

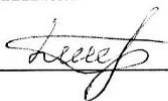
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
Факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій, мехатроніки і робототехніки
Кафедра метрології та інформаційно-вимірювальної техніки

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи
бакалавра

на тему: **Комп'ютеризований прилад для вимірювання параметрів
акустичного шуму**

Виконав: студент 4 курсу, групи MT-2
Спеціальності: 152 «Метрологія та
інформаційно-вимірювальна техніка»

Левицький А.В. 
(прізвище та ініціали)

Керівник: доцент кафедри М та ІВТ

кандидат технічних наук, доцент

Чепюк Л.О. 

(науковий ступінь, вчене звання, посада, прізвище та ініціали)

Рецензент: Ткачук А.Г.,

к.т.н., доцент, зав. каф. РЕчА 

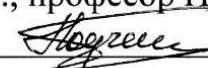
(науковий ступінь, вчене звання, посада, прізвище та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
Факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій, мехатроніки і робототехніки
Кафедра метрології та інформаційно-вимірювальної техніки

Спеціальність 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри метрології та
інформаційно-вимірювальної техніки
д.т.н., професор Подчашинський Ю.О.


« 30 » _____ 03 2023 р.

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу бакалавра

Студент _____ Левицький Артур Вячеславович

1. Тема роботи: Комп'ютеризована система для вимірювання кутової швидкості рухомих об'єктів

Керівник роботи: доцент кафедри М та ІВТ, кандидат технічних наук, доцент Чепюк Л.О.

затверджена наказом по університету від « 30 » березня 2023 р. № 129/с

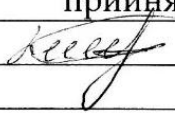
2. Термін здачі закінченої роботи на кафедру « 19 » червня 2023р.

3. Вихідні дані до роботи об'єкт управління – комп'ютеризований прилад для вимірювання акустичного шуму, параметр вимірювання – рівень шуму в dB, похибка точності залежить від зовнішніх умов, інтенсивності, якості компонентів та зовнішніх умов.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які підлягають розробці) огляд та аналіз методів вимірювання акустичного шуму, розробка структурної схеми, розробка принципової схеми, конструкторська частина, розробка алгоритму та програми роботи системи, розрахунок метрологічних характеристик, оцінка показників надійності роботи системи, безпека життєдіяльності та охорона праці

5. Перелік графічного матеріалу (з точним визначенням обов'язкових креслень) структурна схема, електрична принципова схема, перелік елементів, топологія друкованої плати, блок-схема алгоритму роботи системи

6. Консультанти з кваліфікаційної роботи бакалавра із зазначенням розділів роботи, що їх стосуються

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1-8	Чепюк Л. О.		

7. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Узгодження технічного завдання	25.02.23 – 15.03.23	Виконанно
2	Огляд та аналіз методів вимірювання акустичного шуму	10.03.23-16.03.23	Виконанно
3	Розробка структурної схеми	16.03.23 – 15.04.23	
4	Розробка електричної принципової схеми	16.04.23 – 24.04.22	Виконанно
5	Розробка топології друкованої плати	25.04.23 – 09.05.23	Виконанно
6	Розробка алгоритму та програми системи	10.05.23 – 24.05.23	Виконанно
7	Розрахунок метрологічних характеристик	25.05.23 – 03.06.23	Виконанно
8.	Розрахунок надійності	04.06.23 – 15.06.23	Виконанно
9	Оформлення пояснювальної записки та презентаційного матеріалу	15.06.23-20.06.23	Виконанно

Студент


(підпис)

Левицький А.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

Чепюк Л. О.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

В даній кваліфікаційній роботі розроблено комп'ютеризований прилад для вимірювання параметрів акустичного шуму. Розроблено систему, що дозволяє проводити аналіз перехідних процесів та контролю регульованої величини, а сам пристрій у найпростішому випадку можна застосувати в якості моніторингу акустичного шуму.

Ключові слова: комп'ютеризований прилад, акустичний шум, комп'ютеризована система, енкодер.

ABSTRACT

In this qualification work, a computerized device for measuring acoustic noise parameters was developed. A system has been developed that allows for the analysis of transient processes and control of the controlled value, and the device itself can be used as an acoustic noise monitor in the simplest case.

Keywords: computerized device, acoustic noise, computerized system, encoder.

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота представлена пояснювальною запискою в обсязі 95 сторінок формату А4, записка містить вступ, основну частину, що складає вісім розділів, висновки, список використаних джерел та додатків. Темою роботи є розробка комп'ютеризованої системи для вимірювання акустичного шуму

Перший розділ містить основні завдання та вимоги до виробу, а саме: умови експлуатації, технічні характеристики, надійність та конструктивне оформлення.

Другий розділ містить загальний огляд приладу вимірювання шуму, було визначено найбільш практичний мікрофон та обрано доцільний метод програмного опрацювання вимірів.

Третій розділ містить огляд основних існуючих систем вимірювання акустичного шуму, також виконано розробку структурної схеми комп'ютеризованої системи для вимірювання акустичного шуму.

Четвертий розділ містить опис обраної елементної бази та розраховано основні параметри системи на основі отриманих даних розроблено принципову схему.

П'ятий розділ містить огляд розробленого компонування та трасування друкованої плати системи.

Шостий розділ містить огляд розробленого алгоритмічного та програмного забезпечення для комп'ютеризованої системи вимірювання акустичного шуму.

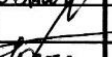
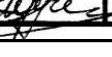
Сьомий розділ містить розрахунок основних метрологічних характеристик системи, а саме похибка мікрофону та вимірювального приладу, визначено клас точності розробленої системи.

Восьмий розділ містить розрахунок надійності приладу, графічно зображено залежність безвідмовної роботи виробу протягом часу.

Останній розділ містить інформацію щодо безпеки та охорони праці.

ЗМІСТ

	стор
ВСТУП	8
1. ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ	9
1.1. Підстава для розробки, призначення та галузь застосування.....	9
1.2. Умови експлуатації.....	9
1.3. Вимоги до технічних характеристик.....	9
1.4. Вимоги до надійності.....	10
1.5. Вимоги до конструктивного оформлення.....	10
2. ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ МЕТОДІВ ВИМІРЮВАННЯ АКУСТИЧНОГО ШУМУ.....	11
2.1. Методи опрацювання вимірювання шуму.....	11
2.2. Пристрій для вимірювання акустичного шуму та його аналоги.	12
2.2.1. Класифікація та застосування шумомірів.....	14
2.2.2. Цифровий шумомір Flus "ET-933".....	16
2.2.3. Шумомір ВШВ-003-М2.....	18
2.2.4. Професійний цифровий шумомір VOLTCRAFT SL-451	19
2.3. Визначення проблем, що потребують вирішення.....	21
2.4. Висновки до розділу.....	24
3. РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ	25
3.1. Алгоритм автоматичної оцінки акустичної обстановки у приміщенні.....	25
3.2. Підбір обладнання для побудови системи оцінки акустичної обстановки у приміщенні.....	26
3.2.1. Модуль ESP32-WROOM із чіпом ESP32-D0WDQ6.....	27

					МММТ.480.006.006 – ПЗ		
Вимм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Комп'ютеризована прилад для вимірювання акустичного шуму		
Розроб.		Левицький А.В.					
Перевір.		Чепюк Л.О.					
Реценз.							
Н. Контр.		Чепюк Л.О.					
Затверд.		Подчашинський Ю			Пояснювальна записка		
					Літ.	Лист	Листів
						6	95
					Державний університет «Житомирська політехніка», гр. МТ-2		

	стор
3.2.2. Висопродуктивний мікрофон INMP441.....	29
3.2.3. Літієвий акумулятора типорозміру 18650.....	30
3.2.4. USB перехідник для програмування та налагодження модулю ESP32.....	31
3.2.5. IPS Дисплей 1.8 spi TFT ST7735.....	32
3.2.6. RTC DS1338Z-33 годинник точного часу.....	33
3.3. Висновки до розділу.....	34
4. РОЗРОБКА ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ.....	35
4.1. Визначення необхідного обсягу пам'яті flesh-картки для дослідження акустичного стану.....	35
4.2. Вибір процесору для ПК.....	36
4.3. Призначення модулю ESP32.....	38
4.4. Принципова схема приладу.....	40
5. КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА.....	43
5.1. Розробка друкованої плати.....	43
6. РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ТА ПРОГРАМИ РОБОТИ СИСТЕМИ....	47
6.1. Розробка алгоритму для введення акустичної інформації з можливістю прив'язки місця до навколишнього середовища....	47
6.2. Розробка програми.....	54
7. РОЗРАХУНОК МЕТРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК.....	57
8. ОЦІНКА ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ РОБОТИ СИСТЕМИ.....	58
9. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОХОРОНА ПРАЦІ.....	62
9.1. Нормативні документи рівня шуму.....	62
9.2. Нормативні вимоги до впливів віброакустичних факторів.....	63
ВИСНОВКИ	70
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	71
ДОДАТКИ	74

ВСТУП

У сучасному світі акустичний шум є актуальною проблемою, яка впливає на якість та комфорт життя людей. Забруднення шумом виникає у багатьох сферах, таких як транспорт, промисловість, будівництво, а також в повсякденному житті. Негативні наслідки шуму можуть бути різноманітними, що стосуються проблем зі здоров'ям, порушення сну, зниження працездатності та погіршення якості життя.

Через це розробка та використання комп'ютеризованих приладів для вимірювання параметрів акустичного шуму стає нагальною задачею. Ці прилади дозволяють об'єктивно виміряти рівень шуму, аналізувати його характеристики та визначати вплив на навколишнє середовище та людей.

Одним із головних завдань комп'ютеризованих приладів для вимірювання параметрів акустичного шуму є забезпечення точності та надійності вимірювань. Вони використовують сучасні технології, такі як цифрові сенсори та аналітичне програмне забезпечення, що дозволяють отримувати об'єктивну інформацію та проводити розширений та більш детальний аналіз шумових характеристик.

Також, комп'ютеризовані прилади для вимірювання параметрів акустичного шуму мають широке застосування у різних галузях. Наприклад, вони використовуються в промисловості для контролю рівнів шуму на робочих місцях та планування заходів зі зниження шуму. У міському плануванні та розвитку вони дозволяють оцінити шумове навантаження у житлових районах та створювати заходи для забезпечення комфортного життя мешканців.

Отже, розробка та використання комп'ютеризованих приладів для вимірювання параметрів акустичного шуму є не менш важливим напрямом досліджень. Вони дозволяють збирати об'єктивні дані про рівень шуму та аналізувати його вплив. Це наявний крок у напрямку зниження шумового забруднення та покращення якості життя людей.

					МММТ.480.006.006 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

1. ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

1.1. Підстава для розробки, призначення та галузь застосування

Підставою для розробки є завдання на дипломне проектування.

Система призначена для вимірювання акустичного шуму

Потрібно розробити структурну схему та вибрати елементну базу, розробити електричну принципову схему комп'ютеризованого приладу для вимірювання акустичного шуму. Розробити програмно-алгоритмічне забезпечення та оцінити точність системи вимірювання.

Початок розробки – лютий 2023 р. Кінець розробки – червень 2023 року.

1.2. Умови експлуатації

1.2.1. Температура навколишнього середовища від 0 до +45 °С.

1.2.2. Вологість: від 20% до 80% без конденсації.

1.2.3. Атмосферний тиск 650-760 мм. рт. ст.

1.2.4. Відсутність хімічно активних речовин .

1.2.5. Характер роботи неперервний.

1.2.6. Захист від ударів і падінь.

1.2.7. Уникання електромагнітних перешкод.

1.3. Вимоги до технічних характеристик

1.3.1. Об'єкт вимірювання – комп'ютеризований прилад для вимірювання шуму.

1.3.2. Напруга живлення 5V

1.3.3. Діапазон вимірювання: 30-130 дБ.

1.3.4. Частотний діапазон: 31,5 Гц – 8000 Гц.

1.3.5. Похибка вимірювання акустичного шуму, $\pm 1-3$ дБ.

1.3.6. Інтерфейс користувача для керування приладом та показу результатів вимірювань.

1.3.7. Електрична мережа: стандартна напруга 220 В, 50 Гц.

1.3.8. Запобіжники або перенапругові пристрої для захисту від нестабільного електропостачання.

					МММТ.480.006.006 – ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.3.9. Умови зберігання: сухе і безпилля місце з температурою від 0°C до 40°C.

1.3.10. Захист від механічних пошкоджень та ударів під час транспортування.

1.4. Вимоги до надійності

Система має властивість відновлення, а не резервування, і є придатною для ремонту. Вона може працювати без відмови протягом принаймні 45 000 годин.

1.5. Вимоги до конструктивного оформлення

Пристрій виготовлений на звичайній платі та у стандартному корпусі.

					МММТ.480.006.006 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

2. ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ МЕТОДІВ ВИМІРЮВАННЯ АКУСТИЧНОГО ШУМУ

2.1. Методи опрацювання вимірювання шуму

Методи вимірювання шуму поділяються на:

- **стандартні** (визначені в міжнародних, державних і галузевих стандартах);
- **нестандартні** (що розробляються для вирішення конкретних завдань).

Стандартні методи поділяються на точні, технічні та орієнтовні.

Точні вимірювання шуму: використання вимірювальних приладів з високою точністю та калібруванням для отримання точних результатів. Зазвичай використовується в спеціалізованих лабораторіях. Точні вимірювання надають надійні результати, які можуть бути використані для правового та наукового обґрунтування.

Технічні вимірювання шуму: використання менш точних, але більш мобільних та доступних приладів для оцінки рівня шуму.. Технічні вимірювання дають загальне уявлення про рівень шуму і можуть застосовуватись для прийняття загальних рішень щодо управління шумом.

Орієнтовні вимірювання шуму: використання простих та загальнодоступних засобів для оцінки шуму.

Всі вимірювальні прилади повинні пройти метрологічну атестацію, якою займаються відповідні компанії та служби. Вони повинні видавати документи, що підтверджують проходження цієї атестації, а також документи, в яких вказуються метрологічні параметри, похибки вимірювання та інше.

Параметрами постійного шуму на робочих місцях, що нормуються, є рівні звукових тисків в октавних смугах з середньгеометричними частотами 31,5; 63; 125; 500; 1000; 2000; 4000; 8000 Гц в децибелах.

Для постійних шумів існують окремі величини, які підлягають вимірюванню:

					МММТ.480.006.006 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

- рівень звукового тиску L_p , дБ, в октавних або трьохктовних смугах частот в контрольних точках;

$$L = 20 \lg P/P_0,$$

де P – середньоквадратичне значення звукового тиску у кожній октавній смузі, Па; P_0 – вихідне значення звукового тиску у повітрі, що дорівнює $2 \cdot 10^{-3}$ Па.

- рівень звуку L_A , дБА, який коректується за шкалою А, в деяких контрольних точках та визначений за формулою;

$$L_A = 20 \lg P_A/P_0,$$

де P_A – ефективне значення звукового тиску з урахуванням корекції "А" шумоміра, Па; P_0 – порогове значення звукового тиску, Па.

- для непостійних шумів вимірюються еквівалентні рівня $L_{pек}$ або L_{Aeq} ;

- стандартні шумові характеристики джерел шуму LW , LWA , $G_{max}(j)$, $G_{maxA}(j)$ визначаються з використанням відповідних залежностей по виміряним рівням звукового тиску.

2.2. Пристрій для вимірювання акустичного шуму та його аналоги

Шумомір – це електронний пристрій для об'єктивного вимірювання рівня звуку, призначений для вимірювання рівня гучності в децибелах (dB). Даний прилад користується популярністю і використовується в побуті та відрізняється високим ступенем точності. Даний інструмент має невисоку вартість та не потребує складних налаштувань. Щоб скористатися приладом, необхідно просто його включити без необхідності складних маніпуляцій та вивчення інструкції на кілька сторінок. Приклад шумомірів наведено на рисунку 2.1.

					МММТ.480.006.006 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12



Рис. 2.1. Шумоміри: 1 - Wintact WT1357, 2 - Benetech GM1356,
3 - ВШВ-003-М2

Він складається з ненаправленого мікрофону, підсилювача, коригувальних фільтрів, детектору, інтегратору (для інтегруючих шумомірів) та індикатор. Шумомір може також вимірювати спектральний склад шуму та інші параметри.

Аналізатор спектра - це прилад, який вимірює спектральний склад звукового сигналу. Він розбиває сигнал на різні частотні складові та показує їх амплітуди. Аналізатор спектра дозволяє визначити, які конкретні частоти внесли найбільший внесок у загальний рівень шуму. Приклад вигляду аналізотру спектра вказано на рис.2



Рис. 2.2. - Аналізатор спектру цифровий GSP-7730

					МММТ.480.006.006 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

Акустична камера - це пристрій для отримання зображень, який використовується для визначення місцезнаходження джерел звуку та їхньої характеристики. Вона складається з групи мікрофонів, також званих мікрофонною решіткою, сигнали з яких одночасно збираються і обробляються, щоб сформувати уявлення про місцезнаходження джерел звуку. Вона дозволяє отримати зображення акустичного поля, де звукові джерела можуть бути виділені і аналізовані. Приклад вигляду акустичної камери вказано на рис.3



Рис. 2.3. – Акустична камера FLUKE

Мобільні додатки: також з розвитком смартфонів та мобільних технологій були створені додатки для вимірювання шуму. Вони використовують вбудовані мікрофони смартфона для збору звукових даних та вимірювання рівня шуму. Проте вони не відрізняються великою точністю і збором звукової інформації.

2.2.1. Класифікація та застосування шумомірів

Зазвичай, шумоміри включають в себе мікрофон, частотний фільтр, підсилювач, реєструючий компонент та індикатор, який наглядно показує рівень вимірюваного шуму в дБ. Шумоміри мають частотну корекцію, мають і перемикачі для різних рівнів-A,B,C,D, та перемикачі для тимчасових

					МММТ.480.006.006 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

характеристик—I—impulse, F—fast, S—slow. Вони використовуються при вимірах відповідно названих видів шумів.

Існує чотири класи точності для всіх шумомірів- 0, 1, 2 і 3 :

-0 клас для шумоміра, означає, що він використовується як еталонний прилад. Вимірювання відбуваються в діапазоні від 20 Гц до 18кГц;

-1 - клас —ці шумоміри використовуються для лабораторних досліджень. Вимірювання відбуваються в діапазоні від 20Гц до 18кГц;

-2 - клас —шумоміри, котрі потрібні при технічних вимірюваннях. Діапазонвимірювань від 20Гц до 8кГц;

-3 - клас — орієнтовні вимірювання. Діапазон вимірювань від 31,5Гц до 8кГц;

Також існують так звані інтегруючі шумоміри, що використовуються при вимірюванні еквівалентного рівня шуму, який був усереднений за тривалий період часу.

Рівень звуку, який знаходиться в певній смузі частот показується приладами вимірювання шуму, що будуються на основі частотних аналізаторів, котрі в свою чергу мають набір смугових фільтрів.

Частотні аналізатори бувають вузькосмуговими, октавними та трьохоктавними, це залежить від виду частотної характеристики.

Частотна характеристика фільтра:

$$K(f)=U_{вих}/U_{вх},$$

$K(f)$ —залежність коефіцієнта передачі сигналу, який передається звходуфільтра $U_{вх}$ на його вихід $U_{вих}$, залежно від частоти сигналу f .

