

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії
(повна назва факультету)

Кафедра комп'ютерних систем та мереж
(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: *Комп'ютеризована система розпізнавання звуку для людей з вадами слуху*

Виконав: студент 4 курсу, групи СІ-42
спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія»

(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

Слободний К.М.

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Стадник Н.Б.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Тили Є.В.

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Осухівська Г.М.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

Ясній О.П.

(прізвище та ініціали)

Тернопіль
2025

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії
(повна назва факультету)

Кафедра комп'ютерних систем та мереж
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
Осухівська Г.М.
(підпис) (прізвище та ініціали)
«27» січня 2025 р.

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня бакалавр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 123 «Комп'ютерна інженерія»
(шифр і назва спеціальності)

студента Слободного Костянтина Михайловича
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Комп'ютеризована система розпізнавання звуку для людей з вадами слуху

Керівник роботи Стадник Наталія Богданівна, к.т.н., старший викладач кафедри КС
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 27 » січня 2025 року № 4/7-53

2. Термін подання студентом завершеної роботи 19.06.2025

3. Вихідні дані до роботи Технічне завдання

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ. 1. Аналіз технічного завдання

2. Проєктна частина

3. Практична частина

4. Безпека життєдіяльності, основи охорони праці.

Висновки

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

1. Схема електрична структурна E1

2. Схема електрична принципова E2

3. Схема тестового макету

4. Схема алгоритму роботи

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Безпека життєдіяльності, основи охорони праці</i>	<i>Пилипець М.І., д.т.н., проф. каф. МТ</i>		

7. Дата видачі завдання 27.01.2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	<i>Розробка технічного завдання.</i>	<i>27.01 – 02.02</i>	<i>Викон.</i>
2.	<i>Робота над розділом 1 – Аналіз технічного завдання</i>	<i>10.04 – 25.04</i>	<i>Викон.</i>
3.	<i>Робота над розділом 2 – Проектна частина</i>	<i>26.04 – 03.05</i>	<i>Викон.</i>
4.	<i>Робота над розділом 3 – Практична частина</i>	<i>04.05 – 13.05</i>	<i>Викон.</i>
5.	<i>Безпека життєдіяльності, основи охорони праці</i>	<i>14.05 – 25.05</i>	<i>Викон.</i>
6.	<i>Оформлення пояснювальної записки і графічного матеріалу</i>	<i>26.05 – 08.06</i>	<i>Викон.</i>
7.	<i>Перевірка на академічний плагіат, перевірка керівником та консультантами</i>	<i>9.06 – 15.06</i>	<i>Викон.</i>
8.	<i>Попередній захист кваліфікаційної роботи бакалавра</i>	<i>16.06 – 22.06</i>	<i>Викон.</i>
9.	<i>Захист кваліфікаційної роботи бакалавра</i>	<i>26.06</i>	<i>Викон.</i>

Студент

(підпис)*Слободний К.М.*

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)*Стадник Н.Б.*

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Слободний К.М. Комп'ютеризована система розпізнавання звуку для людей з вадами слуху: робота на здобуття кваліфікаційного ступеня бакалавра: спец. 123 — комп'ютерна інженерія. Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2025.

Ключові слова: розпізнавання звуків, мікроконтролер, esp32, цифровий мікрофон, швидке перетворення Фур'є, вбудовані системи, класифікація звукових сигналів, програмне забезпечення.

Кваліфікаційну роботу бакалавра присвячено розробці комп'ютеризованої системи розпізнавання звуків для допомоги людям з вадами слуху на основі мікроконтролера ESP32. На основі аналізу аналогів сформовано загальну структуру пристрою та обґрунтовано вибір апаратного і програмного забезпечення. Розроблено електричну принципову схему, обрано метод цифрової обробки сигналів за допомогою швидкого перетворення Фур'є, описано алгоритм класифікації звукових подій. Система дозволяє розпізнавати характерні звуки (наприклад, сирени, голоси, крик), виводити інформацію на OLED-дисплей та здійснювати візуальне попередження за допомогою LED-індикації. Реалізовано програмне забезпечення для тестування і прототипування системи. Розглянуто питання безпеки життєдіяльності та охорони праці при розробці та експлуатації електронних пристроїв, а також вплив шуму на людину.

ANNOTATION

Slobodnyi K.M. Computerized sound recognition system for people with hearing impairments: Bachelor's Graduation Thesis: speciality 123 — computer engineering. Ternopil: Ternopil Ivan Puluj National Technical University, 2025.

Keywords: sound recognition, microcontroller, ESP32, digital microphone, Fast Fourier Transform, embedded systems, sound signal classification, software.

This bachelor's qualification work is dedicated to the development of a computerized sound recognition system designed to assist people with hearing impairments, based on the ESP32 microcontroller. Based on the analysis of existing solutions, the overall structure of the device was formulated, and the selection of hardware and software components was justified. A schematic circuit diagram was developed, and the method of digital signal processing using the Fast Fourier Transform was chosen. The algorithm for classifying sound events was described. The system is capable of recognizing characteristic sounds (e.g., sirens, voices, screams), displaying the information on an OLED screen, and providing visual alerts via LED indicators. Software for testing and prototyping the system was implemented. The work also addresses occupational health and safety considerations during the development and use of electronic devices, as well as the general impact of noise on human health.

ЗМІСТ

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ.....	8
ВСТУП.....	9
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ.....	10
1.1 Загальна характеристика завдання.....	10
1.2 Функціональні вимоги до системи.....	11
1.3 Вимоги до апаратного та програмного забезпечення.....	13
1.3.1 Апаратне забезпечення.....	13
1.3.2 Програмне забезпечення.....	15
1.4 Огляд існуючих рішень та аналогів.....	18
РОЗДІЛ 2 ПРОЄКТНА ЧАСТИНА.....	20
2.1 Розробка узагальненої структури комп'ютерної системи.....	20
2.2 Обґрунтування вибору апаратного забезпечення проектного комп'ютерного засобу.....	23
2.2.1 Вибір мікроконтролера.....	23
2.2.2 Вибір мікрофона.....	25
2.2.3 Вибір екрану.....	26
2.2.4 Вибір решти компонентів.....	27
2.3 Обґрунтування вибору програмного забезпечення проектного комп'ютерного засобу.....	28
2.4 Принципи побудови вбудованих систем реального часу.....	30
2.5 Апаратне та конструктивне проєктування комп'ютерного засобу.....	33
РОЗДІЛ 3 ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА.....	36
3.1 Реалізація проєктних рішень.....	36
3.2 Тестування.....	45

					КС КРБ 123.236.00.00 ПЗ						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							
Розроб.		Слободний К.М.			Комп'ютеризована система розпізнавання звуку для людей з вадами слуху			Літ.	Арк.	Аркуші	
Перевір.		Стадник Н.Б.								6	77
Реценз.		Ясній О.П.						ТНТУ, каф. КС, гр. CI-42			
Н. Контр.		Тиш Є.В.									
Затверд.		Осухівська Г.М.									

РОЗДІЛ 4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ...	49
4.1 Оцінка технологічного процесу щодо умов електробезпеки.....	49
4.2 Заходи щодо захисту від ураження електричним струмом.....	51
4.3 Вплив звуку та шуму на людину. Акустична безпека.....	53
ВИСНОВКИ.....	56
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	58
Додаток А Технічне завдання	
Додаток Б Перелік елементів електричної принципової схеми	
Додаток В Лістинг програмного забезпечення КС	

					КС КРБ 123.236.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ

ADC – Analog-to-Digital Converter

FFT – Fast Fourier Transform

GPIO – General-Purpose Input/Output

I2C – Inter-Integrated Circuit

I2S – Integrated Interchip Sound

IDE – Integrated Development Environment

LED – Light Emitting Diode

MEMS – Micro-Electro-Mechanical Systems

OLED – Organic Light Emitting Diode

USB – Universal Serial Bus

Wi-Fi – Wireless Fidelity

ESP32 – Embedded Serial Processor 32-bit

					<i>КС КРБ 123.236.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Акустична інформація у нашому суспільстві відіграє ключову роль у забезпеченні комунікації та безпеки людини. Звукові сигнали служать природним механізмом сприйняття навколишнього середовища, дозволяючи швидко реагувати на зміни та потенційні загрози. Проте для людей з вадами слуху цей важливий канал отримання інформації залишається недоступним, що створює серйозні перешкоди в повсякденному функціонуванні.

Особи з порушеннями слуху стикаються з численними викликами при розпізнаванні критично важливих аудіосигналів. До таких сигналів належать сирени повітряної тривоги, попереджувальні звуки транспортних засобів, звукові індикатори побутових приладів, дзвінки у двері та телефонні виклики. Неспроможність своєчасно ідентифікувати ці звуки значно обмежує не лише рівень особистої безпеки, але й загальну якість життя та соціальну інтеграцію таких людей.

В умовах сучасної воєнної загрози в Україні ця проблема набуває критичного значення. Регулярні повітряні тривоги, що супроводжуються характерними високочастотними сиренами, створюють реальну небезпеку для громадян з порушеннями слуху. Відсутність можливості почути попереджувальні сигнали може мати фатальні наслідки, що підкреслює нагальну потребу у створенні альтернативних засобів сповіщення.

Розробка автоматизованої системи розпізнавання звуків із подальшим візуальним або тактильним оповіщенням може кардинально змінити ситуацію. Така технологія здатна не лише підвищити рівень безпеки в екстремальних умовах, але й значно розширити можливості повсякденного функціонування. Потенційні сфери застосування включають моніторинг звуків у домашньому середовищі від простих побутових сигналів до складних акустичних патернів. Це робить подібну систему універсальним інструментом для підвищення автономності та якості життя людей з особливими потребами. Структура пояснювальної записки побудована відповідно до методичних вказівок[1].

					КС КРБ 123.236.00.00 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ

1.1 Загальна характеристика завдання

Сучасні умови життя вимагають від людини постійної обізнаності про події, що відбуваються навколо. Значну частину інформації ми сприймаємо через звукові сигнали: це можуть бути як сигнали тривоги чи небезпеки (наприклад, сирена повітряної тривоги), так і побутові звуки — дзвінок у двері, плач дитини, сигнал кухонного таймера, звук автомобіля тощо. Для людей з порушенням слуху такі джерела залишаються недоступними, що створює бар'єри у повсякденному житті, ускладнює безпечне пересування, орієнтацію в просторі та навіть виживання у надзвичайних ситуаціях.

Проблема значно загострилася в умовах повномасштабної війни в Україні, де щоденні повітряні тривоги супроводжуються гучними звуковими сигналами високої частоти, які часто є єдиним способом попередження населення. Люди, які не чують сирен, опиняються у вкрай небезпечному становищі. В таких умовах актуальною стає потреба у створенні портативного пристрою, що розпізнає характерні звуки та передає про них візуальні або інші не звукозалежні сигнали.

Завданням, яке вирішується в цій роботі, є створення системи, що здатна аналізувати вхідний аудіосигнал, виділяти його частотний спектр і класифікувати звуки на основі заданих характеристик. У пристрої планується використання цифрового мікрофона INMP441, мікроконтролера ESP32, OLED-дисплея та світлодіодів для виводу інформації. Аналіз звуку виконується методом швидкого перетворення Фур'є, що дозволяє оперативно визначити домінуючі частоти в сигналі.

					КС КРБ 123.236.00.00 ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Аналіз технічного завдання		
Розроб.		Слободний К.М.					
Перевір.		Стадник Н.Б.					
Реценз.		Ясній О.П.					
Н. Контр.		Тиш Є.В.					
Затверд.		Осухівська Г.М.					
					Літ.	Арк.	Аркушів
						10	77
					ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-42		

Такий пристрій має на меті не тільки забезпечення безпеки для людей з порушенням слуху, але й покращення їхньої взаємодії з навколишнім середовищем.

У побутових умовах він може використовуватися як сигналізатор звуків, надаючи зорову або текстову індикацію про звукові події, що відбуваються в межах досяжності мікрофона. Завдяки своїй простоті та автономності система має перспективу для широкого впровадження у побуті, навчальних закладах, спеціалізованих установах та центрах реабілітації.

1.2 Функціональні вимоги до системи

Розроблювана система розпізнавання звуків призначена для ідентифікації характерних звукових сигналів у навколишньому середовищі та інформування користувача про їх наявність за допомогою візуальних засобів. Основна цільова аудиторія — люди з порушенням слуху, для яких звукова інформація недоступна або обмежена.

Функціональні вимоги до системи включають наступні ключові можливості:

1. Розпізнавання звуків.

Система повинна мати можливість ідентифікувати принаймні декілька типових звукових подій, наприклад сирена повітряної тривоги, гучний удар або постріл, дзвінок у двері, плач дитини, гавкіт собаки та інші типові побутові сигнали.

Класифікація звуків виконується шляхом аналізу частотних характеристик сигналу, спектру та часової структури, з подальшим визначенням класу події.

2. Аналіз звукового сигналу в реальному часі.

Система повинна безперервно обробляти вхідні сигнали з мікрофона, використовуючи швидке перетворення Фур'є або аналогічні алгоритми

					КС КРБ 123.236.00.00 ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

частотного аналізу.

Час обробки одного аудіофрагменту не повинен перевищувати 0,5–1 секунди.

3. Візуальна індикація результату.

Визначене джерело звуку має бути виведене на OLED-дисплей у вигляді тексту або графічного символу.

Для підвищення зручності передбачено кольорову індикацію за допомогою світлодіодів, які відображають рівень тривожності чи тип події (наприклад, червоний — тривога, зелений — побутовий звук). Індикація має бути зрозумілою навіть для людей з порушеннями зору, за рахунок контрасту, чіткості й повторення сигналу.

4. Автономність та мобільність.

Пристрій має бути портативним, можливим до живлення від акумулятора або Power Bank. Час автономної роботи — не менше 2–4 годин в активному режимі.

Компактні розміри, легка вага — обов'язкові умови для носимого варіанту.

5. Простота використання.

Система повинна бути максимально простою в експлуатації: вмикання пристрою повинне автоматично запускати аналіз без додаткових налаштувань.

Наявність кнопки скидання або паузи, яка дає змогу тимчасово зупинити розпізнавання або очистити дисплей.

6. Масштабованість.

