

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

**Приладобудівний факультет**

**Кафедра Інформаційно-вимірювальних  
технологій**

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

Володимир ЄРЕМЕНКО

«\_\_\_» червня 2021р.

**Дипломний проект**

**на здобуття ступеня бакалавра**

**за освітньо-професійною програмою «Метрологія та вимірювальна  
техніка»**

**спеціальності 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»**

**на тему: «Вимірювач акустичних параметрів колісних транспортних  
засобів»**

Виконав:

студент IV курсу, групи ВВ-71

Макаров Дмитро Олексійович \_\_\_\_\_

Керівник:

Доцент, к.т.н., доцент Мокійчук Валентин Михайлович \_\_\_\_\_

Рецензент

Професор д.т.н Куц Юрій Васильович \_\_\_\_\_

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

Студент \_\_\_\_\_

Київ – 2021 року

№ рядка	Формат	Позначення	Найменування	Аркуші	Примітка
1			<u>Текстова документація</u>		
2					
3	A4		Завдання на дипломне		
4			проектування		
5	A4	BB71.070004.001 ТЗ	Технічне завдання	5	
6	A4	BB71.070004.001 ПЗ	Пояснювальна записка		
7					
8					
9					
10	A1	71.110004.001E1	Вимірювач акустичних параметрів колісних транспортних засобів Схема структурна	1	
11	A1	71.110004.001E2	Вимірювач акустичних параметрів колісних транспортних засобів Схема функціональна	1	
12	A1	71.110004.001E3	Вимірювач акустичних параметрів колісних транспортних засобів Схема принципова-електрична	1	
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
21					

					ВВ71.110004.001 ОП									
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	Вимірювач акустичних параметрів колісних транспортних засобів  Опис					Літ.		Аркуш	Аркуші	
Розроб.	Макаров Д.О.											1	2	
Перевір.														
Н. контр.	Мокійчук В.М.									КПІ ім Ігоря Сікорського каф.ІВТ, гр. ВВ71				
Затв.														

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

**Приладобудівний факультет  
Кафедра Інформаційно-вимірювальних  
технологій**

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Володимир ЄРЕМЕНКО

" \_\_\_\_ " червня 2021 р.

**ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ**

**на дипломний проект**

**«Вимірювач акустичних параметрів колісних транспортних засобів»**

**ВВ71.110004.001ТЗ**

УЗГОДЖЕНО:

Керівник дипломної роботи:

к.т.н., доц. Мокійчук В. М.

" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2021 р.

Дипломник:

студент групи ВВ-71

Макаров Д. О.

" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2021 р.

Залікова книжка \_\_\_\_\_

Київ – 2021 року

# **1 НАЙМЕНУВАННЯ ТА ГАЛУЗЬ ЗАСТОСУВАННЯ**

1.1 Вимірювач акустичних параметрів колісних транспортних засобів (далі ВАПКТЗ)

1.2 Галузь використання – сертифікація, ремонт та регулювання експлуатаційних характеристик колісних транспортних засобів.

## **2 ПІДСТАВИ ДЛЯ ВИКОНАННЯ РОЗРОБКИ**

Підставою для розробки є завдання на дипломний проект, видане і затверджене кафедрою інформаційно-вимірювальних технологій Національного Технічного Університету України «КПІ імені Ігоря Сікорського» у лютому 2021 р.

## **3 МЕТА РОЗРОБКИ**

3.1 Метою розробки є створення базового зразка ВАПКТЗ;

3.2 Розробка вирішує наступні задачі: втілення сучасних цифрових технологій та відповідної елементної бази; втілення сучасних технологій виготовлення продукції; покращення метрологічних, експлуатаційних та техніко-економічних характеристик;

3.3 Призначення конструкції: ВАПКТЗ знаходять застосування при сертифікації, регулюванні та ремонті окремих агрегатів колісних транспортних засобів;

## **4 ДЖЕРЕЛА РОЗРОБКИ**

Джерелами розробки є:

1. державні та іноземні галузеві стандарти;
2. науково-технічна література по проектуванню електронного обладнання;
3. Інформаційні ресурси мережі Інтернет, що є в загальному доступі.

## **5 ТЕХНІЧНІ ВИМОГИ**

5.1 Вимоги до експлуатаційних, технічних і метрологічних характеристик ФСЗН.

5.1.1 Технічні і метрологічні характеристики

- Вимірювана величина – частота на потужність звукового сигналу.
- Частотний діапазон 20Hz ...18 kHz;

- Покази приладу виражаються в децибелах відносно опорного звукового тиску 20 мкПа;
- Границя допустимої основної похибки – не більше 1,5%;
- Додаткова похибка від зміни температури зовнішнього середовища від 25 °С до максимального значення робочої температури на кожні 10 °С не перевищує половини допустимої основної похибки.