На рисунку N, показана типова частотна характеристика октавного смугового фільтра. Смуговий фільтр характеризується смугою пропускання:

$$B=f_2-f_1$$

де f_1 і f_2 - частоти, B - область між ними. Частотна характеристика $K(f)$ має значення (загасання) не більше 3дБ

					МММТ.480.006.006 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

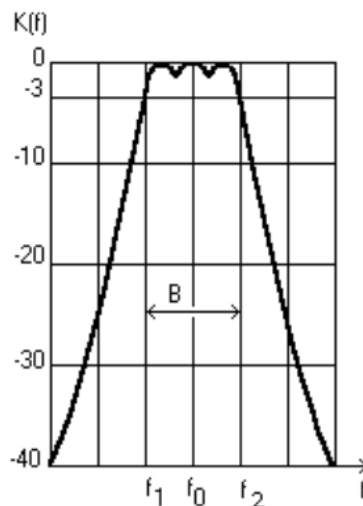


Рис. 2.4. –Частотна характеристика октавного фільтра

f_1 і f_2 – частоти зрізу фільтра, $f_0 = (f_1 * f_2) * 1/2$ - центральна частота фільтра.

Допустимі рівні звуку в приміщеннях різного призначення встановлені державними санітарними нормами. Допустимі рівні звуку в відповідних частотних діапазонах стандартизуються такими ж санітарними нормами. Щоб виміряти загальний рівень шуму та його частотний склад, використовують наступні підходи:

- використання спеціалізованих шумомірів, які мають вбудовані аналізатори спектру;
 - використання універсальних шумомірів з набором смугових фільтрів.
- Для прикладу розглянемо декілька шумомірів.

2.2.2. Цифровий шумомір Plus "ET-933"

Шумомір Plus "ET-933" відрізняється широким діапазоном від 30 до 130 дБ і точністю ± 1.4 дБ. Завдяки частоті вимірювання 2 рази в секунду і можливості фіксації максимального показання ви зможете проводити виміри газодинамічних шумів і буде відображатись інформація онлайн. Датчиком служить чутливий електретний мікрофон, вмонтований в корпус. Всі операції по управлінню робляться однією рукою. Цифровий шумомір Plus "ET-933" наведено на рис. 2.5.

					МММТ.480.006.006 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16



Рис. 2.5. – Цифровий шумомір Flus "ET-933" (30 - 130 dB (A) (31.5 Hz - 8 kHz))

Переваги та особливості вимірювача рівня шуму Flus "ET-933":

- Автоматичне підсвічування дисплея (включається при недостатньому освітленні)

- Фіксація максимального і мінімального значень
- Міцний корпус
- Швидкість вимірювання 2 рази в секунду
- Автоматичне відключення при тривалій простой

Технічні характеристики шумоміра Flus "ET-933":

- Діапазон вимірювань: 30-130 дБ
- Похибка: ± 1.4 дБ
- Дискретність: 0.1 дБ
- Діапазон частот: 31.5 Гц - 8.5 кГц
- Частота вимірювання: 2 рази в секунду
- Ціна: 1870 грн

В цілому, досить непоганий варіант, але не задовольняє вимогу щодо вимірювання частоти звукових коливань.

					МММТ.480.006.006 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

2.2.3. Шумомір ВШВ-003-М2

Шумомір ВШВ-003-М2 призначений для вимірювання та аналізу шуму і вібрації в житлових і виробничих приміщеннях.

Використовується для визначення джерел і характеристик шуму і вібрації в місцях знаходження людей, при дослідженнях і випробуваннях машин і механізмів, при розробці та контролі якості виробів.

Прилад ВШВ-003-М-2 має вбудовані фільтри з частотними характеристиками А, В, С, Лін, а також смугові фільтри: октавні, дозволяють виробляти класифікацію, вимір і визначення нормованих параметрів відносно шуму і вібрації. Шумомір ВШВ-003-М2 наведено на рис. 2.6



Рис. 2.6. – Шумомір ВШВ-003-М2

Він відноситься до шумомірів I класу точності і дозволяє вимірювати коректований на таких рівнях звуку - А, В, С. Рівень звукових тисків у діапазоні частот від 20 Гц до 18 кГц; в октавних смугах – від 16 до 8 кГц. Даний прилад використовують для вимірювання шуму в виробничих приміщеннях та житлових кварталах в цілях охорони здоров'я; при розробці та контролі якості виробів.

Основні технічні характеристики приладу ВШВ-003М2:

- Смуга частот, Гц:
- Вимірювання параметрів вібрації: 1 ... 10000;
- Рівень звукового тиску за влучним висловом ЛИН: 2 ... 18000.
- Динамічний діапазон вимірювання параметрів вібрації:

					МММТ.480.006.006 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

- віброприскорення, м/с²: $3 \cdot 10^{-3} \dots 10^{-3}$;
- віброшвидкості, мм/с: $3 \cdot 10^{-2} \dots 5 \cdot 10^{-4}$;
- рівня звуку, дБ отн. $2 \cdot 10^{-5}$ Па: 22 ... 140.
- Основна похибка вимірювання:
 - параметрів вібрації, %: ± 10 ;
 - шуму (клас точності): 1.
- Споживана потужність, В*А:
 - при живленні від мережі: 5;
 - при живленні від акумуляторної батареї: 1.
- Ціна: 44 000 грн.

2.2.4. Професійний цифровий шумомір VOLTcraft SL-451

Voltcraft SL-451 - першокласний шумомір з додатковими можливостями. SL-451 - це сучасний цифровий шумомір, що випускається німецькою компанією VOLTcraft. Завдяки своїм технічним характеристикам, він з високою точністю вимірює рівень шуму в діапазоні від 30 до 130 дБ. Вигляд шумоміра наведено на рис. 2.7.



Рис. 2.7. – Професійний цифровий шумомір Voltcraft SL-451 (30-130 дБ).

Прилад зроблений в прогумованому корпусі, що дозволяє використання навіть в найгірших умовах, і важить всього 350 грам, що

					МММТ.480.006.006 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

робить його дуже зручним у роботі. Конструкція складається з основного блоку, яка проводить вимірювання, і знімного мікрофона. Комфортний вітрозахист дозволяє робити на вулиці, а надійний кейс захистить прилад від пошкоджень при переміщенні. Щоб побачити результати вимірювання шумомір SL-451 має контрастний дисплей, який підтримує яскраве підсвічування, що дозволяє працювати навіть в місцях з недостатнім освітленням. Для вибору різних функцій на передній панелі розташовано 8 клавіш, об'єднаних в 2 групи. У пристрої є 2 різних режими вимірів: А і С, перший з яких аналізує шум, що сприймається людським вухом, а другий призначений для роботи з піковими рівнями сигналів. Прилад здатний автоматично обирати діапазон вимірювань і має внутрішню пам'ять на 32,600 значень, що забезпечує без додаткової праці порівняти результати, отримані протягом довгого часу. Для збереження інформації в пам'ять комп'ютера розроблений порт USB, а зробити точний аналіз забезпечує спеціальне програмне забезпечення, що входить в комплект поставки. Доповнює все це широкий набір функцій, що включає можливість виміру мінімального і максимального значення, вибір швидкостей вимірювань і проведення калібрування. Пристрій може живитися як від батареї 9В, так і від адаптера. Якщо вам необхідний надійний і точний шумомір, здатний якісно виконувати свою роботу в будь-яких умовах, то Voltcraft SL-451 буде оптимальним вибором.

Переваги та особливості цифрового шумоміра Voltcraft SL-451:

- Підсвічування дисплея (включається вручну, а вимикається автоматично).
- Пило- та вологозахищений прогумований корпус.
- USB інтерфейс - шумомір може виступати як даталогер.
- Можливість після заводського калібрування.
- Живлення від батареї 9В або від мережі через адаптер (входить в комплект).

					МММТ.480.006.006 – ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Дата і час.
- Пам'ять на 32,600 вимірів.
- Режими FAST (0.125 с) і SLOW (1 с).
- Різьба для кріплення на штативі.

Технічні характеристики цифрового шумоміра Voltcraft SL-451:

- Діапазон вимірювань: 30-130 dB.
- Похибка: ± 1.4 dB.
- Дискретність: 0.1 dB.
- Діапазон частот: 31.5 Hz - 8000 Hz.
- Ціна: 15,120 грн.

Даний шумомір має маленьку похибку і досить великий діапазон вимірювань. Тим не менш, він не задовольняє вимогу щодо вимірювання частоти звукових коливань, яка є важливою для визначення точного характеру шуму.

2.3. Визначення проблем, що потребують вирішення

Відомо, що в галасливих приміщеннях важко зосередитися, шум впливає на продуктивність, звук дратує нас, коли його гучність дорівнює гучності звичайної розмови або перевищує її. Тоді шум виступає не просто як джерело роздратування, бо як відволікаючий чинник, це з мимовільної орієнтацією уваги девіантний звук. Час, який буде потрібний співробітникам для відновлення концентрації, призводить до зниження продуктивності праці. За різними джерелами в середньому потрібно від 10 до 25 хвилин, щоб співробітник повернувся до виконання початкового завдання після перерви, і ще вісім хвилин проходить доти, доки він не досягне того рівня концентрації.

Це зумовлено будовою головного мозку – перші 15-20 хвилин роботи наші нейрони створюють необхідні зв'язки між собою і тільки після цього починається продуктивний режим, коли ми здатні вирішувати завдання, творити, досягати результатів.

					МММТ.480.006.006 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

У цьому здатність концентруватися не безмежна. Коли ми переходимо кордони і перевантажуємо увагу постійно відволікаючись, втрачаємо можливість зосереджуватися.

Шум негативно впливає на нашу нервову систему, скорочує середню тривалість життя, стає причиною виникнення багатьох небезпечних хвороб. Люди, які живуть у мегаполісах та великих містах, страждають від шуму на 36% більше, ніж люди, які мешкають у невеликих населених пунктах.

Людині, яка систематично зазнає негативного впливу шуму, доводиться витратити на 15-25% більше нервово-психічних і фізичних зусиль, щоб зберегти той рівень вироблення, який був досягнутий при шумі в 65-70 дБ і нижче.

Шум негативно впливає на вегетативну нервову систему незалежно від того, як він суб'єктивно сприймається самою людиною. Найпоширенішою вегетативною реакцією організму на постійний вплив шуму є звуження капілярів слизових оболонок та шкірного покриву, що призводить до виникнення порушення периферичного кровообігу.

Якщо рівень шуму перевищує 84-88 дБ, то у людини може підвищитися артеріальний тиск. Впливаючи на центральну нервову систему, шум стає причиною виникнення біохімічних змін у структурах мозку.

Якщо людина постійно піддається негативному впливу шуму, то зорово-моторні реакції у нього сповільнюються, рухливість нервових процесів та біоелектрична активність мозку порушуються, електроенцефалографічні показники та біопотенціали головного мозку змінюються на гірший бік.

Шум активізує вироблення адреналіну, кортизону, норадреналіну, які є гормонами стресу. Цей процес не припиняється під час нічного відпочинку. Чим вище рівень цих гормонів в організмі і чим довше вони циркулюють за кровоносною системою, тим більше серйозних проблем фізіологічного характеру можуть виникнути в найближчому майбутньому.

					МММТ.480.006.006 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

Шум, рівень якого дорівнює 110 дБ і більше, стає причиною зниження слуху і може спричинити повну глухоту. Шум від 85 дБ і від негативно впливає на слухову чутливість, що призводить до її зниження на високих частотах. У вусі відбуваються зміни, які мають необоротний характер. Чим довше людина піддається впливу такого рівня шуму, тим більше вона починає скаржитися на нездужання. У людини спостерігаються сильний головний біль, надмірна дратівливість, запаморочення, нудота. Якщо рівень шуму високий і дуже високий, слухова чутливість у людини помітно знижується вже через один-два роки. Якщо ж на людину впливають шуми середнього рівня, то втрата слуху відбувається майже непомітно. Про те, що слухова чутливість знизилася, людина дізнається тільки через 7-12 років.

Якщо високий рівень шуму тривалий час впливає на людину, то може виникнути шумова хвороба. Дане захворювання є комплексом специфічних та неспецифічних симптомів, які можна поділити на суб'єктивні та об'єктивні. Об'єктивні симптоми шумової хвороби – це: зниження рівня кислотності та негативні зміни функцій травної системи; зниження рівня чутливості слуху; серцево-судинна недостатність; різні розлади ендокринної системи.

Суб'єктивні симптоми шумової хвороби – це: біль у вухах; дзвін, писк, шум у вухах; підвищена дратівливість; шлункові болі; зниження та часткова втрата пам'яті; часті запаморочення; сильний головний біль; підвищена стомлюваність; відсутність апетиту.

Шумова хвороба далеко не завжди піддається лікуванню. Цілком відновити слух не можна, можна лише частково його покращити. Для цього потрібно систематично лікуватися та припинити перебування у надто агресивних умовах шуму.

Дотримання контролю за рівнем шуму є важливим завданням з метою забезпечення комфорту, безпеки та добробуту людей. Тому моніторинг рівня

шуму дозволяє ідентифікувати небезпечні зони та приймати заходи для зменшення ризику.

2.4. Висновки до розділу

У розділі проведено загальний огляд по шумомірам, розглянуто їх класифікацію, будову та принцип роботи, також розглянуто основні методи опрацювання точності результатів. Проблеми, які виникають при не дотриманню контролю за рівнем шуму, і як це впливає на добробут людей.

					МММТ.480.006.006 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

3. РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ

3.1. Принцип оцінки акустичного шуму

У приладі передбачається використовувати чотири основних компоненти – мікрофон (датчик, підсилювач, обробка сигналу і дисплей. Мікрофон перетворює звуковий сигнал в еквівалентний електричний сигнал. Найбільш відповідний тип мікрофона для прибору для вимірювання шуму - електронний мікрофон, що поєднує в собі точність, стабільність і надійність. Електричний сигнал, вироблений мікрофоном, знаходиться на дуже низькому рівні і посилюється попереднім підсилювачем, перш ніж він буде оброблений головним процесором, як правило, програмним.

Оскільки даних буде багато, інтервал можна збільшити після проведення первинних/пробних вимірювань.

Джерелами шуму приймаємо: людей (можуть вільно переміщатися та сидіти на своєму робочому місці), телефонні апарати (перебувають на робочих місцях кожного метра та технолога), припливно-витяжна система вентиляції (комунікації розведені по всьому периметру стелі приміщення на висоті 3м та витяжки опущені на кожне місце виконавця).

Точки розміщення датчиків у виробничому приміщенні ми вибираємо на робочих місцях та (або) у зонах постійного перебування людей на висоті 1,5 м від підлоги. Оскільки критично шумного обладнання на досліджуваній ділянці немає – всі датчики будуть розташовані по одному на кожному робочому місці у виконавців, технологів, майстрів та у місці колективного перебування персоналу.

Вихідними даними для акустичного розрахунку буде план і розріз приміщення з розташуванням технологічного та інженерного обладнання та інших джерел шуму, розрахункових точок.

Принцип оцінки акустичного шуму представлений на рис. 3.1.

					МММТ.480.006.006 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

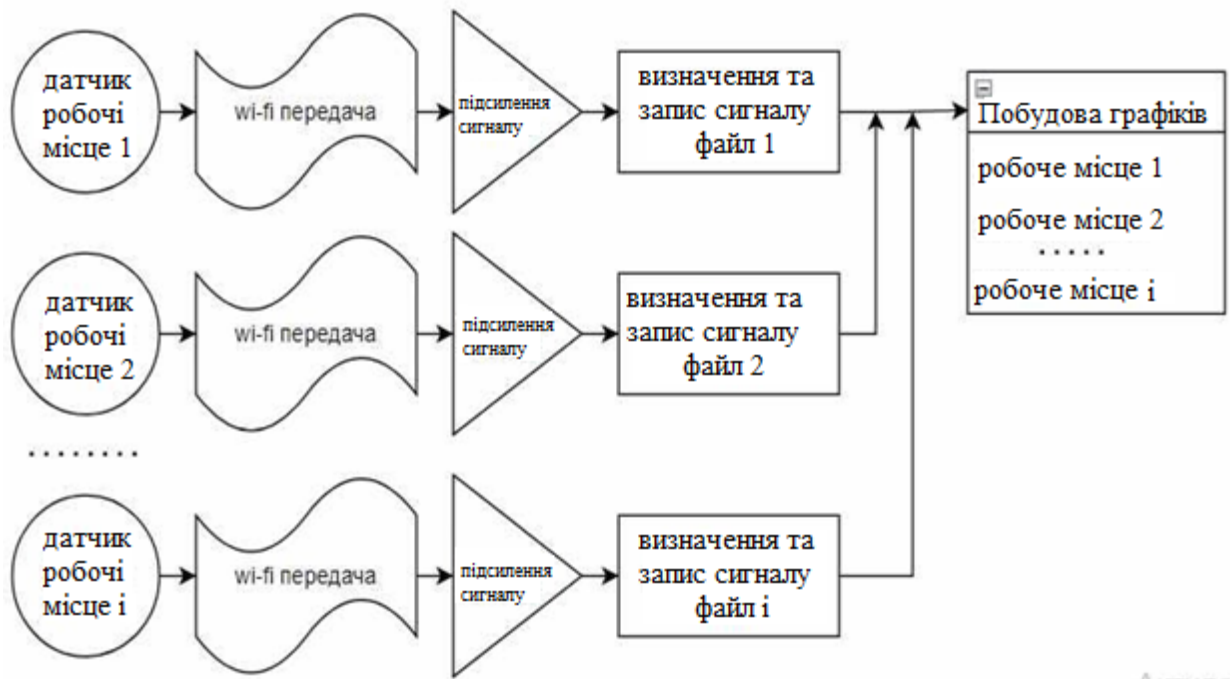


Рис. 3.1. - Принцип оцінки акустичного шуму

3.2. Підбір обладнання для побудови системи оцінки акустичної обстановки у приміщенні

У цій роботі планується використовувати наступне обладнання.

- мікрофон – він має бути високопродуктивний, всеспрямований та з низьким енергоспоживанням, також мати цифровий виходом I2S;
- модуль з необхідним чіпом для спрощення процесу розробки;
- Датчик GPS, для відслідкування;
- модуль запису на SD-носії Кардрідер для SD-карт;
- дисплей для оперативного виведення інформації та розуміння інформації;
- літєвий акумулятор;
- полімерний USB, що перезаряджається;
- персональний комп'ютер.

Структурна схема комп'ютеризованого приладу вимірювання акустичного шуму показана на рис. 3.2.

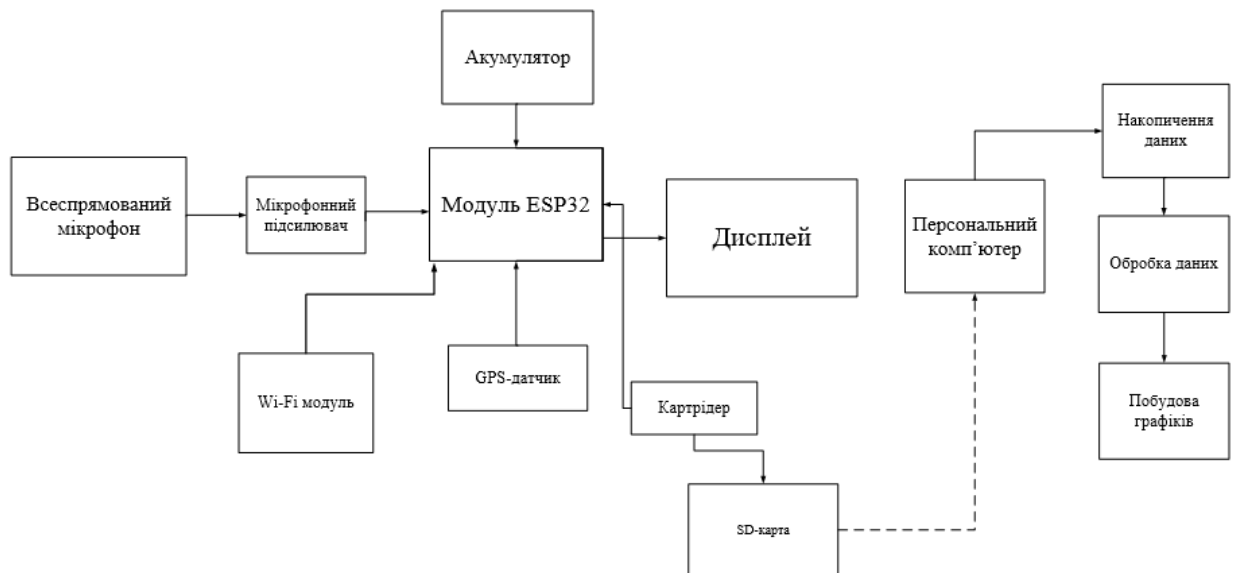


Рисунок 3.2. - Структурна схема комп'ютеризованого приладу вимірювання акустичного шуму

Ця структурна схема демонструє, як компоненти взаємодіють між собою для збору та аналізу інформації про рівень шуму і географічні координати. Вона надає можливість зручно використовувати всі компоненти системи і показувати результати на дисплеї для оперативного контролю

Для розробки комп'ютеризованого приладу для вимірювання акустичного шуму обираємо наступні компоненти системи:

3.2.1 Модуль ESP32-WROOM із чіпом ESP32-D0WDQ6

Мікроконтролер працює на основі коду, який записується у його пам'ять. Цей код складається з команд, які мікроконтролер зчитує по черзі і виконує. Команди вказують мікроконтролеру, які операції потрібно виконати, які дані обробити та які сигнали згенерувати на виходах.

