxxxxx";
```

Рис. 3.4. Конфігураційний фрагмент коду для налаштування адресата сповіщень

У додатку А наведено програмний код для реалізації GPS-трекінгу. Принцип роботи полягає у тому, що на телефон опікуна надходить SMS-повідомлення з посиланням на Google Maps, де відображається поточне місцезнаходження користувача.

### ***Інтеграція PMOD PDM Microphone Array***

Для розширення функціональних можливостей системи було розглянуто інтеграцію модуля PMOD PDM Microphone Array на базі Arduino Nano. Додавання мікрофонного масиву дозволяє системі приймати та аналізувати звукові сигнали, що може бути корисним для визначення напрямку джерела звуку та покращення орієнтації користувача у просторі.

### ***Підключення PMOD PDM Microphone Array***

Модуль використовує стандартний 12-контактний інтерфейс PMOD, з якого застосовуються такі сигнали:

VCC — живлення модуля, підключається до піну 3.3V або 5V плати Arduino Nano залежно від характеристик модуля;

GND — загальний провід, підключений до GND Arduino;

PDM\_CLK — тактовий сигнал синхронізації роботи мікрофонів, підключається до PWM-виводу, наприклад D9;

PDM\_DATA — цифровий вихідний сигнал мікрофонного масиву, який підключається до аналогового або цифрового входу Arduino, наприклад A5.

### ***Принцип роботи мікрофонного масиву***

Мікрофонний масив приймає звукові хвилі та перетворює їх у цифровий сигнал формату PDM (Pulse Density Modulation). У цьому форматі інформація про амплітуду звуку передається через щільність імпульсів.

Arduino Nano формує синхронізуючий тактовий сигнал PDM\_CLK необхідної частоти. Для цього використовується PWM-сигнал, який генерується внутрішнім таймером мікроконтролера.

Отриманий PDM-сигнал обробляється мікроконтролером для подальшого перетворення у PCM-сигнал — стандартний формат цифрового звуку. Для цього використовуються алгоритми декодування та фільтрації даних у режимі реального часу.

При використанні декількох мікрофонів можна реалізувати алгоритм визначення напрямку джерела звуку. Його робота базується на аналізі різниці часу надходження звукових хвиль до кожного мікрофона (TDOA — Time Difference of Arrival).

### ***Інтеграція мікрофонного масиву в систему***

Використання PMOD PDM Microphone Array доповнює функціонал ультразвукових датчиків та GPS/GSM-модулів і надає системі додаткові можливості:

- визначення джерел звуку для покращення просторової орієнтації;
- комбінована обробка даних із мікрофонів та ультразвукових сенсорів для підвищення точності системи;
- можливість реагування на аварійні або незвичайні звукові сигнали з подальшою передачею інформації через GSM-модуль.

### ***Зміни в електричній схемі***

Для підключення мікрофонного масиву необхідно врахувати такі зміни:

- використання додаткових виводів Arduino Nano (D9 для сигналу PDM\_CLK та A5 для PDM\_DATA);
- перевірку сумісності живлення модуля з напругою 3.3V або 5V;
- додавання програмного забезпечення для декодування PDM-сигналу у PCM-формат.

## **3.2. Розробка програмного забезпечення**

Arduino є зручною платформою для створення електронних пристроїв, яка поєднує апаратну та програмну частини. Вона широко використовується як серед початківців, так і серед досвідчених розробників завдяки простоті використання та великій кількості доступних інструментів. Платформа дозволяє швидко створювати та тестувати різні електронні проекти без необхідності глибокого вивчення мікроконтролерів на початковому етапі.

|      |      |          |        |      |                           |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <b>ITC.4KI.0426.03-ПЗ</b> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                           | 84   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                           |      |

Програмування Arduino виконується за допомогою мови Arduino Language або Arduino Sketch, яка базується на C/C++. Завдяки цьому користувачі, які вже мають базові знання мови C++, можуть досить швидко освоїти принципи роботи з платформою. Разом із тим Arduino має власні бібліотеки та спрощені функції, що значно полегшують написання програм для мікроконтролерів.

Будь-яка програма для Arduino складається з двох основних функцій: `setup()` та `loop()`. Функція `setup()` виконується лише один раз після запуску або перезавантаження плати. У ній задаються початкові параметри роботи системи, налаштовуються входи та виходи, а також ініціалізуються підключені модулі й датчики.

Основна логіка програми реалізується у функції `loop()`, яка працює циклічно протягом усього часу роботи пристрою. Саме у цій частині програми відбувається зчитування даних із датчиків, аналіз отриманої інформації та виконання відповідних дій, наприклад увімкнення вібромотора, подача звукового сигналу або надсилання координат через GSM-модуль.

Для створення та завантаження програм використовується середовище розробки Arduino IDE. Воно дозволяє писати програмний код, компілювати його та завантажувати безпосередньо на мікроконтролер. Крім цього, Arduino IDE містить інструменти для тестування та налагодження роботи програми, що є особливо важливим під час розробки складних систем.

Однією з головних переваг Arduino є наявність великої кількості готових бібліотек. Вони дозволяють швидко організувати роботу з різними датчиками, дисплеями, модулями зв'язку та іншими електронними компонентами. Завдяки бібліотекам немає необхідності створювати програмний код для кожного пристрою з нуля, оскільки більшість базових функцій уже реалізована розробниками.

Платформа Arduino також має велику спільноту користувачів. У відкритому доступі можна знайти значну кількість прикладів програм, навчальних матеріалів та готових рішень для різних проєктів. Це значно спрощує процес навчання та допомагає швидше вирішувати проблеми, які можуть виникати під час розробки.

|      |      |          |        |      |                    |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|      |      |          |        |      | ІТС.4КІ.0426.03-ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                    | 85   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

Для досвідчених користувачів Arduino є зручною завдяки своїй гнучкості та можливості використовувати мову C/C++ для реалізації складніших алгоритмів. Платформа підтримує інтеграцію сторонніх бібліотек і модулів, що дозволяє розширювати функціональні можливості системи. Саме тому Arduino використовується не лише для навчальних проєктів, а й у системах автоматизації, робототехніці та інших технічних розробках.

Таким чином, Arduino є універсальною платформою, яка поєднує простоту використання, широкі можливості програмування та підтримку великої кількості електронних компонентів. Завдяки цьому вона залишається одним із найпопулярніших рішень для створення електронних систем різної складності (рис. 3.5).

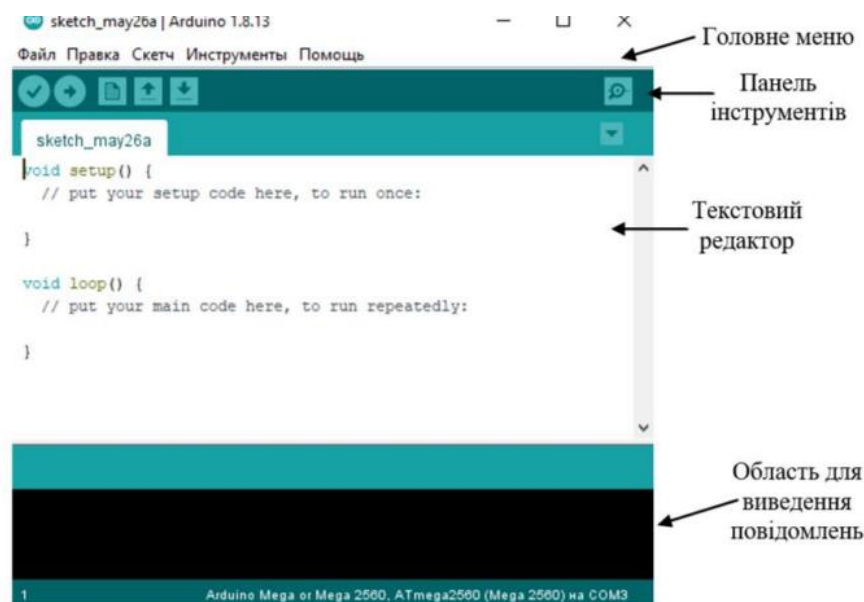


Рис. 3.5. Інтерфейс середовища розробки Arduino IDE під час налаштування системи

### ***Arduino IDE та процес програмування системи***

Arduino IDE (Integrated Development Environment) є офіційним середовищем розробки для платформи Arduino, яке забезпечує всі необхідні інструменти для написання, компіляції та завантаження програм безпосередньо на мікроконтролери. Це кросплатформне середовище, яке може працювати на операційних системах Windows, macOS та Linux.

Arduino IDE вирізняється простим та інтуїтивно зрозумілим інтерфейсом, але водночас має широкий набір функцій для розробки. Однією з основних

переваг є зручний редактор коду з підсвічуванням синтаксису та функцією автодоповнення, що значно спрощує написання програм. Середовище автоматично виконує компіляцію коду та його завантаження на плату, що дозволяє швидко перевіряти працездатність програми та виправляти помилки ще на етапі розробки.

Також Arduino IDE підтримує роботу з серійним портом, що дає можливість відслідковувати дані в реальному часі. Через нього можна виводити значення змінних, отримувати повідомлення та здійснювати взаємодію з програмою під час її виконання на мікроконтролері.

Окремою перевагою середовища є вбудована система керування бібліотеками. Завдяки їй можна легко додавати нові функції або підключати зовнішні модулі без складної ручної конфігурації. Спільнота Arduino створила велику кількість готових бібліотек, які встановлюються буквально в декілька кліків. Крім того, у середовищі доступні приклади програм та детальна документація, що допомагає швидше розібратися з можливостями платформи.

Для налагодження коду Arduino IDE надає зручні інструменти, які дозволяють перевіряти виконання програми, аналізувати помилки та відстежувати поведінку системи. Завантаження програми на плату здійснюється через USB-підключення або інший інтерфейс зв'язку і є достатньо простим навіть для початківців.

Для запуску системи орієнтації в просторі для сліпих необхідно спочатку запрограмувати плату Arduino Nano, яка відповідає за керування всіма елементами системи. На першому етапі слід завантажити та встановити Arduino IDE з офіційного сайту. Це безкоштовне середовище, призначене для розробки програм для Arduino.

