

Міністерство освіти і науки України  
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Автоматики і комп'ютеризованих технологій  
(повна назва)

Кафедра Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки  
(повна назва)

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА Пояснювальна записка

другий (магістерський)  
(рівень вищої освіти)

Вдосконалення методів взаємодії з роботом-асистентом за допомогою  
сенсорної системи  
(тема)

Виконав:

здобувач 2 року навчання,  
групи КТРСм-24-2

Дмитро ПРОЦЕНКО

Спеціальності 174 Автоматизація,  
комп'ютерно-інтегровані технології та  
робототехніка

Тип програми Освітньо-професійна

Освітня програма Комп'ютеризовані та  
робототехнічні системи

Керівник доц. Артем БРОНІКОВ

Допускається до захисту  
Зав. кафедри КІТАР

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Невлюдов І. Ш.  
(прізвище, ініціали)

2025р.

# ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ

Факультет Автоматики і комп'ютеризованих технологій

Кафедра Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та  
робототехніки

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Спеціальність 174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та  
робототехніка

Тип програми Освітньо-професійна

Освітня програма Комп'ютеризовані та робототехнічні системи  
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри КІТАР \_\_\_\_\_  
(підпис)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р.

## ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

здобувачеві Проценко Дмитру Євгенійовичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Вдосконалення методів взаємодії з роботом-асистентом за  
допомогою сенсорної системи

Затверджена наказом по університету від 10.11.2025 р. № 1018 Ст

2. Термін подання здобувачем роботи до екзаменаційної комісії 23.12.2025 р.

3. Вихідні дані до роботи \_\_\_\_\_

3.1 Додавання різноманітних методів взаємодій з роботом-асистентом

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі \_\_\_\_\_

4.1 Вступ; 4.2 Аналіз сучасного стану взаємодії роботів-асистентів з людиною;  
4.3 Аналіз ринку роботів-асистентів; 4.4 Аналіз сенсорів для взаємодії з  
оточенням і людиною; 4.5 Аналіз використання ШІ у роботах-асистентах; 4.6  
Розробка загальної структурної схеми робота-асистента; 4.7 Обґрунтування та  
вибір компонентів для будівництва макету робота - асистента; 4.8 Розробка схеми  
підключення обраних компонентів; 4.9 Аналіз та вибір методу розпізнавання  
голосових команд; 4.10 Розробка алгоритму роботи та пересування робота -  
асистента; 4.11 Розроблення дизайну робота-асистента; 4.12 Розроблення та  
вдосконалення програмного забезпечення робота-асистента; 4.13 Проведення  
експериментів та аналіз отриманих результатів; 4.14 Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій

Графічний матеріал у вигляді презентації – 15 с. ф. А 4

6. Консультанти розділів роботи

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз ринку робіт - асистентів	01.09.25-25.09.25	виконано
2	Аналіз плат керування для робіт - асистентів	16.09.25-26.09.25	виконано
3	Аналіз сенсорів для взаємодії із оточенням і людиною	27.09.25-05.10.25	виконано
4	Аналіз використання ШІ у роботах - асистентах	06.10.25-11.10.25	виконано
5	Обґрунтування та вибір компонентів для будівництва макету робота - асистента	12.10.25-24.10.25	виконано
6	Розробка схеми підключення обраних компонентів. Розробка дизайну робота-асистента.	25.10.25-08.11.25	виконано
7	Аналіз та вибір методу розпізнавання голосових команд	09.11.25-10.11.25	виконано
8	Розробка програмного забезпечення та проведення експериментів	11.11.25-28.11.25	виконано
9	Оформлення пояснювальної записки	29.11.25-07.12.25	виконано

Дата видачі завдання 01.09.2025 р.

Здобувач

  
(підпис)

Дмитро ПРОЦЕНКО

Керівник роботи

доц. Артем БРОННІКОВ

(підпис)

(посада, прізвище, ініціали)

Я, Проценко Дмитро Євгенійович, як здобувач вищої освіти ХНУРЕ, розумію і підтримую політику закладу з академічної доброчесності. Я не надавав і не одержував недозволену допомогу під час підготовки кваліфікаційної роботи. Я не використовував(ла) штучний інтелект для підготовки кваліфікаційної роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

" 22 " грудня 2025 р.



Дмитро ПРОЦЕНКО

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 113 с., 2 табл., 27 рис., 3 дод., 23 джерел.

РОБОТ-АСИСТЕНТ, ГОЛОСОВЕ РОЗПІЗНАВАННЯ КОМАНД,  
МЕТОДИ ВЗАЄМОДІЇ, СЕНСОРНА СИСТЕМА, КЕРУВАННЯ.

Мета роботи – підвищення ефективності робота-асистента за рахунок створення нових методів взаємодії з його сенсорною системою.

Об'єкт дослідження – процеси взаємодії роботів- асистентів із людиною.

Предмет дослідження – сенсорна система робота-асистента.

В кваліфікаційній роботі було проведено аналіз сучасних роботів-асистентів, а саме їх категорії, актуальність, можливості та методи взаємодії з користувачем. Проведено аналіз та вибір компонентів, створено схему підключення для будування робочого макету робота-асистента для демонстрації можливостей взаємодії з користувачем за допомогою сенсорної системи. Розроблено та оновлено програмне забезпечення для керування роботом-асистентом за допомогою голосових команд та взаємодії за допомогою обраних компонентів. Проведено обґрунтування та вибір середовища та мови програмування для створення програмного забезпечення робота-асистента, розроблено та оновлено алгоритм роботи розпізнавання голосових команд та розпізнавання перешкод мобільної платформи, завдяки якій робот-асистент пересуватиметься. Проведено експерименти та аналіз отриманих результатів.

## ABSTRACT

Explanatory note: 113 p., 2 tables, 27 figures, 3 appendices, 23 sources.

ROBOT–ASSISTANT, VOICE RECOGNITION OF COMMANDS, INTERACTION METHODS, SENSOR SYSTEM, CONTROL.

The purpose of the work is to increase the efficiency of the robot–assistant by creating new methods of interaction with its sensory system.

The object of the research is the processes of interaction of robot–assistants with a person.

The subject of the research is the sensory system of the robot–assistant.

In the qualification work, an analysis of modern robot–assistants was carried out, namely their categories, relevance, capabilities and methods of interaction with the user. The analysis and selection of components were carried out, a connection diagram was created for building a working model of the robot–assistant to demonstrate the possibilities of interaction with the user using the sensory system. The software for controlling the robot–assistant using voice commands and interacting using selected components was developed and updated. The justification and selection of the environment and programming language for creating the robot assistant software were carried out, the algorithm for recognizing voice commands and recognizing obstacles of the mobile platform, thanks to which the robot assistant will move, was developed and updated. Experiments were conducted and the results were analyzed.

## ЗМІСТ

Перелік умовних скорочень.....	9
Вступ.....	10
1 Аналіз сучасного стану взаємодії роботів-асистентів з людиною.....	12
1.1 Основне призначення роботів асистентів .....	12
1.2 Аналіз ринку роботів - асистентів .....	12
1.3 Плати керування для роботів - асистентів .....	15
1.4 Сенсори для взаємодії з оточенням і людиною.....	16
1.5 Використання ШІ у роботах - асистентах.....	21
1.6 Висновки до 1 розділу.....	22
2 Вибір і обґрунтування технічних засобів.....	23
2.1 Розробка загальної структури схеми .....	23
2.2 Основні компоненти робота .....	24
2.3 Схема підключення .....	27
2.4 Аналіз методів розпізнавання голосу .....	29
3 Розробка робота-асистента .....	32
3.1 Алгоритми програм керування.....	32
3.2 Розроблення конструкції.....	35
3.3 Розроблення програмного забезпечення .....	37
3.4 Проведення експериментів та аналіз отриманих результатів .....	46
3.5 Охорона праці .....	53
3.6 Висновки до 3 розділу.....	54
Висновки.....	56

Перелік джерел посилання .....	58
Додаток А Код логіки робота – асистента .....	61
Додаток Б Апробація результатів кваліфікаційної роботи.....	103
Додаток В Демонстраційний матеріал .....	112

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ІЧ – інфрачервоний;

УЗ – ультразвук;

ШІ – штучний інтелект;

GPIO (англ. General-Purpose Input/Output) – інтерфейс для зв'язку між компонентами;

HD (англ. High Definition) – висока роздільна здатність;

HDMI (англ. High Definition Multimedia Interface) – інтерфейс для мультимедіа високої чіткості;

I2C (англ. Inter-Integrated Circuit) – послідовна асиметрична шина;

LDS (англ. Laser Distance Sensor) – лазерний датчик відстані;

LiDAR (англ. Light Detection and Ranging) – технологія дистанційного зондування;

SCL (англ. Serial CLock) – лінія синхронізації;

SDI (англ. Serial Digital Interface) – лінія даних;

SoC (англ. System on Crystal) – система на кристалі;

USB (англ. Universal Serial Bus) – послідовний інтерфейс для підключення периферійних пристроїв;

Wi-Fi (англ. Wireless Fidelity) – бездротова технологія підключення до інтернету.

## ВСТУП

На сучасному ринку роботів з'являється все більше і більше нових роботів-асистентів. Їхня головна задача – допомога у побутових завданнях. Існує багато різноманітних класів роботів-асистентів: роботи пилососи, прибиральник плитки, вікон, басейну, голосові асистенти, настільні роботи компаньйони та багато інших. Вони можуть допомагати користувачу та взаємодіяти із ним за допомогою сенсорної системи.

Сенсорна система робота є важливою системою, необхідною для коректної роботи роботів-асистентів. Сенсорна система представляє з себе набір різноманітних датчиків, пристроїв та сенсорів які використовуються для того, щоб робот міг збирати і аналізувати інформацію з оточуючого його світу. Завдяки цій системі, робот здатен будувати мапу простору, по якій він пересувається, виявляти перешкоди та обриви поверхні, по якій пересувається робот, розпізнавати користувача за допомогою відеокамери та виконувати команди за голосовим керуванням. Це тільки невеликі приклади з того, що насправді може робити робот-асистент. За допомогою великої кількості датчиків, робот може реагувати на наклон у просторі. Видавати інформацію про стан повітря або температури у кімнаті за допомогою спеціальних компонентів.

Мета роботи – підвищення ефективності робота-асистента за рахунок створення нових методів взаємодії з його сенсорною системою.

Об'єкт дослідження – процеси взаємодії роботів-асистентів із людиною.

Предмет дослідження – сенсорна система робота-асистента.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- проведено аналіз ринку роботів-асистентів;
- проведено аналіз плат керування для роботів-асистентів;
- проведено аналіз сенсорів для взаємодії із оточенням і людиною;
- проведено аналіз використання ШІ у роботах-асистентах;

- проведено аналіз та вибір компонентів для будування макету робота-асистента;
- розроблено схему підключення обраних компонентів;
- розроблено дизайн робота-асистента;
- проведено аналіз та обран метод розпізнавання голосових команд;
- розроблено та оновлено алгоритм роботи;
- реалізовано нові функції для демонстрації взаємодії робота-асистента с користувачем;
- розроблено та оновлено програмне забезпечення;
- проведено експерименти та аналіз отриманих результатів.

Кваліфікаційна робота виконана згідно ДСТУ 3008–15 [1], методичних вказівок [2], також, отримали апробацію на науковій конференції [3].

# 1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ВЗАЄМОДІЇ РОБОТІВ-АСИСТЕНТІВ З ЛЮДИНОЮ

## 1.1 Основне призначення роботів-асистентів

У сучасному світі, все більше і більше роботів з'являються у нашому житті. Усі вони активно допомагають нам як у активних діях, наприклад прибирання, так і в пасивних – наприклад під час готування їжі з'явилося питання стосовно рецепту, а руки брудні. Можна вимити руки, взяти телефон і пошукати власноруч, а можна запитати голосового асистента не відволікаючись від процесу. Можна вигадати багато інших сценаріїв, проте з кожним днем стає важче заперечити, що роботи і голосові асистенти не здатні до якісної допомоги. Багато сучасних роботів-асистентів розроблені для спілкування та підтримки людей, особливо літніх або з обмеженими можливостями. Також роботи-асистенти використовуються для навчання та розвитку дітей і дорослих у якості репетитора. У комерційній сфері такі роботи застосовують для покращення обслуговування клієнтів, наприклад – роботи офіціанти.