Система має бути побудована з можливістю розширення — як у плані розпізнаваних звуків, так і у плані підключення нових інтерфейсів (наприклад, вібромотор, Bluetooth, Wi-Fi або мобільне застосування для виводу повідомлень). Програмна частина повинна бути написана з урахуванням майбутніх оновлень моделей та розширення бази звуків.

					КС КРБ 123.236.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

1.3 Вимоги до апаратного та програмного забезпечення

1.3.1 Апаратне забезпечення

Для практичної реалізації системи автоматизованого розпізнавання звукових сигналів було обрано збалансовану апаратну платформу, що поєднує економічну доступність з достатньою обчислювальною потужністю для виконання складних алгоритмів цифрової обробки сигналів у реальному часі. Архітектура системи базується на модульному принципі, що дозволяє легко масштабувати функціональність та адаптувати пристрій під конкретні потреби користувача.

Центральним елементом системи виступає мікроконтролер ESP32, який був обраний завдяки унікальному поєднанню високої продуктивності та енергоефективності. Цей мікроконтролер оснащений двоядерним процесором архітектури Xtensa LX6, що працює на тактовій частоті до 240 МГц, забезпечуючи достатню обчислювальну потужність для виконання складних математичних операцій швидкого перетворення Фур'є в реальному часі. Великий обсяг оперативної пам'яті, що досягає 520 кілобайт, дозволяє ефективно обробляти великі масиви аудіоданих без критичних затримок. Мікроконтролер інтегрує широкий спектр комунікаційних інтерфейсів, включаючи I2S для високоякісної передачі цифрових аудіосигналів, SPI та I2C для підключення периферійних пристроїв, а також UART для налагодження та діагностики. Додатковою перевагою є вбудована підтримка бездротових технологій Wi-Fi та Bluetooth, що відкриває перспективи для майбутнього розширення функціональності системи. ESP32 характеризується високою енергоефективністю, компактними габаритами та широкою екосистемою програмних бібліотек і засобів розробки для платформ Arduino та ESP-IDF.

Ключовим компонентом аудіотракту системи є цифровий MEMS-мікрофон INMP441, що використовує сучасний I2S інтерфейс для високоточної передачі звукових даних без втрат якості. Цей мікрофон працює

					КС КРБ 123.236.00.00 ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

в діапазоні напруг від 1,8 до 3,3 вольт, що забезпечує повну сумісність з живленням мікроконтролера ESP32. Частотний діапазон мікрофона охоплює спектр від 60 герц до 15 кілогерц, що цілком достатньо для реєстрації більшості акустичних сигналів, включаючи людський голос, сирени, побутові звуки та інші цільові аудіосигнали. INMP441 відзначається низьким рівнем власних шумів та високою чутливістю, що критично важливо для точного розпізнавання слабких або віддалених звукових джерел. Цифровий інтерфейс I2S дозволяє безпосередньо зчитувати оцифровані аудіодані з частотою дискретизації до 44100 герц, що забезпечує необхідну точність для подальшого спектрального аналізу.

Візуалізація результатів роботи системи здійснюється за допомогою компактного монохромного OLED-дисплея на базі контролера SSD1306 з роздільною здатністю 128 на 64 пікселі. Дисплей підтримує комунікацію через інтерфейси I2C або SPI, що забезпечує гнучкість підключення та оптимізацію використання портів мікроконтролера. Основними перевагами обраного дисплея є компактні габарити, мінімальне енергоспоживання та високу контрастність зображення, що забезпечує чітке відображення текстової інформації, графіків спектрального аналізу та піктограм стану системи навіть при яскравому освітленні.

Система світлової індикації реалізована на базі світлодіодів різних кольорів, які виконують функцію швидкого візуального оповіщення про стан роботи пристрою та виявлені звукові події. Кожен колір LED-індикатора відповідає конкретному типу розпізнаної події, що дозволяє користувачеві миттєво ідентифікувати характер звукового сигналу навіть без детального аналізу інформації на дисплеї. За необхідності система може бути розширена до повнокольорової RGB-індикації для забезпечення більш деталізованого кодування різних типів подій.

Система електроживлення пристрою базується на використанні літій-іонних або літій-полімерних акумуляторів номінальною напругою 3,7 вольт,

					КС КРБ 123.236.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

або альтернативно може житися від стандартних USB Power Bank пристроїв. Загальне енергоспоживання системи в активному режимі не перевищує 300 міліампер, що забезпечує тривалу автономну роботу від портативних джерел живлення. Для максимального продовження часу роботи передбачена можливість реалізації інтелектуальних режимів енергозбереження з автоматичним переходом у сплячий режим під час відсутності акустичної активності.

1.3.2 Програмне забезпечення

Програмна архітектура системи розпізнавання звукових сигналів розроблена з урахуванням специфічних вимог до швидкодії, надійності та ефективності використання обмежених ресурсів мікроконтролерної платформи. Вибір інструментів розробки здійснюється на основі балансу між простотою реалізації та можливостями низькорівневої оптимізації системи.

Основою програмної платформи може служити середовище розробки Arduino IDE або альтернативно більш професійна система ESP-IDF. Arduino IDE характеризується високою доступністю для розробників різного рівня підготовки завдяки інтуїтивному графічному інтерфейсу та спрощеній структурі проектів. Цього середовища розробки підтримується величезною міжнародною спільнотою програмістів, що забезпечує доступність великої кількості готових програмних бібліотек, детально документованих прикладів коду та активних форумів технічної підтримки, що значно прискорює процес розробки та налагодження системи. ESP-IDF представляє собою більш низькорівневе середовище розробки, яке надає прямий доступ до апаратних ресурсів мікроконтролера та дозволяє досягти максимальної ефективності використання обчислювальних потужностей та системної пам'яті за рахунок підвищеної складності програмування та більшої кривої навчання для розробників.

					<i>КС КРБ 123.236.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Функціональний базис системи забезпечується інтеграцією спеціалізованих програмних модулів, кожен з яких відповідає за конкретні аспекти обробки та аналізу звукових сигналів. Для реалізації математично складних операцій швидкого перетворення Фур'є використовуються оптимізовані бібліотеки `arduinoFFT` або `ESP32FFT`, які спеціально адаптовані для ефективної роботи на мікроконтролерах з обмеженими обчислювальними ресурсами та забезпечують високу швидкість виконання спектрального аналізу аудіосигналів. Взаємодія з OLED-дисплеєм здійснюється через функціональні бібліотеки `Adafruit_SSD1306` або `U8g2`, які пропонують широкий спектр можливостей для відображення текстової інформації, графічних діаграм, піктограм та інших візуальних елементів користувацького інтерфейсу. Збір цифрових аудіоданих від мікрофонного модуля реалізується за допомогою спеціалізованої бібліотеки `I2S.h`, яка забезпечує високоякісну передачу звукової інформації в цифровому форматі без втрат та спотворень. У випадку необхідності реалізації кольорової світлодіодної індикації може бути інтегрована бібліотека `FastLED`, особливо ефективна для управління RGB-світлодіодами та створення складних світлових ефектів. При використанні методів штучного інтелекту для класифікації звукових образів система може бути доповнена бібліотекою `TensorFlow Lite for Microcontrollers`, спеціально оптимізованою для роботи на пристроях з обмеженими обчислювальними ресурсами[2].

Алгоритмічна структура системи базується на циклічному процесі збору та аналізу аудіоінформації, який починається з безперервного моніторингу акустичного середовища через збір цифрових фреймів звукових даних з мінімальною частотою дискретизації 8 кілогерц, хоча для досягнення оптимальної точності розпізнавання рекомендується використання частот у діапазоні від 16 до 44,1 кілогерца. Отримані масиви аудіоданих підлягають математичному аналізу шляхом обчислення швидкого перетворення Фур'є з обов'язковим застосуванням віконних функцій, таких як вікно Хеннінга або

					КС КРБ 123.236.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

Хеммінга, для мінімізації спектральних артефактів та підвищення точності частотного розкладання сигналу. Результуючий частотний спектр аналізується для ідентифікації характерних пікових частот, які служать основою для подальшої класифікації типу звукової події за попередньо визначеними алгоритмами або навченими моделями машинного навчання. Отримані результати аналізу відображаються користувачеві через систему візуалізації, що включає як текстову та графічну інформацію на OLED-дисплеї, так і кольорову світлодіодну індикацію для швидкого розпізнавання типу виявленої події. Весь процес організований у вигляді циклічного сканування з використанням апаратних переривань або програмних таймерів для забезпечення регулярності та стабільності моніторингу акустичного середовища.

Технічні обмеження системи визначаються як характеристиками використовуваної апаратної платформи, так і специфікою алгоритмів цифрової обробки сигналів. Обмежена обчислювальна потужність мікроконтролера ESP32 вимагає ретельної оптимізації програмних алгоритмів, включаючи збалансований вибір розмірів буферів для тимчасового зберігання аудіоданих та спрощення складних математичних операцій без критичної втрати точності результатів обробки. Особливу увагу необхідно приділяти ефективному управлінню обмеженим обсягом оперативної пам'яті, що потребує обережного контролю над створенням та знищенням динамічних змінних і структур даних, особливо при інтеграції ресурсоємних моделей машинного навчання, які можуть займати значну частину доступних системних ресурсів. Якість та надійність розпізнавання звукових сигналів безпосередньо залежить від акустичних характеристик використовуваного мікрофона, включаючи його частотну характеристику, чутливість та рівень власних шумів, а також від інтенсивності фонових акустичних перешкод у середовищі експлуатації, що може вимагати імплементации додаткових алгоритмів цифрової фільтрації та адаптивного

					КС КРБ 123.236.00.00 ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

шумопридушення. Конструктивна відсутність активних систем електромагнітного екранування означає, що система демонструє найвищу ефективність та точність розпізнавання у контрольованих акустичних умовах, таких як закриті приміщення або середовища з мінімальним рівнем зовнішніх звукових перешкод та електромагнітних завад.

1.4 Огляд існуючих рішень та аналогів

На сьогодні існує низка рішень, що частково або повністю виконують завдання розпізнавання звуків для людей з порушенням слуху. Вони поділяються на мобільні застосунки, стаціонарні або комерційні пристрої, а також аматорські розробки, які публікуються у відкритому доступі. Кожна з цих груп має свої особливості, переваги й недоліки.

Більшість сучасних смартфонів мають мікрофони, які дозволяють здійснювати базове розпізнавання звуків. На цій базі працює багато застосунків, хорошим прикладом є Google Live Transcribe.

Google Live Transcribe - це мобільний додаток для субтитрів у реальному часі, розроблений Google для Android. Застосунок показує текстову трансляцію мови в реальному часі та має функцію оповіщення про звук — наприклад, дзвінок у двері, плач дитини, сирену. Додаток потребує постійного підключення до інтернету для хмарної обробки. З недоліків можна виділити те що він не працює офлайн, залежить від смартфона та не завжди зручний в екстрених умовах.

Прикладом комерційного пристрою є Bellman & Symfon Visit System (Швеція). Даний прилад представляє собою бездротову систему відслідковування різних важливих сигналів та шумів для людей з вадами слуху. Пристрій може повідомляти про різні можливі звуки, як наприклад дзвінок у двері, телефон, плач дітей чи сирени. Проєкт розроблений на базі Arduino Nano з аналоговим мікрофоном та реалізує базову частотну

					КС КРБ 123.236.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

класифікацію звуків (удари, голос, сигналізація). Вивід даних здійснюється на LED-індикацію або серійний порт. З недоліків виділяються низька точність, відсутність текстового виводу та слабка масштабованість. Пристрій зображений на рисунку 1.1.



Рисунок 1.1 – Прилад Bellman & Symfon Visit System

Також з прикладів можна згадати проєкт у відкритому доступі який реалізує візуалізацію через веб звукового спектру з допомогою тих самих компонентів та на базі ESP32. Пристрій візуалізує аудіоспектр у реальному часі на створеній веб-сторінці. Основна мета — музичний спектроаналізатор, але адаптується під розпізнавання. Код проєкту доступний у відкритому доступі.

РОЗДІЛ 2 ПРОЄКТНА ЧАСТИНА

2.1 Розробка узагальненої структури комп'ютерної системи

Проектowana комп'ютеризована система розпізнавання звуків призначена для автономного визначення характеру звукових подій у навколишньому середовищі з подальшою візуальною індикацією[3].

Загальна логіка функціонування системи будується на принципі обробки вхідного аудіосигналу за допомогою швидкого перетворення Фур'є, подальшої класифікації сигналу на основі визначених ознак (наприклад, пікових частот), та відображення результату на дисплеї або за допомогою LED-індикації.

Одним з найважливіших етапів проектування є розробка структурної схеми системи. Вона зображена на рисунку 2.1. Схема складається з таких основних блоків:

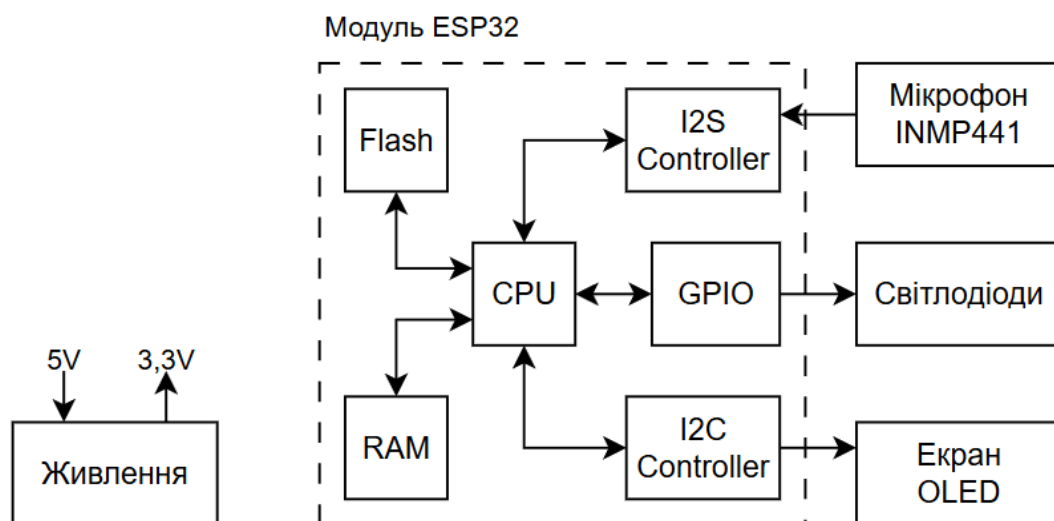


Рисунок 2.1 – Структурна схема пристрою

Первинний етап обробки звукової інформації здійснюється акустичним

					КС КРБ 123.236.00.00 ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Проектна частина		
Розроб.	Слободний К.М.						
Перевір.	Стадник Н.Б.						
Реценз.	Ясній О.П.						
Н. Контр.	Тиш Є.В.						
Затверд.	Осухівська Г.М.						
					Літ.	Арк.	Аркушів
						20	77
					ТНТУ, каф. КС, гр. CI-42		

сенсором на базі цифрового MEMS-мікрофона INMP441, який служить ключовим елементом системи збору аудіоданих.