Чіп ESP32-D0WDQ6, який входить до складу модуля ESP32-WROOM, є потужним і продуктивним мікроконтролером, тому він підходить для зчитування інформації з мікрофону. Він має двоядерний процесор, вбудовану пам'ять і можливості з підтримки бездротових комунікацій, таких як Wi-Fi і Bluetooth.

Модуль ESP32-WROOM та чіп ESP32-D0WDQ6 представлений на рис. 3.3.

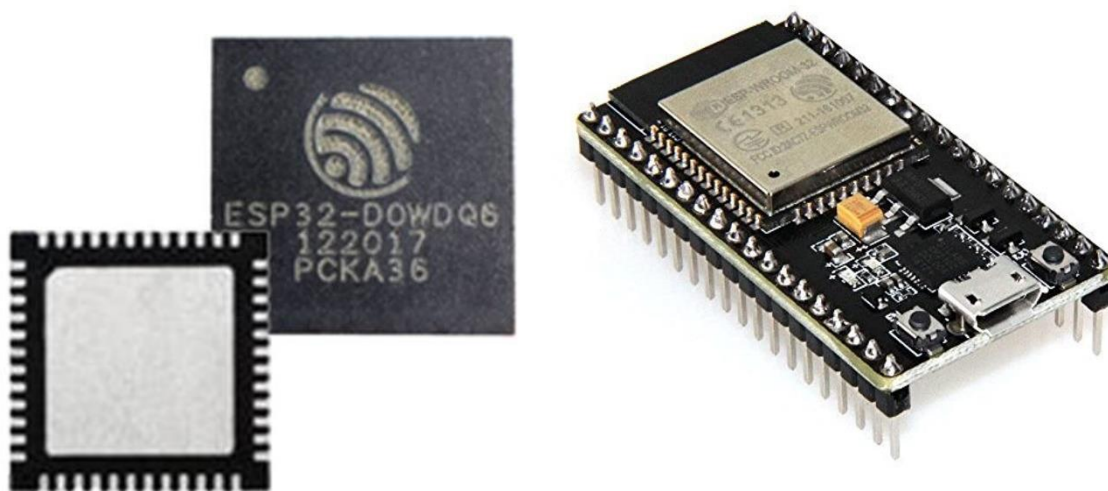


Рис. 3.3. – Модуль ESP32-WROOM та чіп ESP32-D0WDQ6

Також даний модуль підтримує бездротові комунікаційні протоколи, зокрема Wi-Fi і Bluetooth. Це дозволяє без проблем з'єднувати пристрій до бездротових мереж і обмінюватись даними напряму з іншими пристроями.

Технічні характеристики модулю ESP32-WROOM із чіпом ESP32-D0WDQ6:

- Частота бездротової передачі: 2,4 ГГц
- Стандарт Wi-Fi: 802.11b/g/n
- Стандарт Bluetooth: BLE v4.2 BR/EDR
- Тактова частота: до 240 МГц
- Flash-пам'ять: 448 КБ
- Зовнішня Flash-пам'ять: 4 МБ
- SRAM-пам'ять: 520 КБ
- Пінів загального призначення: 25 введення-виводу (GPIO) та 4 введення (GPI)
- контактів з АЦП: 15
- Розрядність АЦП: 12 біт
- контактів з ЦАП: 2
- Розрядність ЦАП: 8 біт
- Контактів із ШІМ: 21 (16 каналів)

- Розрядність ШІМ: 16 біт
- Контактів з ємнісним сенсором: 8
- Пінов із перериваннями: 25
- Апаратні інтерфейси: 3×SPI, 3×UART, 2×I²C та 2×I²S
- Напруга логічних рівнів: 3,3 В
- Максимальний струм із піна або на пін: 12 мА
- Максимальний вихідний струм піна 3V3: 1 А
- Вхідна напруга через пін V_{in}: 5–14 В
- Габарити: 51×28 мм

3.2.2 Високопродуктивний мікрофон INMP441

На рисунку 3.4. і 3.5. відповідно представлені принципова схема та зовнішній вигляд всепрямованого мікрофона INMP441

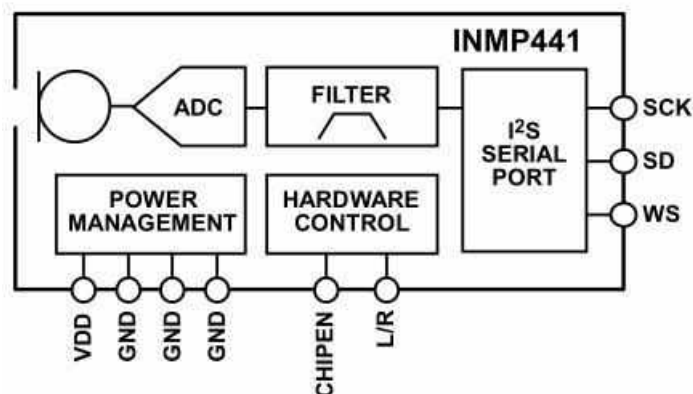


Рис. 3.4. – Принципова схема всепрямованого електронного мікрофона INMP441



Рис. 3.5. - Зовнішній вигляд всепрямованого електронного мікрофона INMP441

Як видно із схеми всеспрямованого електронного мікрофона INMP441, його застосування не потребує додаткових бібліотек, для підключення достатньо розуміти роботу плати ESP32. В даний час ініціалізація мікрофона адекватно описана в офіційному посібнику з експлуатації плати ESP32, також є докладні приклади експериментів застосування зв'язування плати ESP32 та мікрофону INMP441

Використання всеспрямованого мікрофона INMP441 для вимірювання шуму дозволяє отримувати точні дані про рівень шуму в конкретних напрямках, забезпечує ефективну роботу з обмеженим енергозабезпеченням та забезпечує високу якість звуку. Це робить його ідеальним вибором для досліджень шуму та аналізу даних у різних сферах, таких як промисловість, медицина, охорона довкілля та інші.

Характеристики:

- Напруга живлення: 1.8...3.3 вольт.
- Чутливість: -26 дБFS.
- Частотний діапазон: від 60 Гц до 15 кГц.
- Положення шуму (PSR): -75 дБFS.
- Цифровий інтерфейс: I²S з 24-бітними даними високої точності.

3.2.3 Літієвий акумулятора типорозміру 18650:

Літієвий акумулятор типорозміру 18650 є оптимальним варіантом для дослідження шуму, оскільки має велику ємність, високу напругу, переносність і довговічність, що дозволяє забезпечити ефективність і зручність вимірювань шуму. Це забезпечує зручність роботи та можливість проводити вимірювання в різних умовах.

Вигляд літієвого акумулятору 18650 Videx на 2200mAh показано на рис. 3.6.

					МММТ.480.006.006 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30



Рис. 3.6 – літійовий акумулятор 18650 Videx на 2200mAh

Характеристики:

- Напруга: переважно мають напругу в межах 3,7-4,2 вольт.
- Ємність: 2200mAh (або 2,2 ампер-години).
- Максимальний струм розряду: Зазвичай має значення від 2 до 4 ампер.
- Життєвий цикл: від 300 до 500 циклів.

3.2.4 USB перехідник для програмування та налагодження модулю ESP32

Модуль USB-перехідника для програмування і налагодження Wi-Fi модулю ESP-32 на базі мікросхеми CH340G. Даний модуль містить весь необхідний інтерфейс для коректної роботи програмованих модулів. Для вибору режиму роботи на платі встановлений перемикач режиму роботи. Програмувати і завантажувати прошивку можна через Arduino IDE версії вище 1.6.5. Вигляд USB перехідника наведено на рис. 3.7.



Рис. 3.7. – USB перехідник для програмування та налагодження модулю ESP32

Характеристики:

- Робоча напруга: 4.5-5.5 В
- Максимальний ток: 300 мА
- Перемикач режиму роботи:
- Режим налагодження
- Режим програмування
- USB перетворювач: CH340G
- Напруга логічних рівнів: 3.3 В

3.2.5 IPS Дисплей 1.8 spi TFT ST7735

Дисплей працює за SPI інтерфейсом, що вимагає мінімальну кількість пінів для підключення, а також робить його універсальним, що дозволяє використовувати його з Arduino-сумісними мікроконтролерами.

Вигляд IPS Дисплей 1.8 spi TFT ST7735 зображено на рис. 3.8.



Рис. 3.8. - IPS Дисплей 1.8 spi TFT ST7735

Технічні характеристики:

- Розмір дисплея: 1.8 дюйма (діагональ)
- Роздільна здатність: Зазвичай 128x160 пікселів
- Кольорова глибина: Зазвичай 16-бітна (65,536 кольорів)
- Напруга живлення: Зазвичай 3.3 В або 5 В

Дисплей з інтерфейсом SPI та контролером ST7735 підходить до ESP32, оскільки ESP32 має вбудований інтерфейс SPI та достатню кількість

					МММТ.480.006.006 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

виводів GPIO для підключення такого дисплея. ESP32 може взаємодіяти з дисплеєм через інтерфейс SPI, передаючи йому дані для відображення.

3.2.6 RTC DS1338Z-33 годинник точного часу.

Модуль DS1338Z-33 підходить для використання з ESP32. RTC модуль DS1338Z-33 має свій власний годинник та календар, який може зберігати час і дату, навіть коли живлення вимкнено.

Вигляд **RTC DS1338Z-33** - годинника точного часу наведено на рис. 3.9.



Рис. 3.9. – RTC DS1338Z-33 годинник точного часу.

Характеристики:

- Інтерфейс: I2C
- Напруга живлення: 2.3V до 5.5V
- Внутрішня точність годинника: ± 2 хвилини на місяць при 25°C
- Внутрішня точність календаря: ± 3 дні на місяць
- 56 байт вільної RAM пам'яті для користувацьких даних

ESP32 має вбудований інтерфейс I2C, який є стандартним для RTC модулів, включаючи DS1338Z-33. Це означає, необхідно підключити RTC модуль до ESP32 за допомогою двох проводів - SDA (даних) та SCL (години) - і використовувати його для отримання точного часу і дати в своїй програмі на ESP32.

					МММТ.480.006.006 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

Ознайомившись із мікроконтролерами з вбудованими Wi-Fi модулями, був обраний наступний – ESP32-WROOM. Причиною вибору є наявність мікроконтролера та Wi-Fi модуля на одній готовій платі, при цьому дана плата виконує всі поставлені вимоги. Важливим зауваженням до інших мікроконтролерів є необхідність використання окремого модуля для їх програмування, що досить серйозно ускладнює їх використання.

3.3. Висновки до розділу

У цьому розділі розглянуто докладний огляд комп'ютеризованого приладу для вимірювання акустичного шуму в приміщенні. Обраний підхід, до якого буде використовуватись алгоритм для автоматичної оцінки акустичного шуму. Окремо розглянуті кожен із елементів, які присутні в структурі. Обраний мікрофон, акумулятор, USB-перехідник, TFT-дисплей, годинник реального часу та мікропроцесор.

					МММТ.480.006.006 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

4. РОЗРОБКА ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ

4.1. Визначення необхідного обсягу пам'яті flesh-картки для дослідження акустичного стану

Для проектованого пристрою може бути використаний двоканальний енкодер із роздільною здатністю не більше 10000 міток на оберт. Такий датчик дозволить нам визначати зворотне напрямлення для управління двопозиційними валами .

Для потреб визначення рівня шуму не потрібно «студійної якості» запису звуку, проте для окремих випадків може знадобитися розрізнення звуків, наприклад - мови. Тому вибираємо прийняті для побутового використання параметри: частота дискретизації 44,1 КГц при глибині кодування 16 бітів.

Безперервність запису буде продовжуватися протягом 9 годин (8 годин робоча зміна + 1 година перерва на обід, тому що ми розглядаємо варіант, що максимально не вимагає людського втручання). Одна хвилина запису цифрового аудіофайлу за досвідченими даними на диску займає 1,3 Мбайт, розрядність ЦАП (Цифро-аналоговий перетворювач) (використовується для прийому звукового сигналу) на ESP32 звукової плати – 12.

Розрахунок:

$$9 \text{ годин} * 60 \text{ хвилин} * 60 \text{ секунд} = 32400 \text{ секунд.}$$

$$44,1 \text{ КГц} * 1000 = 44100 \text{ Гц.}$$

$$16 \text{ бітів} : 8 = 2 \text{ байти.}$$

$$32400 * 44100 * 2 = 2869200 \text{ байт} : 1024 : 1024 = 2,8 \text{ Гбайт.}$$

Отримуємо: мінімальний необхідний обсяг пам'яті для зберігання цифрового аудіо файлу 2,8 Гбайт для одного робочого дня. Для адекватного підстрахування можливостей безвідмовної роботи flesh-картки обов'язково потрібно закласти відсоток запасу, приймаємо 10%. Разом обсяг пам'яті для зберігання цифрового аудіофайлу на один робочий день складе:

$$2,8 * 1,1 = 3,08 \text{ Гбайт.}$$

					МММТ.480.006.006 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

Вибираємо розмір пам'яті найближчого значення із представленої розмірної сітки: 2ГБ.

При гострій необхідності час безперервного запису показань шуму можна значно збільшити. Оскільки дослідження шумової картини приміщення не може бути обмежене 1 днем, а мінімальну циклічність можна починати розглядати від одного робочого тижня (5 днів).

Тоді отримуємо:

$$1,8*1,1*5=9,9 \text{ Гбайт}$$

Найближчий розмір flash-карти дорівнює 16 Гб. Таким чином можна розраховувати на збір інформації за тиждень, за умови включення та вимкнення системи на початку та наприкінці зміни.

Такі розрахунки актуальні для лінійних вимірів акустичного шуму: прилад встановлюється на стаціонарне місце з метою з'ясування акустичної обстановки у конкретній точці приміщення. Також такий підхід може бути стартовим майданчиком для подальших пошуків.

4.2. Вибір процесору для ПК

Як з'ясувалося раніше обсяг записуваної інформації досить великий і записати на носій і передати її на персональний комп'ютер це половина завдання комплексної послуги моніторингу акустичної безпеки виробничого середовища.

При правильному монтажі самого пристрою, при коректному зніманні, передачі та зберіганні показників акустичного шуму – основна «важка робота» починається при обробці та аналізі отриманих даних. Таким чином, другою ключовою фігурою обладнання виступає персональний комп'ютер і його функціональні можливості.

Вважаю важливим при виборі комп'ютера почати з визначення продуктивності процесора. Можна сказати, процесор - це мізки всього комп'ютера. В основному можна сказати, що саме від процесора залежать швидкість і продуктивність комп'ютера. Також потрібно враховувати

					МММТ.480.006.006 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

програмне забезпечення, що відповідає за багатопоточність виконання обробки команд, що надходять.

При виборі процесора орієнтуватися потрібно такі показники: кількість ядер і тактова частота, архітектура і тепловиділення.

Так вийшло, що роз'єм у материнській платі, куди встановлюється процесор - це абсолютно унікальне явище, і ніхто не придумав ніякого адаптера для встановлення "не рідний" сокет, обраного за всіма іншими параметрами процесора. І все-таки, як показує практика, сумісність сокету значить можливості установки процесора на конкретну материнську плату. При виборі потрібно орієнтуватися на сімейство, покоління і клас процесора. Буває, щоби все запрацювало, потрібно оновити BIOS. Ось така заплутана історія.

Чим більша кількість ядер присутня в процесорі, тим більша кількість вимогливих програм зможе адекватно працювати, як би процесор ділить навантаження між декількома «обчислювальними центрами», і вважається тому, що продуктивність комп'ютера зростає: кількість ядер дорівнює кількості можливостей здатних задіяти весь закладений в комп'ютері потенціал для обчислень. Ми будемо виходити з правила, запропонованого відповідальними консультантами, що чотири ядра є необхідним мінімумом для універсального ПК, а шість — оптимальним рішенням для більшості офісних завдань.

Крім усього іншого, на момент виконання переддипломної практики, що можна ментально поєднати з пілотним запуском проекту, ми висуваємо по суті мінімальні вимоги до обчислювальної техніки: запис аудіо-файлів, статистичні розрахунки, побудова залежностей «місце – час – акустичний шум», побудова та збереження робочої бази даних одержаних результатів. Але враховуючи спрямованість роботи на створення не просто безпечного, а саме комфортного акустичного довкілля людини серед шумових агресорів, на майбутнє потрібно враховувати можливість, при необхідності, займатися

					МММТ.480.006.006 – ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

розробкою дизайн-проектів безпечного акустичного середовища, встановлення та роботи на цьому ж персональному комп'ютері відповідних програм, графічних, 3D-моделювання, візуалізації.

Наочність передбачає широкоформатний монітор. Величезному обсягу навіть первинної інформації знадобиться стиск, архівація. А відповідно кожен із цих факторів вимагає збільшення кількості ядер і ще раз збільшення в найближчому майбутньому.

Тому мінімально необхідну кількість ядер приймаю 8. При цьому для подальшого швидкого мультипікування потужностей пропоную використовувати мультисокетну материнську плату, що дозволить багатоядерного отримати багато процесорний комп'ютер.

Щодо тактової частоти (як показник кількості операцій, які процесор здатний виконати за секунду, а значить, чим вище тактова частота, тим більш продуктивним буде процесор) приймаємо від 4 ГГц, що відповідає запитам на виконання складних завдань та дозволяє запускати професійні програми.

Як відомо, на даний момент нам доступні всього 2 виробника процесорів Intel та AMD.

4.3 Призначення модуля ESP32

Розпінування модуля ESP32 показано рисунку 7 з описом у таблиці 8.

Таблиця 4.3 - Призначення модуля ESP32

Назва / позначення	Кількість	Призначення
Піни живлення		
VIN	1	Пін для підключення зовнішнього джерела напруга в діапазоні від 5 до 14 вольт
3V3	1	Пін від стабілізатора напруги з виходом 3,3 вольт та максимальним струмом 1 А. Регулятор забезпечує живлення модуля ESP32-WROOM
GND	2	Вивід землі
Порти введення/виводу		
Цифрові входи-виходи	21	№№ 1–5, 12–19, 21–23, 25–27, 32 и 33 Контакти введення-виведення загального призначення. Піни можуть бути налаштовані на вхід або вихід. Логічний рівень одиниці – 3,3 В, нуля – 0В. Максимальний струм виходу – 12 мА.
Цифрові входи	4	№№34–36 и 39 Контакти уведення загального призначення. Можуть бути налаштовані лише на вхід.