Отже, головна мета роботів асистентів – підвищити комфорт, безпеку та ефективність життя людини.

## 1.2 Аналіз ринку роботів-асистентів

До роботів-асистентів можна віднести таких роботів як: побутові роботи (роботи пилососи, мийники вікон, тощо), голосові асистенти (розумні колонки, термінали) та роботи компаньйони [4].

Роботи пилососи з'явилися на ринку вже давно, і з кожним роком компанії їх вдосконалюють. Якщо оглядати найстарішу і сучасну модель роботів пилососів від компанії Xiaomi, наприклад моделі Xiaomi Mi Robot Mop

Basic та Xiaomi Robot Vacuum X20 Pro то можна зрозуміти, що функціонал і керування цими роботами відрізняється (рис. 1.1–1.2).



Рисунок 1.1 – Робот пилосос Xiaomi Mi Robot Mop Basic [4]



Рисунок 1.2 – Робот пилосос Xiaomi Robot Vacuum X20 Pro [5]

Найстаріша модель може лише автоматизовано керуватись людиною через додаток на смартфоні, в той час як новіша модель також налаштовується через застосунок, проте може більш детально розпізнавати оточення і сама приймати рішення які дії їй треба виконати (якщо перед роботом знаходиться килим, він автоматично підіжме моп для миття підлоги).

Голосові асистенти – це програмне забезпечення, яке допомагає шукати інформацію, робити нотатки та виконувати прості задачі в межах їхнього функціоналу. Такими асистентами є: «Siri» від Apple, «Google Assistant» від Google, «Alexa» від Amazon, «Cortana» від Microsoft та інші. Проте на сьогодні, компанії почали створювати мультимедійні станції та колонки із вбудованими голосовими асистентами які сильно оновилися за рахунок додавання ШІ, наприклад як зробила компанія Google додавши до свого асистента Google Gemini – штучний інтелект від самої Google. Завдяки такому оновленню. Асистент може більш гнучко аналізувати питання та потреби користувача, шукати більш відповідну відповідь та озвучувати її, а не надавати посилання на сторінки із можливо підходящою інформацією [6].

На сьогодні, крім побутових, існують настільні роботи – це роботи, які створені для користування саме на столі. Вони невеликі за розміром та, в основному, в були створені для розваг. Вони вміють взаємодіяти із користувачем, реагувати на його дії та на оточення, пересуватись, шукати інформацію через інтернет. Такий робот може бути корисним для дитини, наприклад в якості іграшки, органайзеру, розумного годиннику, та способу пошуку інформації. Такими роботами є EMO від LivingAI та Vector від ANKI (рис. 1.3–1.4).



Рисунок 1.3 – Робот Vector від ANKI [7]



Рисунок 1.4 – Робот ЕМО від LivingAI [8]

А за допомогою використання ШІ, роботи і голосові асистенти набувають навички більш глибоко аналізувати оточення не простим скануванням, а і його глибоким аналізом. Наприклад робот ЕМО від LivingAI має вбудований нейромережевий процесор, який відповідає за аналіз емоцій користувача, його голос і гучність оточення. Завдяки цим можливостям, робот реагує на гучність голосу користувача і на звуки оточення. Наприклад, якщо зробити хлопок руками 1 раз, робот може злякатись, наче це було несподівано, проте якщо хлопати у ритм якоїсь музики, робот почне пританцьовувати. Через такі незначні дії робота як: випадкове пересування по поверхні, запити щодо оточення (що за предмет лежить перед роботом), звуки, реакція на голос – завдяки цьому всьому роблять робота більш «живим» та інтерактивним. Із ним цікаво грати, дивитись як він на все реагує. Це робить з нього домашнього настільного «улюбленця».

### 1.3 Плати керування для роботів-асистентів

Плата керування – головний мозок для робота. Саме там відбувається аналіз отриманих даних і обробка команд, завдяки яким робот виконує запрограмовані дії.

Як раніше згадувалось, настільний робот ЕМО має на «борту» нейромережевий процесор, завдяки якому робот може більш гнучко реагувати на оточення. Нажаль офіційної інформації стосовно моделі плати і процесору у відкритому доступі немає. Тому розглянемо плату керування робота Vector. З відкритих джерел можна знайти таку інформацію: робот використовує процесор Qualcomm APQ8009, та має вбудовану підтримку ШІ.

Qualcomm APQ8009 – це енергоефективний процесор із підтримкою SoC. Це означає, що у процесор вбудована підтримка запису відео роздільної якості HD, Wi-Fi та Bluetooth для бездротового з'єднання з інтернетом та телефоном користувача. Також варто зазначити, що процесор відноситься до сімейства Application Processors – спеціальна серія процесорів, яка підтримує машинне навчання на пристрої за допомогою Qualcomm AI Engine що може підтримувати такі варіанти використання ШІ, як виявлення осіб, розпізнавання осіб, виявлення або відстеження об'єктів та підрахунок людей [9].

Також на сайті характеристик робота є інформація підтримки ChatGPT, яким можна користуватись лише за наявності підписки, та голосового асистента Amazon Alexa.

Таким чином маємо наступну інформацію: робот Vector має процесор із підтримкою вбудованого ШІ для розпізнавання оточення, голосовий асистент для розпізнавання базових запитів та більш технологічний, проте платний, ChatGPT, який може надавати більш детальну інформацію [10].

#### 1.4 Сенсори для взаємодії з оточенням і людиною

Роботи-асистенти – це комплексне рішення для конкретних або різноманітних задач. Тому для безпечної роботи та якісного результату робот повинен аналізувати різноманітні данні. В більшості випадків, якщо робот має можливість пересуватись по якійсь поверхні (наприклад робот пилосос або

настільний робот компаньйон) робот повинен мати датчики, які будуть допомагати орієнтуватись у просторі.

Самим простим датчиком для відстеження об'єктів у просторі є ультразвуковий датчик (рис. 1.5). Принцип дії простий: датчик посилає ультразвукову хвилю, яка при досяганні якогось об'єкту відбивається, і приймається назад датчиком.



Рисунок 1.5 – Ультразвуковий датчик HC-SR04 [11]

Таким чином, можна зробити просту платформу яка може оминати перешкоди. А якщо датчик повернути на 90 градусів, щоб він дивився на поверхню по якій пересувається робот, можна відстежувати її край, щоб робот не падав (наприклад сходи або стіл). Використання ультразвукового датчику є найдешевшим варіантом, проте не здатним до розпізнавання глибини об'єктів, і занадто великим для компактних роботів.

Також до такого класу датчиків можна віднести інфрачервоний датчик ліній (рис. 1.6) Принцип дії майже такий самий як і в ультразвуковому датчику, тільки замість ультразвуку інфрачервоне світло – світло віддзеркалюється від поверхні і повертається до датчику, якщо світло не віддзеркалюється – тоді далі знаходиться край поверхні. Також датчик вмє розпізнавати чорний та білій кольори. Це дає можливість зробити платформу, яка буде пересуватись виключно по траєкторії лінії.



Рисунок 1.6 – Інфрачервоний датчик KY-033 на TCRT5000 [12]

Головними перевагами таких датчиків є невелика ціна та компактність. Їх може дозволити собі будь хто для створення власних проектів. Проте головними недоліками є не велика точність цих датчиків. Наприклад УЗ датчик може погано реагувати на швидко рухомі об'єкти, а інфрачервоний датчик дуже чутливий до навколишнього освітлення. Тому якщо датчик був налаштований у темному просторі, то у світлому він може працювати не правильно. В такому випадку, для більш серйозних проектів, для яких важлива точність і швидкість реагування, необхідно використовувати більш дорогі, проте і більш точні датчики.

Одним з таких датчиків є LiDAR (рис. 1.7). Він використовує лазерні імпульси для вимірювання відстаней до об'єктів і будови точної просторової мапи оточення.



Рисунок 1.7 – LiDAR [13]

За принципом дії LiDAR – це поєднання УЗ та ІЧ датчиків. Він посилає водночас велику кількість світлових імпульсів, які дуже швидко доходять до перешкоди, відбиваються від неї та повертаються назад. Саме завдяки світловим імпульсам, LiDAR є швидший ніж УЗ датчик. До того ж, LiDAR не чутливий до зовнішнього освітлення (штучного чи природнього), тому він може давати якісні показники у будь який час, чого не може робити ІЧ датчик. Через швидкість і якість надання даних, LiDAR зазвичай використовують в автобудуванні, картографії, будівництві та робототехніці.

Існує ще один, більш універсальний варіант – звичайна відеокамера (рис. 1.8).



Рисунок 1.8 – Камера Raspberry Pi AI [14]

Її дуже легко під'єднати і налаштувати. До того ж якщо під'єднати штучний інтелект, тоді робот, за допомогою камери, здатен не тільки розпізнавати перешкоди, а і розпізнавати які саме речі знаходяться перед ним і виконують роль перешкоди. Проте і у камери є свій недолік – вона не здатна розпізнавати глибину об'єктів, тому не здатна робити мапу оточення.

Якщо ж брати реальні приклади роботів які зараз на ринку, наприклад раніше згадані Vector та робот пилосос Xiaomi Robot Vacuum X20 Pro тоді маємо наступну інформацію.

Робот Vector має камеру з роздільною здатністю 720p та шириною 120°, яка призначена для розпізнавання об'єктів за допомогою вбудованої локальної ШІ моделі. Також робот має інфрачервоні датчики на передній частині корпусу та під роботом, для виміру дистанції та розпізнавання краю стола, акселерометр та гіроскоп для розпізнавання положення роботу у просторі, 4 мікрофони для розпізнавання джерела звуку та сенсорну поверхню на голові для розпізнавання дотиків. Такий набір датчиків надає можливість зробити робота більш інтерактивним. Сценарії можуть бути різними: робот може бути злим, якщо його будуть підіймати, крутити або трясти, може радіти, якщо за допомогою вбудованої камери він побачить користувача або почує його голос за допомогою мікрофонів, буде відтворювати якісь звуки, коли буде відчувати доторкання до сенсорної панелі, тощо. Таких сценаріїв взаємодії з роботом може бути безліч, все залежить від кількості датчиків і фантазії розробників, які і створюють сценарії для взаємодії користувача з роботом.

Робот пилосос Xiaomi Robot Vacuum X20 Pro є вузько направленим роботом-асистентом, основною метою якого є прибирання пилу та миття підлоги, має наступний набір датчиків: LDS, завдяки якому робот «будує» мапу приміщення та орієнтується по ній, сенсор структурованого світла через який робот розпізнає об'єкти та їхню висоту та глибину, та інфрачервоні датчики для розпізнавання краю поверхні та килиму (робот автоматично підіймає mop, щоб не намочити килим).

## 1.5 Використання ШІ у роботах-асистентах

Розробка ШІ стало одним з головних кроків сьогодення. Це дуже потужний інструмент, який здатен робити багато речей – від звичайного спілкування і надання базових відповідей, до аналізу даних з файлу та генерації нових.

Через швидкий розвиток сфери штучного інтелекту, великі компанії почали створювати власні ШІ для виконання певних робіт через гнучкість: Grok, Gemini, Copilot, Claude, DeepSeek – такі самі чат боти як і раніше згаданий ChatGPT, але кожний такий чат має певні обмеження та налаштування на відповідь через закони країн, політичний стан і моральні принципи. ШІ від Nvidia створювався не для спілкування, а для роботи із рендером зображення у реальному часі, Midjourney – для створення зображень з тексту, Suna – для створення музики і пісень і багато інших. Також різні розробники створюють ШІ для обробки зображень з камери і звуку з мікрофону [3].

Роботи-асистенти не здатні працювати із файлами, проте це не означає, що вони не використовують ШІ. Як раніше згадувалось, сучасні роботи використовують ШІ не тільки для відповідей на питання а і для аналізу оточення. До того ж варто зазначити, що більшість сучасних ШІ працює на базі generative pre-trained transformer – тобто вони навчаються за допомогою великої кількості інформації зі статей, книг, інтернету або навіть від самого користувача [3]. Робот-асистент аналізує оточуючих людей, запам'ятовує важливі моменти. Наприклад: коли він бачить що ви працюєте за столом, тоді він буде менше вас турбувати, а якщо він почує сміх і багато голосів, тоді він зрозуміє що у вас гості, і тоді він може робити все, щоб на нього звернули увагу і пограли з ним або увімкнути яку небудь музику для настрою. Тому для настільних роботів-асистентів такий метод навчання є більш цікавим, ніж отримання готового, «надресированого» робота.