Цей високочутливий мікрофон безперервно реєструє звукові коливання навколишнього середовища, перетворюючи їх у цифровий формат з високою точністю. Отримані цифрові аудіосигнали передаються безпосередньо до центрального обчислювального блоку через високошвидкісний інтерфейс I2S, що забезпечує передачу даних без втрат якості та мінімальними затримками.

Центральний обчислювальний блок системи реалізований на базі потужного мікроконтролера ESP32, який виконує роль основного процесора для складних операцій цифрової обробки сигналів. Цей мікроконтролер приймає безперервний потік цифрових аудіоданих від мікрофонного модуля та здійснює їх комплексну математичну обробку. Ключовою операцією є виконання швидкого перетворення Фур'є, яке дозволяє перетворити часовий сигнал у частотну область для детального спектрального аналізу. На основі отриманих частотних характеристик вбудована модель класифікації звуків визначає тип акустичної події та ідентифікує джерело звукового сигналу. Результат аналізу формується у вигляді текстової інформації або команд управління для подальшого відображення користувачеві.

Система візуалізації результатів включає два основних компоненти, що забезпечують різні способи інформування користувача про виявлені звукові події. Компактний OLED-дисплей служить для детального відображення результатів аналізу у текстовому форматі, показуючи конкретні назви розпізнаних звуків, такі як повідомлення про повітряну тривогу, плач дитини, гавкіт собаки або інші характерні акустичні події. Система світлодіодних індикаторів забезпечує швидке візуальне сповіщення про рівень важливості виявленої події через кольорове кодування, де червоний колір може сигналізувати про критичні ситуації типу повітряної тривоги, а зелений кольори вказують на звичайні побутові звуки, що не потребують негайної реакції.

					КС КРБ 123.236.00.00 ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Система електроживлення побудована на принципах автономності та енергоефективності, використовуючи портативні джерела живлення у вигляді Power Bank пристроїв або спеціалізованих літій-іонних акумуляторів. Внутрішня схема стабілізації забезпечує підтримку стабільної напруги 3,3 вольт, необхідної для нормального функціонування як мікроконтролера ESP32, так і цифрового мікрофона, що гарантує стабільну роботу пристрою протягом довгого періоду автономної експлуатації.

Алгоритмічна взаємодія між компонентами системи організована у вигляді циклічного процесу обробки інформації, який починається з безперервного зчитування аудіосигналу мікрофоном INMP441 у цифровій формі через інтерфейс I2S з частотою дискретизації в діапазоні від 16 до 44,1 кілогерца для забезпечення високої якості звукозапису. Мікроконтролер ESP32 здійснює буферизацію вхідних аудіоданих, накопичуючи їх у блоки достатнього розміру для ефективного виконання математичних операцій. Для кожного накопиченого блоку даних виконується процедура швидкого перетворення Фур'є, яка дозволяє отримати детальний частотний спектр аналізованого звукового сигналу. Наступний етап включає комплексний аналіз отриманого спектру з виділенням основної частоти, визначенням амплітудних характеристик та ідентифікацією можливих додаткових піків, які можуть бути характерними для конкретних типів звукових джерел. Модель класифікації, заснована на аналізі частотних ознак, порівнює отримані характеристики з попередньо навченими шаблонами та визначає найбільш ймовірний тип звукової події. Фінальний етап включає виведення результату розпізнавання на OLED-дисплей у текстовому форматі та активацію відповідного світлодіодного індикатора згідно з встановленою системою кольорового кодування.

Модульна архітектура системи забезпечує високу гнучкість та можливість для майбутнього розширення функціональності без кардинальної зміни базової структури пристрою. Така організація дозволяє легко

					КС КРБ 123.236.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

інтегрувати додаткові компоненти, такі як Wi-Fi-модуль для передачі сповіщень на віддалені пристрої, вібромотор для беззвучного тактильного оповіщення користувачів з вадами слуху, розширену бібліотеку звукових шаблонів або навіть системи штучного інтелекту для збільшення точності розпізнавання складних акустичних сценаріїв.

2.2 Обґрунтування вибору апаратного забезпечення проектного комп'ютерного засобу

Вибір апаратного забезпечення базується на вимогах до функціональності, продуктивності, енергоефективності, вартості та простоти інтеграції. У системі комп'ютеризованого розпізнавання звуків реалізується робота з цифровим аудіосигналом, обробка його в реальному часі, класифікація на основі спектрального аналізу та вивід результату у візуальній формі.

2.2.1 Вибір мікроконтролера

Враховуючи зазначені вимоги, було обрано мікроконтролер ESP32(рис. 2.2) як основний апаратний компонент системи. Цей вибір обґрунтовується його високою тактовою частотою до 240 МГц та двоядерною архітектурою процесора, що забезпечує необхідну обчислювальну потужність для обробки аудіосигналів у реальному часі. Важливою перевагою є наявність апаратної підтримки інтерфейсу I2S, який дозволяє ефективно працювати з мікрофоном INMP441. Мікроконтролер забезпечений достатнім обсягом оперативної пам'яті до 520 КБ SRAM, що необхідно для буферизації та обробки аудіоданих[4].

					КС КРБ 123.236.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23



Рисунок 2.2 – Модуль мікроконтролера ESP32

Додатковими перевагами ESP32 є вбудовані модулі Wi-Fi та Bluetooth, які створюють перспективи для реалізації віддаленої індикації результатів розпізнавання та конфігурації системи. Мікроконтролер має широку підтримку середовищ розробки, зокрема Arduino та ESP-IDF, що забезпечує доступ до великої бази готових бібліотек та спрощує процес програмування. Впродовж проектування також були розглянуті альтернативні моделі мікроконтролерів, порівняння характеристик наведена у таблиці:

Таблиця 2.1 – Порівняння характеристик мікроконтролерів

Характеристика	ESP32	STM32	Arduino Nano
Частота, МГц	240	72	16
ОЗП, КБ	~520	~20	2
ПЗП / Flash, КБ	4096	64	32
Підтримка Wi-Fi / BT	Так	Ні	Ні
I2S інтерфейс	Вбудований	Лише через зовнішній модуль	Відсутній
Складність програмування	Середня	Висока	Низька
Arduino-сумісність	Повна	Часткова (через STM32duino)	Повна

Важливою характеристикою є також енергоефективність пристрою завдяки низькому споживанню енергії у сплячому режимі, що особливо актуально для автономних застосувань.

ESP32 перевершує Arduino Nano та STM32 за більшістю характеристик, зокрема за обсягом пам'яті, тактовою частотою, підтримкою бездротових технологій та наявністю вбудованого I2S. Це робить його оптимальним для задач обробки сигналів у реальному часі.

2.2.2 Вибір мікрофона

Вибір цифрового мікрофона INMP441(рис. 2.3) обґрунтовується його технічними характеристиками, які оптимально підходять для задач розпізнавання звуків. Основною перевагою цього мікрофона є передача даних у цифровому форматі через інтерфейс I2S, що виключає необхідність використання аналого-цифрового перетворювача та забезпечує високу якість сигналу без додаткових спотворень.

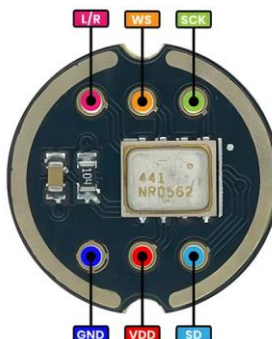


Рисунок 2.3 – Модуль мікрофона INMP441

Мікрофон характеризується високою чутливістю та низьким рівнем власних шумів, що критично важливо для точного розпізнавання звукових сигналів у різних акустичних умовах. Частотний діапазон пристрою від 60 Гц до 15 кГц є оптимальним для захоплення побутових звуків, оскільки покриває основний спектр частот, що зустрічаються у домашньому середовищі. Мікрофон INMP441 з цифровим I2S інтерфейсом забезпечує високу точність

захоплення звукових сигналів завдяки мінімальним спотворенням та відсутності необхідності в додатковій фільтрації. Важливою перевагою INMP441 є простота інтеграції з мікроконтролером ESP32, оскільки підключення здійснюється безпосередньо через I2S інтерфейс без потреби у додаткових підсилювачах сигналу або аналогових фільтрах. Це спрощує схемотехніку пристрою та підвищує надійність системи загалом[5].

Однак для повноти аналізу варто розглянути альтернативний варіант — аналоговий мікрофон MAX9814, який також часто використовується в подібних проектах. Порівняння з INMP441 наведено у таблиці 2.2:

Таблиця 2.2 – Порівняння мікрофонів

Характеристика	INMP441 (I2S)	MAX9814 (аналоговий)
Тип сигналу	Цифровий (I2S)	Аналоговий
Виводи	4 (VCC, GND, SD, SCK)	3 (VCC, GND, OUT)
Інтерфейс	I2S (висока точність)	Аналоговий (через ADC)
Спотворення сигналу	Мінімальні	Залежить від перешкод, шумів
Чутливість	Висока	Середня
Потреба в фільтрації	Мінімальна	Обов’язкова
Сумісність з ESP32	Повна	Через вбудований АЦП
Складність підключення	Вища	Проста

2.2.3 Вибір екрану

Для візуального відображення результатів розпізнавання звуків було обрано OLED-дисплей SSD1306(рис. 2.4) з роздільною здатністю 128×64 пікселів. Цей вибір обґрунтовується його здатністю забезпечувати чіткий текстовий та графічний вивід інформації, що дозволяє користувачу зручно отримувати результати аналізу звукових сигналів.

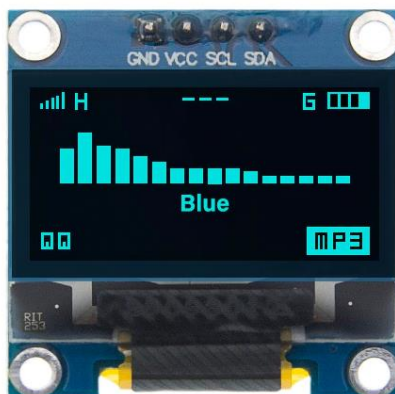


Рисунок 2.4 – OLED-дисплей SSD1306

Дисплей використовує інтерфейс I2C для обміну даними з мікроконтролером, що є значною перевагою оскільки для підключення потрібні лише два пінні контролера. Така економія портів вводу-виводу залишає більше можливостей для підключення додаткових компонентів системи. SSD1306 відзначається компактними розмірами та енергоощадністю, що робить його ідеальним рішенням для портативних пристроїв[6]. Додатковою перевагою є широка підтримка цього дисплея в екосистемі Arduino через готові бібліотеки, зокрема Adafruit_SSD1306 та U8g2, які значно спрощують процес програмування та дозволяють швидко реалізувати необхідний функціонал відображення.

2.2.4 Вибір решти компонентів

Світлодіоди було обрано як додатковий елемент індикації для забезпечення простого та інтуїтивно зрозумілого візуального способу передачі інформації користувачу. Вони дозволяють реалізувати систему сигналізації за типом розпізнаного звуку або рівнем потенційної небезпеки, що особливо важливо для швидкого сприйняття критичної інформації. Світлодіоди можуть бути як монохромними різних кольорів (зелені для безпечних звуків, червоні для сигналів тривоги, сині для інформаційних повідомлень), так і багатокольоровими RGB-модулями, що надає більше можливостей для кодування різних типів звукових подій.

Для забезпечення автономності та універсальності використання системи розглядаються декілька варіантів джерел живлення. Першим варіантом є використання портативного акумулятора Power Bank з USB-виходом на 5 В, що забезпечує тривалу автономну роботу та простоту підключення. Альтернативно можна застосувати літій-іонний акумулятор на 3.7 В з додатковим понижувальним перетворювачем до 3.3 В для безпосереднього живлення мікроконтролера. Третім варіантом є стаціонарний адаптер живлення через USB Type-C для постійного підключення до мережі.

Основними критеріями вибору джерела живлення є забезпечення струму до 500 мА, що достатньо для роботи всіх компонентів системи. Обов'язковою вимогою є наявність захисту від короткого замикання для безпеки експлуатації. Бажаною функцією є можливість одночасного заряджання акумулятора та живлення системи, що забезпечує безперервну роботу пристрою навіть під час підзарядки.

Обрані апаратні засоби забезпечують баланс між ціною, функціональністю, простотою підключення та ефективністю. Їх можна легко інтегрувати в компактний, мобільний пристрій із низьким енергоспоживанням.

2.3 Обґрунтування вибору програмного забезпечення проектного комп'ютерного засобу

Для розробки системи було обрано Arduino IDE як одну з найпоширеніших, простих у використанні та гнучких платформ для програмування мікроконтролерів. Arduino дозволяє швидко інтегрувати різноманітні бібліотеки, має зручний інтерфейс, активну спільноту розробників, а також потужну підтримку для ESP32.

Вибір Arduino IDE обґрунтовується підтримкою плат ESP32 через офіційні розширення, що забезпечує стабільну роботу з обраним

					КС КРБ 123.236.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

мікроконтролером. Платформа надає доступ до великої кількості сумісних бібліотек, які охоплюють різні аспекти роботи з периферійними пристроями. Простий синтаксис мови програмування та доступна документація значно прискорюють процес розробки та зменшують поріг входу для розробників. Arduino IDE дозволяє швидко перевіряти код на практиці завдяки ефективному циклу компіляції та завантаження. Важливою перевагою є широка підтримка периферійних пристроїв, включаючи OLED-дисплеї, I2S мікрофони, світлодіоди та бібліотеки машинного навчання.