Далі Arduino Nano підключається до комп'ютера за допомогою USB-кабелю. Після підключення необхідно переконатися, що система коректно розпізнала пристрій і встановила необхідні драйвери. У середовищі Arduino IDE потрібно обрати відповідну плату — «Arduino Nano», а також порт підключення через меню «Інструменти» (Tools).

Після налаштування середовища можна переходити до написання програмного коду. Програма повинна забезпечувати зчитування даних із датчиків, їх подальшу обробку, прийняття рішень та керування виконавчими елементами системи, такими як вібромотори та звукові сигналізатори.

Перед завантаженням коду на плату рекомендується виконати перевірку наявності помилок за допомогою вбудованої функції компіляції в Arduino IDE. Якщо програма успішно скомпільована, її можна завантажити на мікроконтролер натисканням кнопки «Upload».

Після завантаження програмного забезпечення необхідно підключити всі датчики та виконавчі пристрої відповідно до електричної схеми проєкту (рис. 3.6). На завершальному етапі проводиться тестування системи для перевірки коректності зчитування даних, обробки інформації та взаємодії з зовнішніми компонентами.

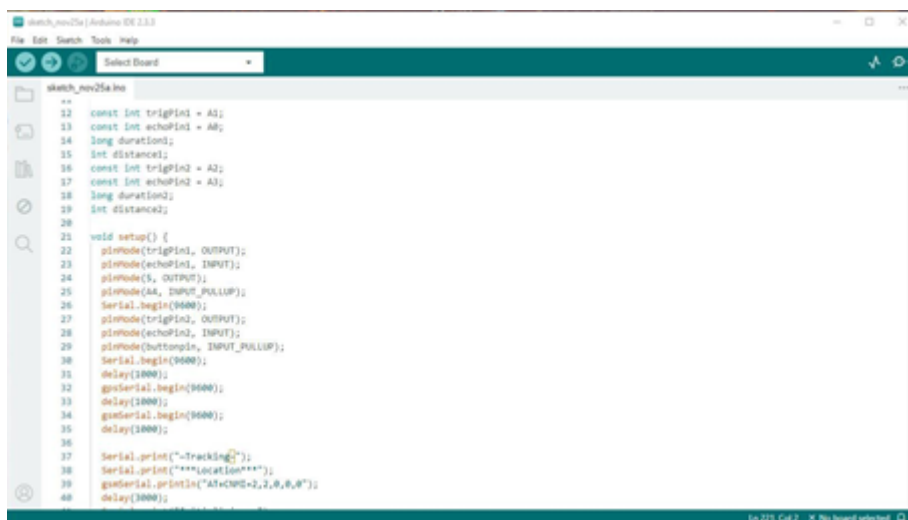


Рис. 3.6. Процес програмування плати Arduino Nano за допомогою Arduino IDE

### ***Опис роботи програмного забезпечення***

Даний програмний код призначений для реалізації інтегрованої системи на базі Arduino, яка поєднує кілька функціональних можливостей: виявлення перешкод за допомогою ультразвукових датчиків, визначення географічних координат через GPS-модуль та передачу повідомлень із використанням GSM-зв'язку. Додатково в системі використовується кнопка керування та датчик дощу для розширення функціоналу.

У функції `setup()` виконується початкова ініціалізація всіх підключених компонентів. За допомогою функції `pinMode()` налаштовуються піни ультразвукових датчиків як входи та виходи, а також визначається режим роботи кнопки та інших елементів індикації. Паралельно ініціалізуються всі послідовні з'єднання: `Serial`, `gpsSerial` (для GPS-модуля) та `gsmSerial` (для GSM-модуля) зі стандартною швидкістю передачі даних 9600 біт/с. Після запуску система виводить діагностичні повідомлення, які підтверджують її готовність до роботи.

Основна логіка роботи реалізована у функції `loop()`, яка виконується безперервно. На початку циклу ультразвукові датчики вимірюють відстань до навколишніх об'єктів. Для цього на вивід `trigPin` подається короткий імпульс, після чого за допомогою функції `pulseIn()` вимірюється час повернення сигналу на відповідний `echoPin`. На основі отриманих даних розраховується відстань до перешкоди. Якщо відстань стає меншою ніж 15–20 см, активується попереджувальний сигнал на вихідному піні, причому інтенсивність або частота сигналу змінюється залежно від близькості об'єкта.

Окремо система обробляє дані з датчика дощу, підключеного до аналогового входу A4. У разі виявлення вологи формується попереджувальне повідомлення типу "Rain Alert", а також активується звуковий сигнал для додаткового інформування користувача.

Важливим елементом керування є кнопка, підключена до змінної `buttonpin`. У разі її натискання викликається функція `SendMessage()`, яка ініціює відправку екстреного SMS-повідомлення через GSM-модуль. До повідомлення додаються поточні координати користувача, які отримуються за допомогою функції `get_gps()`.

Функція `get_gps()` відповідає за зчитування даних із GPS-модуля через програмний послідовний порт. У випадку оновлення координат вони зберігаються у змінних `latitude` та `longitude` і надалі використовуються для формування повідомлень або передачі через GSM.

Функція `get_gsm()` забезпечує обробку вхідних команд GSM-модуля. Зокрема, у разі отримання команди "Track" система автоматично надсилає



поточні координати користувача у відповідь, попередньо отримавши їх через GPS-модуль.

Функція SendMessage() реалізує відправку екстреного повідомлення з текстом «I Am In Problem Plz Help Me» та поточними координатами місцезнаходження. Передача здійснюється за допомогою AT-команд GSM-модуля, зокрема AT+CMGF=1 для переходу в текстовий режим та AT+CMGS для відправлення SMS на заданий номер. Завершення передачі повідомлення здійснюється символом Ctrl+Z (ASCII 26), який сигналізує модулю про кінець тексту.

### 3.3. Проектування смарт-браслету

Запропонована навігаційна система виконана на основі відкритого програмного коду та 3D-друкованого корпусу. Вона реалізована у вигляді двох варіантів браслета: з одним та з двома вібраційними двигунами. Основною метою пристрою є допомога людям із порушенням зору у визначенні відстані до об'єктів та уникненні перешкод у просторі.

В основі роботи системи використовується 5V ультразвуковий датчик HC-SR04, який працює за принципом SONAR (Sound Navigation and Ranging — звукова навігація і визначення відстані). Пристрій вимірює відстань у діапазоні приблизно 0,02–4 м із кутом огляду близько 15°. Він здатний виявляти перешкоди на різній висоті — від рівня землі до верхньої частини тіла користувача, забезпечуючи таким чином більш повне охоплення простору.

Зворотний зв'язок реалізується через 10-мм вібраційний двигун, який генерує коливання різної частоти та амплітуди залежно від відстані до об'єкта. Це дозволяє користувачу інтуїтивно оцінювати близькість перешкоди без візуального контролю.

Керування роботою датчика та вібромотора здійснюється мікроконтролерним блоком відповідно до алгоритму, реалізованого у вигляді програмного коду на мові C для Arduino. Пристрій може розміщуватися як на правій, так і на лівій руці, не обмежуючи функціональність кисті та не заважаючи виконанню повсякденних дій. Таким чином реалізується принцип активного

|      |      |          |        |      |                    |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|      |      |          |        |      | ІТС.4КІ.0426.03-ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                    | 90   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

сканування простору, коли користувач постійно отримує інформацію про навколишнє середовище.

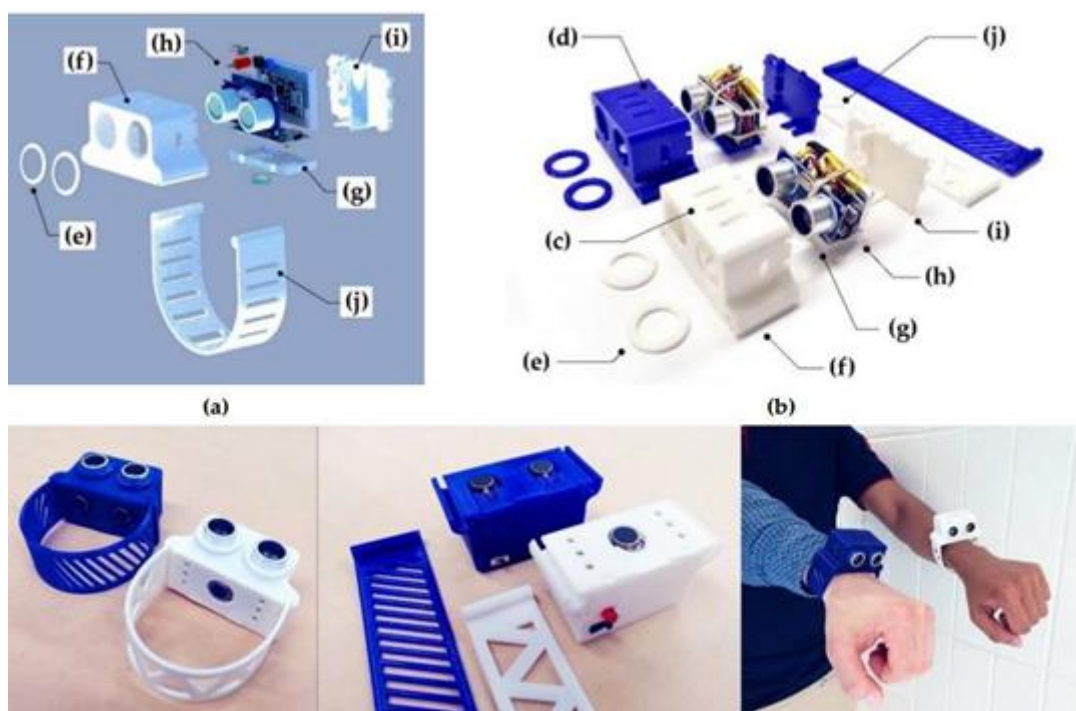


Рис. 3.7. Конструктивне виконання браслета з інтегрованою навігаційною підтримкою

Компонентна структура пристрою включає 3D-модель корпусу, електронні модулі, варіанти з одним або двома вібраційними двигунами, фіксуючі елементи, сенсорний блок та елементи складання (див. рис. 3.7).

Додатково може використовуватись DC-DC підвищуючий перетворювач 5V, який сприяє стабілізації живлення та збільшенню часу автономної роботи пристрою.

Ультразвуковий датчик працює на частоті близько 40 кГц, випромінюючи акустичні імпульси, які відбиваються від об'єктів у зоні дії. Кожен цикл вимірювання включає подачу тригерного імпульсу тривалістю близько 10 мкс та формування звукового сигналу з подальшим прийомом відбитого ехо-сигналу. Тривалість цього сигналу змінюється в межах приблизно 150 мкс – 25 мс і прямо залежить від відстані до перешкоди.

Залежність між часом ехо-сигналу та відстанню описується формулою:

$$T_{\text{echo}} / k = D \quad (3.1)$$

де :

$T_{\text{echo}}$  — тривалість ехо-імпульсу (мкс),

$D$  — відстань до об'єкта (см),

$k$  — коефіцієнт перерахунку (близько 58 мкс/см).

Час одного вимірювального циклу  $T_{\text{measure}}$  задається програмно в Arduino та повинен бути не менше 60 мс для коректної роботи датчика. Розрахунок відстані здійснюється за затримкою між відправкою та отриманням сигналу.

Для зменшення впливу шумів застосовується експоненціальне згладжування сигналу:

$$S_t = \alpha \cdot y_t + (1 - \alpha) \cdot S_{t-1} \quad (3.2)$$

Де:  $S_t$  — поточне згладжене значення,

$S_{t-1}$  — попереднє значення,

$y_t$  — нове виміряне значення,

$\alpha = 0.5$  — коефіцієнт згладжування.

Максимальна затримка поширення сигналу в повітрі визначається як:

$$T_{\text{Max\_travel}} = \frac{2 \times D_{\text{max}}}{V_{\text{sound}}} = \frac{2 \times 4}{340} \approx 24 \text{ мс} \quad (3.3)$$

де  $D_{\text{max}} = 4 \text{ м}$  — максимальна дальність вимірювання,

$V_{\text{sound}} = 340 \text{ м/с}$  — швидкість звуку в повітрі.

Виміряна відстань перетворюється у сигнал керування вібрацією та передається в реальному часі як значення робочого циклу (PWM) з мікроконтролера Arduino. Залежно від відстані до об'єкта змінюється характер вібраційного відгуку: при дистанції до 35 см пристрій формує часті поодинокі імпульси з високою інтенсивністю, що сигналізує про близьку небезпеку. У діапазоні 150–250 см вібрація стає більш рідкою та слабшою, а при відстані понад 250 см використовуються подвійні імпульси, які вказують на безпечну відстань до перешкоди.

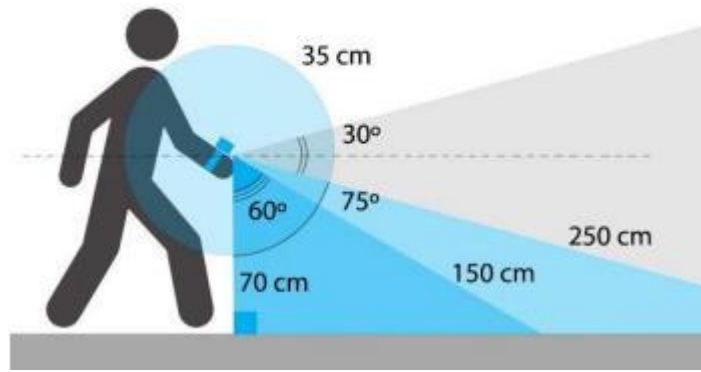


Рис. 3.5. Основні діапазони відстаней

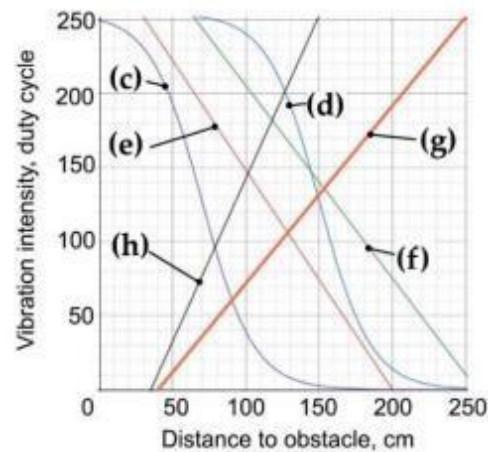


Рис. 3.6. Калібрування оптимального робочого циклу