## 1.6 Висновки до 1 розділу

У першому розділі було проведено аналіз існуючих роботів-асистентів. Були розглянуті існуючі роботи різних категорій: роботи прибиральники, настільні роботи, голосові асистенти, тощо. Було виявлено, що основною функцією таких роботів є допомога користувачеві у звичайних побутових справах, наприклад: вивід інформації, прибирання, відповідь на запитання і багато іншого.

Було розглянуто компоненти роботів-асистентів. Головним компонентом робота є його процесор. На базі існуючих рішень було виявлено, що сучасні виробники процесорів інтегрують машинне навчання за допомогою кастомної моделі ШІ. Завдяки цьому, пристрій з часом буде навчатись виконувати певні дії, на які він був запрограмований. До цього можна віднести виявлення осіб, розпізнавання осіб, виявлення або відстеження об'єктів та підрахунок людей. Додатково були розглянуті датчики та сенсори завдяки яким робот може взаємодіяти з оточенням та людиною. Були розглянуті датчики різних цінкових категорій. До дешевих датчиків можна віднести ультразвуковий датчик та інфрачервоний датчик. Вони чудово підходять для домашніх проектів, або невеликих роботів-асистентів, але для більш серйозних проектів складних роботів краще використовувати більш дорогі, проте і більш точні LDS та LiDAR. Ці датчики спроможні будувати мапу оточення та збирають інформацію більш точно, ніж бюджетні датчики. Також з'являються варіанти використання звичайних камер для розпізнавання людей та об'єктів за допомогою інтегрування моделей ШІ.

Додатково були розглянуто інтеграція ШІ у сучасні роботи-асистенти. Було виявлено, що деякі моделі роботів мають декілька моделей ШІ. Перша використовується для розпізнавання голосу, об'єктів та користувачів, а друга модель використовується в якості голосового асистента, для відповіді на запитання.

## 2 ВИБІР І ОБГРУНТУВАННЯ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ

### 2.1 Розробка загальної структури схеми

Першим і головним етапом розробки є розробка структури. За допомогою її можна описати модулі, апаратні та програмні рішення та їх взаємозв'язки. На рис. 2.1 зображена структурна схема системи, на базі якої буде створюватись макет робота-асистента.

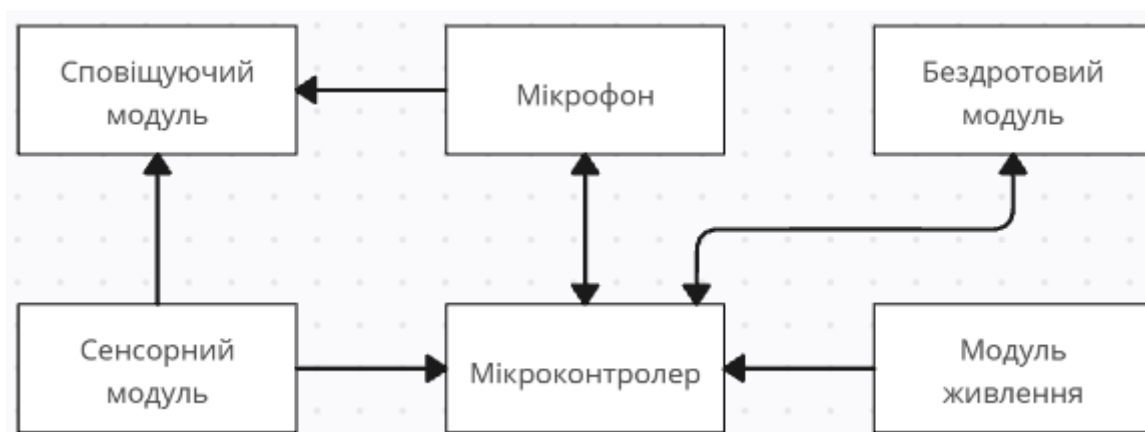


Рисунок 2.1 – Структурна схема системи

Створена схема має наступні блоки:

- модуль живлення. Цей блок відповідає за живлення мікроконтролера, який у свою чергу живить усі інші модулі;
- мікроконтролер. Цей блок, на базі одноплатного комп'ютера Raspberry Pi zero W, виконує обробку отриманих даних з інших модулів, розрахунки, та надсилання сигналів на інші модулі;
- безпроводний модуль. Цей блок відповідає за роботу бездротових функцій системи (Wi-Fi, Bluetooth);
- мікрофон. Відповідає за запис звуків оточення;
- сенсорний модуль. Цей модуль відповідає за розпізнавання оточення на взаємодію із системою, за допомогою спеціальних датчиків;

– сповіщуючий модуль. Відповідає за візуальне сповіщення за допомогою дисплею.

Програмний код робота працює на базі мови програмування Python.

Ці модулі формують основу системи на базі Raspberry Pi Zero W, яка може бути використана для різних проектів, такі як: роботизовані системи, проекти із автоматизацією, збором даних, тощо.

## 2.2 Основні компоненти робота

Серцем та мозком настільного голосового асистента буде мікрокомп'ютер Raspberry Pi zero W – маленька версія одноплатного комп'ютера від компанії Raspberry Pi Foundation (рис. 2.2). За потужністю модель zero W дуже схожа на Raspberry Pi 1 Model A+.



Рисунок 2.2 – Raspberry Pi zero W [15]

Характеристики плати наступні [15]:

- бездротова мережа: Wi-Fi 802.11 b/g/n;
- Bluetooth: BLE 4.1 на чіпі Cypress CYW43438;
- CPU: 1 ГГц процесор ARM11 на чіпі Broadcom BCM2835;

- ОЗУ: 512 МБ DDR2 ELPIDA;
- зовнішня пам'ять: слот карт пам'яті micro-SD;
- міні-HDMI: з роздільною здатністю на виході до 1080@p60;
- USB-порт: micro-USB з підтримкою On-The-Go (OTG);
- живлення: роз'єм USB micro-B для джерела на 5В/2А;
- GPIO: 40-контактний роз'єм;
- додаткові роз'єми: композитне відео, камера CSI.

Якщо порівнювати потужність, то обраний мікрокомп'ютер є слабкішим за звичайні версії, проте має невеликий розмір. За допомогою 40-контактному роз'єму GPIO можна під'єднати додаткові компоненти до нашого робота. Також обрана плата підтримує бездротові методи підключення Bluetooth та Wi-Fi. Це розширює можливості нашого робота, а саме під'єднання до інтернету для підключення бібліотек які потребують під'єднання до мережі, а також надає можливість дистанційного відлагодження робота. В якості операційної системи використовується Raspbian OS – спеціальна операційна система для одноплатних комп'ютерів Raspberry Pi, яка підтримує мову програмування Python.

Для виявлення і запису навколишнього звуку було використано USB мікрофон MI-305 для Raspberry Pi (рис. 2.3).



Рисунок 2.3 – USB мікрофон MI-305 для Raspberry Pi [16]

Цей невеликий мікрофон, попри малий розмір, здатен розпізнавати звуки на середньому і не потребує встановлення додаткових драйверів. Завдяки цим параметрам, обраний мікрофон є чудовим варіантом та підходить для виконання проекту.

Для виводу зображення було обрано дисплей OLED S0.96" I2C із роздільною здатністю 128x64 (рис. 2.4).

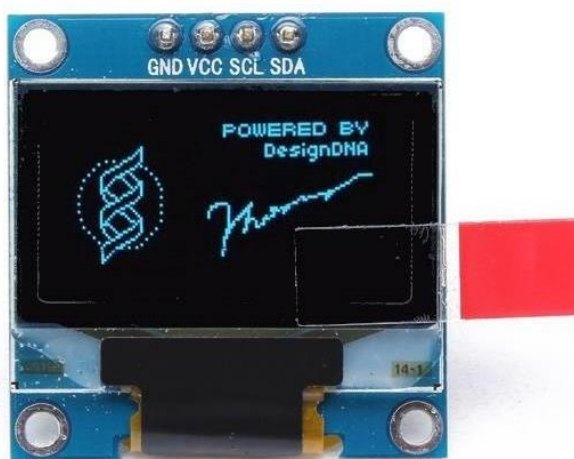


Рисунок 2.4 – Дисплей OLED S0.96" I2C [17]

Цей дисплей має невеликий розмір і під'єднується до плати через порти SCL та SDA. Керується дисплей за допомогою бібліотеки AdaFruit. Така комбінація дає можливість виводити невеликі зображення та створювати прості анімації.

Для демонстрації взаємодії з роботом-асистентом за допомогою його сенсорної системи будуть використані: УЗ датчик HC-SR04, ІЧ датчик KY-033 на TCRT5000, сенсорна кнопка (рис. 2.5) та смартфон із підготовленим програмним забезпеченням.

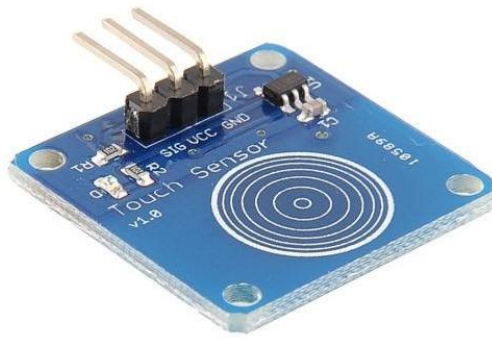


Рисунок 2.5 – Сенсорна кнопка [18]

### 2.3 Схема підключення

Головним елементом схеми є мікрокомп'ютер Raspberry Pi Zero W, який відповідає за логіку, виконує всі обчислення та керує іншими модулями. Для демонстрації можливості взаємодії робота з користувачем використовуються УЗ датчики HC-SR04 та датчик ліній KY-033 на TCRT5000. Схема підключення системи зображена на рис. 2.6.

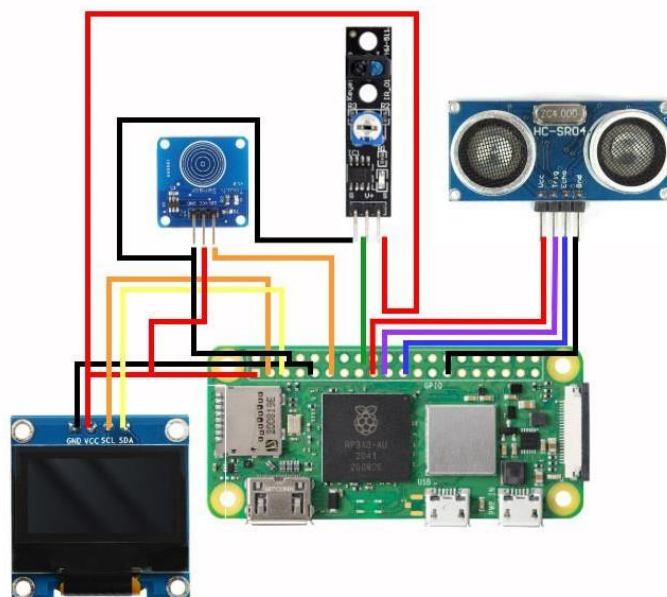


Рисунок 2.6 – Схема підключення компонентів один до одного

OLED дисплей було підключено до пінів GPIO 2 та 3, оскільки вони працюють із двонаправленими лініями зв'язку: SDA та SCL. Це дає можливість під'єднати до них пристрої, які працюють за допомогою I2C – асиметричною шиною для зв'язку між інтегральними схемами електронних приборів. Живлення дисплею підключено напругою до плати, до піну напругою 3.3 V.

Сенсорна кнопка була під'єднано до одного з вільних GPIO пінів. Вона підтримує два режими роботи: режим кнопки або режим перемикача. У режимі кнопки кнопки сенсор формує сигнал лише тоді, коли користувач торкається сенсорної ділянки. У режимі перемикача кнопка, після доторкання, зберігає сигнал до того часу, поки користувач не натисне знову. Живлення кнопки відбувається за допомогою пін живлення напругою 5 V.