Крім того, Arduino IDE активно застосовується в реальних проєктах розумних пристроїв на базі ESP32, зокрема в системах енергорозподілу та моніторингу, що підтверджує її надійність і придатність до побудови масштабованих систем [7].

Згідно з дослідженнями [8], при виборі архітектури програмного забезпечення особливо важливими є компроміси між простотою, розширюваністю та швидкістю розробки — Arduino IDE забезпечує оптимальний баланс між цими параметрами, що робить її особливо привабливою для створення прототипів та систем реального часу. Список використаних ході розробки бібліотек наведений у таблиці 2.1.

Таблиця 2.3 – Список використаних бібліотек

Бібліотека	Призначення
ArduinoFFT	Реалізація швидкого перетворення Фур'є
Wire	Робота з інтерфейсом I2C (OLED)
Adafruit_SSD1306	Робота з OLED-дисплеєм SSD1306
Adafruit_GFX	Графічні функції для дисплея
I2S.h	Отримання цифрового аудіо з INMP441 через I2S

Програмне забезпечення реалізує декілька ключових функціональних блоків. Перший блок відповідає за ініціалізацію компонентів системи, включаючи налаштування OLED-дисплея, I2S-мікрофона, світлодіодів та внутрішніх таймерів або переривань. Другий блок забезпечує збір аудіоданих через I2S-інтерфейс з подальшою буферизацією у масиви для обробки. Третій блок реалізує обчислення спектру за допомогою швидкого перетворення Фур'є, включаючи обробку масиву вхідних значень, перетворення у частотну область та визначення пікових частот. Четвертий блок відповідає за класифікацію звуків шляхом порівняння з наборами частот, характерними для різних джерел звуку, таких як сирени або плач, з подальшим визначенням ймовірного джерела. П'ятий блок забезпечує вивід результатів через відображення тексту або графіки на OLED-дисплеї та індикацію за допомогою світлодіодів відповідно до типу події.

Arduino платформа забезпечує простоту масштабування системи, дозволяючи легко розширити функціональність через додавання нових бібліотек, використання модулів Wi-Fi та Bluetooth, підключення SD-карт для зберігання даних або надсилання інформації на віддалений сервер. Arduino IDE є оптимальним вибором для швидкої розробки прототипу системи з можливістю подальшої оптимізації, переписування на ESP-IDF або MicroPython для реалізації розширеного функціоналу.

2.4 Принципи побудови вбудованих систем реального часу

Вбудовані системи реального часу представляють собою спеціалізовані обчислювальні системи, які виконують певні обчислення в межах чітко визначеного часового інтервалу. Фундаментальною особливістю таких систем є те, що термін виконання завдання є не менш важливим, ніж його правильність. Це означає, що навіть коректно виконане завдання може бути вважане невдалим, якщо воно не завершилось у встановлені часові рамки[9].

					КС КРБ 123.236.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

Системи реального часу традиційно поділяються на дві основні категорії залежно від ступеня критичності часових обмежень. Жорсткі системи реального часу зобов'язані гарантувати обробку подій у строго визначені часові рамки без будь-яких відхилень. Типовими прикладами таких систем є авіаційна електроніка, системи управління ядерними реакторами або автомобільні системи безпеки, де навіть мінімальна затримка може призвести до критичних наслідків.

М'які системи реального часу характеризуються більшою толерантністю до часових відхилень та допускають невеликі затримки без критичних наслідків для функціонування. До цієї категорії належать мультимедійні програвачі, інтелектуальні пристрої моніторингу, системи відеоконференцій та подібні застосування, де короточасні затримки можуть знижувати якість сервісу, але не призводять до аварійних ситуацій.

Система, реалізована у цьому проєкті, належить до категорії м'яких систем реального часу, оскільки обробка звукових сигналів повинна відбуватись максимально швидко для забезпечення актуальності інформації, але не є критичною до окремих мілісекунд затримки.

Системи реального часу характеризуються декількома ключовими особливостями, які визначають їх архітектуру та принципи функціонування. Безперервний моніторинг сигналів є однією з найважливіших характеристик, що в даному проєкті реалізується через постійне зчитування аудіоданих з I2S-мікрофона без перерв у роботі системи.

Обробка вхідного потоку повинна відбуватись у межах заданого часового інтервалу, що в контексті цього проєкту означає виконання швидкого перетворення Фур'є приблизно кожні 64 мілісекунди для забезпечення достатньої частоти оновлення результатів. Мінімізація затримки між отриманням сигналу та виведенням результату є критично важливою для користувацького досвіду, особливо при відображенні інформації на OLED-дисплеї або активації світлодіодної індикації.

					КС КРБ 123.236.00.00 ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Робота в умовах обмежених ресурсів є постійним викликом для вбудованих систем, оскільки вони зазвичай мають лімітовану оперативну пам'ять та обчислювальну потужність порівняно з настільними комп'ютерами. Ефективне управління пріоритетами завдань дозволяє системі правильно розподіляти ресурси, надаючи вищий пріоритет критично важливим процесам, таким як аналіз звукових сигналів, порівняно з менш важливими завданнями виведення інформації на екран.

Мікроконтролер ESP32 служить центральним елементом системи та забезпечує одночасне виконання множини завдань, включаючи зчитування аудіосигналу, виконання складних математичних обчислень FFT та виведення результатів на різні інтерфейси користувача. Завдяки багатоядерній архітектурі та оптимізованим алгоритмам, загальна затримка системи не перевищує сотні мілісекунд, що є цілком прийнятним для даного застосування.

Збір аудіоданих з I2S-мікрофона INMP441 реалізований через апаратний інтерфейс, що мінімізує навантаження на центральний процесор та забезпечує стабільне надходження даних без пропусків або спотворень. Використання DMA-буферів дозволяє системі ефективно обробляти потік аудіоданих без блокування інших процесів.

Аналіз частотного спектру за допомогою алгоритму швидкого перетворення Фур'є виконується в межах спеціально виділеного обчислювального таймслоту, що гарантує регулярне оновлення результатів класифікації звуків. Оптимізація алгоритму та використання спеціалізованих бібліотек дозволяє мінімізувати час виконання цієї ресурсоємної операції.

Виведення результатів на OLED-дисплей та управління світлодіодною індикацією реалізовано як асинхронні процеси, які працюють в основному циклі програми, але не заважають критично важливим процесам обробки звукових сигналів. Така архітектура забезпечує плавну роботу користувацького інтерфейсу без впливу на основну функціональність системи.

					КС КРБ 123.236.00.00 ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Реалізація принципів систем реального часу в даному проєкті забезпечує ряд важливих переваг для кінцевого користувача. Система демонструє швидку реакцію на зміни акустичного середовища, що особливо важливо при виявленні критичних звуків, таких як сирени повітряної тривоги або сигнали небезпеки. Час від появи звукового сигналу до його класифікації та відображення результату мінімізований завдяки оптимізованій архітектурі.

Надійна робота протягом тривалих періодів експлуатації забезпечується ретельним управлінням ресурсами та відсутністю накопичення помилок або витоків пам'яті. Система здатна функціонувати безперервно без деградації продуктивності або потреби в перезапуску.

Архітектура системи передбачає можливості масштабування та розширення функціональності. Зокрема, в майбутньому можливе додавання більш складної логіки класифікації звуків, включаючи імплементацію нейронних мереж для підвищення точності розпізнавання. Модульна структура коду та ефективне використання ресурсів створюють підґрунтя для таких удосконалень без кардинального перероблення основної архітектури системи.

2.5 Апаратне та конструктивне проєктування комп'ютерного засобу

Проєктування комп'ютерного засобу для розпізнавання звуків охоплює не лише створення електричних схем та підключення компонентів, а й розробку архітектури системи, визначення функціональної логіки, форм-фактора, алгоритму взаємодії між модулями та програмної структури. Комплексний підхід до проєктування забезпечує цілісність і надійність розробки, а також її відповідність вимогам електробезпеки, ергономіки й функціональності.

Основна функція пристрою полягає в аналізі вхідного звукового сигналу, виявленні характерних частотних ознак і повідомленні користувача

					КС КРБ 123.236.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

про виявлений звук. Система повинна розпізнавати типові звуки, зокрема сирену, плач дитини, гавкіт, дзвінок у двері, та виводити відповідне повідомлення на дисплей з дублюванням світлодіодною індикацією.

Для реалізації цієї функціональності проєктом передбачено реєстрацію звуку через цифровий мікрофон INMP441 з подальшою обробкою аудіосигналу в режимі реального часу за допомогою мікроконтролера ESP32. Система виконує частотний аналіз методом швидкого перетворення Фур'є, після чого результат виводиться на OLED-дисплей з одночасною індикацією стану за допомогою кольорових світлодіодів.

Для реалізації функціоналу розроблено електричну принципову схему(рис. 2.5), яка відображає зв'язки між основними апаратними компонентами. Центральним елементом є мікроконтролер ESP32, який керує всією системою та взаємодіє з цифровим мікрофоном INMP441 через I2S-інтерфейс, OLED-дисплеєм SSD1306 через I2C-протокол та світлодіодами через GPIO-порти.

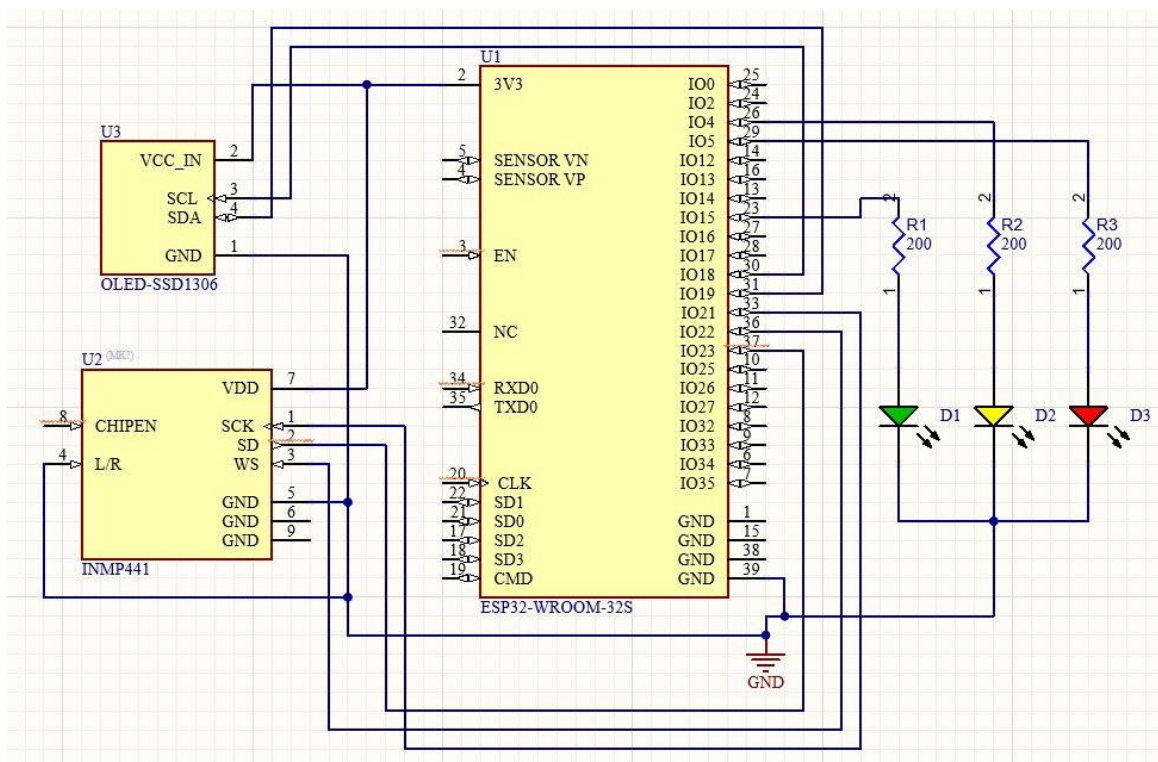


Рисунок 2.5 – Розроблена електрична принципова схема

Схема включає резистори для світлодіодів, забезпечує надійне живлення всіх компонентів та передбачає захист від короткого замикання. Всі модулі працюють у межах напруги 3.3 В, що дозволяє обійтись без логічних перетворювачів рівнів та спростує загальну архітектуру системи.

Для забезпечення зручності користування пристрій передбачається вмонтувати в пластиковий корпус з отворами для дисплея, звукових отворів для мікрофона та LED-індикаторів. Конструкція має бути виготовлена без гострих країв з діелектричних матеріалів для забезпечення електробезпеки, з можливістю доступу до USB-живлення або автономного живлення від акумулятора.

Планується, що корпус буде компактним і портативним, з можливістю кріплення на одязі або носіння в кишені. Оскільки пристрій призначено для людей з порушеннями слуху, критично важливо забезпечити зрозумілу візуальну індикацію та високий контраст екрана для максимальної доступності інформації.

Програмна логіка реалізується модульно з поділом на функціональні блоки, що включають зчитування аудіо з I2S-інтерфейсу, буферизацію та виконання швидкого перетворення Фур'є, аналіз спектру та класифікацію сигналу, а також вивід результатів на дисплей та керування світлодіодами. Така модульна архітектура забезпечує масштабованість коду, що дозволяє у майбутньому розширити базу розпізнаваних звуків або додати передавання даних по Wi-Fi.

Таким чином, у рамках цього етапу було виконано повноцінне проєктування комп'ютерного засобу від вибору функціональних блоків до створення принципової електричної та з'єднувальної схем, а також визначено базову архітектуру програмної частини. Це створює міцну основу для подальшої реалізації та тестування пристрою в реальних умовах експлуатації.

					КС КРБ 123.236.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

РОЗДІЛ 3 ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

3.1 Реалізація проєктних рішень

На цьому етапі була здійснена практична реалізація функціональності пристрою на базі апаратної платформи ESP32. Система обробляє звуковий сигнал із цифрового мікрофона INMP441, виконує спектральний аналіз використовуючи швидке перетворення Фур'є, визначає характерні ознаки сигналу та виводить текстову інформацію на OLED-дисплей із супровідною LED-індикацією.