#### 5.1.2 Вимоги до кліматичного використання і транспортування

Нормальні умови використання відповідно до ДСТУ 12.005-88 наведено в таблиці 1.1

Таблиця 1.1 – Нормальні умови експлуатації

Величина, що впливає	Номінальні значення та їх відхилення
Температура навколишнього середовища, °С	25±5
Відносна вологість, %	80±2
Атмосферний тиск, кПа	86...106,7

Робочі умови експлуатації наведено в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Робочі умови експлуатації

Величина, що впливає	Номінальні значення та їх відхилення
Температура навколишнього середовища:	
- нижнє значення, °С	+5
- верхнє значення, °С	+40
Відносна вологість при температурі навколишнього середовища 25 °С, %	65
Атмосферний тиск, кПа	86...106,7

ВАПКТЗ повинен зберігати зовнішній вигляд і свої параметри відповідно до вимог кліматичного виконання УХЛ категорії приміщення 4.2 за ГОСТ 15150-69.

Вимоги до транспортування наведено в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Граничні умови транспортування

Впливаюча величина	Номінальні значення та їх відхилення
Температура зовнішнього середовища, - нижнє значення, °C - верхнє значення, °C	-10 +50
Відносна вологість при температурі 25 °C, %	100
Атмосферний тиск, kPa	70-106,7
Максимальне прискорення механічних ударів при частоті 80-120 ударів в хвилину	30 м/с <sup>2</sup>

Вимоги до зберігання наведено в таблиці 1.4

Таблиця 1.4 – Умови зберігання

Впливаюча величина	Номінальні значення та їх відхилення
Температура зовнішнього середовища, - нижнє значення, °C - верхнє значення, °C	0 +40
Відносна вологість при температурі 35 °C, %	90
Атмосферний тиск, kPa	84-106,7

#### 5.1.3 Вимоги до часу встановлення робочого режиму

Показники робочого режиму не встановлюються.

#### 5.1.4 Вимоги до електричної міцності і опору ізоляції

ВАПКТЗ повинен мати світлову індикацію ввімкнення живлення.

З тильної сторони корпусу модулю повинна бути встановлена клема заземлення.

#### 5.2 Вимоги до конструкції

Вимоги до габаритів конструкції не встановлюються.

#### 5.3 Вимоги до електроживлення

Живлення ВАПКТЗ повинно здійснюватися від джерела постійного струму напругою 5...9V.

#### 5.4 Вимоги до надійності

Вимоги надійності не встановлюються.

#### 5.5 Вимоги до безпеки монтажу, експлуатації і ремонту

Монтаж при виготовленні ВАПКТЗ повинен бути виконаним за сучасними технологіями поверхневого монтажу.

ВАПКТЗ повинен поставлятися зібраним і не повинен вимагати розбирання і ревізії при виконанні монтажних робіт.

#### 5.6 Вимоги до завадозахищеності

Вимоги до завадо захищеності не встановлюються

#### 5.7 Вимоги до методів і засобів перевірки

ВАПКТЗ відноситься до вимірювальних засобів, які не підлягають державному метрологічному нагляду. ВАПКТЗ при виробництві підлягає метрологічній атестації, при експлуатації підлягає калібруванню.

## 6 ЕТАПИ РОЗРОБКИ

Етапи розробки, оформлення та узгодження дипломного проекту наведено в табл. 1.5.

Таблиця 1.5 – Етапи розробки дипломного проекту

№ п/п	Найменування етапу	Дата
1	Розробка та узгодження технічного завдання	22.02.2021 р.
2	Огляд і аналіз існуючих технічних рішень	05.03.2021 р.
3	Розробка програмного забезпечення	13.05.2021 р.
4	Розробка експериментальної моделі	14.05.2021 р.
5	Оформлення графічних матеріалів	до 01.06.2021 р.
6	Оформлення пояснювальної записки	до 01.06.2021 р.
7	Попередній захист дипломного проекту	09.06.2021 р.
8	Рецензування дипломного проекту	до 14.06.2021 р.
9	Захист дипломного проекту	до 20.06.2021 р.

Всі ГОСТи, що використовуються в даному ТЗ на ДП, є чинними на території України.

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

**Приладобудівний факультет**

**Кафедра Інформаційно-вимірювальних  
технологій**

**Вимірювач акустичних параметрів колісних транспортних засобів**

**Пояснювальна записка**

**71. 11.0004 ПЗ**

Керівник дипломного проєкту

Студент групи ВВ-71

Мокійчук В.М. \_\_\_\_\_

Макаров Д.О. \_\_\_\_\_

дата \_\_\_\_\_

дата \_\_\_\_\_



## АНОТАЦІЯ

Дипломна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків. Загальний об'єм пояснювальної записки становить 52 сторінок, 23 рисунків та 11 таблиць.