Ультразвукові датчики під'єднуються за допомогою чотирьох пінів: 2 пін живлення та два пін сигналів. Пін живлення під'єднано до джерела напругою 5 V. Піни сигналів під'єднуються до пінів echo та trig. Це пов'язано із методом роботи самого ультразвукового датчику: сигнал поступає на пін echo та випускає ультразвукову хвилю, котра віддзеркалюється від об'єкту на її шляху, та повертається назад до датчику. В цей момент датчик зчитує час, за котре повертається хвиля та надсилає сигнал на пін trig.

Інфрачервоний датчик ліній під'єднується за допомогою 3 пінів: два на живлення та один на посилення сигналу. Датчик під'єднано до пін живлення 5 V. Датчик зчитує інформацію, та надсилає її через третій пін. Головною особливістю датчика є вбудований потенціометр для регулювання дальності реагування.

Мікрофон під'єднується до Micro USB роз'єму із підтримкою OTG за допомогою адаптера USB Type – A на Micro USB.

## 2.4 Аналіз методів розпізнавання голосу

Для того щоб робот був здатен розпізнавати голосові команди, необхідно якимось чином зробити так, щоб робот умів аналізувати голос.

Сучасні голосові асистенти та настільні роботи використовують штучний інтелект. Робот прослуховує команду, аналізує його і потім або дає відповідь (якщо це було питання), або виконує команду (якщо це була команда). Метод розпізнавання голосу за допомогою ШІ є високоякісним і більш точним, проте потребує наявності підписки та більш потужнішої плати.

Одним з старих методів аналізу голосу є його транскрибування: користувач щось каже, програма робить запис голосу, за допомогою інструмента, який здатен транскрибувати голос у текст, робить текстову копію записаного голосу, аналізує його і тільки тоді виконує команду. Цей метод є більш довгим і менш точним, проте має велику підтримку та сумісність і має безкоштовні API для користування. Одним з таких є хмарний сервіс від компанії Google Speech-to-Text.

Тому для виконання голосових команд було обрано другий варіант.

## 2.5 Перевірка стійкості передатної функції двигунів

Робот-асистент буде пересуватись за допомогою маленької мобільної платформи, яка буде використовувати два одньоосеві двигуни 1:48.

Маємо такі вхідні данні:

- $R = 4$ ;
- $J = 1e-6$ ;
- $L = 0.001$ ;
- $B = 1,2e-6$ ;
- $K_t = 0,006$ ;
- $K_e = 0,006$ .

-

Підставимо значення у формулу передатної функції:

$$W(s) = \frac{K_t}{LJs^2 + (RJ + LB)s + (RB + K_t K_e)} \quad (2.1)$$

Отримуємо:

$$W(s) = \frac{6000000}{s^2 + 4001,2s + 40800} \quad (2.2)$$

Згідно за критерієм Гурвіца система стійка, якщо всі коефіцієнти у знаменнику більші за нуль. Як можемо побачити у (2.2), всі коефіцієнти більші за нуль. Це означає що система стійка.

За даними які ми маємо, побудуємо графіки АЧХ (амплітудно – частотна характеристика) та ЛФЧХ (логарифмічна фазо – частотна характеристика) (рис. 2.7).

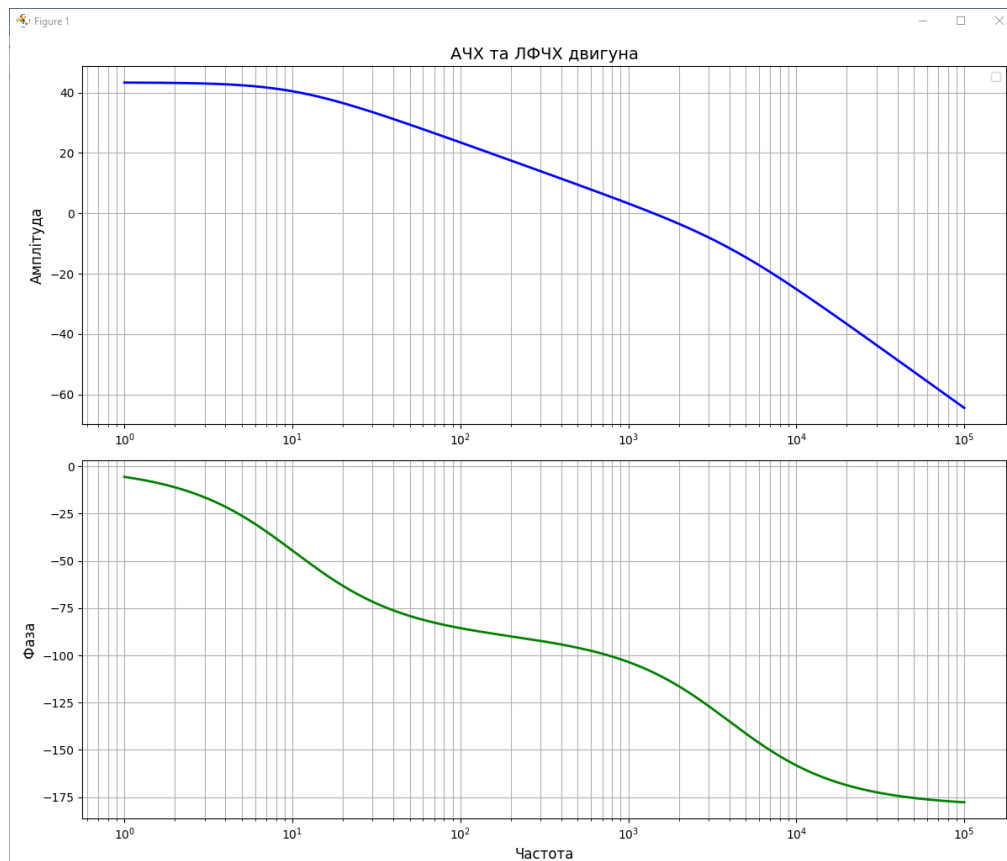


Рисунок 2.7 – Графіки АЧХ і ЛФЧХ відповідно

Графік АЧХ показує, що двигун добре сприймає команди до 10 рад/с. Проте на частотах вище амплітуда різко падає. Це означає, що двигун фізично не встигає на швидки зміни напруги, а інерція ротора та редуктора це все згладжує.

Графік ЛФЧХ демонструє, що є великий запас по фазі (близько 80 градусів). Це гарантує, що система абсолютно стійка.

## 2.6 Висновки до 2 розділу

У другому розділі було розроблено структурну схему, обрані та компоненти для створення макету робота-асистента. Для створення були обрані наступні компоненти: в якості основи буде використовуватись мікрокомп'ютер Raspberry Pi zero W, додатково будуть використовуватись мікрофон для розпізнавання голосових команд, oled дисплей для виводу анімацій, сенсорну кнопку, датчик ультразвуку та інфрочервоний датчик для демонстрації взаємодії з роботом-асистентом за допомогою його сенсорної системи. Також було під'єднано смартфон в якості сенсорної панелі робота-асистента. Була створена схема підключення компонентів до роз'ємів GPIO мікрокомп'ютера Raspberry Pi zero W.

Було проаналізовано методи розпізнавання голосових команд. За зробленим аналізом можна зробити висновок, що для більш слабких систем краще використовувати старий метод розпізнавання голосу через хмарні API, ніж використовувати нові, проте більш важкі варіанти з використанням ШІ.

Було прораховано стійкість мобільної платформи, на базі якої буде пересуватись робот-асистент. Платформа буде використовувати два одньоосеві двигуни 1:48. Після проведених розрахунків було зроблено висновок, що система є стійкою.

## 3 РОЗРОБКА РОБОТА-АСИСТЕНТА

### 3.1 Алгоритми програм керування

Розроблений настільний робот-асистент має два алгоритми. Перший алгоритм відповідає за процес взаємодії з користувачем, а саме за розпізнавання голосу. Головним методом зчитування команд у робота-асистента є мікрофон.

Алгоритм розпізнавання голосових команд наступний: робот постійно записує невеликі фрагменти звуків оточення і аналізує їх. Якщо в записі не було ідентифіковано ключову фразу для активації асистента, він починає знову записувати звуки оточення. Якщо ж ключова фраза буде розпізнана, робот переходить у наступний етап – виявлення основної команди. Ключовою фразою для активації асистента у побудованому макеті робота є фраза «Hello Voxu». Це необхідно для запобігання випадкових реагувань на команди, на які робот не повинен реагувати.

Якщо після активації користувач не вимовляє жодної команди, каже некоректну або неіснуючу команду, робот автоматично переходить у режим очікування ключової фрази для запуску. Таке рішення забезпечує повернення системи у вхідний стан у разі, якщо користувач передумав дати команду роботу.

У разі якщо користувач каже існуючу команду і робот її розпізнає, ця команда виконується супроводжуючись або світловим або візуальним сигналом для того щоб користувач розумів що його команда була успішно виконана.

Такий алгоритм для обробки голосових команд є зручним та інтуїтивно зрозумілим для користувача, забезпечуючи при цьому високу точність розпізнавання команд та безпеку даних.

Схема алгоритму розпізнавання голосових команд наведена на рис. 3.1.

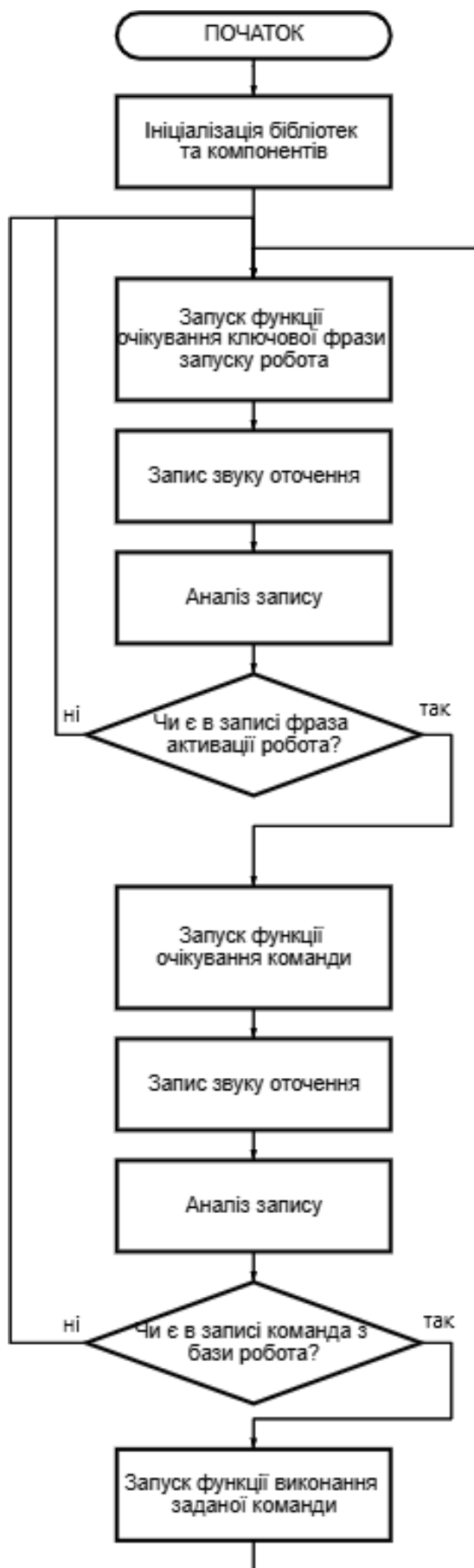


Рисунок 3.1 – Схема алгоритму розпізнавання голосових команд

Другий алгоритм відповідає за розпізнавання перешкод, їхнє обминання та розпізнавання краю поверхні, по якій буде пересуватись робот. Для тестування пересування буде використовуватись простий алгоритм. Робот ініціалює компоненти, а саме: два ультразвукових датчики, інфрачервоний датчик ліній та два мотори. Система запускає двигуни для пересування робота по поверхні, водночас запускаючи датчики для перевірки оточення.