ШИМ		Усі піни вводу-виводу Дозволяє виводити аналогові значення у вигляді ШІМ-сигналу з розрядністю 16 біт. Максимальна кількість каналів 16.
АЦП	15	№№ 2, 4, 12–15, 25–27, 32–36 и 39 Дозволяє уявити аналогову напругу в цифровому вигляді з розрядністю 12 біт.
ЦАП	2	піни 25(DAC1) й 26(DAC2) Аналоговий вихід цифро-аналогового перетворювача, який дозволяє формувати 8-бітові рівні напруги. Висновки можуть використовуватись для аудіо-виходу.
I ² C	2	Використовується для спілкування з периферією за послідовним інтерфейсом «I ² C».
SPI	3	Для спілкування з периферією за послідовним інтерфейсом "SPI"
UART/Serial	3	Для спілкування з периферією за інтерфейсом UART.
I ² S	2	Використовується для передачі та прийому цифрового звуку з іншими аудіопристроями

Характеристики:

- Модуль: ESP32-WROOM із чіпом ESP32-D0WDQ6
- Частота бездротової передачі: 2,4 ГГц
- Стандарт Wi-Fi: 802.11b/g/n
- Стандарт Bluetooth: BLE v4.2 BR/EDR
- Тактова частота: до 240 МГц
- Flash-пам'ять: 448 КБ
- Зовнішня Flash-пам'ять: 4 МБ
- SRAM-пам'ять: 520 КБ
- Пінів загального призначення: 25 введення-виводу (GPIO) та 4 введення (GPI)
- контактів з АЦП: 15
- Розрядність АЦП: 12 біт
- контактів з ЦАП: 2
- Розрядність ЦАП: 8 біт
- Контактів із ШІМ: 21 (16 каналів)

- Схема пінів плати ESP-32-WROOM DEVKIT V1 вказана на рис. 4.1.



У приладі для вимірювання шуму передбачається використовувати чотири основних компоненти – мікрофон (датчик, підсилювач, обробка сигналу і дисплей. Мікрофон перетворює звуковий сигнал в еквівалентний

електричний сигнал. Найбільш відповідний тип мікрофона - електронний мікрофон, що поєднує в собі точність, стабільність і надійність.

Електричний сигнал, вироблений мікрофоном, знаходиться на дуже низькому рівні і посилюється попереднім підсилювачем, перш ніж він буде оброблений головним процесором, як правило, програмним. багато, інтервал можна збільшити після проведення первинних/пробних вимірів.

Джерелами шуму є: люди (можуть вільно переміщатися та сидіти на своєму робочому місці), телефонні апарати (перебувають на робочих метрах кожного матера та технолога), припливно-витяжна система вентиляції (комунікації розведені по всьому периметру стелі приміщення на висоті 3м та витяжки опущені на кожне місце виконавця).

Точки розміщення датчиків приймаємо у виробничому приміщенні на робочих місцях та (або) у зонах постійного перебування людей на висоті 1,5м від підлоги. Оскільки критично шумного обладнання на досліджуваній ділянці немає – всі датчики будуть розташовані по одному на кожному робочому місці у виконавців, технологів, майстрів та у місці колективного перебування персоналу.

Провівши аналіз обладнання, можна побудувати принципову схему, яка показує взаємозв'язок компонентів та їх функціональність у системі. Головна ціль даної системи є збір даних про рівень шуму разом з географічними координатами і відображення цих даних на дисплеї.

Принципова схема виходить з наступних елементів:

1. Мікрофон здійснює вимірювання шуму і передає цифрові дані через I2S вихід.
2. Датчик місцезнаходження забезпечує збір геоданих і передає їх для подальшої обробки.
3. Модуль керування системою виконує функцію керування системою, отримує дані від мікрофону та датчика GPS, здійснює комунікацію через Bluetooth і SPI.

					МММТ.480.006.006 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

4. Дисплей TFT РК-дисплей використовується для оперативного відображення інформації про рівень шуму та географічні координати.

5. Блок живлення забезпечує живлення системи, а полімерний USB перезаряджається використовується для зарядки акумулятора.

6. Всі дані збираються та обробляються на персональному комп'ютері за допомогою кардрідера для SD-карт.

Принципова схема комп'ютеризованого приладу для вимірювання акустичного шуму представлена на додатку В.

.

					МММТ.480.006.006 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

5. КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

5.1. Розробка друкованої плати

Друкована плата — пластина, виконана з діелектрика, на якій або/і всередині якої сформований хоча б один шар із провідними доріжками. На друковану плату монтуються електронні компоненти, які з'єднуються своїми виводами з елементами провідного рисунка паянням, або, значно рідше, зварюванням, у результаті чого складається електронний модуль — змонтована друкована плата.

Основна функція друкованої плати полягає в забезпеченні електричного з'єднання між компонентами електронного пристрою. Крім того, вона також забезпечує механічну підтримку та захист компонентів, а також дозволяє оптимізувати розміщення та маршрутизацію з'єднань для досягнення оптимальної електричної працездатності.

Використання плати дозволяє спростити підключення компонентів, забезпечити надійність з'єднань, зменшити розмір пристрою та сприяти легкості масового виробництва. Крім того, друкована плата дозволяє розширювати можливості електронних пристроїв шляхом додавання додаткових компонентів і роз'ємів для підключення до зовнішніх пристроїв.

Для підключення модуля ESP32 до друкованої плати, спочатку необхідно створити схематичну схему, де визначити всі необхідні з'єднання і компоненти. Потім виконується розміщення компонентів на платі та проектування доріжок, що забезпечують з'єднання між ними. Компонування у кваліфікаційній роботі виконувалось за допомогою графічних редакторів та програми DipTrace.

Верхня сторона друкованої плати, зворотній бік друкованої плати, розміщення корпусів елементів та зовнішній вигляд конструкції приладу зображено на наступних рисунках: рис. 5.1, рис. 5.2, рис. 5.3. та рис. 5.4.

					МММТ.480.006.006 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

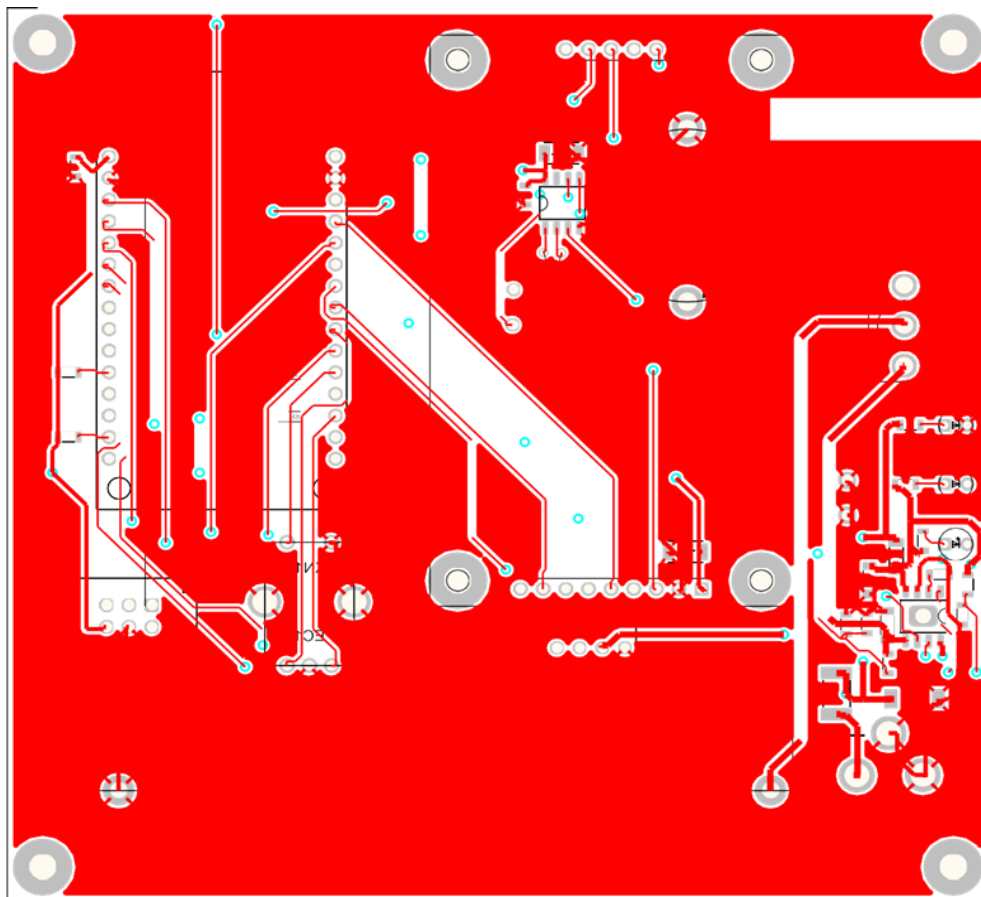


Рис. 5.1 – Верхня сторона друкованої плати

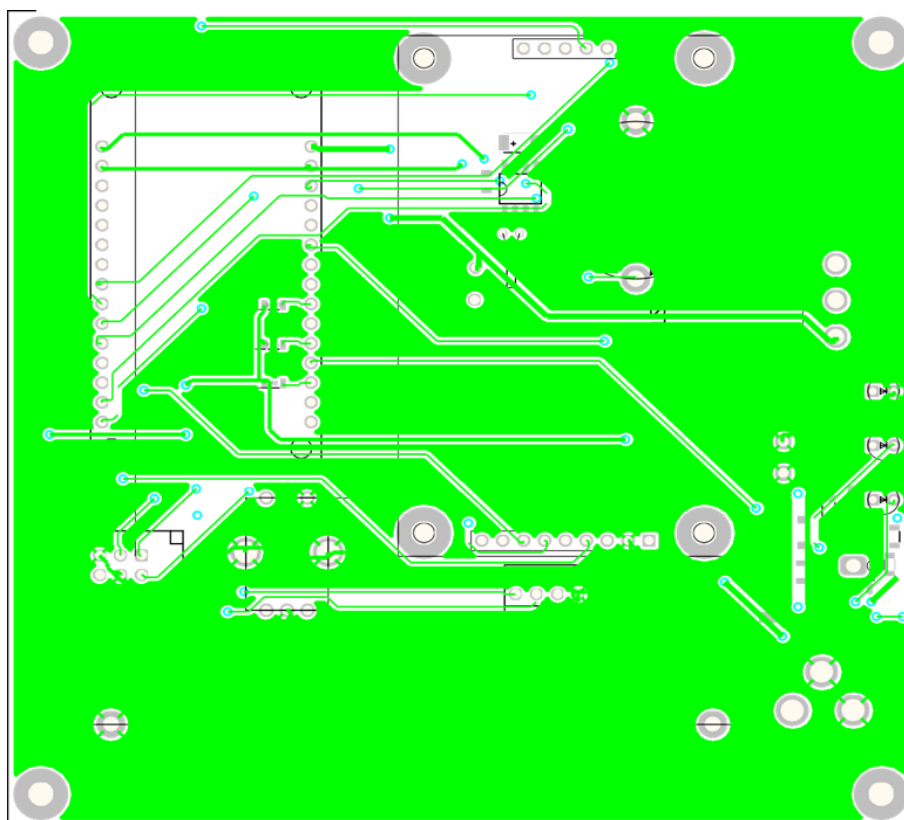


Рис. 5.2. - Зворотний бік друкованої плати

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МММТ.480.006.006 – ПЗ

Арк.

44

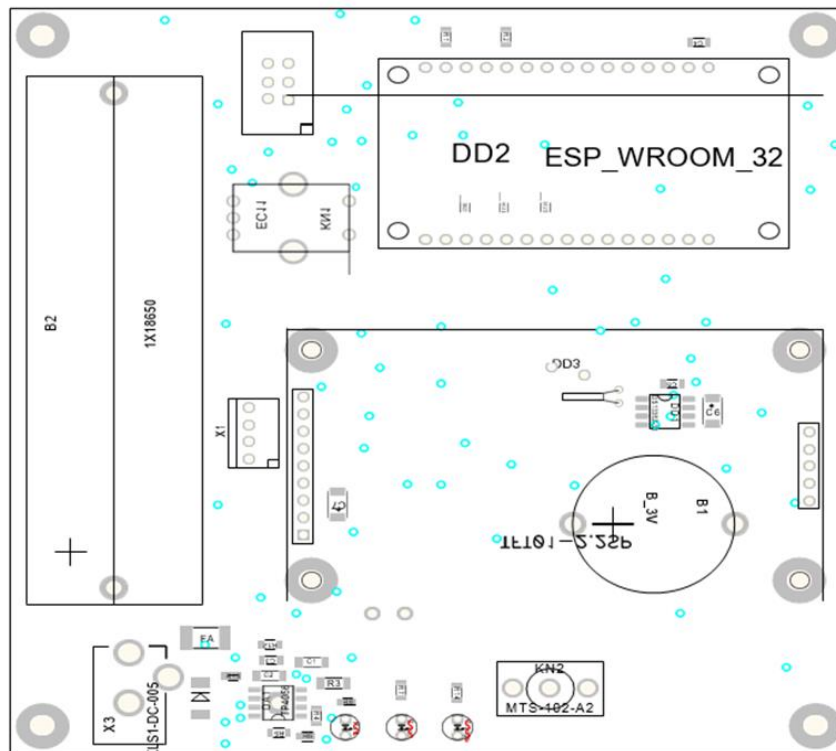


Рис. 5.3. - Розміщення корпусів елементів

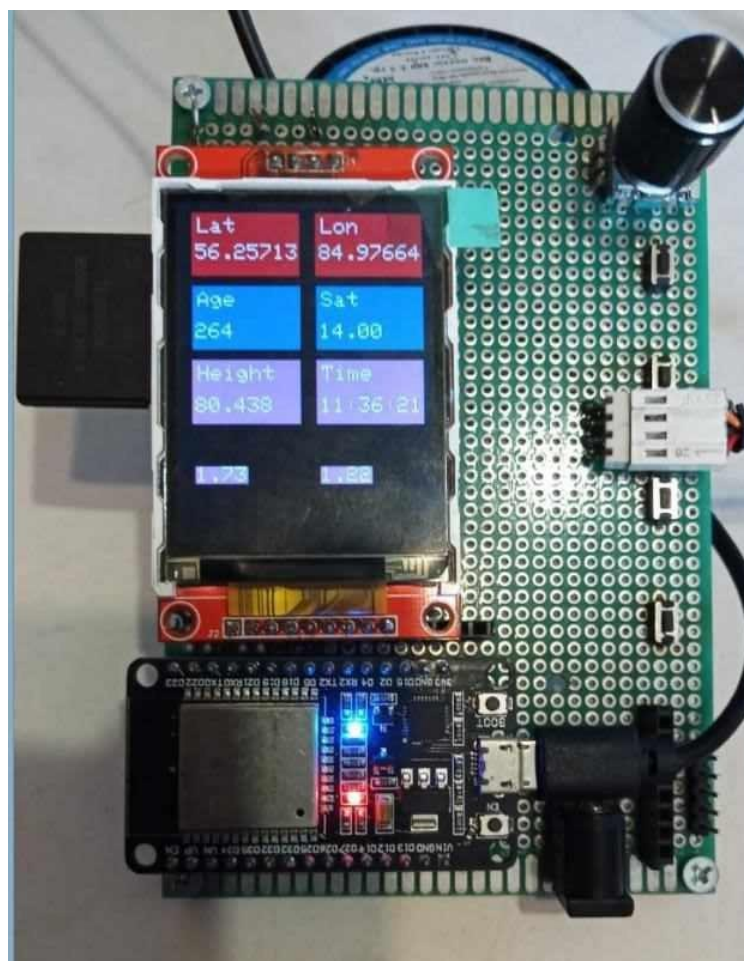


Рис. 5.4. - Зовнішній вигляд конструкції приладу

					МММТ.480.006.006 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

Загальна інтеграція цих компонентів на одній платі дозволяє створити комп'ютеризований прилад вимірювання акустичного шуму з високою точністю, надійністю та зручним у використанні. Ця плата відповідає вимогам проекту і дозволить здійснювати вимірювання шуму з високою якістю та ефективністю.

					МММТ.480.006.006 – ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6. РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ТА ПРОГРАМИ РОБОТИ СИСТЕМИ

Набір інструкцій, що описують певну послідовність дій виконання до досягнення певного результату має назву алгоритму та описуються у командах для об'єкта, що буде виконувати даний алгоритм.

6.1. Розробка алгоритму для введення акустичної інформації з можливістю прив'язки місця до навколишнього середовища

Знімати показання акустичного фону можна, як уже описувалося раніше – лінійно: вибираючи точки розміщення датчиків у виробничому приміщенні на робочих місцях та (або) у зонах постійного перебування людей на висоті 1,5 м від підлоги. Таке розташування характерне для офісу чи виробничої ділянки із зафіксованими сидячими робочими місцями. Тут функцію «GPS» виконує аналітик, орієнтуючись на план приміщення, за цими стаціонарними точками і надалі складатиметься акустична карта.

Знімати показання шуму можна і за іншою схемою: з використанням GPS-датчика та датчика положення (MEMS): оператор-аналітик із пристроєм вимірювання шуму у руках переміщається по всьому просторі. На жаль, GPS-датчиком практично неможливо користуватися в приміщенні, передачі даних перешкоджають стіни. Взагалі звук необхідно прив'язувати до показників простору та часу. Значними змістовними даними в такому випадку будуть виступати звуки, що значно відрізняються від загального акустичного фону в приміщенні.

По суті весь діапазон наявного шуму нас не цікавить. Так, наприклад, шум лісу, з характерним для нього показником шуму 40 дБ, жителями мегаполісів характеризується найчастіше як «тиша». Хоча холодильне обладнання із заявленим за паспортом аналогічним рівнем шуму (40 дБ) ті ж таки споживачі знаходять неприйнятним для комфортного проживання в квартирі з таким холодильником.

Тому, зробивши попередні виміри загального акустичного фону приміщення, і провівши первинний аналіз, можна відсікнути всі показники

					МММТ.480.006.006 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

нижче за критичний рівень. Платформа ESP32 – WROOM32-DEVKIT дозволяє запрограмувати прилад на ідентифікацію та запис звуків лише із заданими параметрами.

Одночасно відбуватиметься фіксація положення датчика у просторі та часі. У такий спосіб можна зафіксувати тонкі зміни в характеристиках шуму, коли людське вухо не здатне виділити їх, особливо в гучному цеху.

Але, як описувалося раніше, гучність звуку характеризується як амплітудою (децибели), і навіть частотою звукових коливань. Практично будь-яка механічна обробка будь-яких матеріалів завжди супроводжується своїм набором акустичних проявів, характерних саме для цієї галузі. Грубо кажучи гучність, висота і тембр звуків (дзвін, шурхіт, хрускіт, брязкання, гудіння) – унікальний атрибут будь-якої справи, що трохи відрізняється від розвитку науки і техніки.

Наприклад, у закроечному цеху швейного виробництва звук ударів металу про метал за загальним торохтінням різаків по тканині вухом можна і не помітити. Однак це може означати швидку поломку обладнання: стукають металеві деталі, які повинні, наприклад, ковзати один про одного або взагалі не торкатися, тобто. відбулося їх зміщення чи знос. Оскільки звук, що сповіщає про проблему, може виділятися не гучністю, а саме висотою (частотою коливань), при заданні параметрів введення акустично даних це потрібно враховувати.

Ще з відомих прикладів: в цехах металообробки може виявитися сигналізуючим свистячий або скреготливий звук. Можна підозрювати зношування шестерень, ремінної передачі або попадання сміття туди, де він може перешкодити нормальній роботі верстата або вивести його з ладу. Знову ж таки: ідентифікувати його можливо по висоті та тембру звучання.