Під час налаштування системи було виконано серію експериментів і калібрувань, у результаті яких визначено декілька варіантів залежностей між відстанню та значенням робочого циклу:

$$(c) \quad M_{DC} = 127 + 127 \times \tanh \left( -\frac{D-70}{35} \right), \quad (3.4)$$

$$(d) \quad M_{DC} = 127 + 127 \times \tanh \left( -\frac{D-150}{35} \right), \quad (3.5)$$

$$(e) \quad M_{DC} = 296 - 1,5 \times D, \quad (3.6)$$

$$(f) \quad M_{DC} = 335 - 1,3 \times D, \quad (3.7)$$

$$(g) \quad M_{DC} = -77 + 22 \times D, \quad (3.8)$$

$$(h) \quad M_{DC} = -48 + 1,2 \times D, \quad (3.9)$$

На основі проведених досліджень було підібрано оптимальну функцію керування для найбільш робочого діапазону відстаней 35–150 см. Вона описується наступним виразом:

$$M_{DC} = m + m \times \tanh\left(-\frac{D-k}{b}\right) = 127 + 127 \times \tanh\left(-\frac{D-70}{35}\right)$$

$$0 < M_{DC} < 255, \quad (3.10)$$

де  $m = 127$ ,  $k = 70$ ,  $b = 35$  — параметри, підібрані експериментально;

$D$  — виміряна відстань у межах 35–150 см;

$MDC$  — значення PWM-сигналу в діапазоні 0–255.

Дана модель базується на використанні гіперболічної тангенс-функції ( $\tanh$ ), що дозволяє отримати плавну зміну інтенсивності вібрації без різких стрибків, роблячи тактильний зворотний зв'язок більш природним і зрозумілим для користувача.

Запропонована розробка дозволяє людям із порушенням зору ефективно виконувати базові задачі навігації, орієнтації та виявлення перешкод розміром понад 0,5 м<sup>2</sup> як нерухомих (на відстані до 4 м), так і рухомих об'єктів зі швидкістю до 0,5 м/с (на відстані до 1 м). Отриманий тактильний зворотний зв'язок є інтуїтивним та швидко засвоюється після короткого періоду практики.

Пристрій може бути реалізований як повністю автономне рішення або як додатковий елемент до існуючих засобів допоміжної навігації, зокрема до білої тростини.

### Висновки до розділу 3

У процесі виконання практичної частини роботи було спроектовано та реалізовано комплексну систему сенсорної підтримки, спрямовану на підвищення рівня автономності та безпеки людей із глибокими порушеннями зору. Отримані результати дозволяють зробити кілька узагальнених висновків щодо розробленого рішення.

Реалізована система побудована на базі мікроконтролера Arduino Nano, який виступає центральним елементом обробки даних і забезпечує взаємодію з усіма підключеними модулями. До системи інтегровано ультразвукові датчики, GPS-приймач та GSM-модуль, що дозволило організувати стабільний збір,

|      |      |          |        |      |                    |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|      |      |          |        |      | ІТС.4КІ.0426.03-ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                    | 94   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

обробку та передачу інформації. Обрана архітектура показала достатню швидкодію та надійність, що є важливим для роботи в умовах реального середовища.

У межах роботи також реалізовано мультимодальний зворотний зв'язок, який поєднує звукову індикацію та тактильні сигнали. Використання вібраційного та звукового оповіщення дозволило забезпечити більш доступне сприйняття інформації користувачем. Додатково застосування нелінійної модуляції сигналів на основі функції  $\tanh$  забезпечило плавну зміну інтенсивності сповіщень залежно від відстані до перешкоди, що зробило взаємодію з системою більш інтуїтивною.

Важливим результатом є реалізація функцій безпеки та телеметрії. Завдяки використанню GPS та GSM-модулів система отримала можливість визначати координати користувача та передавати їх у вигляді повідомлень на телефон опікуна. Це дозволяє здійснювати дистанційний контроль та забезпечує оперативне реагування у випадках втрати орієнтації або виникнення небезпечних ситуацій.

Окремо слід відзначити розширення функціональних можливостей системи за рахунок інтеграції додаткових сенсорів, зокрема мікрофонного масиву PMOD PDM та датчика вологості. Це дозволило розширити інформацію про навколишнє середовище, додавши можливість аналізу акустичних сигналів та виявлення погодних умов, що підвищує загальну ефективність системи орієнтації.

Також було розроблено додатковий носимий модуль у вигляді браслета, який виконує функцію резервного пристрою у випадку виходу з ладу основної системи. Його автономність, компактність та можливість використання разом із традиційною тростиною забезпечують додатковий рівень надійності та практичності.

У підсумку створений апаратно-програмний комплекс є завершеним інженерним рішенням, що пройшло етап налаштування та калібрування і може бути рекомендоване до подальшого тестування та апробації в реальних умовах експлуатації.

|      |      |          |        |      |                    |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|      |      |          |        |      | ІТС.4КІ.0426.03-ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                    | 95   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

## РОЗДІЛ 4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

### 4.1. Моделювання в MATLAB

MATLAB (Matrix Laboratory) — це програмне середовище високого рівня, яке призначене для виконання чисельних розрахунків, моделювання процесів та візуалізації отриманих даних. Дана платформа активно використовується у сфері наукових досліджень, інженерії та розробки алгоритмів завдяки широкому набору вбудованих інструментів, підтримці роботи з матрицями, сигналами та можливостям графічного представлення результатів.

Для виконання дипломної роботи MATLAB було обрано через низку переваг. Насамперед середовище має зручні засоби для роботи із сигналами, що є важливим при реалізації системи визначення напрямку приходу звуку (DOA). Також MATLAB забезпечує ефективне виконання математичних обчислень, зокрема матричних операцій та чисельних методів, які необхідні для розрахунку часових затримок і кута надходження сигналу.

Окремою перевагою є можливість побудови графіків та схем для аналізу результатів роботи алгоритмів. Крім цього, MATLAB містить велику бібліотеку готових функцій для обробки сигналів, кореляційного аналізу та оцінювання параметрів сигналів, що значно спрощує процес розробки системи.

У межах дипломної роботи MATLAB застосовувався для створення та перевірки алгоритму визначення напрямку надходження звуку. Робота виконувалась у кілька етапів.

На першому етапі було змодельовано акустичну систему та визначено положення датчиків у просторі. Для цього два датчики розташували на відстані 0,05 м один від одного:

$d = 0.05$ ; % Відстань між датчиками у метрах

Далі було створено тестові звукові сигнали синусоїдальної форми. Один сигнал використовувався як основний, а другий — як його копія із часовою затримкою:

|           |                |          |        |      |                                                                         |      |         |    |  |  |
|-----------|----------------|----------|--------|------|-------------------------------------------------------------------------|------|---------|----|--|--|
|           |                |          |        |      | ІТС.4КІ.0426.03-ПЗ                                                      |      |         |    |  |  |
|           |                |          |        |      |                                                                         |      |         |    |  |  |
| Змн.      | Арк.           | № докум. | Підпис | Дата | <div>РОЗДІЛ 4.</div> <div>ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ</div> <div>ДОСЛІДЖЕННЯ</div> |      |         |    |  |  |
| Розроб.   | Самойлов О. О. |          |        |      |                                                                         |      |         |    |  |  |
| Керівник  | Донченко В.Ю.  |          |        |      |                                                                         |      |         |    |  |  |
| Реценз.   | Козуб Ю.Г.     |          |        |      |                                                                         |      |         |    |  |  |
| Н. Контр. |                |          |        |      |                                                                         |      |         |    |  |  |
| Зав. каф. | Семенов М.А.   |          |        |      |                                                                         |      |         |    |  |  |
|           |                |          |        |      | Лім.                                                                    | Арк. | Акрушів |    |  |  |
|           |                |          |        |      |                                                                         |      | 96      | 12 |  |  |
|           |                |          |        |      | ЛНУ                                                                     |      |         |    |  |  |
|           |                |          |        |      | Кафедра ІТС, Гр.4КІ                                                     |      |         |    |  |  |