Якщо один з ультразвукових датчиків фіксує перед собою перешкоду, тоді робот має оминати її за підготовленою інструкцією. Інструкції наступні: якщо перешкоду фіксує правий ультразвуковий датчик, тоді робот повинен повернути ліворуч. Якщо лівий датчик фіксує перешкоду, тоді робот має повернути праворуч. У випадку, якщо два ультразвукових датчиків фіксують перешкоду, це означає що перешкода знаходиться прямо перед роботом, тому робот має розвернутись і потім рухатись прямо.

Інфрачервоний датчик використовується в цій конструкції для того, щоб фіксувати край поверхні, по якій буде пересуватись робот. Весь час робот буде фіксувати, що поверхня дуже близько до неї знаходиться, проте якщо датчик фіксує різке збільшення відстані, це означає, що робот знаходиться на краю поверхні. В такому випадку робот повинен від'їхати назад, розвернутись, і рухатись прямо.

Схема алгоритму роботи руху робота зображено на рис. 3.2.

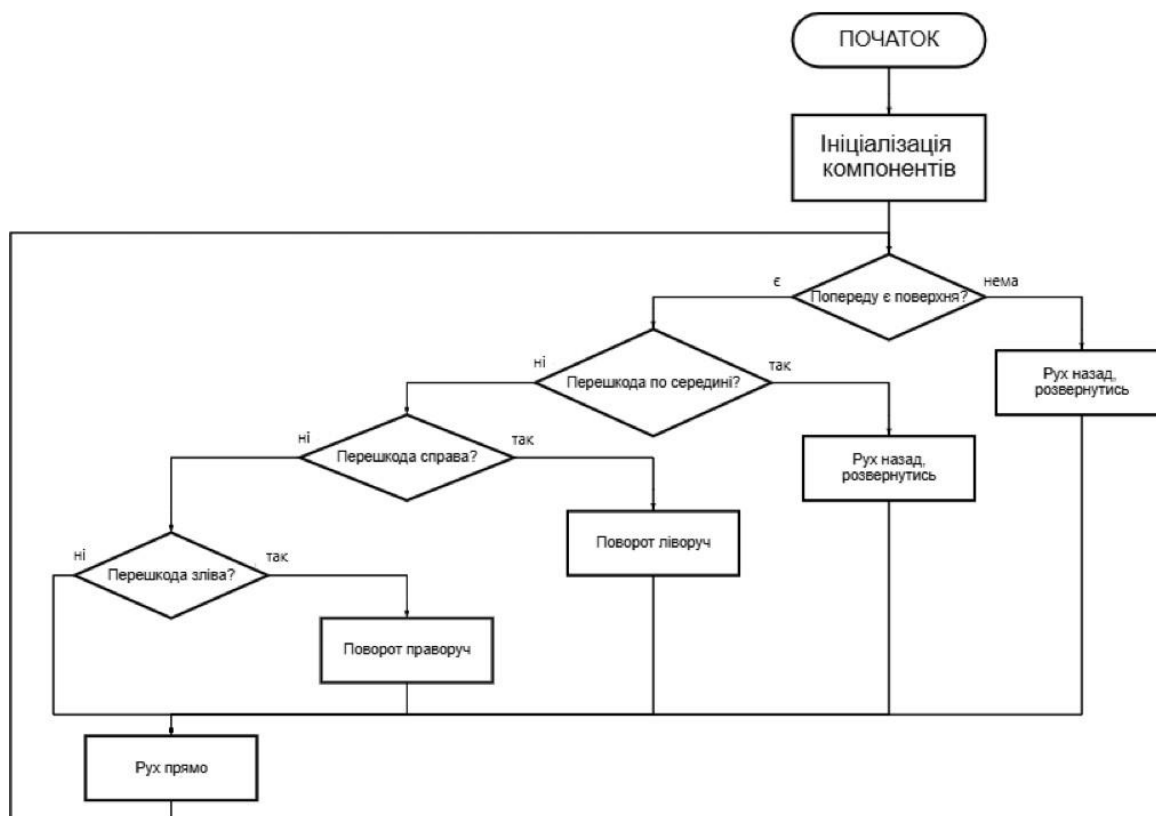


Рисунок 3.2 – Схема алгоритму руху робота

### 3.2 Розроблення конструкції

Для будови корпусу робота–асистента необхідно мати декілька варіантів конструкції. Це необхідно робити для того, щоб можна було розробити більш якісний і добре спроектований продукт.

Першою моделлю був звичайний макет – прототип із використанням стандартних компонентів. Корпусом для створення макету було обрано конструктор LEGO, через його доступність, сумісність і простоту використання. Проте, такий варіант дає можливість створити макет – прототип пристрою із додатковими функціями для відлагодження пристрою, такі як: роз’єм USB та роз’єм HDMI (у фінальному вигляді вони не будуть використовуватись). Проте, саме через пластикові деталі LEGO та їхню кількість, уся конструкція починає багато важити, що робить проблемою перевірку здатності робота пересуватись. Тому у новому варіанті макету

будуть відсутні двигуни, а пересування робота буде перевірено у програмному забезпеченні Webots R2023b.

Також було створено додаткові концепти пристрою для кінцевого користувача. На рис. 3.3 можна побачити перший концепт робота-асистента.



Рисунок 3.3 – Перший концепт робота-асистента

Перший концепт дає представлення що взагалі планується створити. Можна побачити зарядну станцію яка необхідна для заряджання робота та самого асистента. Він має бокові решітки для динаміків, дисплей і невелику камеру над дисплеєм. Пересуватиметься робот за допомогою колес. Також верхня частина робота має чутливу сенсорну панель для фізичної взаємодії з користувачем. Такий вигляд робота є цікавим, проте має декілька проблем. По – перше, Дисплей розташовано на незручному куті, через що, користувачу буде важко побачити інформацію з дисплею. По – друге, робот має на закруглені ребра, які можуть з часом стиратись. Ідея з док станцією є цікава, тому вона залишається (тільки замість контактів буде бездротова зарядка).

Через ці хиби у конструкції було прийнято рішення створити другий варіант концепту робота асистента (рис. 3.4).



Рисунок 3.4 – Другий концепт робота-асистента

Другий концепт є виправленням минулих хиб, тому маємо: округлені ребра, що робить робота більш зносостійким до тертя, екран розташовано на 45 градусів. Це робить користування роботом більш зручним та приємним.

### 3.3 Розроблення програмного забезпечення

Для реалізації взаємодії користувача з роботом-асистентом необхідно створити програмне забезпечення. Мовою програмування було обрано Python через його сумісність з платою Raspberry Pi zero W та підтримкою усіх необхідних бібліотек для реалізації проекту.

Під час розробки програмного забезпечення для робота-асистента були використані наступні бібліотеки:

```
import time
import speech_recognition as sr
import os
import socket
import threading
import RPi.GPIO as GPIO
import Adafruit_GPIO.SPI as SPI
```

```
import Adafruit_SSD1306
from PIL import Image
from PIL import ImageDraw
from PIL import ImageFont
from pushbullet import Pushbullet
from google import genai
from flask import Flask, request
```

Бібліотека `time` використовується в проєкті для роботи з часом, а саме з налаштуванням затримок між діями.

Бібліотека `speech_recognition` одна з важливих бібліотек для цього проєкту. Саме завдяки неї робот буде здатен розпізнавати голосові команди. Бібліотека підтримує велику кількість мов, в тому числі української. Нажаль доступ до використання української мови можна отримати лише за наявності платної підписки, голосове керування реалізовано на базі безкоштовної англійської мови.

Бібліотеки `os` та `socket` використовуються в проєкті для перевірки стану підключення робота до інтернету. Справа в тому, що такі бібліотеки як `speech_recognition`, `pushbullet`, `genai` та `flask` для роботи потребують підключення до інтернету, а за його відсутності, робот буде видавати помилки.

Бібліотека `threading` використовується для створення окремих потоків програми. Це необхідно робити через те, що деякі функції необхідно виконувати водночас, наприклад: рух робота, розпізнавання голосових команд та запуск сервера для роботи. Ця бібліотека дозволяє створювати та обробляти потоки одночасно, в незалежності один від одного.

Бібліотека `RPi.GPIO` використовується для того, щоб плата `Raspberry Pi` мала можливість працювати з додатковими компонентами за допомогою 40-контактному роз'єму.

Бібліотеки `Adafruit_GPIO.SPI`, `Adafruit_SSD1306` та `PIL` використовуються для можливості роботи з дисплеєм та підключенням до

пінів GPIO. Завдяки набору цих бібліотек, на екран можна виводити: текст, анімацію або різні геометричні фігури.

Бібліотека `pushbullet` використовується для надсилання `push` повідомлень на смартфон та комп'ютер. Бібліотека працює в парі із додатком `Pushbullet`. Для роботи з бібліотекою необхідно вказати ваш згенерований API ключ, пристрій на який ви хочете отримувати сповіщення, та текст.

Бібліотека `genai` використовується для роботи з штучним інтелектом від компанії Google – Gemini. Принцип налаштування майже такий самий: вам необхідно вписати свій API ключ, обрати модель яку ви бажаєте використати і написати питання яке вас цікавить. Після відправлення запиту, у консолі через деякий час з'явиться відповідь на ваш запит.

Бібліотека `flask` у проекті використовується для створення веб застосунку та обробки HTTP запитів.

Далі розглянемо оновлення, які були додані у проект.

Першим оновленням ПО робота стало вдосконалення методу розпізнавання голосових команд, а саме додавання обмеження запису звуків оточення за часом. Раніше, робот переставав записувати звуки оточення тільки тоді, коли він не фіксував ніяких звуків. Тому коли були наявні різні шумові фактори: музика, чужий голос, спів птахів, стороння розмова, робот це все записував і дуже довго аналізував. Зараз, робот записує фрагменти по 5 секунд і потім їх аналізує. Час, коли він записує звуки оточення можна зрозуміти за анімацією на екрані.

```
def listen_for_hello_voxy():
    r.adjust_for_ambient_noise(source, duration=0.5)
    print('REC...')
    try:
        audio = r.listen(source, timeout=5, phrase_time_limit=5)
        text = r.recognize_google(audio, language='en-US')
        print(text)
```

Наступним оновленням стали анімації очей робота. Справа в тому, що в минулій версії було створено усього 6 кадрів для зображення емоцій.

```
draw = ImageDraw.Draw(image)
draw.rectangle((0, 0, width, height), outline=0, fill=0)
draw.ellipse((15, 10, 55, 30), outline=1, fill=1)
draw.ellipse((72, 10, 112, 30), outline=1, fill=1)
draw.rectangle((15, 10, 55, 15), outline=0, fill=0)
draw.rectangle((72, 10, 112, 17), outline=0, fill=0)
draw.rectangle((15, 30, 55, 23), outline=0, fill=0)
draw.rectangle((72, 30, 112, 20), outline=0, fill=0)
draw.rectangle((15, 1, 55, 7), outline=0, fill=1)
draw.rectangle((72, 1, 112, 7), outline=0, fill=1)
disp.image(image)
disp.display()
```

У оновленні в деяких місцях біли додані нові емоції і анімації. Це стало можливим за допомогою створення проміжних кадрів, які створюють ілюзію наче робот може кліпати. Проте у такого способу є один мінус – дуже великий код. Справа в тому, що кожний кадр від анімації необхідно прописувати вручну. Через це, код програми може займати дуже багато строк, але це дає можливість більш точно контролювати анімацію, та слідкувати за її коректною роботою. Вигляд анімації зображено на рис. 3.5.