Акустичний метод неруйнівного контролю вже існує для знаходження аварійних ділянок на трубопроводах і успішно застосовується у

					МММТ.480.006.006 – ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

промисловості. Цей метод заснований на тому, що будь-яке середовище, що переміщається трубопроводом під тиском, видає певний звук.

Є сенс припускати, що будь-який звук (можливо навіть поза спектром уловлювання людським вухом) можна оцифрувати та ідентифікувати з високою точністю – за аналогією з розумним зором.

Для цього необхідно створювати акустичну базу даних звуків. Звук можна кваліфікувати за джерелами (чим викликана поява звукової хвилі, наприклад, зіткнення металів, яких, металу та паперу, кераміки, повітря), за силою взаємодії (удар, ковзання, тертя та його сила).

З розвитком акустичної бази даних суттєво розширяться можливості штучного інтелекту на благо людини. Ось деякі сфери застосування «розумного слуху»:

- машино та приладобудування, попередження поломок верстатів: при зносі несучих деталей, підшипників зазвичай змінюється звук роботи устаткування;

- пошук людей;

- безпека в громадських місцях, особливо це стосується місць, де встановлення камер неприйнятне або не дає повної картини подій, що відбуваються;

- орнітологія;

- охорона природи;

- Організація зон відпочинку;

- контроль «тихої зони» (у АТ «НВЦ «Поліс» застосовуються звані «тихі кімнати», застосовувані для прослуховування приладів після застосування до них механічних навантажень щодо внутрішньої цілісності. Проводиться методом прослуховування неозброєним вухом при струшуванні приладу).

Алгоритм введення та передачі акустичної інформації через wi-fi з можливістю прив'язки місця до навколишнього середовища можна надати наступною схемою. Виділення фону - завдання виділення діапазону звуків,

					МММТ.480.006.006 – ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

які будуть враховуватися під час контролю акустичної картини – перша після налаштування прийому і запису сигналу. При якісному опрацюванні цього етапу дослідження, надалі перевірка акустичної безпеки та комфорту буде зведена до періодичного звіряння встановлених параметрів шуму в летючому режимі. Наприклад, виміри акустичного шуму по 5 хвилин у кожній контрольній точці за графіком перевірок.

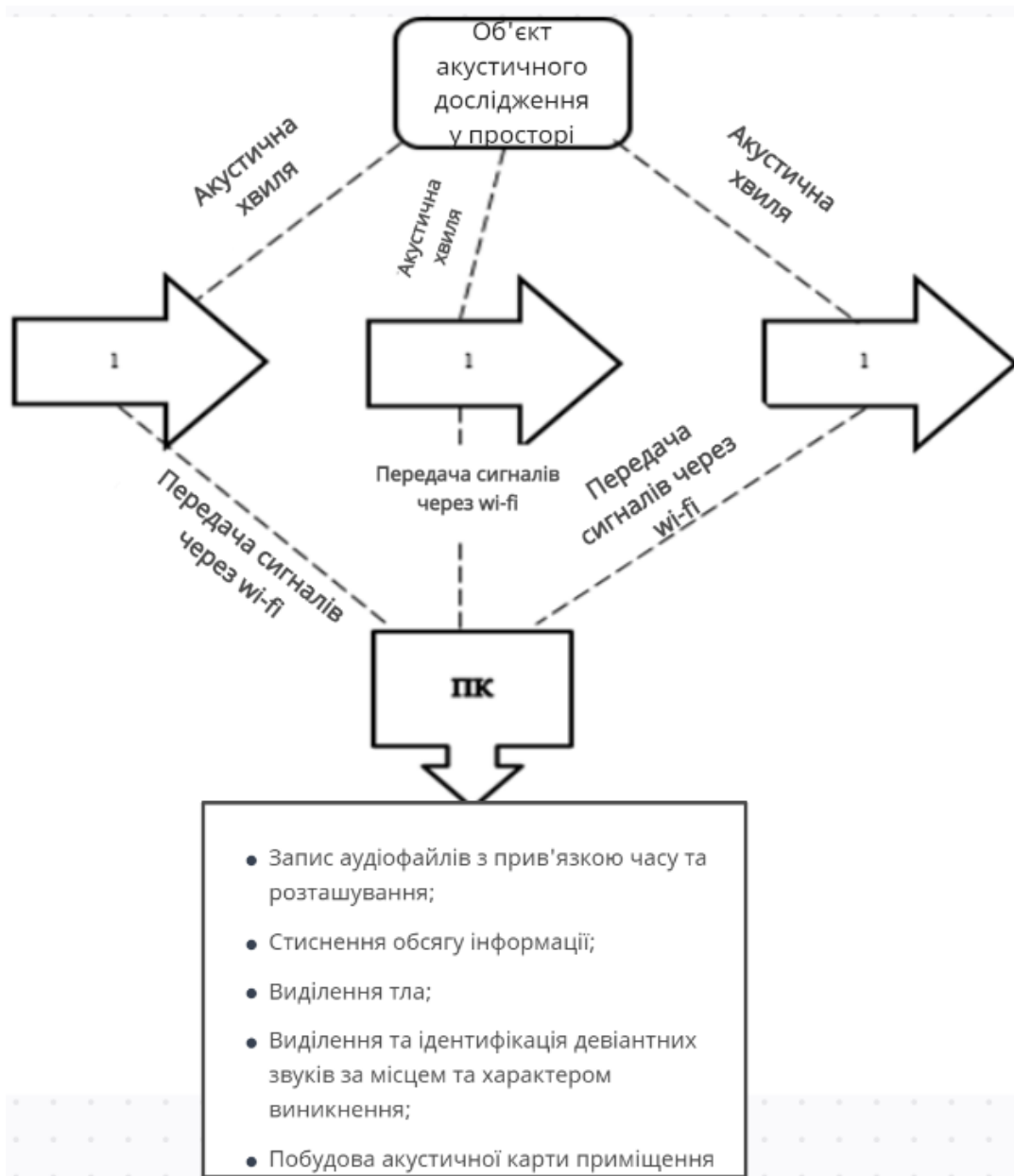


Рис. 6.1 - Алгоритм введення та передачі через wi-fi акустичної інформації з можливістю прив'язки місця до навколишнього середовища

Запис показань проводиться із заданою частотою.

Запуск в роботу вимірювача акустичного шуму починається з встановлення у відповідні піни плати ESP32 та підключення всіх модулів. Блок-схема підключення GPS-модуля показано рис. 6.2.



Рис. 6.2. - Блок-схема підключення GPS-модуля

Програма створення графічного інтерфейсу користувача та підключення GPS-модуля представлений у додатку Д.

Запис звуку виконується як у числових значеннях, так і у форматі аудіо-запису.

Для отримання повної картини акустичного фону приміщення при записі інформації з мікрофона потрібне паралельне підключення та фіксація даних положення (показники GPS-датчика та MEMC) та часу (датчик точного часу).

Оскільки фіксація акустичного шуму може вимагати досить великих обсягів пам'яті, скорочення його споживання - необхідне наступне стиск файлів. У нашому випадку потрібна висока якість запису звуку, тому обережно застосовуємо перетворення за рахунок швидкості передачі бітів (бітрейт) і частотою дискретизації.

Блок-схема підключення мікрофона та запису акустичних даних показано на рис. 6.3.



Рис. 6.3. - Блок-схема підключення мікрофона та запису акустичних даних

Блок-схема отримання акустичних даних зображено рисунку 6.4.

Програма виведення даних на дисплей і записи представлено у додатку Д.

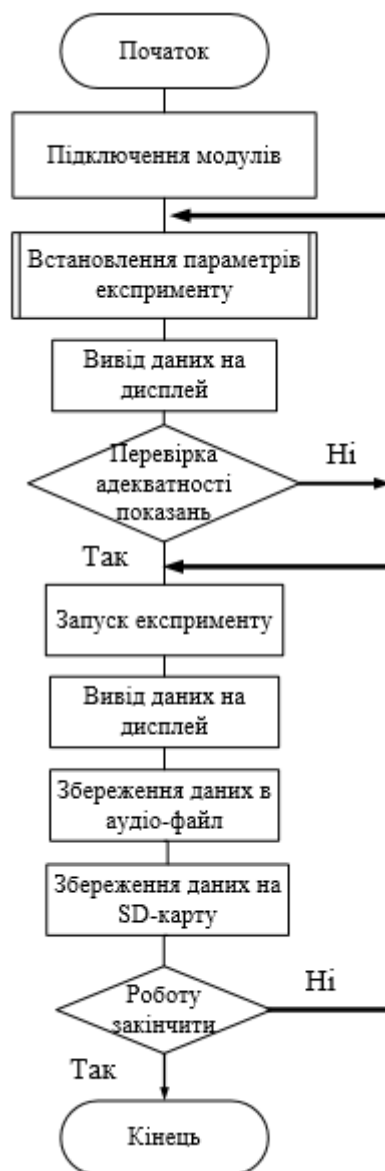


Рис. 6.4. Блок-схема отримання акустичних даних

Звичайно, робота інженера фахівця в галузі інтернету речей була б не повною, якби ми не прагнули автоматизувати все по максимуму.

На початковому етапі збору акустичної інформації, коли база даних недостатня для автоматичного прийняття вірних рішень, пропонується автоматичне сигналізація (наприклад, звуковим сигналом або лампочкою) у відповідь на появу девіантного звуку. Для побудови такої схеми можна використовувати протокол MQTT.

Ця схема дає можливість надалі налаштувати як сигнальну систему оповіщення, а й підключити машино-машинное взаємодія.

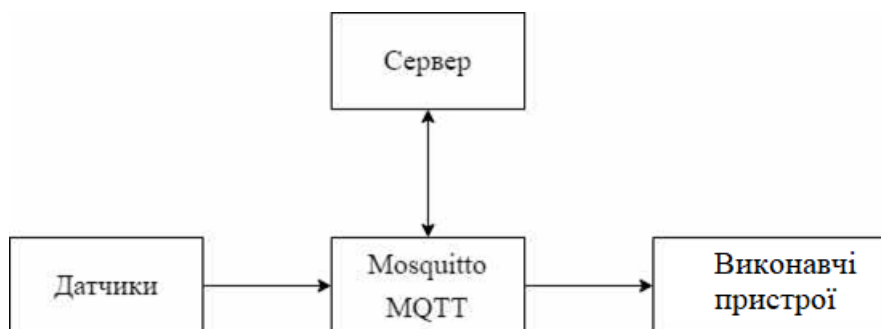


Рис. 6.5. - Блок-схема роботи мережі на основі MQTT протоколу

Брокер MQTT – це центральний пункт зв'язку. Брокер відповідає за надсилання всіх повідомлень між клієнтами. Клієнт MQTT – це будь-який пристрій (наприклад, комп'ютер або мікроконтролер), який підключається до брокера. Клієнт, який надсилає повідомлення, є видавцем (publisher). Клієнт, який отримує повідомлення, є передплатником (subscriber).

Щоб отримати повідомлення, клієнт повинен підписатися на тему цього повідомлення, яка називається топіком (topic). У моєму випадку температурний датчик публікуватиме свої дані брокеру. Сервер зберігає топики з даними від датчиків та вказівками для виконавчих пристроїв. Потім виконавчі пристрої підписуватимуться на ті чи інші топики і отримуватимуть потрібну їм інформацію.

6.2. Розробка програми

Код (додаток В та Г) створює графічний інтерфейс користувача та підключає GPS-модуль до ESP32. Програма розроблена для мікроконтролера ESP32 з використанням TFT-дисплея 1.8 дюйма з інтерфейсом SPI, SD-карти та GPS-модуля Skylab SKM53.

Код містить наступні бібліотеки:

- SPI.h - для взаємодії з пристроями, що використовують SPI-інтерфейс;
- Adafruit_GFX.h - для роботи з графічними елементами;
- Adafruit_ILI9341.h - для керування TFT-дисплеєм ILI9341;
- Adafruit MPU6050.h - для отримання даних з гіроскопа MPU6050;
- Adafruit_Sensor.h - для отримання даних з датчиків;

Wire.h - для взаємодії з I2C-пристроями;

TinyGPS++.h - для отримання даних з GPS;

mySD.h - для роботи з SD-картою;

ESP32AnalogRead.h - для отримання значень аналогових входів ESP32.

Код також містить оголошення пінів для підключення TFT-дисплея та SD-карти, а також визначення кольорів.

У функції **setup()** відбувається ініціалізація різних пристроїв, зокрема: встановлюється швидкість передачі даних для з'єднання з GPS-модулем;

- ініціалізується SD-карта;
- ініціалізується TFT-дисплей;
- встановлюються розмір та кольори прямокутників на дисплеї.

У функції **loop()** отримуються значення з GPS та аналогових входів ESP32. Значення з GPS та аналогових входів виводяться на TFT-дисплей та зберігаються в файлі "datalog.txt" на SD-карті.

Функція **getGPS()** отримує дані з GPS-модуля та зберігає їх у відповідні змінні.

Функція **feedgps()** читає дані з GPS-модуля та оновлює об'єкт `gps`.

Функція **getAnalogValues()** отримує значення з аналогових входів ESP32 та зберігає їх у відповідні змінні.

Функція **updateDisplay()** виводить значення з GPS та аналогових входів на TFT-дисплей.

Функція **saveDataToSDCard()** зберігає значення з GPS та аналогових входів у файл "datalog.txt" на SD-карті.

Основний цикл програми (**loop()**) викликає функції **getGPS()**, **getAnalogValues()**, **updateDisplay()** та **saveDataToSDCard()** для отримання, виведення та збереження даних.

Слід зазначити, що цей код працює з конкретними бібліотеками та пристроями, які були зазначені в описі. Якщо ви плануєте використовувати інші бібліотеки або пристрої, вам може знадобитися внести зміни в код.

					МММТ.480.006.006 – ПЗ	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

					МММТ.480.006.006 – ПЗ	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

7. РОЗРАХУНОК МЕТРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК

Розрахуємо похибку комп'ютеризованого приладу для вимірювання акустичного шуму, що складається з модулю ESP32-WROOM та всеспрямованого мікрофону INPM441.

Поправка ε на вплив власних шумів (величина, яку потрібно відняти з показань приладу) розраховується за формулою:

$$\varepsilon(\text{дБ}) = \Delta - 10 \lg(10^{0.1\Delta} - 1),$$

де Δ - різниця показання приладу та рівня власних шумів, дБ

Значення цієї поправки з точністю до 0.1 Дб для деяких значень ε

Різниця виміряного рівня та рівня власних шумів, Δ , дБ	3-3,5	3,6-4	4,1-4,5	4,6-5	5,1-6	6,1-7	7,1-8	8,1-9	9-10
Поправка, що віднімається від виміряного значення ε , дБ	2,8	2,4	2,0	1,8	1,4	1,1	0,9	0,7	0,5

Для врахування додаткових похибок на вплив вітрозахисту та зовнішніх чинників слід користуватися формулою

$$\Delta L = 20 \lg(1 + \sqrt{10^{\Delta_1/20} - 1})^2 + \sum (10^{\Delta_k/20} - 1)^2,$$

Де Δ_1 – похибка вимірювання звуку, Δ_k – к-я додаткова похибка в дБ.

Формула для розрахунку РЗТ(рівня звукового тиску) має такий вигляд:

$L_{\text{вим}}(f) = L_{\text{інд}}(f) + \Delta L_{\text{мікр}}(f) + \Delta L_{\text{дод}}(f)$, здесь $\Delta L_{\text{мікр}}(f) = 0,2$ дБ, $\Delta L_{\text{дод}}(f) = 0$ дБ. Виходячи з цього: $L_{\text{вим}}(f) = 60 + 0,2 + 0 = 60,2$ дБ.

Далі необхідно врахувати похибку вимірювання, де $\Delta_1 = 0,7$ дБ, $\Delta_k = 0,2$ дБ.

Оскільки поправка на мікрофон відома і врахована у формулі розрахунку РЗТ, $\Delta_{k2} = 0$

$$\Delta L = 20 \lg(1 + \sqrt{10^{0.7/20} - 1})^2 + \sum (10^{\frac{0.2}{20}} - 1)^2 = 0,73 \text{ дБ}$$

і стандартна невизначеність вимірювання:

$$u = \frac{\Delta L}{\sqrt{3}} = 0,42 \text{ дБ}$$

					МММТ.480.006.006 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

8. ОЦІНКА ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ РОБОТИ СИСТЕМИ

При розрахунку надійності системи потрібно визначити такі показники:

- ймовірність безвідмовної роботи системи за заданий час ($P(t)$);
- параметр потоку відмов (Λ);
- середнє напрацювання до відмови ($T_{\text{серед}}$).

Надійність – властивість об'єкта виконувати задані функції, зберігаючи в часі значення встановлених експлуатаційних показників в заданих межах.

Ймовірність безвідмовної роботи – ймовірність того, що в межах вказаного періоду часу відмова пристрою не виникає.

Відмова – подія, яка полягає в порушенні працездатного стану об'єкта.

Середнє напрацювання до відмови – це математичне очікування напрацювання об'єкта до першої відмови.

Інтенсивність відмов – умовна щільність імовірності появи відмови.

Виріб використовуватиметься в таких умовах:

- температура повітря 20 °С, відносна вологість повітря 65 %;
- призначений для роботи в закритому приміщенні зі штучно регульованими кліматичними показниками.

Система вважається несправною, якщо будь-яка її частина не працює належним чином і це перешкоджає її нормальному функціонуванню для заданої мети. Відмова будь-якої частини системи призводить до відмови системи в цілому. Щоб відновити роботу системи, несправну складову частину замінюють на іншу.

Розрахунок параметра потоку відмовлень виробу проводиться по формулі:

$$\Lambda = \sum_{i=1}^n N_i \lambda_i \quad (8.1)$$

де n – загальне число групи КВ, що входять до складу проектного виробу; $N_i \lambda_i$ – кількість і інтенсивність відмовлень КВ i -ої групи відповідно.

					МММТ.480.006.006 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

Інтенсивність відмовлень КВ i -ої групи в робочому режимі визначалася по формулі

$$\lambda_i = \lambda_{oi} a_i \dots a_n \quad (8.2)$$

де λ_{oi} – інтенсивність відмовлень КВ в номінальному режимі і нормальних умовах; $a_i \dots a_n$ – поправочні коефіцієнти, що враховують умови роботи (кліматичні і механічні впливи в залежності від призначення й умов майбутньої роботи), електричне навантаження КВ і температуру навколишнього середовища, ступінь інтеграції інтегральних мікросхем, а також співвідношення видів відмовлень.

Конкретні формули, по яких визначалися інтенсивність відмовлень кожної групи комплектуючих виробів, приведені в таблиці 8.2. Величини значень визначилися по довідковим даним з врахуванням вихідних даних для проектного виробу.

По формулі (8.1) визначаємо потік відмовлень виробу:

$$\Lambda = 20,09 \cdot 10^{-6} \text{ 1/год.}$$

Ймовірність безвідмовної роботи виробу протягом часу t визначалася по формулі

$$P(t) = e^{-\Lambda t} \quad (8.3)$$

де Λ – параметр потоку відмовлень; t – час роботи виробу (год)

Дані розрахунку $P(t)$ приведені в таблиці 8.1.