```
signal1 = sin(2 * pi * f * t); % Сигнал на першому датчику
```

```
signal2 = delayseq(signal1', tau); % Сигнал на другому датчику із затримкою
```

Завдяки цьому вдалося змодельовати ситуацію, коли звук надходить до датчиків у різний момент часу залежно від кута розташування джерела сигналу.

Для визначення часової затримки між сигналами було використано метод перехресної кореляції:

```
[xcorr_val, lag] = xcorr(signal2, signal1);
```

```
[~, idx] = max(abs(xcorr_val)); % Пошук максимальної кореляції
```

```
estimated_tau = lag(idx) / Fs; % Обчислення затримки
```

У результаті було знайдено максимальне значення кореляції, яке відповідає часовій різниці надходження сигналів до датчиків.

Після цього виконувався розрахунок кута приходу звуку за формулою:

```
estimated_theta = asind((estimated_tau * c) / d);
```

Таким чином здійснювалось визначення напрямку джерела звукового сигналу на основі отриманої затримки.

Для більш наочного представлення роботи системи було побудовано графічну модель розташування датчиків та напрямку поширення звуку:

```
plot([0 d], [0 0], 'ro', 'MarkerSize', 10, 'LineWidth', 2);
```

```
quiver(0, 0, cosd(theta), sind(theta), 0.5, 'b', 'LineWidth', 2);
```

```
xlabel('Відстань (м)');
```

```
ylabel('Відстань (м)');
```

```
title('Розташування датчиків та напрямок звуку');
```

```
grid on;
```

Отримана візуалізація дозволила перевірити правильність роботи алгоритму та підтвердити коректність виконаних обчислень (рис. 4.1).



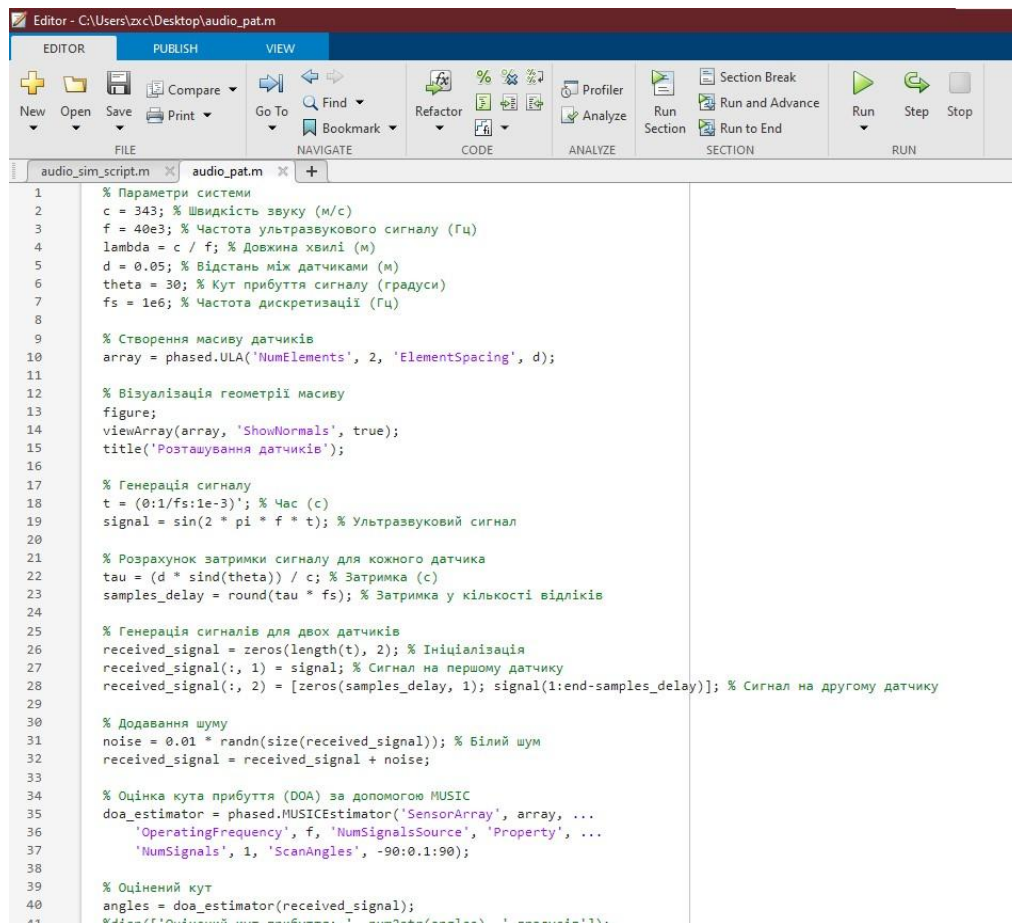


Рис. 4.1. Моделювання системи в MATLAB

Система визначення напрямку на джерело звуку є важливою складовою сучасних засобів орієнтації для людей із порушеннями зору. Використання таких технологій дозволяє створювати пристрої, які допомагають користувачу краще орієнтуватися у просторі, виявляти перешкоди та визначати розташування об'єктів навколо. Принцип роботи подібних систем базується на аналізі різниці часу приходу звукового сигналу до кількох датчиків.

Якщо звукова хвиля надходить під певним кутом до системи з двох датчиків, то через обмежену швидкість поширення звуку сигнал потрапляє на один датчик раніше, ніж на інший. Саме ця різниця у часі дозволяє визначити напрямок на джерело звуку. Знаючи швидкість поширення звуку в повітрі, відстань між датчиками та часову затримку між сигналами, можна обчислити кут приходу сигналу.

Різниця часу приходу сигналу  $\Delta t$  визначається за формулою:

$$\Delta t = \frac{d \times \sin(\theta)}{c} \quad (4.1)$$

де:

$d$  — відстань між датчиками;

$\theta$  — кут приходу сигналу;

$c$  — швидкість звуку в повітрі, яка за нормальних умов становить приблизно 343 м/с.

Для визначення часової затримки між сигналами використовувався метод крос-кореляції. Його принцип полягає у порівнянні двох сигналів шляхом поступового зсуву одного відносно іншого. У момент, коли схожість сигналів стає максимальною, визначається затримка між ними. Саме це значення використовується для подальшого обчислення кута приходу звуку.

Під час моделювання системи у MATLAB були задані такі параметри:

- швидкість звуку  $c=343$  м/с;
- частота сигналу  $f=40$  кГц;
- відстань між датчиками  $d=0,05$  м;
- частота дискретизації  $f_s=1$  МГц;
- кут приходу сигналу  $\theta=30^\circ$ .

Для імітації звукової хвилі було створено синусоїдальний сигнал:

```
t = (0:1/fs:1e-3)'; % часовий вектор
```

```
signal = sin(2 * pi * f * t); % синусоїдальний сигнал
```

Після цього було розраховано часову затримку для другого датчика:

```
tau = d * sind(theta) / c; % затримка у секундах
```

```
samples_delay = round(tau * fs); % затримка у відліках
```

```
received_signal(:, 2) = [zeros(samples_delay, 1);
```

```
signal(1:end-samples_delay)];
```

У результаті вдалося змодельовати сигнал, який надходить на другий датчик із певною затримкою залежно від кута розташування джерела звуку (рис. 4.2).

Далі для знаходження часового зсуву використовувалась функція `xcorr`, яка реалізує крос-кореляційний аналіз:

```
[cross_corr, lags] = xcorr(signal, received_signal(:, 2));
```

```
[~, max_idx] = max(cross_corr);
```

```
time_delay_est = lags(max_idx) / fs; % оцінка затримки
```

```
theta_est = asind(time_delay_est * c / d); % обчислення кута
```

```
disp(['Оцінений кут прибуття: ', num2str(theta_est), ' градусів']);
```

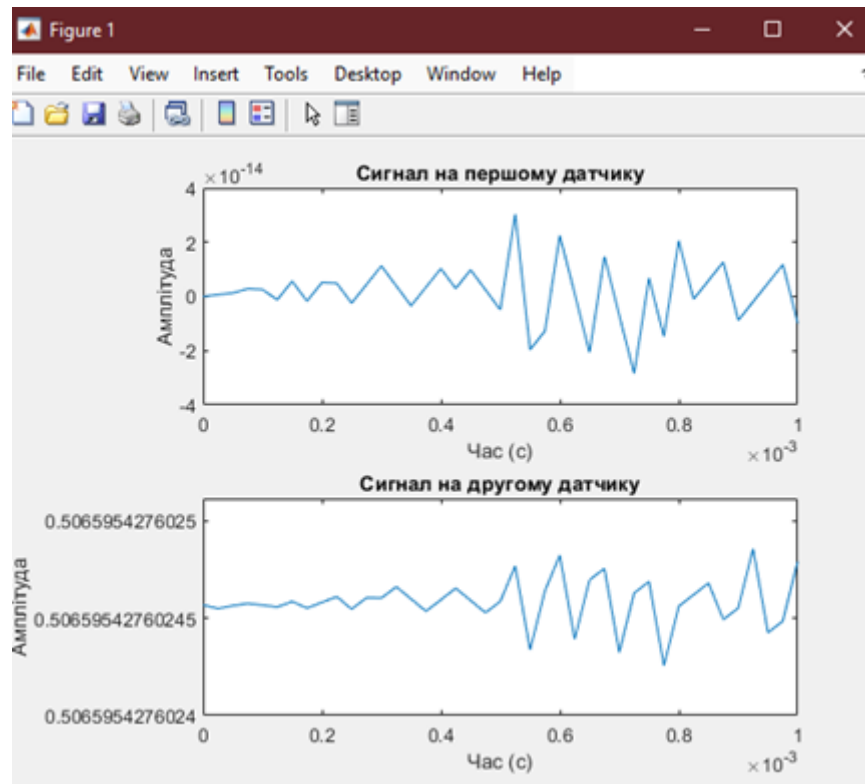


Рис. 4.2. Амплітуда сигналів на датчиках

Результати моделювання показали, що алгоритм коректно визначає кут приходу звукового сигналу. Для кращого аналізу роботи системи були також побудовані графіки сигналів, отриманих на обох датчиках:

```
subplot(2,1,1);
plot(t, signal);
title('Сигнал на першому датчику');
subplot(2,1,2);
plot(t, received_signal(:, 2));
title('Сигнал на другому датчику з затримкою');
```

Побудовані графіки дозволили наочно побачити різницю між сигналами та підтвердити наявність часової затримки.

Отримані результати свідчать про те, що навіть система з двох датчиків здатна достатньо точно визначати напрямок на джерело звуку. У подальшому таку систему можна вдосконалити шляхом використання більшої кількості датчиків або застосування сучасніших алгоритмів обробки сигналів, наприклад

MUSIC чи ESPRIT. Також перспективним є створення реального апаратного пристрою на основі розробленого алгоритму з подальшим тестуванням у реальних умовах. Це підтверджує перспективність використання подібних систем у засобах орієнтації для людей із порушеннями зору.

Для більш наочного представлення роботи системи визначення напрямку на джерело звуку було створено графічну діаграму (рис. 4.3), на якій показано розташування датчиків та напрямок поширення звукового сигналу. У моделі використано два датчики, які розміщені на горизонтальній осі на відстані 5 см один від одного, тобто:

$d = 0.05$ ; % Відстань між датчиками у метрах

На діаграмі датчики позначені червоними колами. Перший датчик знаходиться у точці (0,0), а другий — у точці (0.05,0). Для побудови їх графічного відображення використовувалась команда:

```
plot([0 d], [0 0], 'ro', 'MarkerSize', 10, 'LineWidth', 2);
```

Щоб показати напрямок приходу звукової хвилі, на схемі було додано синій вектор, який починається з початку координат та спрямований під кутом  $\theta$ :

```
quiver(0, 0, cosd(theta), sind(theta), 0.5, 'b', 'LineWidth', 2);
```

Також біля вектора відображається значення кута приходу сигналу:

```
text(cosd(theta)/2, sind(theta)/2, ['\theta = ', num2str(theta), '°'], ...  
'FontSize', 12, 'Color', 'b');
```

Для покращення зовнішнього вигляду діаграми були додані підписи осей, сітка та заголовок:

```
xlabel('Відстань (м)');  
ylabel('Відстань (м)');  
title('Розташування датчиків та напрямок звуку');  
axis equal;  
grid on;
```

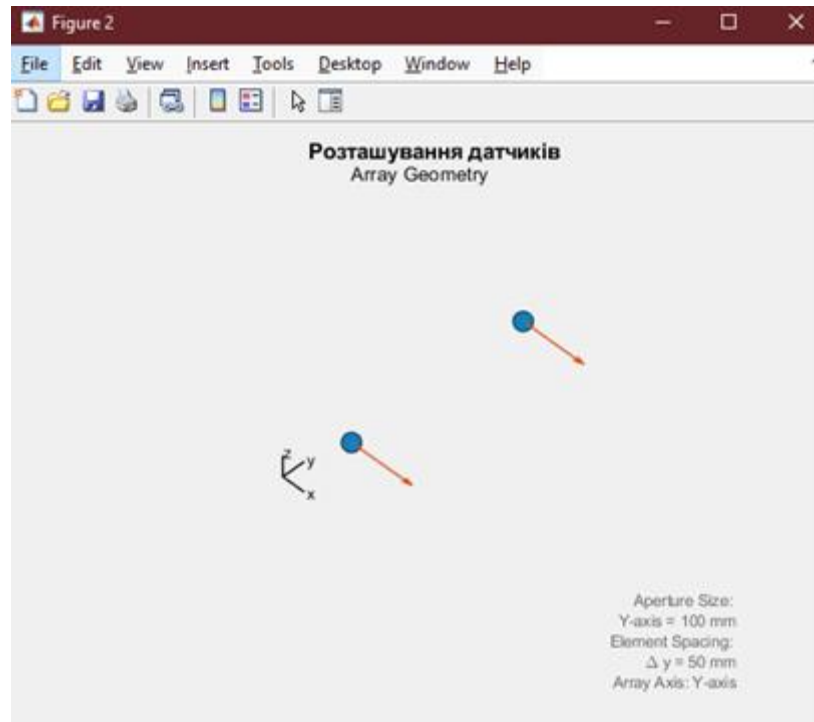


Рис. 4.3. Діаграма розташування датчиків

Створена діаграма дозволяє краще зрозуміти принцип роботи системи та візуально оцінити напрямок поширення звукового сигналу. Відстань між датчиками є одним із головних параметрів системи, оскільки саме вона впливає на точність визначення кута приходу звуку. Надто мала відстань зменшує чутливість системи до часової затримки, а занадто велика може призводити до похибок при обробці сигналів.

Оцінка напрямку прибуття звуку (Direction of Arrival, DOA) (рис. 4.4) є одним із ключових етапів роботи системи просторової орієнтації. Основний принцип полягає у визначенні кута, під яким звуковий сигнал надходить до масиву датчиків. Для цього аналізується різниця часу приходу сигналу (Time Difference of Arrival, TDOA), яка виникає через різне положення датчиків у просторі.

У MATLAB моделювання DOA здійснювалось шляхом генерації двох сигналів, які імітують прийом звуку на кожному з датчиків. Для створення часової затримки використовувалась функція `delayseq`:

```
% Генерація сигналів з урахуванням різниці часу
signal1 = sin(2 * pi * f * t); % Сигнал на першому датчику
signal2 = delayseq(signal1', tau)'; % Сигнал на другому датчику із затримкою
```

де:

signal1 — сигнал, отриманий першим датчиком;

signal2 — сигнал другого датчика із затримкою  $\tau = \Delta t$ .

Для оцінки часової затримки між сигналами використовувався кореляційний аналіз:

```
[xcorr_val, lag] = xcorr(signal2, signal1);
```

```
[~, idx] = max(abs(xcorr_val)); % Пошук максимальної кореляції
```

```
estimated_tau = lag(idx) / Fs; % Оцінка затримки
```

У цьому фрагменті програма знаходить максимальне значення крос-кореляції між сигналами та визначає відповідну часову затримку.

Після знаходження затримки виконується обчислення кута приходу звуку:

```
estimated_theta = asind((estimated_tau * c) / d);
```

Далі отримане значення порівнюється з теоретично заданим кутом:

```
fprintf('Теоретичний кут: %.2f°, Оцінений кут: %.2f°\n',
```

```
theta, estimated_theta);
```

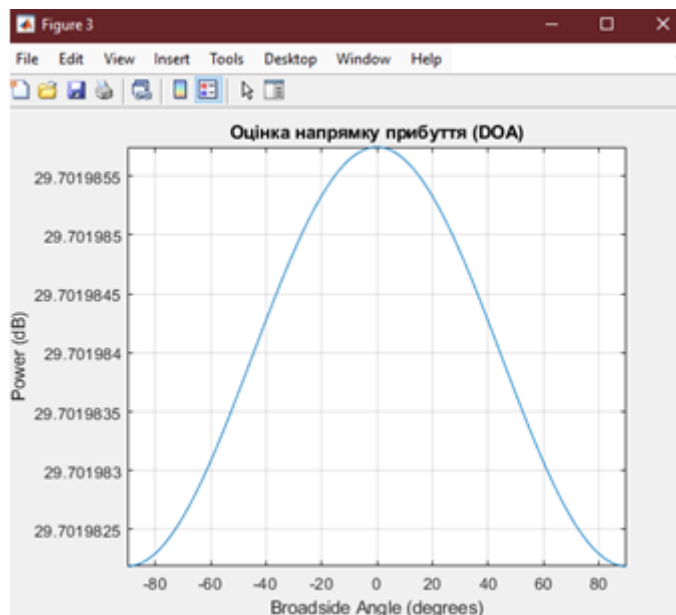


Рис. 4.4. Оцінка напрямку прибуття сигналу (DOA)

Отримані результати дозволили оцінити точність роботи алгоритму та визначити можливі похибки, які можуть виникати через вплив шумів, неточність дискретизації або особливості обробки сигналів. На точність визначення кута впливають кілька факторів: відстань між датчиками, частота звукового сигналу, швидкість поширення звуку та частота дискретизації системи.

## 4.2. Моделювання впливу перешкоди

У ході виконання дипломної роботи було проведено моделювання впливу перешкоди на процес визначення напрямку прибуття звукового сигналу (DOA) у середовищі MATLAB. Основною метою дослідження стало вивчення того, як зміна положення перешкоди впливає на характеристики отриманого сигналу та точність визначення кута приходу звуку.

Під час моделювання використовувалися два акустичні датчики, розташовані на відстані 0,05 м один від одного. Перешкода переміщувалась у межах від -0,2 м до 0,2 м вздовж осі між датчиками. Ідея моделі полягала у відтворенні ситуації, коли сторонній об'єкт частково перекриває поширення звукової хвилі та зменшує амплітуду сигналу поблизу датчиків. Через це погіршується точність визначення напрямку на джерело звуку.

Для дослідження було створено тестовий синусоїдальний сигнал частотою 1000 Гц із частотою дискретизації 10 кГц. Сигнал першого датчика формувався без затримки, тоді як для другого датчика враховувалась різниця часу приходу звуку через різну відстань до джерела сигналу.

Часова затримка визначалася за формулою:

$$t = d \times \frac{\sin(\theta)}{c} \quad (4.2)$$

де:

$t$  — часова затримка;

$d$  — відстань між датчиками;

$\theta$  — кут приходу сигналу;

$c$  — швидкість звуку в повітрі, що приймалась рівною 343 м/с.

Моделювання впливу перешкоди здійснювалось шляхом зміни коефіцієнта загасання сигналу залежно від її розташування. Коли перешкода наближалась до центральної області між датчиками, амплітуда сигналу зменшувалась. Таким чином вдалося змодельовати ситуацію, коли сторонній об'єкт частково екранує звукову хвилю.

Для визначення напрямку приходу сигналу використовувався метод перехресної кореляції. Сигнали з обох датчиків аналізувалися за допомогою

функції `xcorr`, яка дозволяє визначити часовий зсув між ними шляхом пошуку максимального значення кореляції.

Візуалізація отриманих результатів виконувалась у вигляді двох графіків (рис. 4.5). На першому графіку відображено залежність максимальної амплітуди кореляційного сигналу від положення перешкоди. Це дозволило оцінити, наскільки сильно перешкода впливає на потужність прийнятого сигналу.

На другому графіку показано зміну оціненого кута прибуття сигналу залежно від переміщення перешкоди. Завдяки цьому вдалося наочно продемонструвати, як сторонні об'єкти можуть впливати на точність роботи системи визначення напрямку звуку.

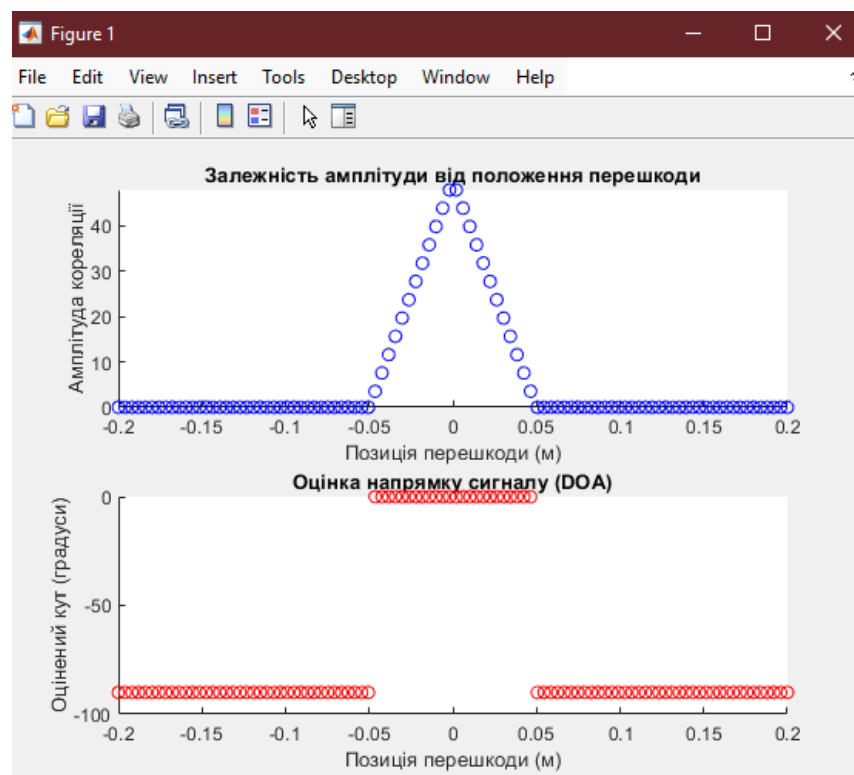


Рис. 4.5. Графік впливу перешкоди

Отримані результати показали, що наявність перешкоди поблизу датчиків суттєво знижує амплітуду кореляційного сигналу та може спричиняти помилки при визначенні кута приходу звуку. При віддаленні перешкоди від датчиків якість сигналу покращувалась, а оцінка напрямку ставала точнішою.

Проведене моделювання підтвердило необхідність врахування зовнішніх перешкод під час розробки реальних акустичних систем орієнтації в просторі. Особливо це важливо для пристроїв допомоги людям із порушеннями зору, де



точність визначення напрямку звуку безпосередньо впливає на ефективність роботи системи.

Під час реалізації моделі у MATLAB спочатку задавались основні параметри системи: частота звукового сигналу, швидкість поширення звуку, частота дискретизації та відстань між датчиками. Тестовий сигнал формувался у вигляді синусоїди за допомогою функції `sin`, а положення перешкоди змінювалось через окрему змінну, яка задавала її координати.

Часова затримка між сигналами моделювалась із використанням функції `delayseq`, яка дозволяє враховувати різницю часу приходу сигналу до кожного датчика. Для оцінювання кута приходу сигналу використовувався кореляційний аналіз через функцію `xcorr`, після чого знайдений часовий зсув переводився у значення кута за допомогою функції `asind`.

Побудова графіків здійснювалась функцією `plot`. На одному графіку відображалась зміна амплітуди кореляційного сигналу залежно від розташування перешкоди, а на іншому — оцінений кут приходу звуку. Це дозволило детально проаналізувати вплив перешкод на роботу системи визначення напрямку джерела звуку.

### **Висновки до розділу**

У процесі виконання експериментальних досліджень у середовищі MATLAB було успішно реалізовано моделювання системи визначення напрямку прибуття звукового сигналу в умовах наявності перешкод. Проведені симуляції дозволили дослідити вплив сторонніх об'єктів на характеристики сигналу та точність визначення кута приходу звуку.

Отримані результати показали, що розташування перешкоди безпосередньо впливає на амплітуду прийнятого сигналу та коректність оцінки напрямку джерела звуку. Найбільші похибки спостерігались у випадках, коли перешкода знаходилась поблизу датчиків, оскільки це призводило до послаблення сигналу та погіршення результатів кореляційного аналізу.

Під час моделювання були використані вбудовані функції MATLAB, зокрема `xcorr` для визначення часової затримки методом перехресної кореляції та `delayseq` для імітації затримки сигналу між датчиками. Це дало змогу

|      |      |          |        |      |                    |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|      |      |          |        |      | ІТС.4КІ.0426.03-ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                    | 106  |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

максимально наблизити модель до реальних умов роботи акустичної системи та перевірити ефективність алгоритмів обробки сигналів.

Візуалізація результатів у вигляді графіків дозволила наочно проаналізувати залежність між положенням перешкоди, амплітудою сигналу та точністю визначення кута прибуття звуку. Проведений аналіз підтвердив працездатність розробленого алгоритму та його здатність виконувати оцінку напрямку навіть за наявності акустичних завад.

Таким чином, результати моделювання підтверджують доцільність використання запропонованого підходу під час створення систем просторової орієнтації для людей із порушеннями зору. Реалізований алгоритм може стати основою для подальшої розробки більш складних та точних систем, здатних стабільно працювати в умовах реального акустичного середовища.

|      |      |          |        |      |                    |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|      |      |          |        |      | ІТС.4КІ.0426.03-ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                    | 107  |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

## ВИСНОВКИ

У дипломній роботі вирішено важливе науково-практичне завдання з розробки апаратно-програмного комплексу просторової навігації для людей із порушеннями зору. На основі виконаних теоретичних, практичних та експериментальних досліджень можна зробити такі висновки:

1. Виконано комплексний аналіз когнітивних механізмів орієнтації та процесів функціональної реорганізації центральної нервової системи незрячих осіб, де провідну роль набувають слуховий, тактильний та нюховий аналізатори. Визначено бар'єри використання традиційних засобів навігації в міському середовищі й доведено, що найбільш ефективні сучасні системи повинні будуватися за принципом багатосенсорної інтеграції, доповнюючи природні канали сприйняття цифровими даними від електронних датчиків у реальному часі.
2. Обґрунтовано та сформовано елементну базу системи, основою якої став мікроконтролер Arduino Nano, що поєднує низьку вартість, компактні габарити та достатні обчислювальні ресурси. Для побудови архітектури пристрою обрано три ультразвукові датчики HC-SR04 для фронтального та бокового сканування, GPS-модуль NEO-6M для супутникового позиціонування, GSM-модуль SIM800L для бездротового зв'язку, DC-DC стабілізатор LM2596, датчик вологості, активний зумер та вібромотор. Для підвищення акустичної інформативності обґрунтовано інтеграцію мікрофонного масиву Pmod PDM на базі цифрових MEMS-сенсорів IM69D130.
3. Розроблено апаратне забезпечення та алгоритми програмного комплексу в середовищі Arduino IDE. Спроектовано принципову електричну схему та топологію розміщення компонентів на друкованій платі.

|           |      |                |        |      |                    |  |                            |      |         |
|-----------|------|----------------|--------|------|--------------------|--|----------------------------|------|---------|
|           |      |                |        |      | ІТС.4КІ.0426.03-ПЗ |  |                            |      |         |
| Змн.      | Арк. | № докум.       | Підпис | Дата |                    |  |                            |      |         |
| Розроб.   |      | Самойлов О. О. |        |      | ВИСНОВКИ           |  | Лім.                       | Арк. | Акрушів |