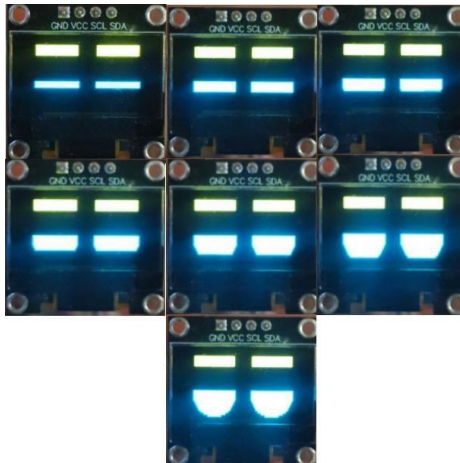


Рисунок 3.5 – Вигляд кадрів анімації

Наступним оновленням стало додавання нової функції - `def game()`.

```
def game():
    global current_web_command
    print("--- START GAME MODE ---")
    Вивід тексту (Game Mode)
    while True:
        if current_web_command is not None:
            cmd = current_web_command
            current_web_command = None
            if cmd == "stop":
                Вивід тексту (Return)
                print("Stop")
                return listen_for_hello_voxy()
            elif cmd == "up":
                Вивід тексту (UP)
                print("UP")
            elif cmd == "down":
                Вивід тексту (DOWN)
                print("DOWN")
```

```

elif cmd == "left":
    Вивід тексту (LEFT)
    print("LEFT")
elif cmd == "right":
    Вивід тексту (RIGHT)
    print("RIGHT")
dist = get_sonar_distance()
if dist is not None and dist < 20:
    draw = ImageDraw.Draw(image)
    draw.rectangle((0, 0, width, height), outline=0, fill=0)
    draw.ellipse((15, 10, 55, 30), outline=1, fill=1)
    draw.ellipse((72, 10, 112, 30), outline=1, fill=1)
    draw.rectangle((15, 10, 55, 9), outline=0, fill=0)
    draw.rectangle((72, 10, 112, 9), outline=0, fill=0)
    draw.rectangle((15, 30, 55, 29), outline=0, fill=0)
    draw.rectangle((72, 30, 112, 29), outline=0, fill=0)
    draw.rectangle((15, 1, 55, 7), outline=0, fill=1)
    draw.rectangle((72, 1, 112, 7), outline=0, fill=1)
    disp.image(image)
    disp.display()
    print(f"Sonar: {dist} sm")
if GPIO.input(23) == 0:
    draw = ImageDraw.Draw(image)
    draw.rectangle((0, 0, width, height), outline=0, fill=0)
    draw.ellipse((15, 10, 55, 30), outline=1, fill=1)
    draw.ellipse((72, 10, 112, 30), outline=1, fill=1)
    draw.rectangle((15, 10, 55, 17), outline=0, fill=0)
    draw.rectangle((72, 10, 112, 17), outline=0, fill=0)
    draw.rectangle((15, 30, 55, 20), outline=0, fill=0)
    draw.rectangle((72, 30, 112, 20), outline=0, fill=0)

```

```

draw.rectangle((15, 1, 55, 7), outline=0, fill=1)
draw.rectangle((72, 1, 112, 7), outline=0, fill=1)
disp.image(image)
disp.display()
print("IR Work")
time.sleep(0.05)

```

При запуску цієї функції запускається ігровий режим. Це режим було створено для демонстрації можливостей взаємодії користувача з роботом-асистентом за допомогою його сенсорної системи: ультразвукового датчику, інфрачервоного датчику і сенсорного екрана смартфона. Функція працює наступним чином: датчики починають працювати. Якщо вони фіксують якийсь об'єкт, вони виконують задані їм інструкції, а саме: якщо спрацював УЗ датчик – робот відкриває очі, якщо спрацював ІЧ датчик – робот їх заплющує. Додатково було створено реакцію робота на взаємодію зі смартфоном в якості сенсорної панелі. До робота під'єднується смартфон через спеціально написаний код на HTML. Робот весь час перевіряє статус кнопок на веб сторінці. Усього кнопок 5: up, down, left, right, stop. При натисканні на одну з кнопок направлення, робот буде виводити надпис на свій дисплей, повторюючи назву направлення. Якщо ж користувач натисне кнопку stop, робот повернеться до режиму прослуховування фрази для активації робота.

Останнім великим оновленням стало додавання штучного інтелекту Google Gemini до робота-асистента. Завдяки інтеграції ШІ, робот-асистент спроможний не тільки робити стандартні запрограмовані дії, наприклад запис подій у внутрішній календар, будильник, тощо, а давати відповіді на запитання та допомагати користувачу у пошуку інформації [19]. Такий підхід робить з робота-асистента не звичайну голосову записну книжку-органайзер, а справжнього домашнього розумного голосового асистента.

```
def gemini():
```

```

mic = sr.Microphone()
with mic as source:
    r.adjust_for_ambient_noise(source, duration=0.5)
    try:
        audio = r.listen(source, timeout=3, phrase_time_limit=3) # Adjust the
timeout as needed

        user_question = r.recognize_google(audio, language='en-US')
        print(f"You asked: {user_question}")
        prompt = f"{user_question} in a few words"
        response = client.models.generate_content(
            model="gemini-2.5-flash",
            contents=prompt,
        )
        gemini_answer = response.text
        print(f"Gemini Answer: {gemini_answer}")
        pb = Pushbullet("API_KEY")
        print(pb.devices)
        dev = pb.get_device('Xiaomi M2006C3LG')
        push = dev.push_note("Answer", gemini_answer)
        print("Answer sended")
        return listen_for_hello_voxy()
    except sr.WaitTimeoutError:
        return
    except sr.UnknownValueError:
    except sr.RequestError as e:
    except sr.RequestError:
        print("Internet Connection Lost")
        return check_internet_connection()

```

Алгоритм роботи цього блоку наступний: перш за все запускається оновлена функція запису оточення та на дисплей виводиться емоція із знаками питання замість очей. Це створено для того, щоб користувач отримував візуальну підказку розумів, коли він може задавати запитання. Після цього, відбувається аналіз записаного голосу, який транскрибується та запам'ятовується у вигляді тексту. Далі програма створює промпт (запит) із додаванням у кінець фразу «in a few words». Справа в тому, якщо робити звичайний запит, тоді штучний інтелект буде давати розгорнуту, велику відповідь. Через це користувач буде отримувати велике повідомлення на свій телефон, яке буде перенавантажувати шторку повідомлень смартфону Тому додавання цієї фрази необхідно зробити для того, щоб штучний інтелект давав стислу відповідь, не навантажував систему робота-асистента та економив токени [4]. Після отримання відповіді, вона відправляється користувачу на смартфон через застосунок Pushbullet у вигляді push повідомлення.

Також було окремо створено програмне забезпечення для руху робота та його обминання перешкод. Це було необхідно зробити для того, щоб зменшити навантаження на плату мікрокомп'ютера. Перевірка роботи руху робота та його можливостей для оминання перешкод було перевірено у програмі WebotsR2023b (рис. 3.6).

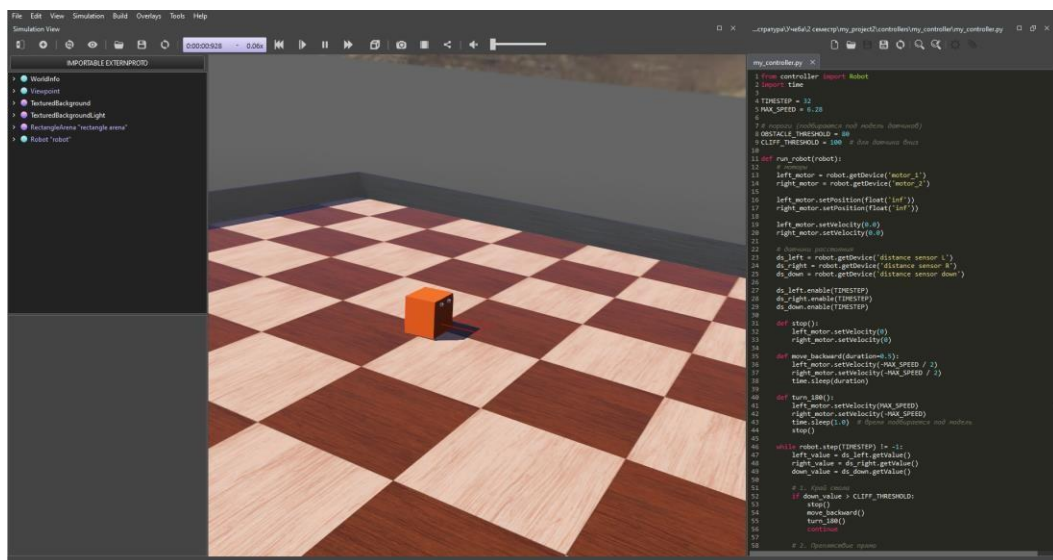


Рисунок 3.6 – Тестування руху робота у програмі WebotsR2023b

### 3.4 Проведення експериментів та аналіз отриманих результатів

На базі створеного робота і оновленого програмного забезпечення, були проведені такі експерименти як: порівняння роботи датчика ультразвуку та інфрачервоного датчика, час запуску оновленої програми у порівнянні з старим варіантом та час реакції розпізнавання голосової команди у порівнянні з старим варіантом.

Експеримент на порівняння датчику ультразвуку та інфрачервоного датчику ліній було проведено для того, щоб можна було перевірити, який датчик більше підходить для взаємодії з людиною, і який датчик має менше хиб при роботі.

Інфрачервоний датчик має на своїй платі потенціометр, який можна розділити на умовні 100 дільників, яким можна регулювати чутливість для розпізнавання об'єктів. Якщо поставити потенціометр на нульове значення, тоді датчик не буде ні на що реагувати. Якщо повернути потенціометр на пару дільників, тоді датчик почне виявляти об'єкти при дотику до чутливої зони. При виставленні потенціометра на половину, тоді датчик буде здатний виявляти об'єкти на відстані приблизно 1 сантиметру. При виставленні потенціометра на 75 дільників, потенціометр буде розпізнавати об'єкти на відстані 2–3 сантиметрів, проте з'являються хиби, і датчик починає розпізнавати об'єкти тоді, коли їх нема. При виставленні потенціометра на максимум, він постійно буде надсилати повідомлення, що об'єкт розпізнано. Графік працездатності ІЧ датчика в залежності від положення потенціометра зображено на рис. 3.7



Рисунок 3.7 – графік працездатності ІЧ датчика

Наступним етапом стала перевірка роботи ультразвукового датчику. Під час проведення експерименту було виявлено, що на відстані 10 сантиметрів і більше, датчик іноді може давати хибні значення, але на відстані до 10 сантиметрів, значення стають сталі, і відповідають дійсності. Графік точності ультразвукового датчику в залежності від відстані зображено на рис. 3.8.



Рисунок 3.8 – Графік точності УЗ датчика

Якщо порівнювати датчики у результатах, тоді можна зробити такий висновок: якщо потрібно використати датчик, який буде реагувати на різні об'єкти на дуже близькій дистанції до 1 сантиметра, краще використовувати ІЧ датчик. У протилежному випадку, якщо необхідно щоб робот реагував на дистанції, краще використовувати УЗ датчик.

Другий експеримент було проведено для того, щоб перевірити запас потужності мікрокомп'ютера у виконанні старого програмного коду робота і нового, оновленого. Вимірювання проходило таким чином: запускався код логіки робота-асистента. Після запуску, проходить стандартна програмна затримка, і потім починається перевірка усіх бібліотек та компонентів. У цей момент і починався відлік часу. Після проведення експерименту маємо час швидкості запуску коду робота. Результати занесено до таблиці 3.1. За отриманими результатами було побудовано графік порівняння часу запуску коду програм (рис. 3.9).

Таблиця 3.1 – Результати експерименту на швидкість запуску коду робота

Час запуску старого коду	Час запуску оновленого коду
4,13 с	49,22 с
3,98 с	47,84 с
4,26 с	48,64 с
3,79 с	49,35 с
4,03 с	47,71 с



Рисунок 3.9 – Графік швидкості запуску програми

Оцінивши отримані результати можемо зробити висновок, що внесені оновлення для мікрокомп'ютера Raspberry Pi zero W є серйозними, тому оновлений код він запускає у 12 разів повільніше ніж старий варіант. Для подальшого оновлення програмного забезпечення і додавання нових функцій необхідно плати на більш потужну.

Останнім експериментом була порівняна оцінка швидкості та якості розпізнавання голосових команд старого та оновленого програмного забезпечення. Експеримент проходив таким чином: після запуску командного забезпечення і перевірки компонентів робот починає записувати звуки оточення, очікуючи ключову фразу для активації голосового асистенту. Про початок запису робот інформує користувача анімацією напіввідкритих очей. Як раз у цей момент користувач може сказати ключову фразу. Час починав фіксуватись після того, як була вимовлена фраза: «hello voxy». Також фіксувалися результати розпізнавання. Після проведення експерименту, маємо час та інформацію якості розпізнавання команди. Результати експерименту занесено до таблиці 3.2. За отриманими результатами було побудовано діаграму порівняння старого та нового алгоритму (рис. 3.10).