Таблиця 8.1

Ймовірність безвідмовної роботи виробу протягом часу t

250	500	750	1000	2000	5000	8000	10000
0,9950	0,9900	0,9850	0,9801	0,9606	0,9044	0,8515	0,8180

Середній наробіток до відмовлення виробу визначався по формулі:

$$T_0 = \Lambda^{-1} \quad (8.4)$$

Підставляючи дані в формулу (8.4) одержимо

$$T = (20,09 \cdot 10^{-6})^{-1} = 49\,776 \text{ г.}$$

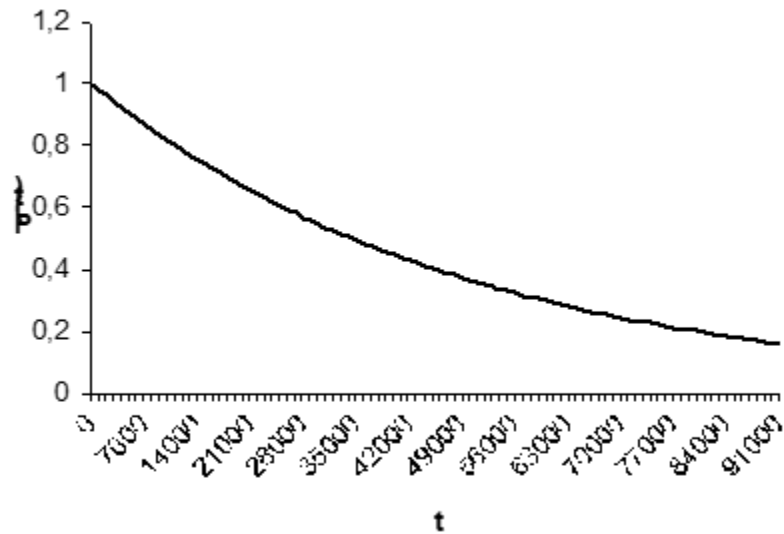


Рис. 8.1 Ймовірність безвідмовної роботи виробу протягом часу t

Таблиця 8.2

Перелік комплектуючих виробів

Поз.	Найменування	Кіл.	$\lambda_i \cdot 10^6$ год ⁻¹	Формула розрахунку λ_i	Коефіцієнти				$\Sigma \lambda_i \cdot 10^6$ год ⁻¹
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Конденсатори				a_1	a_2		a_4	
	ECR100M16B-Hitano 10uF	2	0,02	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4$	2,1	0,8		1	0,07
	ECR010M50B-Hitano 1uF	1	0,02	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4$	2,1	0,8		1	0,03
2	Резистори				a_1	a_2		a_4	
	R1,R2 - 2.2kOm	2	0,008	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4$	2,1	0,8		1	0,03
	R3 – 5Om	1	0,008	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4$	2,1	0,8		1	0,01
	R4 - 1.2kOm	1	0,008	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4$	2,1	0,8		1	0,01
	R5,R6 - 1kOm1%	2	0,008	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4$	2,1	0,8		1	0,03
	R7,R8 – 1kOm	2	0,008	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4$	2,1	0,8		1	0,03
	R9,R10,R11– 10kOm	3	0,008	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4$	2,1	0,8		1	0,04
	R12, R13 – 100k1%	2	0,008	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4$	2,1	0,8		1	0,03
	R14 – 3kOm	1	0,008	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4$	2,1	0,8		1	0,01
3	Мікросхеми				a_1	a_2	a_4	a_6	
	ESP-WROOM-32	1	2,1	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4 \cdot a_6$	2,1	1	1,3	1	5,7
	RTC DS1338	1	0,8	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4 \cdot a_6$	2,1	1	1,3	1	2,2
	TP 4056	1	0.3	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4 \cdot a_6$	2,1	1	1,3	1	0,8
4	Мікрофон				a_1	a_2	a_4	a_6	
	INPM441	1	0.5	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4 \cdot a_5$	2,1	1	1,3	1	1,4

Поз.	Найменування	Кіл.	$\lambda_{i0} \cdot 10^6$ год ⁻¹	Формула розрахунку λ_i	Коефіцієнти				$\Sigma \lambda_i \cdot 10^6$ год ⁻¹
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5	Діоди				a_1	a_2	a_4	a_6	
	VD4 1N4148	1	0,3	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4 \cdot a_5$	2,1	1	1,3	1	0,8
6	Індикатори				a_1	a_2	a_4	a_6	
	VD1-VD3 Kingbright L-44 E D	3	0,7	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4 \cdot a_5$	2,1	1	1,3	1	5,7
7	Кварцовий резонатор				a_1	a_2	a_4	a_6	
	HC-49U	1	0,2	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_4$	2,1	1	1,3	1	0,55
8	Перемикачі				a_1	a_2	a_4	a_6	
	KN1-KN2: MTS- 102-A2	2	0,03	$\lambda_0 \cdot a_1$	2,1	1	1,3	1	0,08
9	Запобіжники				a_1	a_2	a_4	a_6	
	FA1 - MF-MSMF	1	0.2	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_4$	2,1	1	1,3	1	0,55
10	Акумулятори				a_1	a_2	a_4	a_6	
	B1,B2 - 18650	2	0.2	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_4$	2,1	1	1,3	1	0,55
11	IPS дисплей				a_1	a_2	a_4	a_6	
	U2 - IPS дисплей 1.8" TFT ST7735	1	0.04	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4 \cdot a_6$	2,1	1	1,3	1	0,11
12	Інтерфейси				a_1	a_2	a_4	a_6	
	X1 - RS-232	1	0.3	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4 \cdot a_6$	2,1	1	1,3	1	0,08
9	Пайки	170	0,0001	$\lambda_0 \cdot a_1$	2,1	1	1,3	1	0,05
10	Роз'єм	2	0,01	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4$	2,1	1	1,3	1	0,05
	Разом								20,09

9. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОХОРОНА ПРАЦІ

9.1. Нормативні документи рівня шуму

На державному рівні діють нормативи, що враховують та обмежують вимоги до мікроклімату, шкідливих та небезпечних факторів виробничого середовища, рівні впливу (ГДК, інтенсивність впливу, допустиму тривалість впливу) за класами умов праці, що дозволяють провести кількісну оцінку тяжкості трудового процесу.

Рівень шуму перевіряється атестованою лабораторією за допомогою атестованого обладнання. Праця буває різної складності.

В Україні рівень шуму на робочих місцях регламентується наступними нормативними документами:

1. Закон України “Про охорону праці” від 14 жовтня 1992 р. № 2695-12.
2. Закон України “Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення” від 24 лютого 1994 р.
3. ДСТУ 1.7:2015 “Державна система стандартизації України. Загальні вимоги до побудови, викладенню і змісту стандартів”.
4. ДСТУ 2293:2014 «Охорона праці. Терміни та визначення основних понять».
5. ДСТУ 2325-93 “Шум. Терміни та визначення”.
6. ДСТУ 2867-94 “Шум Методи оцінювання виробничого шумового навантаження”
7. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку ДСН 3.3.6.037-99
8. ДСТУ 3130-95 «Станції теплові електричні на органічному паливі. Загальні вимоги щодо захисту від шуму».
9. ДСТУ ISO 9612:2008. «Акустика. Настанови щодо вимірювання та оцінювання експозиції шуму у виробничому середовищі».

					МММТ.480.006.006 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

Виробничий шум характеризується спектром, що складається із звукових хвиль різних частот.

При дослідженні шумів зазвичай чуємо діапазон 16 Гц - 20 кГц розбивають на смуги частот і визначають звуковий тиск, інтенсивність або звукову потужність, що припадають на кожну смугу.

Як правило, спектр шуму характеризується рівнями названих величин, розподіленими по октавних смугах частот.

Смуга частот, верхня межа якої перевищує нижню вдвічі, тобто. $f_2 = 2 f_1$ називається октавою.

Для більш детального дослідження шумів іноді використовуються третьооктавні смуги частот, для яких

$$f_2 = 2^{1/3} f_1 = 1,26 f_1. \quad (2)$$

Октавна або третьооктавна смуга зазвичай визначається середньгеометричною частотою:

$$f_{cg} = \sqrt{f_1 \cdot f_2}. \quad (3)$$

Існує стандартний ряд середньгеометричних частот октавних смуг, у яких розглядаються спектри шумів ($f_{cg \text{ хв}} = 31,5$ Гц, $f_{cg \text{ макс}} = 8000$ Гц).

За частотною характеристикою розрізняють шуми:

- низькочастотні ($f_{cg} < 250$);
- середньчастотні ($250 < f_{cg} \leq 500$);
- високочастотні ($500 < f_{cg} \leq 8000$).

Виробничі шуми мають різні спектральні та часові характеристики, які визначають ступінь їхнього впливу на людину. За цими ознаками шуми поділяють кілька видів.

9.2. Нормативні вимоги до впливів віброакустичних факторів

До віброакустичних факторів відносяться:

- 1) шум;
- 2) інфразвук;
- 3) ультразвук (повітряний);

					МММТ.480.006.006 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

4) вібрація (загальна та локальна).

За характером спектру шум поділяється на:

- широкосмуговий з безперервним спектром шириною більше однієї октави;
- тональний, у спектрі якого є виражені дискретні тони. Тональний характер шуму для практичних цілей (при контролі його параметрів на робочих місцях) встановлюють вимірюванням у третьоктавних смугах частот з перевищення рівня звукового тиску в одній смузі над сусідніми не менше ніж на 10 дБ.

За тимчасовими характеристиками шум поділяється на:

- постійний, рівень звуку якого за 8-годинний робочий день (робочу зміну) змінюється в часі не більше ніж на 5 дБ.
- непостійний, рівень звуку якого за 8-годинний робочий день (робочу зміну) змінюється у часі більш ніж на 5 дБ.

Непостійний шум слід поділяти на:

- коливається у часі, рівень звуку якого безперервно змінюється у часі;
- переривчастий, рівень звуку якого поступово змінюється (на 5 дБ і більше), причому тривалість інтервалів, протягом яких рівень залишається постійним, становить 1 с і більше;
- імпульсний, що складається з одного або декількох звукових сигналів, кожен тривалістю менше 1 с, при цьому рівні звуку, виміряні в дБ АІ і дБ А відповідно на тимчасових характеристиках "імпульс" і "повільно" за ДСН 3.3.6.037-99, відрізняються не менш ніж на 7 дБ.

Співвіднесення умов праці за класом (підкласом) умов праці при впливі віброакустичних факторів представлено в таблицях 1-7.

Таблиця 1 – Класи умов праці:

Найменування показника, одиниця вимірювання	Клас (підклас) умов праці		
	Допустимий	Шкідливий	Небезпечний
	тимий		печний

					МММТ.480.006.006 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

	2	3.1	3.2	3.3	3.4	4
Шум, еквівалентний рівень звуку, дБА	≤ 80	>80-85	>85-95	>95-105	>105-115	>115
Вібрація локальна, еквівалентний коригований рівень віброприскорення, дБ	≤126	>126-129	>129-132	>132-135	>135-138	>138
Вібрація загальна, еквівалентний коригований рівень віброприскорення, дБ, Z	≤115	>115-121	>121-127	>127-133	>133-139	>139
Вібрація загальна, еквівалентний рівень віброприскорення, дБ, X, Y	≤112	>112-118	>118-124	>124-130	>130-136	>136
Інфразвук, загальний рівень звукового тиску, дБЛін	≤110	>110-115	>115-120	>120-125	>125-130	>130
Ультразвук повітряний, рівні звукового тиску в 1/3 октавних смугах частот, дБ	перевищення ГДК до дБ					
	≤ ГДУ	10	20	30	40	>40

Таблиця 2 - Гранично допустимі рівні звукового тиску, звуку та еквівалентного рівня звуку на робочих місцях:

Найменування показника	Рівні звукового тиску, дБ, в октавних смугах із середньгеометричними частотами, Гц									Рівень звуку та еквівалентний рівень звуку, дБА
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Виконання всіх видів робіт на робочих місцях	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80

Таблиця 3 - Гранично допустимі рівні віброприскорення локальної вібрації на робочих місцях:

Середньгеометричні частоти октавних смуг, Гц	Гранично допустимі рівні по осях Хл, Ул, Zл			
	віброшвидкість		віброприскорення	
	м/с x 10 ⁻²	дБ	м/с ²	дБ
8	2,8	115	1,4	73
16	1,4	109	1,4	73
31,5	1,4	109	2,7	79
63	1,4	109	5,4	85
125	1,4	109	10,7	91
250	1,4	109	21,3	97
500	1,4	109	42,5	103
1000	1,4	109	85,0	109
Коректований, еквівалентний коректований рівень	2,0	112	2,0	76

Таблиця 4 - Гранично допустимі рівні віброприскорення загальної вібрації на робочих місцях:

Середньо-геометричні частоти смуг, Гц	Гранично допустимі рівні віброприскорення							
	м/с ²				дБ			
	у 1/3 окт.		у 1/1 окт.		у 1/3 окт.		у 1/1 окт.	
	Z3	X3, Y3	Z3	Z0, Y0	Z3	X3, Y3	Z3	X3, Y0
0,8	0,71	0,224			67	57		
1,0	0,63	0,224	1,12	0,4	66	57	71	62
1,25	0,56	0,224			65	57		
1,6	0,50	0,224			64	57		
2,0	0,45	0,224	0,8	0,4	63	57	68	62
2,5	0,40	0,280			62	59		
3,15	0,355	0,355			61	61		
4,0	0,315	0,450	0,56	0,8	60	63	65	68
5,0	0,315	0,56			60	65		
6,3	0,315	0,710			60	67		

6,3	0,315	0,710			60	67		
8,0	0,315	0,900	0,56	1,6	60	69	65	74
10,0	0,40	1,12			62	71		
12,5	0,50	1,40			64	73		
16,0	0,63	1,80	1,12	3,15	66	75	71	80
20,0	0,80	2,24			68	77		
25,0	1,0	2,80			70	79		
31,5	1,25	3,55	2,24	6,3	72	81	77	86
40,0	1,60	4,50			74	83		
50,0	2,0	5,60			76	85		
63,0	2,5	7,10	4,50	12,5	78	87	83	92
80,0	3,15	9,00			80	89		
Коректовані, еквівалентні коректовані рівні			0,56	0,4			65	62

Таблиця 5 - Гранично допустимі рівні інфразвуку на робочих місцях:

Допустимі рівні звукового тиску у дБ в октавних смугах з середньгеометричними частотами, Гц					Загальний рівень звукового тиску, дБлін.
2	4	8	16		
105	105	105	105		110

Виміряні за шкалою шумоміра "Лін", не повинні перевищувати 120 дБ.

Таблиця 6 - Особливо допустимі рівні повітряного ультразвуку на робочих місцях:

Найменування показника	Рівні звукового тиску, дБ, на третьоктавних смугах зі середньгеометричними частотами, кГц									
	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100
Ультразвук повітряний	80	90	100	105	110	110	110	110	110	110

Таблиця 7 - Допустимі рівні шуму за категоріями тяжкості праці:

Гранично допустимі еквівалентні рівні звуку, дБА			
Категорії напруженості трудового процесу	Категорії тяжкості трудового процесу		
	легке та середнє фізичне навантаження	важка праця 1 ступеня	важка праця 2 ступеня
Напруженість легкого та середнього ступеня	80	75	75
Напружена праця 1 ступеня	70	65	65
Напружена праця 2 ступеня	60	-	-
Напружена праця 3 ступеня	50	-	-
<*> Примітка. Кількісну оцінку тяжкості та напруженості трудового процесу за умовами праці слід проводити у відповідності з чинним документом щодо гігієнічної оцінки факторів робочого середовища та трудового процесу			

Тут: при укороченому трудовому дні – до 40 год. на тиждень – діють загальні нормативи рівня шуму у робочих приміщеннях.

Гранично допустимі рівні звукового тиску, рівні звуку та еквівалентні рівні звуку для основних типових видів трудової діяльності та робочих місць описані в таблиці, дивись додаток Б.

В окремих сферах економіки параметри шуму на робочих місцях можуть бути вищими від загального нормативу. Тобто – від 80 до 85 дБа. Це припустимо, коли:

- підтверджено прийнятний ризик для здоров'я робітників;
- вжито заходів зниження цього ризику.
- роботодавцю вигідно діяти у напрямі зниження рівня шуму на робочих місцях.

Інакше – коли допустимий рівень шуму у робочому приміщенні коливається в радіусі 80 – 85 дБА – він повинен вживати наступних заходів:

- підбір обладнання з меншими шумовими ефектами;
- інформування та навчання персоналу роботі з меншим шумом від обладнання;

- використання всіх технічних засобів – захист робітників від шуму з допомогою захисних екранів, кожухів, звукопоглинаючих покриттів, ізоляції, амортизації;
- обмеження тривалості та напруженості впливу до прийняттого рівня;
- виробничий контроль вібрації та акустики;
- обмеження доступу до робочих зон з шумом від 80 дБА тих, хто не пов'язаний з основним технологічним процесом;
- обов'язкове надання ЗІЗ(засоби індивідуального захисту) для вух;
- щорічне проведення медоглядів тих, хто працює при шумі від 80 дБ.

					МММТ.480.006.006 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

ВИСНОВКИ

У результаті виконання кваліфікаційної роботи розроблено комп'ютеризовану систему збору, перетворення та зображення результатів виміру акустичного шуму.

Основними елементами системи є мікрофон INMP441 для збору акустичних сигналів, модуль ESP32-WROOM для обробки та передачі даних, датчик GPS9 для отримання географічних координат, модуль запису на SD-носій для зберігання даних, дисплей TFT для візуалізації інформації, а також акумулятор із перезаряджуваною USB для живлення пристрою.

Надійність розробленої системи: 49 776 г годин безвідмовної роботи.

Розраховані характеристики задовільняють вимоги технічного завдання.

У якості графічного матеріалу надано структурну та електричну принципу схему, топологія друкованої плати, перелік елементів, що використовуються при побудові. Щодо програмного та алгоритмічного забезпечення надано відповідний код програми для мікроконтролеру та зображено відповідні блок-схеми алгоритму.

Розроблено система дозволить проводити аналіз акустичного шуму забезпечувати контроль регульованої величини, практично задіяти систему можна в моніторингу рівня шуму у житлових районах, виробничих приміщеннях або на вулицях міста, розробці пристроїв «розумного дому» або будь-якої вимірювальної системи на вимірювання акустичного шуму.

У цілому, розроблений комп'ютеризований прилад є потужним інструментом для вимірювання параметрів акустичного шуму, і його застосування може принести значний внесок у вивчення та контроль шумового середовища.

					МММТ.480.006.006 – ПЗ	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- 1) Аналізатор спектра [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%BD%D0%B0%D0%BB%D1%96%D0%B7%D0%B0%D1%82%D0%BE%D1%80_%D1%81%D0%BF%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%B0.
- 2) ESP32--WROOM--32 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-wroom-32_datasheet_en.pdf.
- 3) Акустична камера [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://en.wikipedia.org/wiki/Anechoic_chamber.
- 4) Годинник реального часу [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/DS1338-DS1338Z.pdf>.
- 5) Мікрофон INMP441 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://invensense.tdk.com/wp-content/uploads/2015/02/INMP441.pdf>.
- 6) Індикатор 2.2" TFT SPI [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: http://www.lcdwiki.com/2.2inch_SPI_Module_ILI9341_SKU:MSP2202.
- 7) ДСТУ - НБВ.1.1 -35: 2013. "Настанова з розрахунку шуму в приміщеннях і територіях".
- 8) Noise Measurement Manual [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://environment.des.qld.gov.au/__data/assets/pdf_file/0027/88560/eis-tm-noise-measurement-manual.pdf.
- 9) Electroacoustics. IEC 61672-1:2013 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://webstore.iec.ch/publication/5708>.
- 10) Процесори та пам'ять [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://uk.gov-civil-braga.pt/computer-processor-it-s-uses-central-processing-unit>.

11) Модуль карти MicroSD з ESP32 з використанням Arduino IDE [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://randomnerdtutorials.com/esp32-microsd-card-arduino/>.

12) Colin H. Hansen. Noise Control: From Concept to Application / Colin H. Hansen.. – 440 с.

13) Прилад для вимірювання шуму [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D1%80%D0%B8%D0%BB%D0%B0%D0%B4_%D0%B4%D0%BB%D1%8F_%D0%B2%D0%B8%D0%BC%D1%96%D1%80%D1%8E%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8F_%D1%88%D1%83%D0%BC%D1%83.