| Керівник  |      | Донченко В.Ю.  |        |      |                    |  |                            | 108  | 3       |
| Реценз.   |      | Козуб Ю.Г.     |        |      |                    |  | ЛНУ<br>Кафедра ІТС, Гр.4КІ |      |         |
| Н. Контр. |      |                |        |      |                    |  |                            |      |         |
| Зав. каф. |      | Семенов М.А.   |        |      |                    |  |                            |      |         |

Програмно реалізовано логіку зчитування датчиків далекометрії та вологості ("Rain Alert"), а також алгоритм екстреного зв'язку ("SendMessage"), який за натисканням тактової кнопки або за вхідним запитом надсилає опікуну SMS-повідомлення з текстом лиха та прямим посиланням на поточні координати у Google Maps.

4. Спроектовано носимий девайс («Браслет з розпізнаванням перешкод») у 3D-друкованому корпусі. Для усунення завад та стрибків вимірювань у коді реалізовано алгоритм експоненціального згладжування сигналів далекоміра. На основі серії експериментів проведено калібрування робочого циклу ШІМ та впроваджено математичну модель нелінійного керування інтенсивністю вібрації за допомогою функції гіперболічного тангенса ( $\tanh$ ). Це дозволило забезпечити інтуїтивно зрозумілий, плавний та адаптивний тактильний зворотний зв'язок у межах критичних відстаней від 35 до 150 см.
5. Проведено експериментальні дослідження в середовищі MATLAB, де успішно змодельовано акустичну систему масиву датчиків для оцінки напрямку прибуття звукової хвилі (DOA) за принципом різниці часу приходу сигналу (TDOA). За допомогою методів перехресної кореляції (функція `xcorr`) верифіковано точність обчислення кута приходу сигналу. Також проведено симуляцію впливу сторонньої перешкоди, яка частково екранує звукове поле, та графічно проаналізовано характер загасання амплітуди кореляційного сигналу й виникаючі похибки розрахунку кута, що підтвердило стабільність та працездатність розробленого алгоритму в умовах завад.

Розроблений асистивний комплекс є повністю завершеним інженерним рішенням, продемонстрував надійність під час тестування та калібрування компонентів і може бути рекомендований до подальшої апробації в реальних умовах експлуатації для розширення інклюзивних можливостей суспільства.

|      |      |          |        |      |                                                              |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <p style="text-align: center;"><b>ITS.4KI.0426.03-ПЗ</b></p> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                                                              | 109  |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                                              |      |

Отже, поставлена мета дипломної роботи була досягнута, а розроблена система підтвердила доцільність використання сучасних сенсорних технологій для створення ефективних засобів допомоги орієнтації в просторі для людей із вадами зору.

|      |      |          |        |      |                           |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>ІТС.4КІ.0426.03-ПЗ</i> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                           | 110  |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                           |      |

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Проблематика, статистика та аналіз даних про незряче населення. URL: <https://www.cambridge.org/core/journals/journal-of-navigation/article/sensory-navigationdevice-for-blind-people/977FA18CBCE412781DA22BA8CE708C04>
2. Умови, в яких живуть незрячі люди в Україні. URL: <https://www.radiosvoboda.org/a/25136865.html>
3. Перешкоди у повсякденному житті та способи орієнтування незрячих людей. URL: <https://brailleworks.com/mobility-tips-for-the-blind>
4. Elmannai W., Elleithy K. Sensor-Based Assistive Devices for Visually-Impaired People: Current Status, Challenges, and Future Directions. Sensors. 2017, 17, 565. URL: <https://doi.org/10.3390/s17030565>
5. Wahab A., Helmy M., Talib A. A., Kadir H. A., Johari A., Noraziah A., Sidek R. M., Mutalib A. A. Smart Cane: Assistive Cane for Visually-impaired People. Int. J. Comput. Sci. Issues. 2011;8:4
6. Bharambe S., Thakker R., Patil H., Bhurchandi K.M. Substitute Eyes for Blind with Navigator Using Android; Proceedings of the India Educators Conference (TIIEC); Bangalore, India. 4–6 April 2013; pp. 38–43. URL: <https://doi.org/10.1109/TIIEC.2013.14>
7. Nguyen T. H., Nguyen T. H., Le T. L., Tran T. T. H., Vuillerme N., Vuong T. P. A wearable assistive device for the blind using tongue-placed electrotactile display: Design and verification; Proceedings of the 2013 International Conference on Control, Automation and Information Sciences (ICCAIS); Nha Trang, Vietnam. 25–28 November 2013. URL: <https://doi.org/10.1109/ICCAIS.2013.6720527>

|           |      |                |        |      |                                       |  |  |  |
|-----------|------|----------------|--------|------|---------------------------------------|--|--|--|
|           |      |                |        |      | <b>ІТС.4КІ.0426.03-ПЗ</b>             |  |  |  |
|           |      |                |        |      |                                       |  |  |  |
| Змн.      | Арк. | № докум.       | Підпис | Дата | <b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ<br/>ДЖЕРЕЛ</b> |  |  |  |
| Розроб.   |      | Самойлов О. О. |        |      |                                       |  |  |  |
| Керівник  |      | Донченко В.Ю.  |        |      |                                       |  |  |  |
| Реценз.   |      | Козуб Ю.Г.     |        |      |                                       |  |  |  |
| Н. Контр. |      |                |        |      |                                       |  |  |  |
| Зав. каф. |      | Семенов М.А.   |        |      | ЛНУ<br>Кафедра ІТС, Гр.4КІ            |  |  |  |
|           |      |                |        |      |                                       |  |  |  |
|           |      |                |        |      | Лім.    Арк.    Акрушів               |  |  |  |
|           |      |                |        |      |                                       |  |  |  |
|           |      |                |        |      | 111    3                              |  |  |  |

8. Brilhault A., Kammoun S., Gutierrez O., Truillet P., Jouffrais C. Fusion of artificial vision and GPS to improve blind pedestrian positioning; Proceedings of the 4th IFIP International Conference on New Technologies, Mobility and Security (NTMS); Paris, France. 7–10 February 2011; pp. 1–5. URL: <https://doi.org/10.1109/NTMS.2011.5721061>
9. Xiao J., Ramdath K., Losilevish M., Singh D., Tsakas A. A low cost outdoor assistive navigation system for blind people; Proceedings of the 2013 8th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA); Melbourne, Australia. 19–21 June 2013; pp. 828–833.
10. Fonseca R. Electronic long cane for locomotion improving on visual impaired people: A case study; Proceedings of the 2011 Pan American Health Care Exchanges (PAHCE); Rio de Janeiro, Brazil. 28 March–1 April 2011.
11. Aymaz Ş., Çavdar T. Ultrasonic Assistive Headset for visually impaired people; Proceedings of the 2016 39 th International Conference on Telecommunications and Signal Processing (TSP); Vienna, Austria. 27–29 June 2016. URL: <https://doi.org/10.1109/TSP.2016.7760903>
12. Prudhvi B. R., Bagani R. Silicon eyes: GPS-GSM based navigation assistant for visually impaired using capacitive touch braille keypad and smart SMS facility; Proceedings of the 2013 World Congress on Computer and Information Technology (WCCIT); Sousse, Tunisia. 22–24 June 2013. URL: <https://doi.org/10.1109/WCCIT.2013.6618775>
13. Shilkrot R., Huber J., Liu C., Maes P., Nanayakkara S.C. Fingerreader: A wearable device to support text reading on the go; Proceedings of the CHI'14 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems; Toronto, ON, Canada. 26 April–1 May 2014. URL: <https://doi.org/10.1145/2559206.2581220>
14. Aladren A., Lopez-Nicolas G., Puig L., Guerrero J. J. Navigation Assistance for the Visually Impaired Using RGB-D Sensor with Range Expansion. IEEE Syst. J. 2016;10:922– 932. URL: <https://doi.org/10.1109/JSYST.2014.2320639>
15. Everding L., Walger L., Ghaderi V.S., Conradt J. A mobility device for the blind with improved vertical resolution using dynamic vision sensors; Proceedings of the 2016 IEEE 18th

16. International Conference on e-Health Networking, Applications and Services (Healthcom); Munich, Germany. 14–16 September 2016. URL: <https://doi.org/10.1109/HealthCom.2016.7749459>
17. Mocanu B., Tapu R., Zaharia T. When Ultrasonic Sensors and Computer Vision Join Forces for Efficient Obstacle Detection and Recognition. Sensors. 2016;16:1807. URL: <https://doi.org/10.3390/s16111807>
18. Tapu R., Mocanu B., Zaharia T. A computer vision system that ensure the autonomous navigation of blind people; Proceedings of the IEEE E-Health and Bioengineering Conference (EHB); Iasi, Romania. 21–23 November 2013. URL: <https://doi.org/10.1109/EHB.2013.6707267>
19. Nanayakkara S., Shilkrot R., Yeo K.P., Maes P. EyeRing: A finger-worn input device for seamless interactions with our surroundings; Proceedings of the 4th Augmented Human International Conference; Stuttgart, Germany. 7–8 March 2013. URL: <https://doi.org/10.1145/2459236.2459240>
20. Ультразвуковий ліхтар для незрячих Сонар - 5УФ-В4. URL: <http://www.trostri.com.ua/sonar-5uf-b4.html>
21. Helpy Eyes. URL: <https://dilo.net.ua/zhyttya/prystrij-dlya-nezryachyh-yakyjpidkoryuye-svit-17-richnyj-lviv-yanyn-pro-svij-vynahid-helpyeyes/>
22. Guide. URL: [https://boomstarter.ru/projects/Guide/guide\\_-\\_ustroystvo\\_dlya\\_slepyh\\_i\\_slabovidyaschih\\_lyudey](https://boomstarter.ru/projects/Guide/guide_-_ustroystvo_dlya_slepyh_i_slabovidyaschih_lyudey)