Таблиця 3.2 – Результати експерименту на швидкість та якість розпізнавання голосових команд

Час розпізнавання старого ПО	Результат розпізнавання	Час розпізнавання оновленого ПО	Результат розпізнавання
1:58,20	-	7,76	+
1:30,35	+	8,88	+
1:46,52	+	8,44	-
2:03,12	-	8,35	+
1:52,36	-	9,04	+
1:33,98	+	9,42	+
1:44,56	-	13,61	+
1:39,75	+	11,58	+
2:01,01	-	8,9	+
1,56,23	+	7,19	+

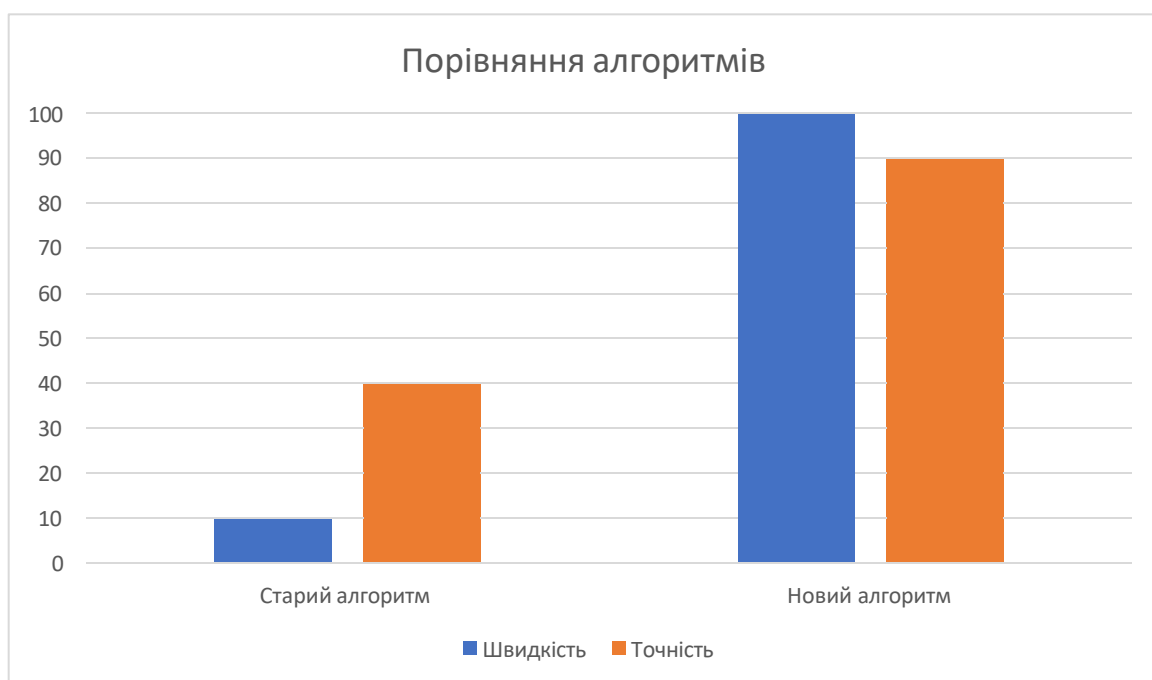


Рисунок 3.10 – Діаграма порівняння старого та нового алгоритму

Проаналізувавши отримані дані, можемо зробити висновок, що час розпізнавання зменшився майже у 12 разів, а частота розпізнавання зростає на 40%.

За отриманими даними можна зробити висновок, що оновлення логіки розпізнавання голосових команд збільшило не лише час розпізнавання, а і його якість незважаючи на те, що робот-асистент при виконанні оновленого коду працює повільніше.

Додатково, був проведено експеримент на якість розпізнавання нового алгоритму різних голосів. Через те, що кожна людина має свій акцент, тональність голосу або має якісь дефекти у мовленні, робот може не зчитувати команди або зчитувати некоректно. Результати якості розпізнавання зображено на рис. 3.11.

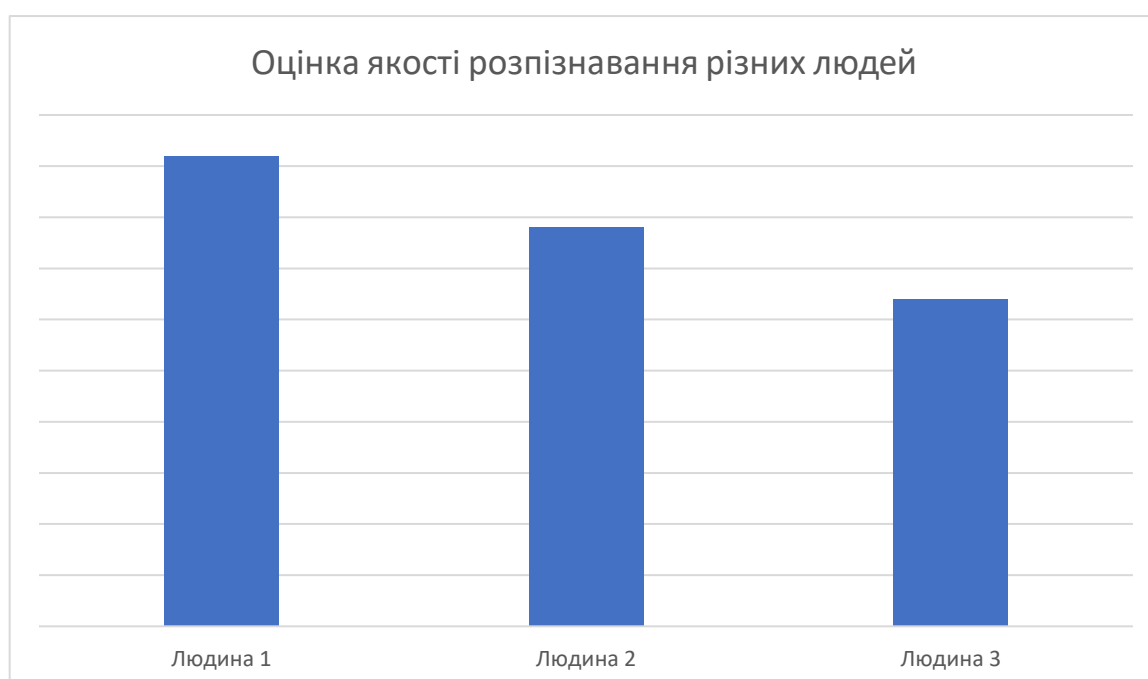


Рисунок 3.11 – Якість розпізнавання різних голосів

В експерименті участь приймало 3 людини: дорослий чоловік, маленька дівчинка та дитина з дефектом у мовленні. За отриманим графіком можемо зрозуміти, що робот добре розпізнає голосові команди дорослого, команди дитини також розпізнає нормально, а дитину з дефектом у мовленні може іноді

не розпізнавати. Це пов'язано із тим, що робот може почути деякі слова неправильно, тому і з'являються помилки при розпізнаванні команди

Фінальним експериментом стала перевірка часу відповіді штучним інтелектом на різних пристроях. Для проведення цього експерименту було обрано 3 пристрої: розроблений робот-асистент, смартфон та комп'ютер. Моделлю штучного інтелекту було обрано gemini-2.5-flash, тому що вона безкоштовна, не потребує наявності підписки, доступна для використання у домашніх проектах через використання API, та нову модель Gemini 3 fast, яка доступна на звичайних пристроях. Для перевірки швидкості буде використовуватись різноманітні промпти: «Who is Michael Jackson in a few words?», «What is the year now in a few words?» та «What is the wether in Kharkiv now in a few words?» та інші<sup>0</sup>. Завдяки цим промптам ми зможемо перевірити як штучний інтелект надасть відповіді, як швидко та чи правильно він надає інформацію. За отриманими даними в результаті експерименту було побудовано порівнювальну діаграму (рис. 3.12).

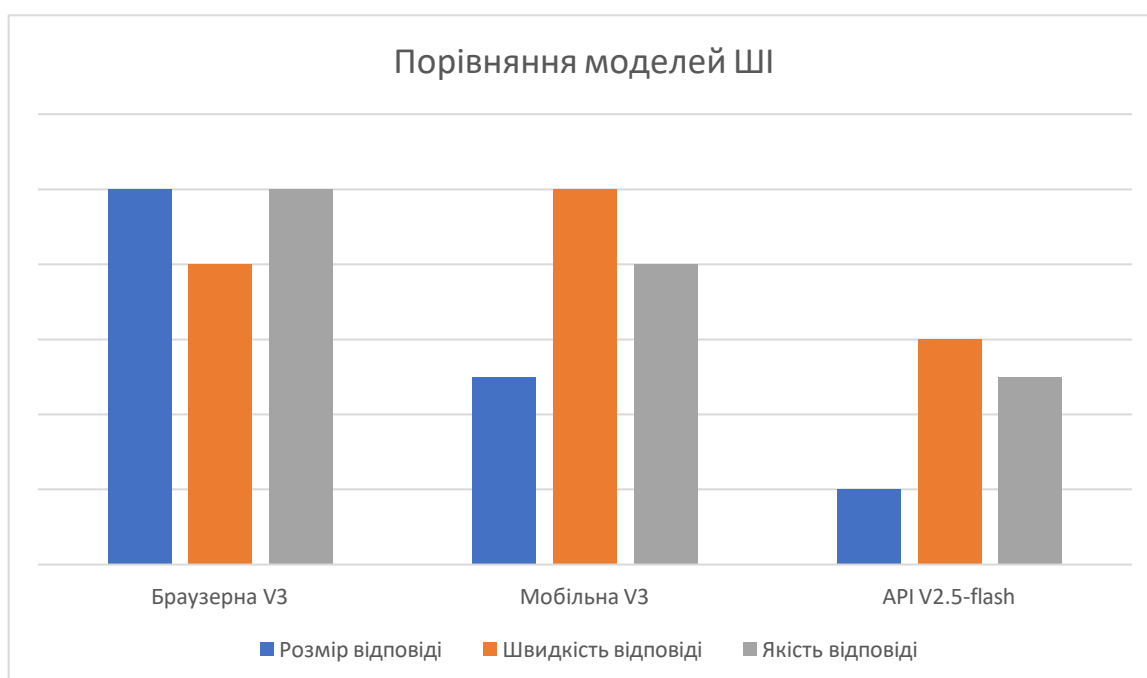


Рисунок 3.12 – Результати порівняння ШІ на різних пристроях

На графіку бачимо різні стовпчики порівняння моделей ШІ на різних пристроях. Синім стовпчиком показано розмір відповіді (чим менше тим краще). У кінець кожного промту було додано фразу «in a few words», для скорочення відповіді. Як можемо побачити за діаграмою, браузерна версія всеодно надає багато інформації, мобільна надає менше тексту а модель яка використовується у роботі надає коротку відповідь, що для нашого робота є необхідним. Далі були перевірено швидкість відповіді. На графіку результати позначені помаранчевим (чим більше, тим краще). Бистріше за усіх надала відповідь мобільна версія, а повільніше за всіх – API версія. Це можна пояснити тим, що мобільна версія має додаткові налаштування швидкості відповіді, тому що користувачу важливо швидко отримати відповідь, а API версія – це просто пробник, для індивідуальних проєктів. Фінальним етапом була перевірка якості та достовірності відповіді. На графіку результати позначені сірим кольором (чим більше, тим краще) Як можемо побачити найнижчий показник має API версія. Було помічено, що модель може надавати корекну інформацію тільки до 2023 – 2024 року (наприклад на запит: «Який зараз рік?», ШІ відповідав 2024, а на запит останньої моделі Iphone (на даний момент існує лінійка смартфонів Iphone 17), відповіддю було Iphone 15 (рік випуску – 2023). Це було зроблено компанією Google для того, щоб користувачі могли лише протестувати безкоштовну модель для роботи, а не використовувати у комерційних проєктах.