14) Інженерна акустика. Теорія і практика боротьби з шумом. - М.: вид.Логос. Університетська книга 2008. - 424 с.

15) Блок живлення Professional 12V 100W BPU-100 8,3A [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://prom.ua/ua/p1508019255-blok-pitaniya-professional.html>.

16) Закон України “Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення” від 24 лютого 1994 р.

17) ДСТУ 2325-93 “Шум. Терміни та визначення”.

18) ДСТУ 2867-94 “Шум Методи оцінювання виробничого шумового навантаження”

19) Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку ДСН 3.3.6.037-99

20) ДСТУ 3130-95 «Станції теплові електричні на органічному паливі. Загальні вимоги щодо захисту від шуму» .

21) Позначення елементів на електротехнічних схемах [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://web.kpi.kharkov.ua/elmarsh/wp-content/uploads/sites/108/2017/04/Umovni-grafichni-poznachennya-elementiv-na-elektrotehnicnih-shemah.YUhimchuk-V.D.-2009.pdf>.

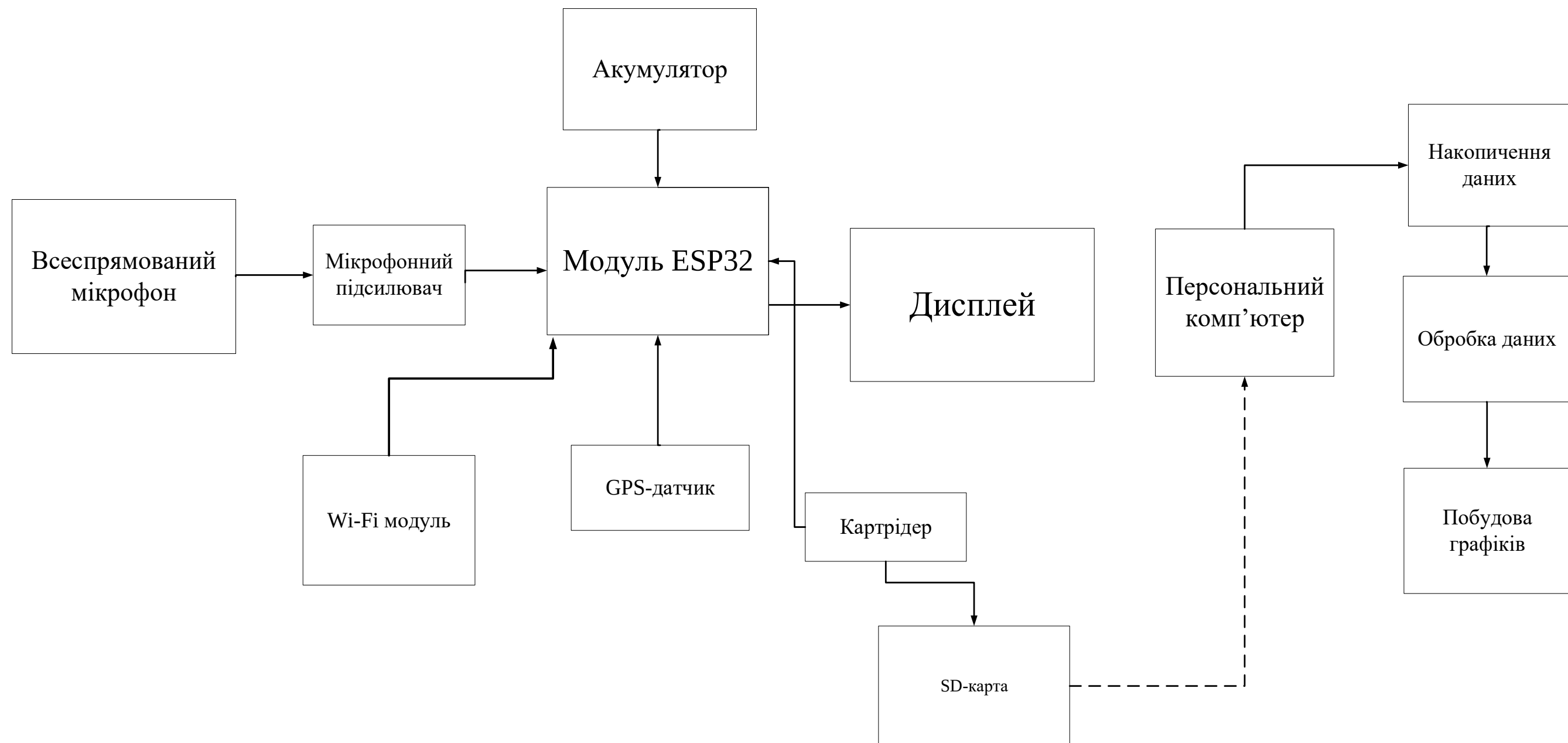
					МММТ.480.006.006 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		72

22) ДСТУ ISO 9612:2008 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://dnaop.com/html/62922_5.html.

23) Друкована плата [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D1%80%D1%83%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B0_%D0%BF%D0%BB%D0%B0%D1%82%D0%B0.

24) RTC DS1338 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.rcscomponents.kiev.ua/datasheets/DS1338.pdf>.

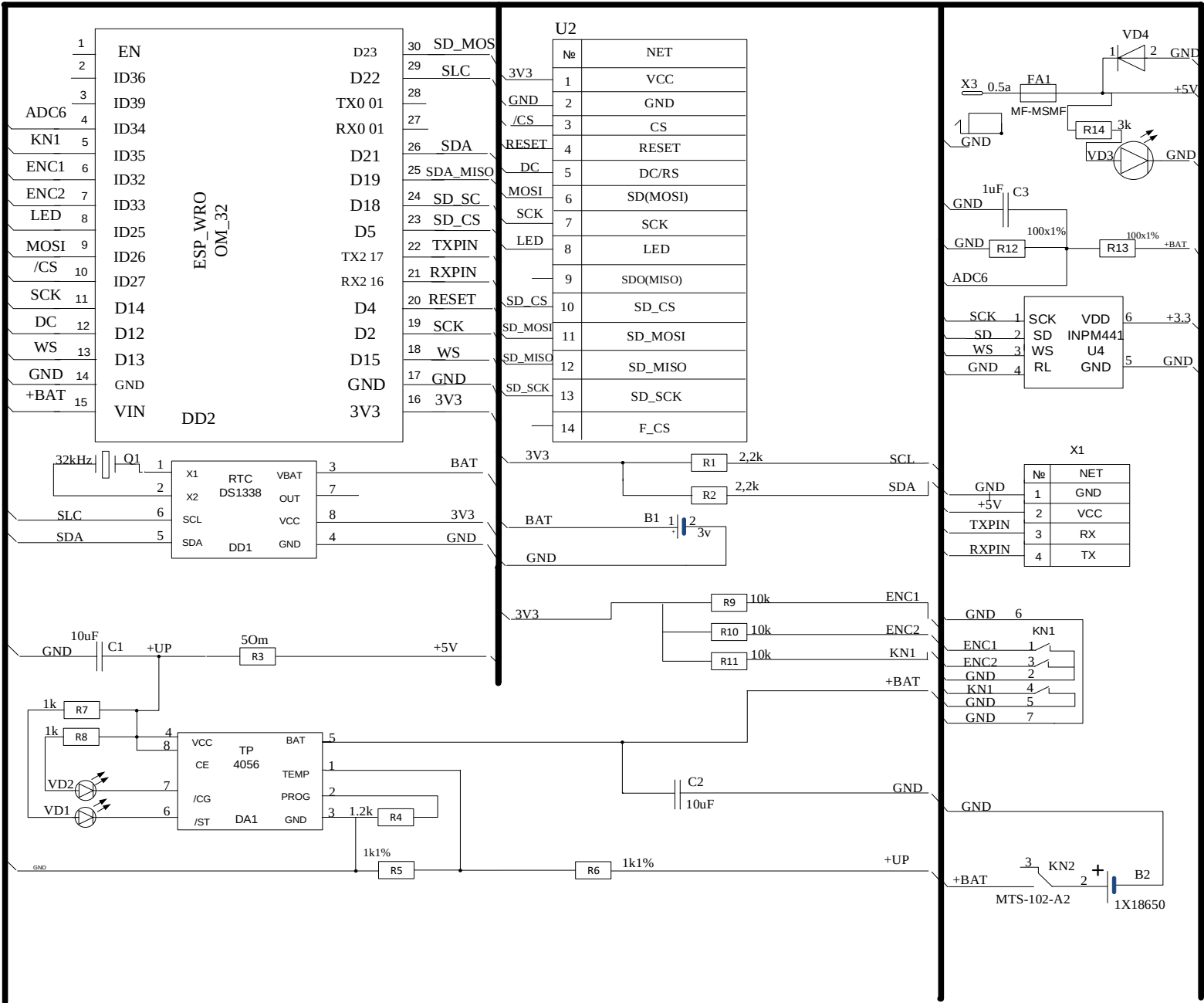
					МММТ.480.006.006 – ПЗ	Арк.
						73
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

[illegible]

	Поз.познач.	Найменування	Кільк.	Приміт.
		Конденсатори		
	C1-C2 10uF	ECR100M16B-Hitano	2	
	C3 1uF	ECR010M50B-Hitano	1	
		Мікросхеми		
	DD1	RTC DS1338	1	
	DD2	ESP-WROOM-32	1	
	DA1	TP4056	1	
		Резистори		
	R1,R2	2.2k	2	
	R3	5 Om	1	
	R4	1.2k	1	
	R5,R6	1k1%	2	
	R7,R8	1k	2	
	R9,R10,R11	10k	3	
	R12, R13	100k1%	2	
	R14	3k	1	
		Мікрофон		
	INPM441	3.3v	1	
		Діоди		
	VD4	1N4148	1	
		Індикатори		
	VD1-VD3	Kingbright L-44 E D	3	
		Резонатори		
	HC-49U	32kHz	1	
		Перемикачі		
	KN1, KN2	MTS-102-A2	2	
		Запобіжники		
	FA1	MF-MSMF	1	
		Акумулятори		
	B1, B2	літійовий акумулятор 18650	2	
		IPS-дисплей		
	U2	IPS дисплей 1.8" TFT ST7735	1	
		Інтерфейси		
	X1	RS-232	1	

					МММТ.480.006.006 – ПЕ						
Вим	Лист	№ докум.	Підпис	Дата							
Розроб.	Левицький А.В.				Комп'ютеризований прилад для вимірювання параметрів акустичного шуму Перелік елементів			Лім.	Лист	Листів	
Перевір.	Чепюк Л.О.									1	
Реценз.								Державний університет «Житомирська політехніка», гр. МТ-2			
Н. Контр.											
Затверд.											

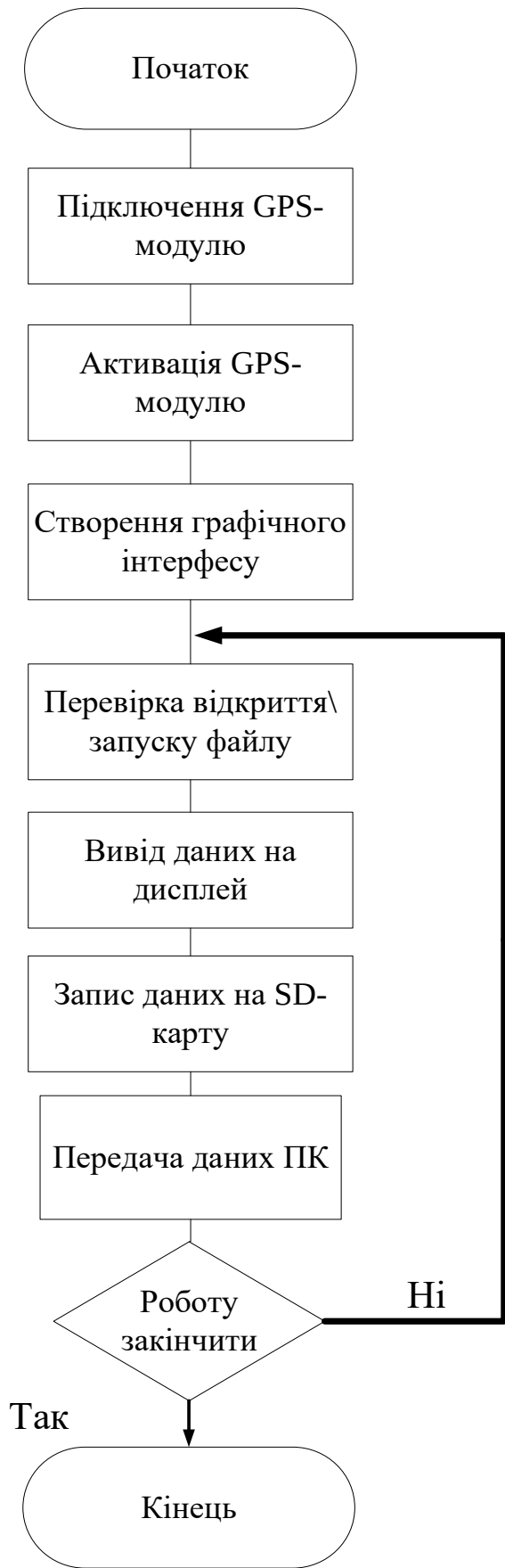
МММТ.480.006.006-Е1



						МММТ.480.006.006-Е1			
						Комп'ютеризований прилад для вимірювання параметрів акустичного шуму			
						Принципова схема			
						Лист 1			
						Державний університет «Хмельницький політехнік», гр. МТ-2			
Вим.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата					
Розроб.	Левченко А.В.								
Перев.	Чепук Л.О.								
Т. контр.									
Н. контр.									
Зам.	Львівський								

МММТ.480.006.006-Е1

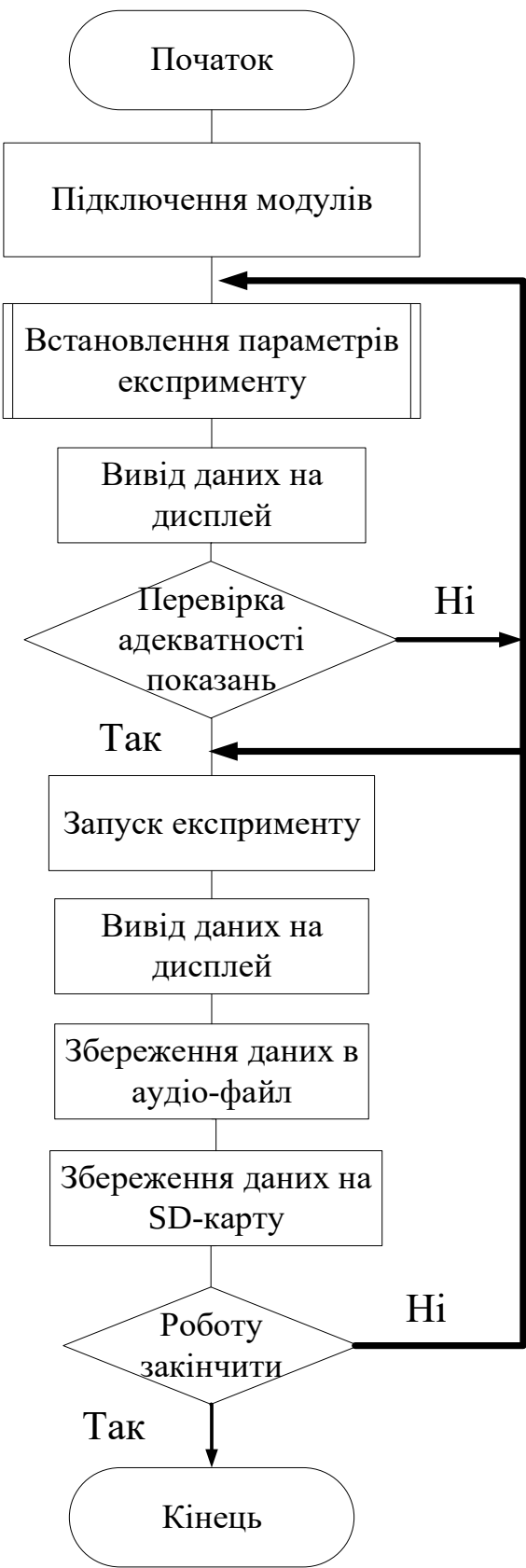
Блок-схема підключення
GPS-модуля



Блок-схема підключення мікрофона
та запису акустичних даних



Блок-схема отримання акустичних даних



					МММТ.480.006.006 – Е 1					
Вип.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	Комп'ютеризований прилад для вимірювання параметрів акустичного шуму Алгоритми програми			Лит.	Маса	Масштаб
Розроб.		Левченко А.В.								
Перев.		Четок Л.О.								
Т. контр.										
Н. контр.					Державний університет «Волинська політехніка», гр. МТ-2			Лист	Листів 1	
Затв.		Головний								

**Програма створення графічного інтерфейсу користувача та
підключення GPS-модуля**

```
/*
 * This code is made for ESP32 with TFT SPI 2.4 + SD card + GPS
 * (Skylab SKM53)
 * Code is in development.
 */
// Includes of libraries (підключення бібліотек)
#include "SPI.h"
#include "Adafruit_GFX.h"
#include "Adafruit_ILI9341.h"
#include <Adafruit_MPU6050.h>
#include <Adafruit_Sensor.h>
#include <Wire.h>
#include <TinyGPS++.h>
#include <mySD.h>
#include <ESP32AnalogRead.h>
ESP32AnalogRead adc0;
ESP32AnalogRead adc1;

Adafruit_MPU6050 mpu;

// Definitons of TFT pins (створення макросів)
#define TFT_DC 12 //4
#define TFT_CS 27 //15 //15
#define TFT_RST 4 //2
// #define TFT_MISO 19
#define TFT_MOSI 26 //13 //23
#define TFT_CLK 14 //18
// Definitions of pins of SD pins
#define SD_CS 5 //13
#define SD_MOSI 23
#define SD_MISO 19
#define SD_SCK 18
```

```

// Colours
#define BLACK 0x0000
#define BLUE 0x001F
#define RED 0xF800
#define MAGENTA 0xF81F
#define WHITE 0xFFFF

const int ledPin = 32; // the number of the LED pin
(кількість диодів)

//GPS set-up (встановлення GPS)
static const int RXPin = 16, TXPin = 17;
HardwareSerial GPS(1);
TinyGPSPlus gps;
Adafruit_ILI9341 tft = Adafruit_ILI9341(TFT_CS, TFT_DC, TFT_MOSI,
TFT_CLK, TFT_RST);//, TFT_MISO

// Declaration of variables
float LAT, LON, ALT, SAT;
int AGE;
String TIME = "";
String DATE = "";
String ADC0 = "";
String ADC1 = "";

void setup() {
  Serial.begin(115200); //Serial is for testing purpose, not needed.
  pinMode(ledPin, OUTPUT);
  digitalWrite(ledPin, HIGH);
  adc0.attach(33);
  adc1.attach(35);
  GPS.begin(9600, SERIAL_8N1, RXPin, TXPin); //Initialization of GPS
Module
  Serial.print("Initializing SD card..."); //Serial is for testing
purpose, not needed.
  if (!SD.begin(SD_CS, SD_MOSI, SD_MISO, SD_SCK)) {//Initialization