23. Eye 1st Vision Center in Sandy Springs, GA Discusses Signs of Sight Loss. Eye 1st Vision. URL: <https://eye1stvision.com/blog/87000-the-common-causes-of-sight-loss>.
24. The Rare Condition That Makes You Instantly Forget What Friends and Lovers Look Like. VICE. URL: <https://www.vice.com/en/article/what-its-like-to-instantly-forget-what-friends-and-lovers-looks-like/>.
25. The Unseen Challenges: Exploring Sensory Impairments. Nurseline Community Services. URL: <https://nurselinecs.co.uk/blog/sensory-impairments/>.
26. The Importance of Hearing Assessment – Paths to Literacy. Paths to Literacy. URL: <https://www.pathstoliteracy.org/importance-hearing-assessment/>.



27. Tactile Graphics for Students Who Are Blind or Visually Impaired. Perkins School for the Blind. URL: <https://www.perkins.org/resource/tactile-graphics-students-who-are-blind-or-visually-impaired/>.
28. Everything You Need to Know About White Canes. The Lighthouse for the Blind, Inc. URL: <https://lhblind.org/everything-you-need-to-know-about-white-canes/>.
29. Tactile Walking Surface Indicators - Cityscape Supply Group. Cityscape Supply Group. URL: <https://cityscapesupply.com/products/tactile-walking-surface-indicators/>.
30. Communicating by touch: brief story of Braille code. UniScienza&Ricerca: il blog di UniSR. URL: <https://blog.unisr.it/en/communicating-touch-story-braille-code>.
31. Occupational Therapy and Sensory Integration for Visual Impairment - Lighthouse Guild. Lighthouse Guild. URL: <https://lighthouseguild.org/occupational-therapy-and-sensory-integration-for-visual-impairment/>.
32. Cognitive map formation through tactile map navigation in visually impaired and sighted persons - Scientific Reports. Nature. URL: <https://www.nature.com/articles/s41598-022-15858-4>.
33. Challenges And Limitations In Cognitive Mapping - FasterCapital. FasterCapital. URL: <https://fastercapital.com/topics/challenges-and-limitations-in-cognitive-mapping.html>.
34. Memory Structure and Cognitive Maps. ResearchGate. URL: [https://www.researchgate.net/publication/343697061\\_Memory\\_Structure\\_and\\_Cognitive\\_Maps](https://www.researchgate.net/publication/343697061_Memory_Structure_and_Cognitive_Maps).
35. Alkhanifer A. Disorientation Factors that Affect the Situation Awareness of the Visually Impaired Individuals in Unfamiliar Indoor Environments. ResearchGate. URL: [https://www.researchgate.net/publication/273456280\\_Disorientation\\_Factors\\_that\\_Affect\\_the\\_Situation\\_Awareness\\_of\\_the\\_Visually\\_Impaired\\_Individuals\\_in\\_Unfamiliar\\_Indoor\\_Environments](https://www.researchgate.net/publication/273456280_Disorientation_Factors_that_Affect_the_Situation_Awareness_of_the_Visually_Impaired_Individuals_in_Unfamiliar_Indoor_Environments).

- 36.Accessible Pedestrian Signals: the Ultimate Guide - Inclusive City Maker.Inclusive City Maker. URL: <https://www.inclusivecitymaker.com/guide-accessible-pedestrian-signals/>.
- 37.Smartphones help blind people see the world - Business - Chinadaily.com.cn. China Daily Website - Connecting China Connecting the World. URL: [https://www.chinadaily.com.cn/business/tech/2016-08/22/content\\_26555410.htm](https://www.chinadaily.com.cn/business/tech/2016-08/22/content_26555410.htm)
- 38.Kuriakose B. Tools and Technologies for Blind and Visually Impaired Navigation Support: A Review. Taylor & Francis. URL: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/02564602.2020.1819893#d1e153>
- 39.What is BlindSquare? – BlindSquare. BlindSquare. URL: <https://www.blindsquare.com/about/>.
- 40.Microsoft Soundscape app: a free O&M app. Perkins School for the Blind. URL: <https://www.perkins.org/resource/microsoft-soundscape-app-free-om-app/>.
- 41.Smart Stick Navigation System for Visually Impaired Based on Machine Learning Algorithms Using Sensors Data.MDPI. URL: <https://www.mdpi.com/2224-2708/13/4/43>.
- 42.Methodology to Build a Wearable System for Assisting Blind People in Purposeful Navigation. Semantic Scholar. URL: <https://www.semanticscholar.org/paper/Methodology-to-Build-a-Wearable-System-for-Blind-in-Toro-Bastidas/3e29d6210fe655d6dc966bca57946f7135137634>
- 43.Sunu Band | American Printing House.American Printing House. URL: <https://www.aph.org/product/sunu-band/>.
- 44.Aira and the Envision Glasses - Aira. Aira - Visual Information On Demand. URL: <https://aira.io/envision/>.
- 45.How it Works | eSight Eyewear.eSight Eyewear. URL: <https://www.esighteyewear.com/how-it-works/>.
- 46.Microsoft's Seeing AI App is Now Available on Android. CNET. URL: <https://www.cnet.com/news/microsoft-seeing-ai-app-now-available-on-android/>.

<https://www.cnet.com/tech/mobile/microsofts-seeing-ai-app-is-now-available-on-android/>.

47. Be My Eyes. WSA. URL: <https://wsa-global.org/winner/be-my-eyes/>.

48. Google Lookout uses AI to describe surroundings for the visually impaired. ZDNET. URL: <https://www.zdnet.com/article/google-lookout-uses-ai-to-describe-surroundings-for-the-visually-impaired/>.

49. Vision impairment and blindness. World Health Organization (WHO). URL: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/blindness-and-visual-impairment>.

50. Magnitude, temporal trends, and projections of the global prevalence of blindness and distance and near vision impairment: a systematic review and meta-analysis / R. R. A. Bourne et al. *The Lancet Global Health*. 2017. Vol. 5. Iss. 9. Pp. e888-e897. DOI: [https://doi.org/10.1016/s2214-109x\(17\)30293-0](https://doi.org/10.1016/s2214-109x(17)30293-0).

51. Trends in prevalence of blindness and distance and near vision impairment over 30 years: an analysis for the Global Burden of Disease Study / R. Bourne et al. *The Lancet Global Health*. 2020. Vol. 9. Iss. 2. Pp. e130-e143. DOI: [https://doi.org/10.1016/s2214-109x\(20\)30425-3](https://doi.org/10.1016/s2214-109x(20)30425-3).

52. Understanding Challenges and Opportunities in Body Movement Education of People who are Blind or have Low Vision / M. De Silva et al. *ASSETS '23 : Proceedings of the 25th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility*, New York, USA, 22-25 October 2023. Pp. 1-19. DOI: <https://doi.org/10.1145/3597638.3608409>.

53. Visual challenges in the everyday lives of blind people / E. Brady et al. *CHI'13: Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, Paris, France, 27 April - 2 May 2013. Pp. 2117-2126. DOI: <https://doi.org/10.1145/2470654.2481291>.

54. Mixture reality-based assistive system for visually impaired people / J. Song et al. *Displays*. 2023. Vol. 78. Article 102449. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.displa.2023.102449>.

55. Towards assisting visually impaired individuals: A review on current status and future prospects / M. Mashiata et al. *Biosensors and Bioelectronics: X*. 2022. Vol. 12. Article 100265. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biosx.2022.100265>.
56. Detect and Approach: Close-Range Navigation Support for People with Blindness and Low Vision / Y. Hao et al. *Computer Vision – ECCV 2022 Workshops. Lecture Notes in Computer Science*. 2023. Vol. 13806. Pp. 607-622. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-031-25075-0\\_41](https://doi.org/10.1007/978-3-031-25075-0_41).
57. Roy M., Shah P. Internet of Things (IoT) Enabled Smart Navigation Aid for Visually Impaired. *Advanced Information Networking and Applications*. 2022. Pp. 232-244. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-99619-2\\_23](https://doi.org/10.1007/978-3-030-99619-2_23).
58. Commute Booster: A Mobile Application for First/Last Mile and Middle Mile Navigation Support for People with Blindness and Low Vision / J. Feng et al. *IEEE Journal of Translational Engineering in Health and Medicine*. 2023. Vol. 11. Pp. 523-535. DOI: <https://doi.org/10.1109/jtehm.2023.3293450>.
59. Floor Plan Based Active Global Localization and Navigation Aid for Persons with Blindness and Low Vision / R. G. Goswami et al. *IEEE Robotics and Automation Letters*. 2024. Vol. 9, Iss. 12. Pp. 11058-11065. DOI: <https://doi.org/10.1109/lra.2024.3486208>.
60. UNav: An Infrastructure-Independent Vision-Based Navigation System for People with Blindness and Low Vision / A. Yang et al. *Sensors*. 2022. Vol. 22. Iss. 22. Article 8894. DOI: <https://doi.org/10.3390/s22228894>.
61. Use of ToF sensors to develop Assistive Technology for visually impaired people / A. A. Ferreira et al. *ENSUS 2024 - XII Encontro de Sustentabilidade em Projeto*. 2024. Pp. 1004-1011. DOI: <https://doi.org/10.29183/2596-237x.ensus2024.v12.n1.p1004-1011>.
62. IoT-Driven Accessibility: A Refreshable OCR-Braille Solution for Visually Impaired and Deaf-Blind Users through WSN / K. K. Reddy et al. *Journal of Economy and Technology*. 2024. Vol. 2. Pp. 128-137. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ject.2024.04.007>.

63. Real-Time Object Detection and Face Recognition Application for the Visually Impaired / K. Sanjar et al. *Computers, Materials & Continua*. 2024. Vol. 79(3). Pp. 1-10. DOI: <https://doi.org/10.32604/cmc.2024.048312>.
64. Sivan Sh., Darsan G. Computer Vision based Assistive Technology for Blind and Visually Impaired People. *ICCCNT'16: Proceedings of the 7th International Conference on Computing Communication and Networking Technologies*, Dallas TX, USA, 6-8 July 2016. Pp. 1-8. DOI: <https://doi.org/10.1145/2967878.2967923>.
65. Mohammed Fayiz Ferosh. Assistive Technology for Navigation of Visually Impaired People. *Journal of Electrical Systems*. 2024. Vol. 20. Iss. 7s. Pp. 989-996. DOI: <https://doi.org/10.52783/jes.3479>.
66. Kiruthika Devi S., Subalalitha C. Deep Learning Based Audio Assistive System for Visually Impaired People. *Computers, Materials & Continua*. 2021. Vol. 71. Iss. 1. Pp. 1205-1219. DOI: <https://doi.org/10.32604/cmc.2022.020827>.
67. Сілі І. І., Азархов О. Ю., Єфременко Б. В. Тензосенсорна рукавиця для людей з порушенням мовлення. *Наука та виробництво*. 2023. Вип. 25. Рр. 159-167. DOI: <https://doi.org/10.31498/2522-9990252023286737>.

## ДОДАТОК А

### Код для Arduino