Базова логіка реалізована у вигляді послідовного циклу зчитування, обробки та індикації. Робота системи починається з ініціалізації всіх компонентів, включаючи OLED-дисплей, мікрофон, світлодіоди та I2S-інтерфейс. Наступним кроком є безперервне читання аудіоданих з мікрофона INMP441 через I2S-інтерфейс з одночасним обчисленням поточного рівня гучності в децибелах. Отримані дані проходять через процедуру швидкого перетворення Фур'є для перетворення сигналу у частотну область, після чого визначається основна пікова частота та її амплітуда. На основі частотних характеристик і рівня гучності виконується класифікація типу джерела звуку. Результат виводиться на OLED-дисплей з відповідною LED-індикацією, після чого система переходить до наступного циклу обробки з короткою затримкою[10]

Мікрофон INMP441 підключено через інтерфейс I2S, який дозволяє передавати цифрові аудіосигнали з високою точністю без втрати якості. Дані зчитуються у вигляді 32-бітних слів, з яких відкидається зайва інформація з використанням побітового зсуву. Зібрані дані нормалізуються та зберігаються у масив для подальшої обробки.

					КС КРБ 123.236.00.00 ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Слободний К.М.			Практична частина		
Перевір.		Стадник Н.Б.					
Реценз.		Ясній О.П.					
Н. Контр.		Тиш Є.В.					
Затверд.		Осухівська Г.М.					
					Літ.	Арк.	Аркушів
						36	77
					ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-42		

Для обчислення гучності звуку використовується середньоквадратичне значення (RMS) сигналу:

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i^2} \quad (3.1)$$

де:

N – кількість вибірок у сигналі,

x_i – i -та амплітудна вибірка сигналу (значення від мікрофона після зсуву),

$\sum_{i=1}^N x_i^2$ – сума квадратів амплітуд (показує загальну «потужність» сигналу).

Подальше перетворення у децибели виконується за формулою:

$$dB = 20 * \log_{10}(RMS) \quad (3.2)$$

Цей показник дозволяє фільтрувати надто тихі або надто шумні сигнали, які не є ознаками важливих подій.

У рамках цього проєкту для аналізу аудіосигналів у реальному часі використовується алгоритм швидкого перетворення Фур'є. Цей алгоритм дозволяє ефективно обчислювати спектр сигналу, тобто визначати, з яких частот складається сигнал, отриманий із мікрофона[11].

Будь-який складний сигнал можна подати як суму простих гармонічних коливань – синусоїд. Це є сутністю перетворення Фур'є. Математично дискретне перетворення Фур'є для послідовності $x[n]$ з N точок описується формулою:

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x[n] * e^{-j2\pi kn/N}, k = 0, 1, \dots, N - 1 \quad (3.3)$$

де:

$x[n]$ — вхідні дискретні значення сигналу,

$X[k]$ — комплексні коефіцієнти частотного спектру,

N — кількість точок (довжина вибірки),

j — уявна одиниця.

Це рівняння є дорогим з обчислювальної точки зору: воно має складність $O(N^2)$, що неприйнятно для пристроїв реального часу з обмеженими ресурсами, як-от ESP32.

Алгоритм швидкого перетворення Фур'є дозволяє зменшити обчислювальну складність до $O(N \log N)$, що робить його придатним для використання на мікроконтролерах з обмеженими ресурсами. У проєкті використовується бібліотека `arduinoFFT`, яка реалізує варіант алгоритму Cooley-Tukey — один із найпоширеніших та найефективніших підходів до реалізації FFT[12].

Процес обробки сигналу складається з декількох послідовних етапів, кожен з яких має критичне значення для якості кінцевого результату. Першим кроком є віконна обробка, під час якої до вхідного сигналу застосовується функція згладжування, зокрема популярне вікно Хеммінга. Цей етап необхідний для зменшення спотворень на краях сигналу, які можуть виникати через різке обрізання часового відрізка аналізованих даних.

Наступним етапом є безпосереднє виконання FFT, що включає складні обчислення з комплексними числами для перетворення сигналу з часової області у частотну. Цей процес дозволяє розкласти складний звуковий сигнал на його частотні компоненти з відповідними амплітудами.

Після завершення FFT система отримує масив комплексних чисел $X[k]$, проте для подальшої обробки та класифікації звуків потрібна лише інформація про амплітуду кожної частотної компоненти. Тому виконується обчислення модуля амплітуди для кожного комплексного числа згідно формули 3.4, що дає дійсні значення, які можна порівнювати та аналізувати:

$$|X[k]| = \sqrt{\text{Re}(X[k])^2 + \text{Im}(X[k])^2} \quad (3.4)$$

Завершальним етапом є детальний аналіз отриманих результатів, під час якого система визначає частоту з найбільшою амплітудою та її індекс у спектрі. Ця інформація стає основою для подальшої класифікації типу звукового сигналу.

Після виконання FFT система отримує розподіл амплітуд для кожної частоти в межах частоти семплювання згідно з теоремою Найквіста. Частота, яка демонструє найбільшу амплітуду в спектрі, вважається основною або домінуючою частотою сигналу.

Для забезпечення оптимальної точності визначення частоти зазвичай використовуються розміри вибірки, що є ступенями двійки, такі як 256, 512, 1024 або 2048 точок. Це пов'язано з особливостями алгоритму Cooley-Tukey, який найефективніше працює саме з такими розмірами масивів даних.

Практичне застосування FFT у системі розпізнавання звуків стикається з рядом технічних викликів та обмежень. Через обмежену роздільну здатність мікрофона або присутність акустичних шумів в оточенні можуть виникати непередбачувані частотні стрибки, які ускладнюють стабільну класифікацію звуків. Особливо проблематичним є виявлення та точна фіксація частот нижче 100 Гц при використанні невеликої кількості точок у вибірці, оскільки це призводить до низької частотної роздільної здатності.

Додатковою складністю є обробка широкосмугових сигналів, таких як людський голос, які не мають чітко вираженої пікової частоти у спектрі. Такі сигнали характеризуються розподіленою енергією в широкому частотному діапазоні, що значно ускладнює їх класифікацію порівняно з вузькосмуговими сигналами, як-от сирени або музичні тони.

Використання алгоритму швидкого перетворення Фур'є в даному проєкті демонструє кілька ключових переваг. Найважливішою є висока швидкість обробки сигналів на мікроконтролері ESP32, що дозволяє системі функціонувати в реальному часі без помітних затримок для користувача.

					КС КРБ 123.236.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

Обчислювальна потужність ESP32 виявляється достатньою для виконання 1024-точкового FFT з частотою, необхідною для безперервного моніторингу звукового середовища.

Простота реалізації завдяки готовій бібліотеці `arduinoFFT` значно прискорює процес розробки та зменшує ймовірність помилок у критично важливих обчислювальних алгоритмах. Бібліотека забезпечує стабільну роботу та оптимізовані для мікроконтролерів алгоритми.

Найбільшою практичною перевагою є можливість надійного розпізнавання в реальному часі різних типів звуків за їх унікальними спектральними характеристиками. Система успішно диференціює сирени з їх характерними високими частотами, людські голоси з широким спектральним розподілом, плач немовлят з специфічними частотними особливостями, та різноманітні машинні шуми з їх типовими спектральними відбитками. Така функціональність робить пристрій практично корисним для цільової аудиторії людей з порушеннями слуху.

У реалізації використовується бібліотека `arduinoFFT`, яка приймає масив значень і обчислює для кожного з них амплітуду відповідної частоти. У результаті система отримує масив частот та їх інтенсивностей, серед яких обирається пікова частота.

Особливості реалізації включають використання 512 точок дискретизації (`SAMPLES = 512`) з частотою семплювання 16 кГц. Застосовується віконна функція Хеммінга для зниження ефекту спектральних витікань, а також виконується фільтрація псевдо частот, наприклад 31 Гц, для запобігання помилковому розпізнаванню.

Після визначення пікової частоти та її амплітуди виконується логіка емпіричної класифікації на основі частотних діапазонів. Сирена розпізнається у діапазоні 1000–1800 Гц за високими значеннями `vReal[2]` та `vReal[4]`. Плач або крик ідентифікується у діапазоні 400–600 Гц за умови середньої частоти та високого рівня в децибелах. Людський голос визначається у діапазоні 200–600 Гц за зниженою частотою та помірною амплітудою. Дзвінок у двері

					КС КРБ 123.236.00.00 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

розпізнається у широкому діапазоні 700–3000 Гц за яскравою піковою амплітудою. Випадковий шум характеризується переважно нижчими гармоніками до 200 Гц.

Класифікований результат виводиться на OLED у текстовому вигляді з одночасною активацією відповідного світлодіодного індикатора: червоний для тривожних сигналів, жовтий для людських голосів, зелений для слабких сигналів.

У коді реалізовано захист від стрибків частоти через аналіз стабільності сигналу протягом однієї секунди. Якщо сигнал коливається в межах частотного шуму, відображається статус "unknown" або зберігається попереднє значення. Також використано механізм підтвердження детекції, за якого звук виводиться лише після його виявлення протягом заданого мінімального часу (MIN_DETECTION_TIME).

На OLED-дисплеї відображається рівень гучності в децибелах, основна частота та визначений тип джерела звуку. Крім того, активуються LED-індикатори на основі частоти: червоний для тривожних сигналів, жовтий для людських голосів, зелений для звуків низької інтенсивності.

У реалізації програмного забезпечення пристрою використано мову програмування C++ у середовищі Arduino IDE. Архітектура програми побудована за принципом циклічного виконання, де основні частини коду поділяються на ініціалізаційні функції та головний цикл loop(), який виконується безперервно в реальному часі. Така структура забезпечує стабільну роботу системи та ефективну обробку аудіосигналів без затримок.

Програмне забезпечення складається з декількох ключових модулів, кожен з них виконує конкретні функції. Модуль ініціалізації відповідає за первинне налаштування всіх компонентів системи, модуль обробки звуку здійснює захоплення та аналіз аудіосигналів, модуль класифікації визначає тип звукового сигналу, а модуль виводу забезпечує відображення результатів на дисплеї та світлодіодній індикації.

					КС КРБ 123.236.00.00 ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Функція `setupI2S()` відповідає за критично важливе налаштування модуля I2S на ESP32 для прийому аудіоданих з мікрофона INMP441. Структура `i2s_config_t` дозволяє задати широкий спектр параметрів конфігурації, включаючи частоту семплювання 16 кГц, що забезпечує достатню роздільну здатність для аналізу звуків у частотному діапазоні до 8 кГц відповідно до теореми Найквіста.

Формат даних встановлено як 32-біт для забезпечення високої точності оцифровки, тип каналу налаштовано як моно для спрощення обробки та зменшення навантаження на процесор. Конфігурація буфера DMA оптимізована для мінімізації затримок при передачі даних між мікрофоном та процесором. Окремо вказується пін-конфігурація з використанням GPIO 21 для тактового сигналу, GPIO 22 для вибору каналу та GPIO 23 для передачі даних, що визначає фізичне підключення компонентів системи.

Стандартна ініціалізаційна функція `setup()` викликається один раз під час запуску пристрою та виконує комплексну підготовку всіх систем. Процес ініціалізації розпочинається з налаштування серійного монітора зі швидкістю 115200 бод для виводу діагностичної інформації в термінал, що є критично важливим для налагодження та моніторингу роботи системи.

Далі відбувається ініціалізація шини I2C для забезпечення зв'язку з OLED дисплеєм, після чого проводиться перевірка наявності та функціональності дисплея. У разі виявлення проблем з підключенням дисплея система виводить відповідне повідомлення про помилку. Також відбувається налаштування пінів для LED-індикації з встановленням їх у режим виводу та початковим станом "вимкнено". Завершується процес ініціалізації викликом функції `setupI2S()` для запуску аудіоінтерфейсу та готовності системи до роботи.

Основна функція `loop()` реалізує повний алгоритм обробки звуку та виконується в циклі з максимально можливою частотою. Процес обробки розпочинається зі зчитування аудіоданих через функцію `i2s_read()` у

попередньо виділений масив `samples[]`, що містить 1024 семпли для забезпечення достатньої роздільної здатності частотного аналізу.

Наступним кроком є обчислення середньоквадратичного значення сигналу для визначення його гучності у децибелах відносно еталонного рівня. Цей параметр є надзвичайно важливим для класифікації звуків та визначення їх потенційної небезпеки. Після цього відбувається підготовка даних для частотного аналізу шляхом заповнення масивів `vReal[]` дійсними значеннями семплів та `vImag[]` нульовими значеннями для уявної частини комплексних чисел.

Виконання швидкого перетворення Фур'є дозволяє отримати частотний спектр сигналу, після чого система здійснює пошук пікової частоти, яка характеризує домінуючу частотну компоненту звукового сигналу. На основі комбінації частотних характеристик, рівня гучності та спектральних особливостей відбувається класифікація типу звуку за попередньо визначеними критеріями.

Результати аналізу виводяться на OLED-дисплей у зручному для сприйняття форматі, включаючи числові значення гучності та частоти, а також текстову ідентифікацію типу звуку. Одночасно активується відповідний світлодіод для візуальної індикації, що особливо важливо для користувачів з порушеннями слуху.

Для підвищення надійності розпізнавання та зменшення кількості помилкових виявлень реалізовано декілька алгоритмів фільтрації. Основним механізмом є затримка `MIN_DETECTION_TIME`, яка вимагає стабільності класифікації протягом щонайменше однієї секунди перед зміною відображуваного типу звуку. Це дозволяє уникнути миттєвих хибних спрацьовувань через короточасні шумові сплески.

Додатково реалізовано алгоритм згладжування частоти, який виявляє різкі стрибки частотних характеристик та застосовує попередні стабільні значення у випадках, коли частота раптово падає до технічного рівня близько

					КС КРБ 123.236.00.00 ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

31 Гц. Такі ситуації зазвичай виникають через особливості роботи FFT-алгоритму при слабких сигналах.

Бібліотеки Adafruit_GFX та Adafruit_SSD1306 формують програмний стек для роботи з графічним OLED-дисплеєм. Adafruit_GFX функціонує як базова графічна бібліотека, надаючи універсальні функції для виведення тексту різних розмірів та шрифтів, малювання геометричних фігур, ліній, прямокутників та інших графічних елементів. Ця бібліотека забезпечує високорівневий інтерфейс для графічних операцій незалежно від специфіки конкретного дисплея. Adafruit_SSD1306 є спеціалізованим драйвером для контролера дисплея SSD1306, який перетворює високорівневі графічні команди у специфічні інструкції для цього чіпа. Драйвер оптимізований для роботи з монохромними OLED-дисплеями розміром 128x64 пікселі та забезпечує ефективне управління буфером кадрів[13].