```

of SD card

```
Serial.println("SD card failed!"); //Serial is for testing  
purpose, not needed.
```

```
return;
```

```
}
```

```
Serial.println("SD card initialised!"); //Serial is for testing  
purpose, not needed.
```

```
tft.begin(); //Initialization of TFT
```

```
tft.setRotation(0); //Setting rotation to zero, it is possible to  
change by 90 degrees
```

```
tft.fillScreen(BLACK); //Setting black background
```

```
tft.setCursor(0, 0); //Setting position of cursor to 0,0
```

```
tft.setTextColor(WHITE,RED); //Setting text and background color
```

```
tft.setTextSize(2);
```

```
tft.drawRect(15, 10, 100, 90, RED); //Drawing top left rectangle
```

```
tft.fillRect(15,10,100,90,RED);
```

```
tft.setCursor(20, 15);
```

```
tft.print("Lat");
```

```
tft.drawRect(130, 10, 100, 90, RED); //Drawing top right rectangle
```

```
tft.fillRect(130,10,100,90,RED);
```

```
tft.setCursor(135, 15);
```

```
tft.print("Lon");
```

```
tft.setTextColor(WHITE,BLUE);
```

```
tft.drawRect(15, 110, 100, 90, BLUE); //Drawing middle left  
rectangle
```

```
tft.fillRect(15,110,100,90,BLUE);
```

```
tft.setCursor(20, 115);
```

```
tft.print("Age");
```

```
tft.drawRect(130, 110, 100, 90, BLUE); //Drawing middle right  
rectangle
```

```
tft.fillRect(130,110,100,90,BLUE);
```

```
tft.setCursor(135, 115);
```

```
tft.print("Sat");
```

```
tft.setTextColor(WHITE,MAGENTA);
```

```
tft.drawRect(15, 210, 100, 90, MAGENTA); //Drawing lower left  
rectangle
```

```

tft.fillRect(15,210,100,90,MAGENTA);
tft.setCursor(20, 215);
tft.print("Height");
tft.drawRect(130, 210, 100, 90, MAGENTA); //Drawing lower right
rectangle
tft.fillRect(130,210,100,90,MAGENTA);
tft.setCursor(135, 215);
tft.print("Time");
String dataString1 = ""; //Declaration of variable - for saving
values on SD card. Saving is by rows
File dataFile = SD.open("datalog.txt", FILE_WRITE);
if (dataFile)
{
dataFile.println(dataString1);
dataFile.close();
}
else
{
Serial.println("error opening datalog.txt");
}
}

void loop(void) {
getGPS(); //Calling function getGPS - getting values from GPS
ADC0 = String(adc0.readVoltage());
ADC1 = String(adc1.readVoltage());
tft.setTextColor(WHITE,RED);
tft.setCursor(18,50);
tft.print(LAT,5);
tft.setCursor(133,50);
tft.print(LON,5);
tft.setTextColor(WHITE,BLUE);
tft.setCursor(18,150);
tft.print(AGE);
tft.setCursor(133,150);
tft.print(SAT);

```

```

tft.setTextColor(WHITE,MAGENTA);
tft.setCursor(18,250);
tft.print(ALT);
tft.setCursor(133,250);
tft.print(TIME);
tft.setCursor(18,270);
tft.print(ADC0);
tft.setCursor(133,270);
tft.print(ADC1);
//Saving data from GPS to file datalog.txt on SD card
//If datalog.txt isnt created, it will be created
String dataString = ""; //Declaration of variable - for saving
values on SD card. Saving is by rows
dataString += "ASCII";
dataString += ",";
dataString += "Tomsk";
dataString += ",";
dataString += DATE;
dataString += " ";
dataString += TIME;
dataString += ",";
double latt = LAT*1000; //Multiplication of variable for web
application
dataString += String(latt);
double lonn = LON*1000;
dataString += ",";
dataString += String(lonn);
dataString += ",";
dataString += String(SAT);
dataString += ",";
dataString += String(ALT);
dataString += ",";
dataString += ADC0;
dataString += ",";
dataString += ADC1;
File dataFile = SD.open("datalog.txt", FILE_WRITE);

```

```

if (dataFile)
{
dataFile.println(dataString);
dataFile.close();
Serial.println(dataString);
}
else
{
Serial.println("error opening datalog.txt");
}
}

void getGPS(){
bool newdata = false;
unsigned long start = millis();
while (millis() - start <1000)
{
    if (feedgps ())
    {
        newdata = true; }
}
if (newdata)
{
    LAT = gps.location.lat();
    LON = gps.location.lng();
    SAT = gps.satellites.value();
    ALT = gps.altitude.meters();
    AGE = gps.location.age();
    TIME = gps.time.hour()+7; //Value of constant depends on time
    TIME += ":";
    TIME += gps.time.minute();
    TIME += ":";
    TIME += gps.time.second();
    DATE = gps.date.year();
    DATE += "/";
    DATE += gps.date.month();

```

```

        DATE += "/";
        DATE += gps.date.day();
        feedgps();
    }
}

bool feedgps(){
    while (GPS.available())
    {
        if (gps.encode(GPS.read()))
            return true;
    }
    return 0;}

#ifndef PCM_SAMPLE_H_
#define PCM_SAMPLE_H_

```

Додаток Є
(обов'язковий)

Отримання та запис даних

```

// Save audio from PDM microphone to SD Card in wav format

/* Microphone has following pins:
VDD
GND
DOUT - connected to DIN I2S pin on ESP32
CLK - connected to WS I2S pin on ESP32
LR - not connected to ESP32. Microphone has internal pull down to GND
for this pin. */

// uncomment to demonstrate that valid wav files are being generated
//#define GENERATE_DEMO_WAV

// Raw PCM data is inside the header
#ifdef GENERATE_DEMO_WAV
#include "pcm_sample.h"

```

```

#endif

#include <driver/i2s.h>
#include "FS.h"
#include "SD_MMC.h"

// I2S peripheral number
#define I2S_CHANNEL                                I2S_NUM_0 // I2S_NUM_1 doesn't
support PDM

// I2S pins
#define I2S_PIN_BIT_CLOCK                        I2S_PIN_NO_CHANGE // not used
#define I2S_PIN_WORD_SELECT                    26
#define I2S_PIN_DATA_OUT                      I2S_PIN_NO_CHANGE // not used
#define I2S_PIN_DATA_IN                      25

// I2S CONFIG PARAMS
#define I2S_MODE                                (I2S_MODE_MASTER | I2S_MODE_RX
| I2S_MODE_PDM)
#define I2S_SAMPLE_RATE                        16000
#define I2S_BITS_PER_SAMPLE                    I2S_BITS_PER_SAMPLE_16BIT
#define I2S_CHANNEL_FMT                        I2S_CHANNEL_FMT_ONLY_RIGHT
#define I2S_COMM_FMT                            I2S_COMM_FORMAT_PCM
#define I2S_INTERRUPT_PRIO                      ESP_INTR_FLAG_LEVEL1
#define I2S_DMA_BUF_COUNT                      4
#define I2S_DMA_BUF_SIZE                      1000
#define I2S_ENABLE_ACCURATE_CLK                true

bool I2S_Init() {
    i2s_config_t i2s_config;
    memset(&i2s_config, 0, sizeof(i2s_config));

    i2s_config.mode = (i2s_mode_t)I2S_MODE;
    i2s_config.sample_rate = I2S_SAMPLE_RATE;
    i2s_config.bits_per_sample = I2S_BITS_PER_SAMPLE;
    i2s_config.channel_format = I2S_CHANNEL_FMT;

```

```

    i2s_config.communication_format =
(i2s_comm_format_t)I2S_COMM_FMT;
    i2s_config.intr_alloc_flags = I2S_INTERRUPT_PRI0;
    i2s_config.dma_buf_count = I2S_DMA_BUF_COUNT;
    i2s_config.dma_buf_len = I2S_DMA_BUF_SIZE;
    i2s_config.use_apll = I2S_ENABLE_ACCURATE_CLK;

    i2s_pin_config_t pins = {
        .bck_io_num = I2S_PIN_BIT_CLOCK,
        .ws_io_num = I2S_PIN_WORD_SELECT,
        .data_out_num = I2S_PIN_DATA_OUT,
        .data_in_num = I2S_PIN_DATA_IN
    };

    if (i2s_driver_install(I2S_CHANNEL, &i2s_config, 0, NULL) !=
ESP_OK) {
        Serial.println("i2s_driver_install() error");
        return false;
    }

    if (i2s_set_pin(I2S_NUM_0, &pins) != ESP_OK) {
        Serial.println("i2s_set_pin() error");
        return false;
    }
}

void I2S_Quit() {
    if (i2s_driver_uninstall(I2S_CHANNEL) != ESP_OK) {
        Serial.println("i2s_driver_uninstall() error");
    }
}

// Create a file and add wav header to it so we can play it from PC
later
bool create_wav_file(const char* song_name, uint32_t duration,
uint16_t num_channels, const uint32_t sampling_rate, uint16_t
bits_per_sample) {

```

```
// data size in bytes - > this amount of data should be recorded  
from microphone later
```

```
uint32_t data_size = sampling_rate * num_channels *  
bits_per_sample * duration / 8;
```

```
if (!SD_MMC.begin()) {  
    Serial.println("Card Mount Failed");  
    return false;  
}  
File new_audio_file = SD_MMC.open(song_name, FILE_WRITE);  
if (new_audio_file == NULL) {  
    Serial.println("Failed to create file");  
    return false;  
}
```

```
/* ***** ADD ".WAV" HEADER ***** */
```

```
uint8_t CHUNK_ID[4] = {'R', 'I', 'F', 'F'};  
new_audio_file.write(CHUNK_ID, 4);
```

```
uint32_t chunk_size = data_size + 36;  
uint8_t CHUNK_SIZE[4] = {chunk_size, chunk_size >> 8, chunk_size  
>> 16, chunk_size >> 24};  
new_audio_file.write(CHUNK_SIZE, 4);
```

```
uint8_t FORMAT[4] = {'W', 'A', 'V', 'E'};  
new_audio_file.write(FORMAT, 4);
```

```
uint8_t SUBCHUNK_1_ID[4] = {'f', 'm', 't', ' '};  
new_audio_file.write(SUBCHUNK_1_ID, 4);
```

```
uint8_t SUBCHUNK_1_SIZE[4] = {0x10, 0x00, 0x00, 0x00};  
new_audio_file.write(SUBCHUNK_1_SIZE, 4);
```

```
uint8_t AUDIO_FORMAT[2] = {0x01, 0x00};  
new_audio_file.write(AUDIO_FORMAT, 2);
```

```

uint8_t NUM_CHANNELS[2] = {num_channels, num_channels >> 8};
new_audio_file.write(NUM_CHANNELS, 2);

uint8_t SAMPLING_RATE[4] = {sampling_rate, sampling_rate >> 8,
sampling_rate >> 16, sampling_rate >> 24};
new_audio_file.write(SAMPLING_RATE, 4);

uint32_t byte_rate = num_channels * sampling_rate *
bits_per_sample / 8;
uint8_t BYTE_RATE[4] = {byte_rate, byte_rate >> 8, byte_rate >>
16, byte_rate >> 24};
new_audio_file.write(BYTE_RATE, 4);

uint16_t block_align = num_channels * bits_per_sample / 8;
uint8_t BLOCK_ALIGN[2] = {block_align, block_align >> 8};
new_audio_file.write(BLOCK_ALIGN, 2);
uint8_t BITS_PER_SAMPLE[2] = {bits_per_sample, bits_per_sample >>
8};
new_audio_file.write(BITS_PER_SAMPLE, 2);

uint8_t SUBCHUNK_2_ID[4] = {'d', 'a', 't', 'a'};
new_audio_file.write(SUBCHUNK_2_ID, 4);

uint8_t SUBCHUNK_2_SIZE[4] = {data_size, data_size >> 8, data_size
>> 16, data_size >> 24};
new_audio_file.write(SUBCHUNK_2_SIZE, 4);

// Actual data should be appended after this point later

new_audio_file.close();
SD_MMC.end();
return true;
}

#ifdef GENERATE_DEMO_WAV
void generate_demo_wav() {

```

```

Serial.println("Generating demo wav");
size_t duration = 3; // in seconds
size_t channels = 1; // mono
size_t sampling_rate = 8000; // 8kHz
size_t bits_per_sample = 16;
const char* song_name = "/demo.wav";
if (!create_wav_file(song_name, duration, channels,
sampling_rate, bits_per_sample)) {
Serial.println("Error during wav header creation");
return;
}

if (!SD_MMC.begin()) {
Serial.println("Card Mount Failed");
return;
}

File demo_wav = SD_MMC.open(song_name, FILE_APPEND);
if (demo_wav == NULL) {
Serial.println("Failed to create file");
return;
}

uint8_t val = 0;
const size_t FILE_SIZE = duration * channels * sampling_rate *
bits_per_sample / 8;
for (size_t i = 0; i < FILE_SIZE; ++i) {
demo_wav.write(pcm_data[i]);
}
demo_wav.close();
SD_MMC.end();
Serial.println("Demo wav has been generated");
}
#endif

void microphone_record(const char* song_name, uint32_t duration) {

```

```

// Add wav header to the file so we can play it from PC later
if (!create_wav_file(song_name, duration, 1, I2S_SAMPLE_RATE,
I2S_BITS_PER_SAMPLE)) {
    Serial.println("Error during wav header creation");
    return;
}

// Initiate SD card to save data from microphone
if (!SD_MMC.begin()) {
    Serial.println("Card Mount Failed");
    return;
}

// Buffer to receive data from microphone
const size_t BUFFER_SIZE = 500;
uint8_t* buf = (uint8_t*)malloc(BUFFER_SIZE);

// Open created .wav file in append+binary mode to add PCM data
File audio_file = SD_MMC.open(song_name, FILE_APPEND);
if (audio_file == NULL) {
    Serial.println("Failed to create file");
    return;
}

// Initialize I2S
I2S_Init();

// data size in bytes - > this amount of data should be recorded
from microphone
uint32_t data_size = I2S_SAMPLE_RATE * I2S_BITS_PER_SAMPLE *
duration / 8;

// Record until "file_size" bytes have been read from mic.
uint32_t counter = 0;
uint32_t bytes_written;
Serial.println("Recording started");

```

```

while (counter != data_size) {
  // Check for file size overflow
  if (counter > data_size) {
    Serial.println("File is corrupted. data_size must be multiple
of BUFFER_SIZE. Please modify BUFFER_SIZE");
    break;
  }
  // Read data from microphone
  if (i2s_read(I2S_CHANNEL, buf, BUFFER_SIZE, &bytes_written,
portMAX_DELAY) != ESP_OK) {
    Serial.println("i2s_read() error");
  }
  if(bytes_written != BUFFER_SIZE) {
    Serial.println("Bytes written error");
  }
  // Save data to SD card
  audio_file.write( buf, BUFFER_SIZE);
  // Increment the counter
  counter += BUFFER_SIZE;
}
Serial.println("Recording finished");
I2S_Quit();
audio_file.close();
free(buf);
SD_MMC.end();
}
void setup() {
  Serial.begin(115200);
  delay(1000);
#ifdef GENERATE_DEMO_WAV
  generate_demo_wav();
#endif
  microphone_record("/rec1.wav", 8);
}
void loop() { }

```

Наведено повний код програми з додатковими деталями, який включає необхідні бібліотеки та підключення пристроїв для її роботи.

```
#include <WiFi.h>
#include <TinyGPS++.h>
#include <Adafruit_GFX.h>
#include <Adafruit_ILI9341.h>
#include <SD.h>

#define TFT_CLK 13
#define TFT_MISO 12
#define TFT_MOSI 11
#define TFT_CS 10
#define TFT_DC 9
#define TFT_RST 8

#define SD_CS 4

#define GPS_RX 16
#define GPS_TX 17

TinyGPSPlus gps;
HardwareSerial gpsSerial(1);

Adafruit_ILI9341 tft = Adafruit_ILI9341(TFT_CLK, TFT_RST, TFT_MISO,
TFT_MOSI, TFT_CS, TFT_DC);

File dataFile;

void setup()
{
  Serial.begin(115200);
  gpsSerial.begin(9600, SERIAL_8N1, GPS_RX, GPS_TX);

  if (!SD.begin(SD_CS))
  {
    Serial.println("Failed to initialize SD card.");
  }
}
```

```

        return;
    }

    tft.begin();
    tft.setRotation(3);
    tft.fillScreen(ILI9341_BLACK);
    tft.setTextColor(ILI9341_WHITE);
    tft.setTextSize(2);
}

void loop()
{
    getGPS();
    getAnalogValues();
    updateDisplay();
    saveDataToSDCard();
}

void getGPS()
{
    while (gpsSerial.available() > 0)
    {
        if (gps.encode(gpsSerial.read()))
        {
            if (gps.location.isValid())
            {
                // Отримано валідні координати GPS
                double latitude = gps.location.lat();
                double longitude = gps.location.lng();
                // Додатковий код для обробки координат GPS
            }
        }
    }
}

void getAnalogValues()

```

```

{
    // Додатковий код для отримання значень з аналогових входів ESP32
}

void updateDisplay()
{
    tft.fillScreen(ILI9341_BLACK);

    // Виведення значень на TFT-дисплей
    // Додатковий код для виведення значень GPS та аналогових входів
}

void saveDataToSDCard()
{
    dataFile = SD.open("datalog.txt", FILE_WRITE);

    if (dataFile)
    {
        // Збереження значень в файл "datalog.txt" на SD-карті
        // Додатковий код для збереження значень GPS та аналогових входів
        dataFile.close();
    }
    else
    {
        Serial.println("Error opening data file.");
    }
}

```

Також додатковий код, який реалізує функціональність відправки даних на сервер за допомогою протоколу HTTP. Звичайно ж потрібно підключити необхідні бібліотеки та модулі для HTTP протоколу.

```

#include <HTTPClient.h>
#define WIFI_SSID "jester"
#define WIFI_PASSWORD "413132126"
const char* serverAddress = "192.168.0.100";
void sendDataToServer()
{

```

```

String payload = "{\"latitude\": " + String(latitude) + ",
\"longitude\": " + String(longitude) + ", \"value1\": " +
String(value1) + ", \"value2\": " + String(value2) + "}";

WiFiClient client;
HTTPClient http;
if (http.begin(client, serverAddress, serverPort, endpoint))
{
    http.addHeader("Content-Type", contentType);
    int httpResponseCode = http.POST(payload);

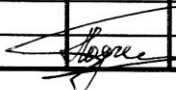
    if (httpResponseCode > 0)
    {
        Serial.print("HTTP Response code: ");
        Serial.println(httpResponseCode);
    }
    else
    {
        Serial.println("Error sending data to server.");
    }

    http.end();
}
else
{
    Serial.println("Unable to connect to server.");
}
}

```

Додаток Б

Поз.познач.	Найменування	Кільк.	Приміт.
Конденсатори			
C1-C2 10uF	ECR100M16B-Hitano	2	
C3 1uF	ECR010M50B-Hitano	1	
Мікросхеми			
DD1	RTC DS1338	1	
DD2	ESP-WROOM-32	1	
DA1	TP4056	1	
Резистори			
R1,R2	2.2k	2	
R3	5 Om	1	
R4	1.2k	1	
R5,R6	1k1%	2	
R7,R8	1k	2	
R9,R10,R11	10k	3	
R12, R13	100k1%	2	
R14	3k	1	
Мікрофон			
INPM441	3.3v	1	
Діоди			
VD4	1N4148	1	
Індикатори			
VD1-VD3	Kingbright L-44 E D	3	
Резонатори			
HC-49U	32kHz	1	
Перемикачі			
KN1, KN2	MTS-102-A2	2	
Запобіжники			
FA1	MF-MSMF	1	
Акумулятори			
B1, B2	літєвий акумулятор 18650	2	
IPS-дисплей			
U2	IPS дисплей 1.8" TFT ST7735	1	
Інтерфейси			
X1	RS-232	1	

					МММТ.480.006.006 - ПЕ		
Вимм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Левицький А.В.			Комп'ютеризований прилад для вимірювання параметрів акустичного шуму Перелік елементів		
Перевір.		Челюк Л.О.					
Реценз.							
Н. Контр.							
Затверд.							
					Літ.	Лист	Листів
							1
					Державний університет «Житомирська політехніка», гр. МТ-2		