```
#include <SoftwareSerial.h>
#include <TinyGPS++.h>
int buttonpin = 6;
float lattitude, longitude;
float a[2];
float *p;
SoftwareSerial gpsSerial(2, 3); // GPS module RX, TX
SoftwareSerial gsmSerial(10, 11); // GSM module RX, TX
TinyGPSPlus gps;

const int trigPin1 = A1;
const int echoPin1 = A0;
long duration1;
int distance1;
const int trigPin2 = A2;
const int echoPin2 = A3;
long duration2;
int distance2;
unsigned long lastGpsUpdate = 0; // Last GPS update timestamp
unsigned long gpsInterval = 1000; // GPS update interval (ms)
unsigned long lastMessageSent = 0;
unsigned long messageInterval = 30000; // Message send interval (ms)

void setup() {
  pinMode(trigPin1, OUTPUT);
  pinMode(echoPin1, INPUT);
  pinMode(5, OUTPUT);
  pinMode(A4, INPUT_PULLUP);
  Serial.begin(9600);
  pinMode(trigPin2, OUTPUT);
  pinMode(echoPin2, INPUT);
  pinMode(buttonpin, INPUT_PULLUP);
  gpsSerial.begin(9600);
  gsmSerial.begin(9600);
  Serial.println("Tracking System Initialized...");
  gsmSerial.println("AT+CNMI=2,2,0,0,0");
  delay(3000); // Allow GSM module to initialize
}

void loop() {
  // Distance sensors
  checkDistanceSensors();
  // Rain detection
  checkRainSensor();
  // Button press for emergency message
  if (digitalRead(buttonpin) == LOW) {
    Serial.println("Button Pressed");
    delay(2000);
    SendMessage();
  }
  // GPS data fetch and GSM communication every interval

  if (millis() - lastGpsUpdate >=
      gpsInterval) { p = get_gps();

    lastGpsUpdate = millis();
```

|           |                |          |        |      |                    |  |                            |      |         |
|-----------|----------------|----------|--------|------|--------------------|--|----------------------------|------|---------|
|           |                |          |        |      | ІТС.4КІ.0426.03-ПЗ |  |                            |      |         |
| Змн.      | Арк.           | № докум. | Підпис | Дата |                    |  |                            |      |         |
| Розроб.   | Самойлов О. О. |          |        |      | ДОДАТОК А          |  | Лім.                       | Арк. | Акрушів |
| Керівник  | Донченко В.Ю.  |          |        |      |                    |  |                            | 119  | 3       |
| Реценз.   | Козуб Ю.Г.     |          |        |      |                    |  | ЛНУ<br>Кафедра ІТС, Гр.4КІ |      |         |
| Н. Контр. |                |          |        |      |                    |  |                            |      |         |
| Зав. каф. | Семенов М.А.   |          |        |      |                    |  |                            |      |         |

```

    }

    // Handle incoming GSM commands
    handleGsmCommands();
}

    void
checkDistanceSensors() {
    // Distance sensor 1

    long duration1 = pulseIn(echoPin1, HIGH);

    distance1 = duration1 * 0.034 /
2; Serial.print("Distance1: ");
Serial.println(distance1);

    // Distance sensor 2

    long duration2 = pulseIn(echoPin2,
HIGH); distance2 = duration2 * 0.034 /
2; Serial.print("Distance2: ");
Serial.println(distance2);

    // Handle obstacle detection
    if (distance1 <= 20 || distance2 <= 20) {
        activateAlert(1000);
    } else if (distance1 <= 15 || distance2 <= 15) {
        activateAlert(500);
    } else {
        digitalWrite(5, LOW); // Turn off the alert
    }
}

void activateAlert(int delayTime) {
    digitalWrite(5, HIGH);
    delay(delayTime);

    digitalWrite(5, LOW);
    delay(delayTime);
}

void checkRainSensor() {
    int sensorValue =
digitalRead(A4); if
(sensorValue == 1) {

        digitalWrite(5, HIGH);

        Serial.println("Rain Alert");
        delay(1500);

        digitalWrite(5, LOW);
    } else {
        digitalWrite(5,
LOW);
    }
}
}

```

```

}

float* get_gps() {
    gpsSerial.listen();

    while (gpsSerial.available() > 0) {
        gps.encode(gpsSerial.read());
    }

    if (gps.location.isUpdated()) {
        latitude = gps.location.lat(); longitude = gps.location.lng(); Serial.print("LAT=");
        Serial.println(latitude, 6); Serial.print("LONG=");

        Serial.println(longitude,
            6); a[0] = latitude;

        a[1] = longitude;
    }

    return a;
}

void handleGsmCommands() {
    if (gsmSerial.available() > 0) {
        String command = gsmSerial.readStringUntil('\n');

        if (command.indexOf("Track") >= 0) {
            sendGsmLocation();
        }
    }
}

void sendGsmLocation() {
    if (millis() - lastMessageSent >= messageInterval) {
        gsmSerial.println("AT+CMGF=1");

        delay(1000);

        gsmSerial.println("AT+CMGS=\"+3809xxxxx\""); // Replace with your
        number delay(1000);

        p = get_gps();

        gsmSerial.print("Your Car Location: ");

        gsmSerial.print("LATITUDE=");
        gsmSerial.print(*p, 6);
        gsmSerial.print(",");
        gsmSerial.print("LONGITUDE=");
        gsmSerial.print(*(p + 1), 6);
        gsmSerial.println((char)26); // Send
        message delay(1000);

        lastMessageSent = millis();
    }
}
}

```

|      |      |          |        |      |                           |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <b>ITC.4KI.0426.03-ПЗ</b> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                           | 121  |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                           |      |



```

void SendMessage() {
    gsmSerial.println("AT+CMGF=
1"); delay(1000);

    gsmSerial.println("AT+CMGS=\"+3809xxxxxx\""); // Replace with your
number delay(1000);

    gsmSerial.println("I Am In Problem, Please Help Me");
    delay(1000);

    p = get_gps();

    gsmSerial.print("Position is:
LATITUDE="); gsmSerial.print(*p, 6);
    gsmSerial.print(",");
    gsmSerial.print("LONGITUDE=");
    gsmSerial.print(*(p + 1), 6);
    gsmSerial.println((char)26); // Send
message delay(1000);
}

```

|      |      |          |        |      |                                  |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <p><i>ITC.4KI.0426.03-ПЗ</i></p> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                                  | 122  |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                  |      |

## ДОДАТОК Б

### MATLAB

#### Розташування датчиків, оцінка напрямку прибуття (DOA)

```
% Параметри системи
c = 343; % Швидкість звуку (м/с)
f = 40e3; % Частота ультразвукового сигналу (Гц)
lambda = c / f; % Довжина хвилі (м)
d = 0.05; % Відстань між датчиками (м)
theta = 30; % Кут прибуття сигналу (градуси)
fs = 1e6; % Частота дискретизації (Гц)
% Створення масиву датчиків
array = phased.ULA('NumElements', 2, 'ElementSpacing', d);
% Візуалізація геометрії масиву
figure;
viewArray(array, 'ShowNormals', true);
title('Розташування датчиків');
% Генерація сигналу
t = (0:1/fs:1e-3)'; % Час (с)
signal = sin(2 * pi * f * t); % Ультразвуковий сигнал
% Розрахунок затримки сигналу для кожного датчика
tau = (d * sind(theta)) / c; % Затримка (с)
samples_delay = round(tau * fs); % Затримка у кількості відліків
% Генерація сигналів для двох датчиків
received_signal = zeros(length(t), 2); % Ініціалізація
received_signal(:, 1) = signal; % Сигнал на першому датчику
received_signal(:, 2) = [zeros(samples_delay, 1); signal(1:end-samples_delay)]; % Сигнал на другому датчику
% Додавання шуму
noise = 0.01 * randn(size(received_signal)); % Білий шум
received_signal = received_signal + noise;
% Оцінка кута прибуття (DOA) за допомогою MUSIC
doa_estimator = phased.MUSICEstimator('SensorArray', array, ...
    'OperatingFrequency', f, 'NumSignalsSource', 'Property', ...
    'NumSignals', 1, 'ScanAngles', -90:0.1:90);
% Оцінений кут
angles = doa_estimator(received_signal);
%disp(['Оцінений кут прибуття: ', num2str(angles), ' градусів']);
% Візуалізація
figure;
plotSpectrum(doa_estimator);
title('Оцінка напрямку прибуття (DOA)');
```

#### Сигнали на датчиках

```
% Параметри системи
c = 343; % Швидкість звуку (м/с)
f = 40e3; % Частота ультразвукового сигналу (Гц)
lambda = c / f; % Довжина хвилі (м)
d = 0.05; % Відстань між датчиками (м)
theta = 30; % Кут прибуття сигналу (градуси)
% Обчислення різниці часу приходу
tau = d * sind(theta) / c;
% Генерація сигналу
t = 0:1/f:1e-3; % Час (с)
signal = sin(2 * pi * f * t); % Ультразвуковий сигнал
delayed_signal = sin(2 * pi * f * (t - tau)); % Затриманий сигнал
% Візуалізація
figure;
subplot(2,1,1);
plot(t, signal);
```

|      |      |          |        |      |                    |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
|      |      |          |        |      | ІТС.4КІ.0426.03-ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                    | 123  |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                    |      |

```

title('Сигнал на першому датчику'); xlabel('Час (с)');
ylabel('Амплітуда');
subplot(2,1,2);
plot(t, delayed_signal);
title('Сигнал на другому датчику'); xlabel('Час (с)');
ylabel('Амплітуда');
% Оцінка кута прибуття (DOA)
fs = f; % Частота дискретизації
cross_corr = xcorr(signal, delayed_signal); % Крос-кореляція
[~, lag] = max(cross_corr);
time_delay_est = lag / fs; % Оцінена затримка
theta_est = asind(time_delay_est * c / d); % Оцінений кут
disp(['Оцінений кут прибуття: ', num2str(theta_est), ' градусів']);

```

### Залежність амплітуди від положення перешкоди

```

% Параметри сигналу
f = 1000; % Частота сигналу в Гц
Fs = 10000; % Частота дискретизації
t = 0:1/Fs:0.01; % Часова шкала
c = 343; % Швидкість звуку в повітрі, м/с
d = 0.05; % Відстань між датчиками
theta = 30; % Початковий кут прибуття сигналу
% Генерація чистого сигналу
signal1 = sin(2 * pi * f * t);
% Переміщення перешкоди
obstacle_positions = linspace(-0.2, 0.2, 100);
% Підготовка графіків
figure;
subplot(2,1,1);
hold on;
xlabel('Позиція перешкоди (м)');
ylabel('Амплітуда кореляції');
title('Залежність амплітуди від положення перешкоди');
subplot(2,1,2);
; hold on;
xlabel('Позиція перешкоди (м)');
ylabel('Оцінений кут (градуси)');
title('Оцінка напрямку сигналу (DOA)');
% Симуляція переміщення перешкоди
for pos = obstacle_positions
    % Обчислення затримки
    tau = (d * sind(theta)) / c;
    % Моделювання перешкоди як функції відстані
    distance_factor = max(0, 1 - abs(pos) / d);
    % Генерація сигналу з урахуванням перешкоди
    signal2 = distance_factor * delayseq(signal1', tau)';
    % Перехресна кореляція
    [xcorr_val, lag] = xcorr(signal2, signal1);
    [~, idx] = max(abs(xcorr_val));
    estimated_tau = lag(idx) / Fs;
    % Обчислення оціненого кута
    estimated_theta = asind((estimated_tau * c) / d);
    % Оновлення графіків
    subplot(2,1,1);
    plot(pos, max(abs(xcorr_val)), 'bo');
    subplot(2,1,2);
    plot(pos, estimated_theta, 'ro');
end
drawnow;

```

|      |      |          |        |      |
|------|------|----------|--------|------|
|      |      |          |        |      |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |

ИТС.4КІ.0426.03-ПЗ

Арк.

124