У проєкті ці бібліотеки використовуються для створення інформативного користувацького інтерфейсу, який відображає поточний рівень гучності у децибелах з точністю до одного знака після коми, домінуючу частоту сигналу у герцах, а також текстову ідентифікацію розпізнаного типу звуку з можливими варіантами "Siren", "Voice", "Cry", "Noise", "Doorbell" та "Unknown" для нерозпізнаних сигналів.

Бібліотека arduinoFFT реалізує оптимізований алгоритм швидкого перетворення Фур'є, спеціально адаптований для роботи на мікроконтролерах з обмеженими обчислювальними ресурсами. Ця бібліотека дозволяє виконувати спектральний аналіз аудіосигналів у реальному часі, виявляючи частотні компоненти та їх відносні амплітуди.

Процес обробки включає декілька критично важливих етапів. Функція FFT.windowing() застосовує вікно Хеммінга для згладжування сигналу та зменшення спектральних витоків, що підвищує точність частотного аналізу. Функція FFT.compute() виконує основне обчислення перетворення Фур'є, перетворюючи сигнал з часової області у частотну. Функція FFT.complexToMagnitude() обчислює модулі амплітуд для отримання спектру

					КС КРБ 123.236.00.00 ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

потужності, який використовується для ідентифікації домінуючих частотних компонентів.

Використання 1024-точкового FFT забезпечує частотну роздільну здатність приблизно 15.6 Гц при частоті семплювання 16 кГц, що є достатнім для надійного розрізнення різних типів звукових сигналів у робочому діапазоні системи.

Таким чином, реалізована система забезпечує виявлення типових звукових подій з прийнятною точністю в режимі реального часу та надає користувачу інформативну й доступну індикацію. Подальше тестування порогів частот дозволить удосконалити точність класифікації.

3.2 Тестування

Тестування системи розпізнавання звуків на базі ESP32 з мікрофоном INMP441 проводилось з метою перевірки коректності функціонування всіх компонентів, точності класифікації звукових сигналів та стабільності роботи в різних умовах експлуатації. Основними завданнями тестування було визначення ефективності алгоритму швидкого перетворення Фур'є при обробці звукових сигналів, оцінка точності розпізнавання різних типів звуків та перевірка надійності роботи системи протягом тривалого періоду.

Методика тестування включала перевірку апаратного забезпечення, функціональне тестування програмного забезпечення, тестування точності розпізнавання звуків та оцінку продуктивності системи в реальних умовах. Для забезпечення об'єктивності результатів тестування проводилось у контрольованих умовах з використанням еталонних звукових сигналів різної інтенсивності та частотного спектру. Для тестування був розроблений прототип і для цього була складена схема з'єднань, яка зображена на рисунку 3.1.

					КС КРБ 123.236.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

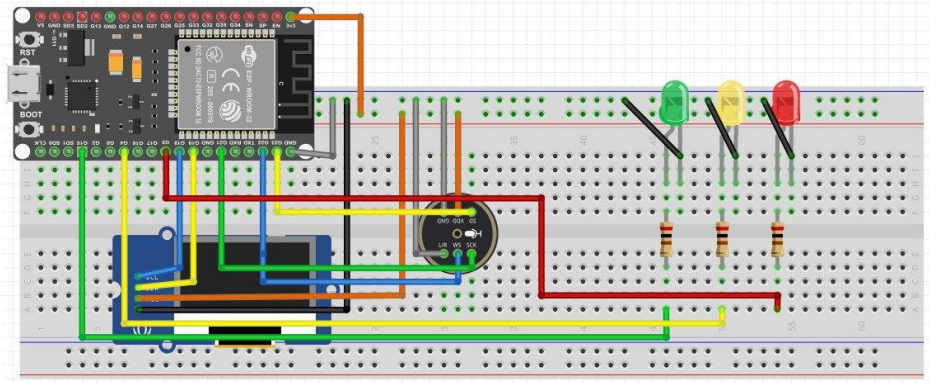


Рисунок 3.1 – Схема з'єднань

Першим етапом тестування була перевірка функціонування цифрового мікрофона INMP441. Тестування показало, що мікрофон стабільно працює у частотному діапазоні 60 Гц – 15 кГц з чутливістю -26 дБВ/Па. Інтерфейс I2S забезпечував передачу даних без втрат з частотою дискретизації 16 кГц та розрядністю 32 біти. Перевірка показала відсутність артефактів та шумів у вихідному сигналі при нормальних умовах експлуатації.

Мікроконтролер ESP32 демонстрував стабільну роботу з тактовою частотою 240 МГц. Обробка 512 точок FFT виконувалась за середній час 15-20 мілісекунд, що забезпечувало достатню швидкодію для роботи в режимі реального часу. Споживання енергії у активному режимі складало приблизно 180-200 мА при напрузі 3.3 В, що відповідає технічним характеристикам.

OLED-дисплей SSD1306 показав чітке відображення тексту та графічної інформації з високим контрастом. Час відгуку дисплея на оновлення інформації складав менше 100 мілісекунд. Світлодіодна індикація працювала синхронно з результатами класифікації звуків, забезпечуючи миттєвий візуальний відгук користувачу.

Швидке перетворення Фур'є реалізоване за допомогою бібліотеки `arduinoFFT` показало високу точність перетворення тестових синусоїдальних сигналів. При подачі сигналу частотою 1000 Гц система коректно визначала пікову частоту з похибкою не більше ± 10 Гц. Використання віконної функції Хеммінга ефективно зменшувало спектральні витікання та покращувало точність аналізу.

Алгоритм обчислення RMS та перетворення у децибели був перевірений з використанням еталонних звукових сигналів різної амплітуди. Результати показали лінійну залежність між реальним рівнем звукового тиску та обчисленим значенням в децибелах з похибкою не більше ± 2 дБ у діапазоні від 40 до 90 дБ.

Система класифікації була протестована на різних типах звукових сигналів. Для сирени у діапазоні 1000-1800 Гц точність розпізнавання склала 85-90% при рівні гучності понад 70 дБ. Розпізнавання людського голосу у діапазоні 200-600 Гц показало точність 75-80% залежно від тембру та інтенсивності. Дзвінок у двері розпізнавався з точністю 70-75% завдяки характерній піковій амплітуді у діапазоні 700-3000 Гц.

Система тестувалась у приміщеннях з різними акустичними характеристиками: у тихій кімнаті, у приміщенні з фоновим шумом та на відкритому повітрі. Результати показали, що найкращу точність розпізнавання система демонструє у приміщенні з низьким рівнем фонового шуму (менше 40 дБ). При збільшенні рівня шуму до 50-60 дБ точність розпізнавання знижувалась на 10-15%.

Ефективність розпізнавання тестувалась на відстанях від 0.5 до 5 метрів від джерела звуку. Оптимальна відстань для розпізнавання більшості звуків склала 1-3 метри. На відстані понад 4 метрів точність розпізнавання значно знижувалась, особливо для звуків з низькою інтенсивністю.

Система працювала безперервно протягом 24 годин без збоїв або помітного зниження продуктивності. Споживання енергії залишалось стабільним, а температура компонентів не перевищувала допустимих значень. Механізм захисту від псевдо-детекцій ефективно фільтрував короточасні шумові сплески.

Основними перевагами розробленої системи є швидкість обробки сигналу в режимі реального часу, енергоефективність та простота використання. Модульна архітектура програмного забезпечення дозволяє легко додавати нові типи звуків для розпізнавання. Візуальна індикація через

					КС КРБ 123.236.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

OLED-дисплей та світлодіоди забезпечує доступність інформації для людей з порушеннями слуху.

Головними обмеженнями є зниження точності розпізнавання при високому рівні фонового шуму та складність розрізнення звуків з подібними частотними характеристиками. Система потребує калібрування порогових значень для кожного типу звуків залежно від конкретних умов експлуатації.

Для підвищення точності розпізнавання рекомендується впровадити адаптивні алгоритми фільтрації шуму та використання машинного навчання для класифікації звуків. Додавання можливості навчання системи на користувацьких даних дозволить покращити персоналізацію розпізнавання. Реалізація Wi-Fi підключення забезпечить можливість віддаленого моніторингу та налаштування системи.

Результати тестування(рис. 3.2) підтвердили працездатність розробленої системи розпізнавання звуків та її відповідність поставленим технічним вимогам.

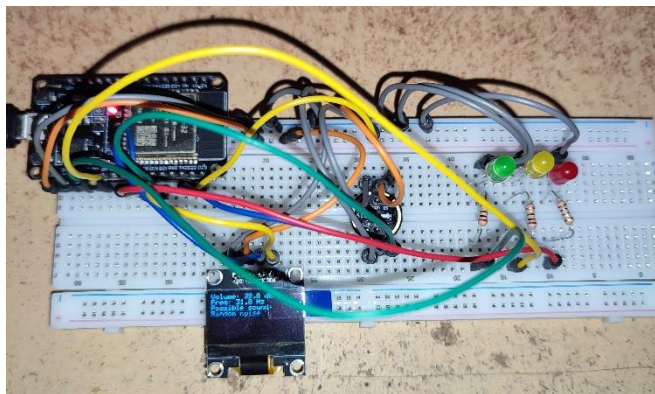


Рисунок 3.2 – Результати тестування макету пристрою

Система демонструє прийнятну точність розпізнавання основних типів звуків у контрольованих умовах та може бути використана як допоміжний пристрій для людей з порушеннями слуху.

РОЗДІЛ 4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Оцінка технологічного процесу щодо умов електробезпеки

Розробка та впровадження системи комп'ютеризованого розпізнавання звукових сигналів передбачає комплексну роботу з електронними компонентами, що включає проектування електричних схем, виконання паяльних робіт, налаштування підключень до різноманітних джерел електроживлення, а також програмування та конфігурування мікроконтролера ESP32. Специфіка таких технічних операцій висуває підвищені вимоги до забезпечення електробезпеки на всіх етапах життєвого циклу пристрою.

Першочерговою загрозою виступають несправності або перевантаження джерел живлення, зокрема портативних акумуляторних батарей типу Power Bank, USB-адаптерів з вихідною напругою 5 вольт, або інших зовнішніх блоків живлення. Неякісні або пошкоджені джерела живлення можуть спричинити нестабільність напруги, що призводить до перегріву компонентів або навіть їх виходу з ладу.

Особливу увагу приділено ризикам короткого замикання, які найчастіше виникають під час монтажних робіт, особливо в критичних зонах підключення чутливих компонентів, таких як мікрофонний модуль INMP441 та OLED-дисплей.

Значну небезпеку становлять також механічні пошкодження ізоляційного покриття з'єднувальних дротів, які часто відбуваються в місцях інтенсивних згинів, скручувань або в зонах паяльних з'єднань. Порушення цілісності ізоляції може призвести до витоку струму, короткого замикання або навіть ураження електричним струмом при контакті з оголеними провідниками.

					КС КРБ 123.236.00.00 ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Слободний К.М.			Безпека життєдіяльності, основи охорони праці		
Перевірів		Стадник Н.Б.					
Консульт.		Пилипець М.І.					
Н. Контр.		Тиш Є.В.					
Затверд.		Осухівська Г.М.					
					Літ.	Арк.	Аркуші
						49	
					ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-42		

Хоча мікроконтролер ESP32 функціонує в діапазоні відносно безпечних низьких напруг від 3,3 до 5 вольт, неправильне поводження з електронними компонентами може призвести до небезпечних ситуацій.

Зокрема, виконання паяльних робіт при увімкненому живленні, підключення неізолюваних роз'ємів або порушення рекомендованих режимів експлуатації можуть спричинити ураження низьковольтним струмом або критичний перегрів електронних елементів з подальшим їх руйнуванням.

Конструкція пристрою передбачає ефективне обмеження доступу до внутрішніх елементів електричної схеми для неавторизованих користувачів, особливо дітей або осіб без відповідної технічної підготовки. Це досягається шляхом використання захисних кожухів, що не дозволяють випадковий контакт з струмоведучими частинами.

Конструктивні рішення мають унеможливлювати наявність відкритих або легкодоступних струмоведучих елементів на зовнішніх поверхнях пристрою. Всі електричні з'єднання надійно заізолювані та захищені від механічних пошкоджень або випадкового дотику.

Захист від потрапляння рідини становить окремий напрямок забезпечення електробезпеки, оскільки навіть невелика кількість вологи може спричинити короткі замикання, корозію контактів або порушення нормального функціонування електронних компонентів. Конструкція корпусу забезпечує відповідний ступінь захисту від проникнення води та інших рідин.

Мікрокліматичні умови експлуатаційного середовища також відіграють суттєву роль у забезпеченні довготривалої та безпечної роботи пристрою. Підвищена вологість повітря сприяє конденсації водяної пари на поверхнях електронних компонентів, що може призвести до короткого замикання або прискореної електрохімічної корозії металевих провідників. Накопичення пилу в корпусі пристрою створює додаткові ризики, оскільки пилові частинки можуть утворювати провідні містки між контактами або погіршувати теплообмін, що призводить до перегріву критично важливих елементів.

Відповідно до вимог державних стандартів України та нормативно-правових актів з охорони праці, розроблюваний пристрій підпадає під категорію низьковольтного електронного обладнання, що передбачає дотримання специфічних вимог безпеки [14]. Під час виконання монтажних та налагоджувальних робіт рекомендується обов'язкове застосування індивідуальних засобів захисту, включаючи діелектричні рукавички, захисні окуляри та спеціальний одяг з антистатичними властивостями.

4.2 Заходи щодо захисту від ураження електричним струмом

Попри відносно низький рівень робочої напруги системи розпізнавання звуків, ризик ураження електричним струмом залишається реальним при порушенні базових принципів електробезпеки.

Фундаментальним елементом забезпечення електробезпеки є застосування ізольованого корпусу, виготовленого з високоякісних діелектричних матеріалів. Найбільш доцільними матеріалами для корпусу є технічні пластики або акрилові композити, які забезпечують надійну електричну ізоляцію та повністю унеможливають випадковий контакт користувача із струмоведучими частинами внутрішньої електронної схеми.