### 3.5 Охорона праці

Розробка та експлуатація роботів-асистентів потребує дотримання норм охорони праці, пов'язаних із роботою за комп'ютером та використанням електронного обладнання. Під час роботи основними небезпеками для здоров'я людини є перевтома очей від тривалої роботи за моніторами, ризик ураження електричним струмом під час підключення, налаштування або

ремонту обладнання, головні болі від довготривалої роботи з ультразвуковими датчиками.

Для роботи у звичайному офісному кабінеті рекомендується освітлення від 300 до 500 лк. Так як розробка робота-асистента це доволі довгий і важкий процес який потребує точність, тоді необхідно забезпечити промтрір де проходить розробка достатнім рівнем освітлення. У нашому випадку, рекомендується освітлення від 750 до 1000 лк. Такий рівень яскравості освітлення буде забезпечувати комфортні умови для роботи. Також під час роботи необхідно робити невеликі перерви для відпочинку очей і мозку. Це збільшить продуктивність та зменшить ризик перевтоми [22].

Дотримання цих норм забезпечує безпечні умови праці при розробці та тестуванні робота-асистента та його сенсорної системи.

### 3.6 Висновки до 3 розділу

У третьому розділі було було спроектовані 3Д моделі робота-асистента. Було придумано та оновлено дизайн для комфортного користування. Були враховані такі фактори як: знос ребер пристрою, кут екрану та сенсорну зону для взаємодії з роботом.

Було розроблено та оновлено програмний код робота-асистента. Був оновлений алгоритм розпізнавання голосових команд та анімації очей, зробивши їх більш плавними додавши додаткові кадри анімації. Було створено і додано нові функції. Перша функція відповідає за демонстрацію взаємодії з роботом-асистентом за допомогою датчиків та екрану. Друга функція – це інтеграція безкоштовної моделі ШІ для створення голосового помічника із функцією надсилання відповіді на смартфон користувача у вигляді push повідомлень.

Були проведені експерименти на вплив оновлень на систему, швидкість та якість розпізнавання голосових команд, порівняння якості роботи ультразвукового датчику та датчику ліній, та порівняння швидкодії та якості

відповіді штучного інтелекту на різних пристроях. Перший експеримент показав, що оновлення програмного коду дуже сильно навантажує систему робота-асистента. Для вирішення цієї проблеми необхідно вдосконалити основу робота – мікрокомп'ютер. Другий експеримент, на швидкість розпізнавання голосових команд, показав, що оновлення алгоритму не тільки пришвидшило час розпізнавання голосових команд, а і підвищило частоту вдалих спроб розпізнавань. Додатково було проведено експеримент на розпізнавання команд від різних людей. Третій експеримент було проведено для аналізу роботи УЗ та ІЧ датчиків та порівняння результатів. За отриманими результатами було зроблено такий висновок: якщо потрібно використати датчик, який буде реагувати на різні об'єкти на дуже близькій дистанції до 1 сантиметра, краще використовувати ІЧ датчик. У протилежному випадку, якщо необхідно щоб робот реагував на дистанції, краще використовувати УЗ датчик. Четвертий експеримент було проведено для порівняння роботи моделей ШІ на різних пристроях. Для перевірки були обрані моделі Gemini 3 та API Gemini 2.5 Flash (плата Raspberry Pi zero W не підтримує роботу з Gemini 3). За отриманими результатами експериментів можна зробити висновок, що API Gemini 2.5 Flash підходить тільки для тестування роботи штучного інтелекту у макетах.

## ВИСНОВКИ

Під час виконання кваліфікаційної роботи були проаналізовані готові рішення роботів-асистентів, їх функціонал, можливості взаємодії з користувачем та сенсорну систему. Було проаналізовано використання ШІ у роботах-асистентах. Проаналізовані датчики, та оновлено макет голосового робота-асистента з додаванням інфрочероного датчика, ультразвукового датчика та смартфона в якості сенсорної панелі для демонстрації можливостей взаємодії робота з користувачем.

Спроектовано дизайн робота-асистента, та оновлено програмний код логіки із додаванням нових функцій та оптимізації старих команд.

Були проведені експеримента на вплив оновлення на систему, швидкість та якість розпізнавання голосових команд, та порівняння якості роботи ультразвукового датчику та датчику ліній. Перший експеримент показав, що оновлення програмного коду дуже сильно навантажує систему робота-асистента. Для вирішення цієї проблеми необхідно вдосконалити основу робота – мікрокомп'ютер. Другий експеримент, на швидкість розпізнавання голосових команд, показав, що оновлення алгоритму не тільки пришвидшило час розпізнавання голосових команд, а і підвищило частоту вдалих спроб розпізнавань. Додатково було проведено дослід на розпізнавання голосових команд від трьох різних людей, із різними голосами та особливостями у мовленні. Третій експеримент було проведено для аналізу роботи УЗ та ІЧ датчиків та порівняння результатів. За отриманими результатами було зроблено такий висновок: якщо потрібно використати датчик, який буде реагувати на різні об'єкти на дуже близькій дистанції до 1 сантиметра, краще використовувати ІЧ датчик. У протилежному випадку, якщо необхідно щоб робот реагував на дистанції, краще використовувати УЗ датчик.

Отримані результати свідчать про можливість практичного застосування досліджень щодо розробки роботів-асистентів та методів їх взаємодії з користувачем для подальшого вдосконалення.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. ДСТУ 3008:2015. Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення. – К.: ДП «УкрНДНЦ», 2016. – 31 с.
2. Методичні вказівки з підготовки та захисту кваліфікаційної роботи здобувачами другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності 174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка освітньо професійних програм: «Комп'ютерно-інтегровані технологічні процеси і виробництва»; «Комп'ютеризовані та робототехнічні системи» / Упоряд. І. Ш. Невлюдов, Р. В. Артюх, В. В. Безкоровайний, Н. П. Демська, В. В. Євсєєв, О. І. Филипченко, О. М. Цимбал. Харків: ХНУРЕ, 2024. 57 с.
3. Проценко Д. Є. Аналіз роботи з штучними інтелектами / Д. Є. Проценко // Автоматизація та Приладобудування («Automation and Development of Electronic Devices» ADED-2025) [Електронний ресурс] : збірник студентських наукових статей / Харківський національний університет радіоелектроніки ; [редкол.: І.Ш. Невлюдов та ін.]. – Харків : ХНУРЕ, 2025. – Вип. 2. – 207с. С.116-119.
4. Xiaomi Mi Robot Vacuum Mop Essential. miStores.sk. URL: <https://www.mistores.sk/produkt/xiaomi-mi-robot-vacuum-mop-essential/?ukonceny-predaj> (дата звернення: 15.12.2025).
5. Xiaomi X20 Max - Robot vacuum cleaner, BHR9220EU | Avitela becomes Elesen. Elesen. URL: <https://www.elesen.lt/en/housekeeping/vacuum-cleaners/robotic-vacuum-cleaners/bhr9220eu/xiaomi-x20-max-wet-dry-black-robot-vacuum-cleaner> (дата звернення: 09.10.2025).
6. Проценко Д. Є. Порівняння методів взаємодії з асистентами / Дмитро Євгенійович Проценко // Матеріали II Всеукраїнської конференції «Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки» - 2025 - С. 93–96

7. The New Robot Kickstarter by Anki Is Powered By Qualcomm. Forbes. URL: <https://www.forbes.com/sites/tiriasresearch/2018/08/10/the-new-robot-kickstarter-by-anki-is-powered-by-qualcomm> (дата звернення: 14.10.2025).

8. EMO - Specs - LivingAI. LivingAI. URL: <https://living.ai/emo-specs/> (дата звернення: 20.10.2025).

9. Qualcomm Application Processors | IoT | Driving Innovation. URL: <https://www.qualcomm.com/processors/application-processors> (дата звернення: 14.10.2025).

10 APQ8009. Qualcomm: Intelligent Computing Everywhere. URL: <https://www.qualcomm.com/processors/application-processors/products/apq8009> (дата звернення: 19.11.2025).

11. Ультразвуковий датчик відстані HC-SR04. Arduino в Україні. URL: [https://arduino.ua/prod182-yltrazvykovoi-datchik-rasstoyaniya-hc-sr04?srsId=AfmBOoqepOjofUq2-RExy6yhHLT3zjV6AkBqrAy\\_fHTKJxC2rrDqgtDf](https://arduino.ua/prod182-yltrazvykovoi-datchik-rasstoyaniya-hc-sr04?srsId=AfmBOoqepOjofUq2-RExy6yhHLT3zjV6AkBqrAy_fHTKJxC2rrDqgtDf) (дата звернення: 15.12.2025).

12. Датчик лінії KY-033 на TCRT5000. Arduino в Україні. URL: [https://arduino.ua/prod2557-datchik-linii-ky-033-na-tcrt5000?srsId=AfmBOoqMfqDLA7NvmHCdWpoqGiSzEwYuKKiC\\_07Z6GKe3hVeDdnXf1Gb](https://arduino.ua/prod2557-datchik-linii-ky-033-na-tcrt5000?srsId=AfmBOoqMfqDLA7NvmHCdWpoqGiSzEwYuKKiC_07Z6GKe3hVeDdnXf1Gb) (дата звернення: 15.12.2025).

13. LiDAR TF LUNA LASER SENSOR - 8M - Vroda. VRODA.co.ua. URL: [https://www.vroda.co.ua/product/lidar-tf-luna-laser-distray-datchik---8m\\_9525201267](https://www.vroda.co.ua/product/lidar-tf-luna-laser-distray-datchik---8m_9525201267) (дата звернення: 15.12.2025).

14. Raspberry Pi AI Camera. SparkFun Electronics - SparkFun Electronics. URL: <https://www.sparkfun.com/raspberry-pi-ai-camera.html> (дата звернення: 15.12.2025).

15. Prakash A. Raspberry Pi Zero W Specs, Features and More. It's FOSS. URL: <https://itsfoss.com/raspberry-pi-zero-w/> (дата звернення: 15.12.2025).

16. USB Міні мікрофон MI-305 для Raspberry Pi. Arduino в Україні. URL: <https://arduino.ua/prod3301-usb-mini-microphone-for-raspberry-pi?srsId=AfmBOopijefVERT33T->

nwzoO91wuOU2NUWVWrHTCxNEjKGEBoMTsQGSE (дата звернення: 15.12.2025)..

17. OLED дисплей 0.96" I2C 128x64. Arduino в Україні. URL: <https://arduino.ua/prod1264-oled-displei-modyl-sinii?srsId=AfmBOopROGHBqR4XM5pwj6-3NH36knuoJbApYS6YFBMgkUffCVee80qm> (дата звернення: 15.12.2025).

18. Сенсорний датчик-кнопка TTP223B. Arduino в Україні. URL: <https://arduino.ua/prod1151-sensornii-datchik-knopka-ttp223b?srsId=AfmBOoo6XDbv455qc57YlisXysEC9CYwEsaCIIJwrE8hHR9KoQdILink> (дата звернення: 15.12.2025).

19. Google AI Studio. Google AI Studio. URL: <https://aistudio.google.com/?project=gen-lang-client-0494708156> (дата звернення: 15.12.2025).

20. Gemini API | Google AI for Developers. Google AI for Developers. URL: <https://ai.google.dev/gemini-api/docs> (дата звернення: 15.12.2025).

21. Lio-A Personal Robot Assistant for Human-Robot Interaction and Care Applications / J. Miseikis та ін. IEEE Robotics and Automation Letters. 2020. Т. 5, № 4. С. 5339–5346. URL: <https://doi.org/10.1109/lra.2020.3007462> (дата звернення: 02.12.2025).

22. Фесенко А. О. Аналіз характеристик параметрів навколишнього середовища у виробничих приміщеннях / А. О. Фесенко // Автоматизація та Приладобудування («Automation and Development of Electronic Devices» ADED- 2025) : збірник студентських наукових статей. – Харків : ХНУРЕ, 2025. – Вип. 2. – С. 164-170

23. Невлюдов І.Ш. , Андрусевич А.О., Євсєєв В.В. Проектування мобільних роботів на базі одноплатних комп'ютерів (Raspberry Pi та мови Python 3.6) Харків ФОП Панов А.М.. 2020. Р.264. ISBN 978-617-7859-56-6