Організація ефективної системи заземлення становить критично важливий аспект електробезпеки, особливо при підключенні пристрою до мережних адаптерів, що перетворюють стандартну напругу 220 вольт у безпечну USB-напругу 5 вольт. У таких випадках обов'язковим є використання виключно сертифікованих джерел живлення з вбудованими системами захисту від перенапруги та інших аварійних режимів. Якщо експлуатація пристрою відбувається в лабораторних умовах або в безпосередній близькості від потенційно небезпечного електричного обладнання, необхідно організувати спільне контурне заземлення відповідно до вимог Правил улаштування електроустановок [15].

Захист від короткого замикання реалізується через інтеграцію спеціалізованих електронних компонентів у критичних вузлах схеми. Зокрема, встановлення резисторів обмеження струму в лініях живлення особливо чутливих компонентів, таких як OLED-дисплей або мікрофонний модуль, дозволяє запобігти катастрофічному виходу з ладу цих елементів при аварійних режимах. Додатково на основному вході живлення доцільно встановлювати захисні діоди типу TVS або плавкі запобіжники, які автоматично переривають ланцюг при перевищенні допустимих параметрів струму.

Забезпечення безпеки користувача під час штатної експлуатації пристрою досягається через комплекс конструктивних та програмних рішень. Конструкція корпусу повністю виключає можливість доступу до відкритих елементів друкованої плати або інших струмоведучих компонентів. Встановлення світлодіодних індикаторів живлення забезпечує візуальну сигналізацію про активний режим роботи пристрою, що попереджає користувача про наявність електричної напруги в системі.

Дотримання фундаментальних правил роботи з електронними пристроями є обов'язковою умовою безпечної експлуатації. Категорично заборонено проводити будь-які технічні роботи з пристроєм при підключеному живленні та відкритому корпусі, оскільки це створює прямий ризик ураження електричним струмом. Регулярна перевірка технічного стану з'єднувальних кабелів, роз'ємів та паяних з'єднань дозволяє своєчасно виявляти ознаки зношування або механічних пошкоджень, які можуть призвести до аварійних ситуацій. Всі паяльні роботи виконуються виключно при повністю знеструмленому обладнанні з обов'язковим використанням місцевої вентиляції та витяжної системи для видалення шкідливих випарів від паяльних флюсів.

Впровадження додаткових засобів захисту підвищує загальний рівень електробезпеки системи. Використання портативних джерел живлення типу PowerBank з вбудованими системами обмеження струму забезпечує

					КС КРБ 123.236.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

автоматичний захист від перевантажень. Обов'язковим етапом підготовки пристрою до передачі кінцевому користувачеві є комплексне тестування на предмет виявлення потенційних витоків струму за допомогою прецизійних вимірювальних приладів.

Відповідно до вимог НПАОП 0.00-1.21-98 та Правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів, електронні пристрої класу II з подвійною ізоляцією допускаються до експлуатації без обов'язкового підключення до системи заземлення за умови дотримання двох критичних параметрів: робоча напруга не повинна перевищувати 50 вольт, а конструкція пристрою має повністю виключати доступ користувача до струмоведучих частин схеми [16].

Таким чином, системна реалізація технічних та організаційних заходів забезпечує досягнення належного рівня електробезпеки при експлуатації пристрою розпізнавання звуків навіть в умовах побутового використання або в освітніх установах, де рівень технічної підготовки персоналу може бути обмеженим.

4.3 Вплив звуку та шуму на людину. Акустична безпека

Звук являє собою фізичне коливання частинок середовища, яке людина сприймає органами слуху. В повсякденному житті, на робочому місці або в транспортному середовищі рівень звукового тиску може коливатися в значних межах. Висока гучність та тривалий вплив шуму певної інтенсивності негативно впливають на організм людини, викликаючи фізіологічні, психологічні та функціональні порушення.

Надмірний шум спричиняє ряд негативних наслідків для здоров'я людини. До основних проблем належать втрата або приглухуватість слуху, що може мати як тимчасовий, так і постійний характер. Крім того, люди часто відчують головний біль та підвищену втомлюваність, що супроводжується зниженням концентрації та продуктивності праці. Фізіологічні зміни

					КС КРБ 123.236.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

включають підвищення артеріального тиску та зміни пульсу, а також психологічні прояви у вигляді роздратованості та нервового перенапруження.

Медичні дослідження встановили, що тривалий вплив шуму понад 85 дБ без використання захисних засобів може призводити до хронічного порушення слуху[17]. Це підкреслює важливість дотримання акустичних норм та використання відповідних засобів захисту.

В Україні діють Державні санітарні норми ДСН 3.3.6.037-99, які встановлюють допустимі рівні шуму для різних середовищ[18]. У житловій кімнаті вночі допустимий рівень не повинен перевищувати 30 дБА, тоді як вдень цей показник може становити до 40 дБА. Для навчальних закладів встановлено норму до 35 дБА, що забезпечує комфортні умови для навчання та концентрації уваги.

В офісному середовищі допустимий рівень шуму становить до 50 дБА, що дозволяє підтримувати продуктивність праці. У виробничих приміщеннях норми є більш лояльними та коливаються від 70 до 85 дБА залежно від характеру трудової діяльності. Робота в умовах перевищення звукового тиску понад 85 дБ вимагає обов'язкового застосування індивідуальних засобів захисту, наприклад навушники або вушні вкладиші, а також регулярного проведення профілактичних медичних оглядів працівників.

В контексті сучасних умов в Україні особливого значення набувають звуки сирени повітряної тривоги, які характеризуються високою частотою близько 1400 Гц та гучністю понад 90 дБ. Хоча такі звуки несуть важливе інформаційне навантаження та є критично важливими для безпеки, їх тривалий вплив може мати шкідливі наслідки. Особливо вразливими є діти, люди з розладами нервової системи та люди похилого віку, для яких такий акустичний вплив може бути особливо болісним.

Розроблений пристрій не генерує звуки самостійно, тому не є джерелом потенційної акустичної небезпеки. Натомість він функціонує як засіб підвищення безпеки, реагуючи на звуки, які можуть сигналізувати про небезпеку, зокрема тривогу, сигнал пожежі або крик про допомогу[19].

Пристрій також здатен виявляти звуки, які можуть бути непоміченими людиною з порушенням слуху, та реагувати на підвищене звукове навантаження, що потребує відповідної реакції.

Таким чином, пристрій опосередковано сприяє зменшенню впливу акустичних чинників на організм людини шляхом раннього інформування про потенційні загрози та класифікації звукових сигналів. Це дозволяє користувачам комп'ютеризованої системи розпізнавання звуку, а особливо людям з вадами слуху, своєчасно реагувати на небезпечні ситуації та мінімізувати тривалість впливу шкідливих акустичних факторів.

					<i>КС КРБ 123.236.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У ході виконання кваліфікаційної бакалаврської роботи було розроблено та частково протестовано комп'ютеризовану систему розпізнавання звуку для людей з вадами слуху, основною метою якої є підвищення рівня безпеки та інформованості користувача у випадках появи потенційно критичних або важливих звукових сигналів.

Процес проєктування включав декілька ключових етапів. Спочатку було здійснено детальний аналіз існуючих рішень у сфері акустичного моніторингу, під час якого розглянуто особливості їх застосування в побуті та соціальній сфері. На основі цього аналізу обґрунтовано вибір апаратної платформи, мікрофонного модуля INMP441 та OLED-дисплея, враховуючи критерії енергоефективності, вартості та доступності компонентів.

Наступним важливим кроком стала розробка електричної принципової схеми та проведення монтажу дослідного зразка. Програмну частину системи було реалізовано в середовищі Arduino IDE з використанням швидкого перетворення Фур'є для аналізу спектру звуку. Це дозволило впровадити ефективний алгоритм класифікації джерел звуку за частотою та гучністю, який здатен розрізняти такі типи звуків як сирена, плач, голос, шум та дзвінок у двері.

Система забезпечує зручне відображення результатів на OLED-дисплеї, а також візуальну індикацію рівня небезпеки за допомогою світлодіодів. Проведено комплексне тестування пристрою з реальними джерелами звуку, яке підтвердило здатність системи надійно розпізнавати звуки з високою частотою, такі як сирена, та середньочастотні сигнали, включаючи голос та плач.

Окрему увагу приділено питанням безпеки експлуатації. Сформульовано та реалізовано заходи з електробезпеки та захисту від ураження струмом, а також детально розглянуто вплив шуму на здоров'я людини, що має особливе значення для цільової аудиторії пристрою.

					КС КРБ 123.236.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

Результати роботи демонструють, що розроблений пристрій має значний потенціал практичного застосування в умовах побуту. Він може ефективно використовуватися як допоміжний інструмент для осіб з порушеннями слуху, а також як важливий елемент безпеки в ситуаціях, де необхідне оперативне виявлення критично важливих звуків.

					КС КРБ 123.236.00.00 ПЗ	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Жаровський Р.О., Луцик Н.С., Осухівська Г.М., Паламар А.М., Тиш Є.В. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за спеціальністю 123 «Комп'ютерна інженерія» усіх форм навчання. Тернопіль: ТНТУ, 2024. 39 с.

2. Shabliy N., Lupenko S., Lutsyk N., Yasniy O., Malyshevska O. Keystroke dynamics analysis using machine learning methods. Applied Computer Science. 2021. Vol. 17, No. 4. P. 75-83.

3. Паламар М.І., Стрембіцький М.О., Паламар А.М. Проектування комп'ютеризованих вимірювальних систем і комплексів. Навчальний посібник. Тернопіль: ТНТУ, 2019. 150 с.

4. Espressif Systems. ESP32-WROOM-32 Datasheet. URL: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-wroom-32_datasheet_en.pdf (дата звернення: 28.04.2025).

5. InvenSense. INMP441 MEMS Microphone Datasheet. URL: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/1244625/ETC1/INMP441.html> (дата звернення: 29.04.2025).

6. Solomon Systech. SSD1306 OLED Display Controller Datasheet. URL: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/1179026/ETC2/SSD1306.html> (дата звернення: 30.04.2025).

7. Voloshchuk A., Velychko D., Osukhivska H., Palamar A. Computer system for energy distribution in conditions of electricity shortage using artificial intelligence. CEUR Workshop Proceedings, 2nd International Workshop on Computer Information Technologies in Industry 4.0 (CITI 2024), Ternopil, Ukraine, June 12-14, 2024. Vol. 3742 P. 66-75.

8. Kharchenko A., Bodnarchuk I., Yatcysyn V. The Method for Comparative Evaluation of Software Architecture with Accounting of Trade-offs. American Journal of Information Systems. 2014. Vol. 2, No. 1. P. 20-25.

9. Palamar A., Palamar M., Osukhivska H. Real-time Health Monitoring

					КС КРБ 123.236.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

Computer System Based on Internet of Medical Things. CEUR Workshop Proceedings, 3rd International Workshop on Information Technologies: Theoretical and Applied Problems (ITTAP 2023), Ternopil, Ukraine, Opole, Poland, November 22–24, 2023. Vol. 3628. P. 106-115.

10. Espressif Systems. ESP-IDF Programming Guide. URL: <https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/latest/esp32/> (дата звернення: 05.05.2025).

11. Lupenko S., Orobchuk O., Stadnik N., Zozulya A. Modeling and signals processing using cyclic random functions. In Proceedings of the 13th IEEE International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT). Lviv, Ukraine, 11–14 September, 2018. P. 360–366.

12. Kosme. arduinoFFT: Arduino library for computing FFT. URL: <https://github.com/kosme/arduinoFFT> (дата звернення: 07.05.2025).

13. Adafruit. Adafruit_SSD1306: SSD1306 OLED driver library for Arduino. URL: https://github.com/adafruit/Adafruit_SSD1306 (дата звернення: 09.05.2025).

14. Про охорону праці: Закон України від 21.11.2002. Київ: Парламентське видавництво, 2003. 40 с.2.

15. Правила улаштування електроустановок (ПУЕ). Затв. Мінпаливенерго України. Останнє ред. Київ: Мінпаливенерго, 2017. 720 с.4.

16. НПАОП 0.00-1.21-98. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. Затв. наказом Держнаглядохоронпраці України 09.01.1998 № 4. Чинний від 01.04.1998. Київ: Основа, 2004. 240 с.3.

17. Гогіташвілі Г. Г., Лапін В. М. Основи охорони праці : навч. посіб. 4-те вид., випр. і доп. Київ: Знання, 2018. 302 с.6.

18. ДСН 3.3.6.037-99. Державні санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. Київ: МОЗ України, 1999. 45 с.5.

19. Мелех Л. В. Безпека життєдіяльності та охорона праці : навч. посіб. Львів: ЛДУВС, 2022. 219 с.

					КС КРБ 123.236.00.00 ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Додаток А

Технічне завдання

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії

Кафедра комп'ютерних систем та мереж

“Затверджую”

Завідувач кафедри КС

_____ Осухівська Г.М.

“___” _____ 2025 р

Комп'ютеризована система розпізнавання звуку для людей з вадами слуху

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на ___ листках

Вид робіт:

Кваліфікаційна робота

На здобуття освітнього ступеня «Бакалавр»

Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»

«УЗГОДЖЕНО»

«ВИКОНАВЕЦЬ»

Керівник кваліфікаційної роботи

Студент групи СІ-42

_____ к.т.н., ст. вкл. Стадник Н.Б.

_____ Слободний К.М.

«___» _____ 2025 р.

«___» _____ 2025 р.

Тернопіль 2025

1 Загальні відомості

1.1 Повна назва та її умовне позначення

Повна назва теми кваліфікаційної роботи: «Комп'ютеризована система розпізнавання звуку для людей з вадами слуху».

Умовне позначення кваліфікаційної роботи: КС КРБ 123. 236.00.00

1.2 Виконавець

Студент групи СІ-42, факультету комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії, кафедри комп'ютерних систем та мереж, Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, Слобдний К.М.

1.3 Підстава для виконання роботи

Підставою для виконання кваліфікаційної роботи є наказ по університету (№4/7-53 від 27.01.2025 р.)

1.4 Планові терміни початку та завершення роботи

Плановий термін початку виконання кваліфікаційної роботи – 27.01.2025 р.

Плановий термін завершення виконання кваліфікаційної роботи – 23.06.2025 р.

1.5 Порядок оформлення та пред'явлення результатів роботи

Порядок оформлення пояснювальної записки та графічного матеріалу здійснюється у відповідності до чинних норм та правил ISO, ЕСКД, ЕСПД та ДСТУ.

Пред'явлення проміжних результатів роботи з виконання кваліфікаційної роботи здійснюється у відповідності до графіку, затвердженого керівником роботи. Попередній захист кваліфікаційної роботи відбувається при готовності роботи – наявності пояснювальної записки та графічного матеріалу.

Пред'явлення результатів кваліфікаційної роботи відбувається шляхом захисту на відповідному засіданні ЕК, ілюстрацією основних досягнень за допомогою графічного матеріалу.

2 Призначення і цілі створення системи

2.1 Призначення системи

Медіасервер що розробляється призначений для:

- Підтримки роботи мобільних пристроїв.
- Зберігання мультимедійних даних.

2.2 Мета створення системи

Метою кваліфікаційної роботи є розробка та налаштування мультимедійного сервера на основі одноплатного мікрокомп'ютера Raspberry Pi.

2.3 Характеристика об'єкту

Розробляюваний медіасервер призначено для використання в домашніх мультимедійних системах.

3 Вимоги до системи

3.1 Вимоги до системи в цілому

3.1.1 Вимоги до структури та функціонування системи

Мультимедійний сервер повинен складатись з:

- Програмного додатку.
- Системи адміністрування.

3.1.2 Вимоги до способів та засобів зв'язку між компонентами системи

Основна вимога, яка ставиться до способів та засобів інформаційного обміну – це їх узгодженість.

3.1.3 Вимоги до режимів функціонування системи

Для системи визначено два режими функціонування:

- нормальний режим функціонування;
- аварійний режим функціонування.

Основним режимом функціонування є нормальний режим.

Для забезпечення нормального режиму функціонування системи необхідно виконувати вимоги і дотримуватись умов експлуатації програмного забезпечення і комплексу технічних засобів системи, вказані у відповідних технічних документах (технічна документація, інструкції з експлуатації і т. д.).

Аварійний режим функціонування системи характеризується відмовою одного або декількох компонент програмного і (або) технічного забезпечення. При цьому функції роботи системи продовжують підтримувати роботу системи моніторингу в межах базових налаштувань.

3.1.4 Вимоги по діагностуванню системи

Для діагностування системи використовуються інструменти діагностування основних процесів системи, які вмонтовані в операційну систему і програмне забезпечення, а також засоби для діагностики апаратного забезпечення.

Інструменти повинні забезпечувати зручний інтерфейс для можливості перегляду діагностичних подій, моніторингу процесу виконання програм.

3.1.5 Перспективи розвитку, проектування системи

Дана система може бути розширена завдяки використанню додаткових програмних компонентів, а також передбачено розширення пам'яті для збільшення ресурсів медіатеки.

3.2 Показники призначення

Система повинна передбачати можливість масштабування. Можливості масштабування повинні забезпечуватися засобами використовуваного базового програмного і технічного забезпечення.

3.2.1 Вимоги до надійності

Система повинна забезпечувати працездатність та відновлення своїх функцій при виникненні наступних ситуацій:

- при збоях в системі електропостачання апаратної частини;
- при помилках в роботі апаратних засобів;
- при помилках, пов'язаних з програмним забезпеченням (ОС і драйвери пристроїв).

Для захисту апаратури від стрибків напруги і комутаційних завад повинні застосовуватися мережні фільтри.

3.3 Вимоги до безпеки

Зовнішні елементи технічних засобів системи, що перебувають під напругою, повинні мати захист від випадкового дотику, а самі технічні засоби мати занулення або захисне заземлення .

Система електроживлення повинна забезпечувати захисне вимикання при перевантаженнях і коротких замиканнях в колах навантаження, а також аварійне ручне вимикання.

Загальні вимоги пожежної безпеки повинні відповідати нормам на побутове електрообладнання. У разі пожежі не мають виділятися отруйні гази і дим. Після зняття електроживлення має бути доступне застосування будь-яких засобів пожежогасіння.

3.3.1 Вимоги до експлуатації, технічного обслуговування, ремонту і зберігання компонентів системи

Мікроклімат в приміщеннях повинен відповідати нормам виробничого мікроклімату по ДСН 3.3.6.042-99:

- температуру повітря в межах від +10°C до +35°C;
- відносну вологість повітря при 25°C в межах від 30% до 80%;
- атмосферний тиск 760 ± 25 мм рт. ст.

Періодичне технічне обслуговування використовуваних технічних засобів має проводитися відповідно до вимог технічної документації, але не рідше ніж один раз на рік.

Періодичне технічне обслуговування і тестування технічних засобів повинні включати обслуговування і тестування всіх використовуваних засобів, датчики, контролери, системи передачі даних, пристрої безперебійного живлення.

На підставі результатів тестування технічних засобів повинні проводитися аналіз причин виникнення виявлених дефектів і прийматися заходи по їх ліквідації.

3.4 Вимоги до захисту інформації від несанкціонованого доступу

Система повинна забезпечувати захист від несанкціонованого доступу на рівні не нижче встановленого вимогами, що пред'являються до категорії 1Д

по класифікації документа, що діє, “Автоматизовані системи. Захист від несанкціонованого доступу до інформації. Класифікація автоматизованих систем”.

Компоненти підсистеми захисту від НСД повинні забезпечувати:

- ідентифікацію користувача;
- перевірку повноважень користувача при роботі з системою;
- розмежування доступу користувачів.

Рівень захищеності від несанкціонованого доступу засобів обчислювальної техніки, що здійснюють обробку конфіденційної інформації, повинен відповідати вимогам класу захищеності згідно вимогам документу “Засоби обчислювальної техніки. Захист від несанкціонованого доступу до інформації. Показники захищеності від несанкціонованого доступу до інформації”.

3.4.1 Вимоги по збереженню інформації при аваріях

Інформація, при виникненні аварійних ситуацій повинна бути збережена на резервних носіях.

3.4.2 Вимоги по стандартизації і уніфікації

Система повинна відповідати вимогам ергономіки і зручності користування за умови комплектування високоякісним обладнанням (ЕОМ, монітор і інше обладнання), що має необхідні сертифікати відповідності і безпеки.

3.4.3 Вимоги до функцій (завдань), що виконуються системою:

- забезпечення зручного інтерфейсу;
- забезпечення зберігання медіафайлів;
- пошук необхідної інформації;
- забезпечення високої швидкодії.

4 Вимоги до документації

Документація повинна відповідати вимогам ЄСКД та ДСТУ

Комплект документації повинен складатись з:

- пояснювальної записки;
- графічного матеріалу:
 - а) Структурна схема.
 - б) Блок схема роботи комп'ютеризованої системи.
 - в) Схема електрична принципова.
 - г) Схема електрична монтажна (з'єднань).

*Примітка: У комплект документації можуть вноситися зміни та доповнення в процесі розробки.

5 Стадії та етапи проектування

Таблиця 1 – Стадії та етапи виконання кваліфікаційної роботи
бакалавра

№ етапу	Назва етапу виконання кваліфікаційної роботи	Термін виконання
1	Розробка технічного завдання.	27.01 – 02.02
2	Робота над розділом 1 – Аналіз технічного завдання	10.04 – 25.04
3	Робота над розділом 2 – Проектна частина	26.04 – 03.05
4	Робота над розділом 3 – Практична частина	04.05 – 13.05
5	Безпека життєдіяльності, основи охорони праці	14.05 – 25.05
6	Оформлення пояснювальної записки і графічного матеріалу	26.05 – 08.06
7	Перевірка на академічний плагіат, перевірка керівником та консультантами	9.06 – 15.06
8	Попередній захист кваліфікаційної роботи бакалавра	16.06 – 22.06
9	Захист кваліфікаційної роботи бакалавра	26.06

6 Додаткові умови виконання кваліфікаційної роботи

Під час виконання кваліфікаційної роботи у дане технічне завдання можуть вноситися зміни та доповнення.

Додаток Б

Перелік елементів електричної принципової схеми

[illegible]

Додаток В

Лістинг програмного забезпечення КС

```
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_GFX.h>
#include <Adafruit_SSD1306.h>
#include <driver/i2s.h>
#include <arduinoFFT.h>

//LED
#define GREEN_LED 15
#define YELLOW_LED 4
#define RED_LED 5

// OLED
#define SCREEN_WIDTH 128
#define SCREEN_HEIGHT 64
Adafruit_SSD1306 display(SCREEN_WIDTH, SCREEN_HEIGHT, &Wire, -
    1);

// I2S
#define I2S_WS    22
#define I2S_SD    23
#define I2S_SCK   21

#define SAMPLES 512
#define SAMPLING_FREQUENCY 16000

#define N 14

String detected = "UNKNOWN";
String lastDetected = "UNKNOWN";
unsigned long detectionStart = 0;
const unsigned long MIN_DETECTION_TIME = 1000;
```

```

double vReal[SAMPLES];
double vImag[SAMPLES];
ArduinoFFT FFT = ArduinoFFT(vReal, vImag, (uint16_t)SAMPLES,
    16000.0);
double lastFrequency = 0;
unsigned long lastGoodUpdate = 0;

// I2S config
void setupI2S() {
    i2s_config_t i2s_config = {
        .mode = i2s_mode_t(I2S_MODE_MASTER | I2S_MODE_RX),
        .sample_rate = SAMPLING_FREQUENCY,
        .bits_per_sample = I2S_BITS_PER_SAMPLE_32BIT,
        .channel_format = I2S_CHANNEL_FMT_ONLY_LEFT,
        .communication_format = I2S_COMM_FORMAT_I2S,
        .intr_alloc_flags = 0,
        .dma_buf_count = 4,
        .dma_buf_len = 256,
        .use_apll = false,
        .tx_desc_auto_clear = false,
        .fixed_mclk = 0
    };

    i2s_pin_config_t pin_config = {
        .bck_io_num = I2S_SCK,
        .ws_io_num = I2S_WS,
        .data_out_num = -1,
        .data_in_num = I2S_SD
    };

    i2s_driver_install(I2S_NUM_0, &i2s_config, 0, NULL);
    i2s_set_pin(I2S_NUM_0, &pin_config);
}

void setup() {

```

```

Serial.begin(115200);
Wire.begin(19, 18);

if (!display.begin(SSD1306_SWITCHCAPVCC, 0x3C)) {
    Serial.println("OLED не знайдено");
    while (true);
}

pinMode(GREEN_LED, OUTPUT);
pinMode(YELLOW_LED, OUTPUT);
pinMode(RED_LED, OUTPUT);

display.clearDisplay();
display.setTextSize(1);
display.setTextColor(SSD1306_WHITE);
display.setCursor(0, 0);
display.println("Starting...");
display.display();

setupI2S();
}

void loop() {
    int32_t samples[SAMPLES];
    size_t bytesRead;
    i2s_read(I2S_NUM_0, (char *)samples, sizeof(samples),
        &bytesRead, portMAX_DELAY);

    // Гучність в дБ
    double sumSquares = 0;
    for (int i = 0; i < SAMPLES; i++) {
        int16_t val = samples[i] >> 14; // скоротити з 32 до 18
        bit
        vReal[i] = val;
        vImag[i] = 0;
    }
}

```

```

    sumSquares += val * val;
}

double rms = sqrt(sumSquares / SAMPLES);
double decibels = 20.0 * log10(rms);

// FFT для визначення частоти
FFT.windowing(vReal, SAMPLES, FFT_WIN_TYP_HAMMING,
    FFT_FORWARD);
FFT.compute(vReal, vImag, SAMPLES, FFT_FORWARD);
FFT.complexToMagnitude(vReal, vImag, SAMPLES);

double peak = 0;
int index = 0;
for (int i = 1; i < SAMPLES / 2; i++) {
    if (vReal[i] > peak) {
        peak = vReal[i];
        index = i;
    }
}

double frequency = (index * SAMPLING_FREQUENCY) / SAMPLES;

// Ігнорування псевдочастот на кшталт 0 Гц або різкого
стрибка вниз
if (frequency == 31 && lastFrequency > 700) {
    frequency = lastFrequency;

    if (millis() - lastGoodUpdate > 1000) {
        frequency = 100; // або якась інша "тишина"
    }
} else {
    lastFrequency = frequency;
    lastGoodUpdate = millis();
}

```

```
//Розпізнавання
```

```
    if (frequency > 1000 && frequency < 1800 && vReal[2] > 100
        && vReal[4] > 80) {
        detected = "Siren";
    } else if (frequency > 400 && frequency < 600 && vReal[4] >
        70 && decibels > 50) {
        detected = "Human cry or scream";
    } else if (frequency > 200 && frequency < 600 && vReal[3] >
        60) {
        detected = "Human voice";
    } else if (frequency > 0 && frequency < 200 && vReal[2] >
        50) {
        detected = "Random noise";
    } else if (frequency > 700 && frequency < 3000 && vReal[6] >
        40 && decibels > 50) {
        detected = "Doorbell";
    } else {
        detected = "unknown";
    }

    if (detected == lastDetected) {
        if (millis() - detectionStart > MIN_DETECTION_TIME) {
            display.setCursor(0, 40);
            display.println(detected);
        }
    } else {
        detectionStart = millis();
        lastDetected = detected;
    }

    if (frequency > 1500) {
        digitalWrite(GREEN_LED, LOW);
        digitalWrite(YELLOW_LED, LOW);
        digitalWrite(RED_LED, HIGH);
    } else if (frequency > 500) {
```

```
    digitalWrite(GREEN_LED, LOW);
    digitalWrite(RED_LED, LOW);
    digitalWrite(YELLOW_LED, HIGH);
} else if (frequency > 100) {
    digitalWrite(YELLOW_LED, LOW);
    digitalWrite(RED_LED, LOW);
    digitalWrite(GREEN_LED, HIGH);
} else if (frequency < 101){
    digitalWrite(GREEN_LED, LOW);
    digitalWrite(YELLOW_LED, LOW);
    digitalWrite(RED_LED, LOW);
}

// OLED
display.clearDisplay();
display.setCursor(0, 0);
display.printf("Volume: %.1f dB\n", decibels);
display.printf("Freq: %.1f Hz\n", frequency);
display.println("Possible sound:");
display.println(detected);
display.display();

delay(200);
}
```