В ході виконання дипломного проекту був розроблений вимірювач акустичних параметрів колісних транспортних засобів.

Для розробки даного пристрою була використана платформа Arduino, яка дозволяє проводити вимірювання звукового сигналу різної частоти та надавати якісну характеристику звукового тиску цього сигналу.

Для створення пристрою були вирішені наступні завдання:

1. Розроблено структурна, принципова та функціональна схеми приладу.
2. Розроблено програмне забезпечення для даної задачі.
3. Була розрахована похибка перетворення АЦП

## ABSTRACT

Thesis consists of an introduction, four sections, conclusions. The total volume of the explanatory note is 52 pages, 23 figures and 11 tables.

During the implementation of the diploma project a meter of acoustic parameters of wheeled vehicles was developed.

To develop this device, the Arduino platform was used, which allows you to measure the sound signal of different frequencies and provide a qualitative characteristic of the sound pressure of this signal.

The following tasks were solved to create the device:

1. The structural, basic and functional schemes of the device are developed.
2. Developed software for this task.
3. The ADC conversion error was calculated

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	6
ВСТУП.....	7
1 ОГЛЯД І АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ.....	12
1.1 Загальні відомості.....	12
1.2 Огляд аналогічних засобів вимірювання.....	17
1.2.1 Шумоміри.....	17
1.2.2 Цифрові аналізатори спектру.....	20
1.2.3 Дозиметри шуму.....	23
1.3 Опис обраної платформи.....	25
2 АПАРАТНА ЧАСТИНА ВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ .....	27
2.1 Опис елементної бази .....	27
2.1.1 Arduino UNO .....	27
2.1.2 LCD дисплей .....	30
2.1.3 Мікрофон з підсилювачем KY-037 .....	33
2.2 Опис та розрахунок структурної схеми .....	35
2.3 Опис та розрахунок функціональної схеми.....	37
2.4 Розрахунок основних спектральних частот та меж 1/3 – октавних фільтрів .....	38
2.5 Розрахунок параметрів ФНЧ .....	39
2.6 Опис та розрахунок електричної принципової схеми.....	40

					ВВ71.110004.001			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата				
Розроб.	Макаров Д.О.				Вимірювач акустичних параметрів колісних транспортних засобів Пояснювальна записка	Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевір.	Мокийчук В.М.					0	1	
						КПІ ім Ігоря Сікорського каф.ІВТ, гр. ВВ71		
Н. контр.	Щербань А.П.							
Затв.	Єременко В.С.							

3 АНАЛІЗ ПОХИБОК СИСТЕМИ .....	42
3.1 Похибка АЦП.....	42
3.1 Похибка з'єднання .....	43
4 РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО РІШЕННЯ.....	44
4.1 Опис середовища розробки .....	44
4.2 Текст коду .....	45
5 РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО РІШЕННЯ.....	48
5.1 Реалізація системи та демонстрація її роботи.....	48
5.2 Калібрування.....	49
ВИСНОВОК.....	50
Список використаної літератури .....	51

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

дБ – децибел;

ВАПКТЗ – Вимірювач акустичних параметрів колісних транспортних засобів;

ШІМ – широтно імпульсна модуляція;

М – метр;

NEXT – Near End Cross Talk – наводки від перетину з'єднувальних дротів в приладі;

BER – Bit Error Rate – шанс передачі сигналу з втратою бита інформації

					BB71.110004.001	Арк.
						6
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

## ВСТУП

За рахунок постійної індустріалізації в нашому житті стала гострою проблема шумового забруднення. Це поняття сформувалося на основі результатів вивчення впливу сукупності звуків різних частот та різною інтенсивністю на людину. Джерелами даного забруднення є промислові райони в містах, робота аеропортів, але основним чинником є транспорт, як колісний так і залізничний. В особливості це помітно в містах мільйонників, де присутня значна кількість автомагістралей та великих шосейних доріг. В зоні ризику знаходяться як безпосередньо користувачі транспортних засобів, так і інші люди, які змушені за різними обставинами знаходитися в полі дії шуму. У таблиці 1.6 наведеній нижче зображено приблизний еквівалент рівнів шуму.

Таблиця 1.6 – Характеристики звукового сигналу

Рівень звуку, дБА	Характеристика звуку	Джерела звуку
10	Майже не чути	Шелест листви
20	Ледь чути	Шепіт людини (1м)
30	Тихо	Робота настінного
40-50	Чути	Звичайна розмова
65-75	Шумно	Крик
80-95	Дуже шумно	Вагон метро
100-115	Вкрай шумно	Оркестр, грім
120	Нестерпно	Джерела звуку
130	Больовий поріг	Літак на зльоті
140	Контузія	Звук роботи реактивного двигуна
150	Травми	Старт ракети
160	Шок	Ударна хвиля від проходження звукового бар'єру літаком

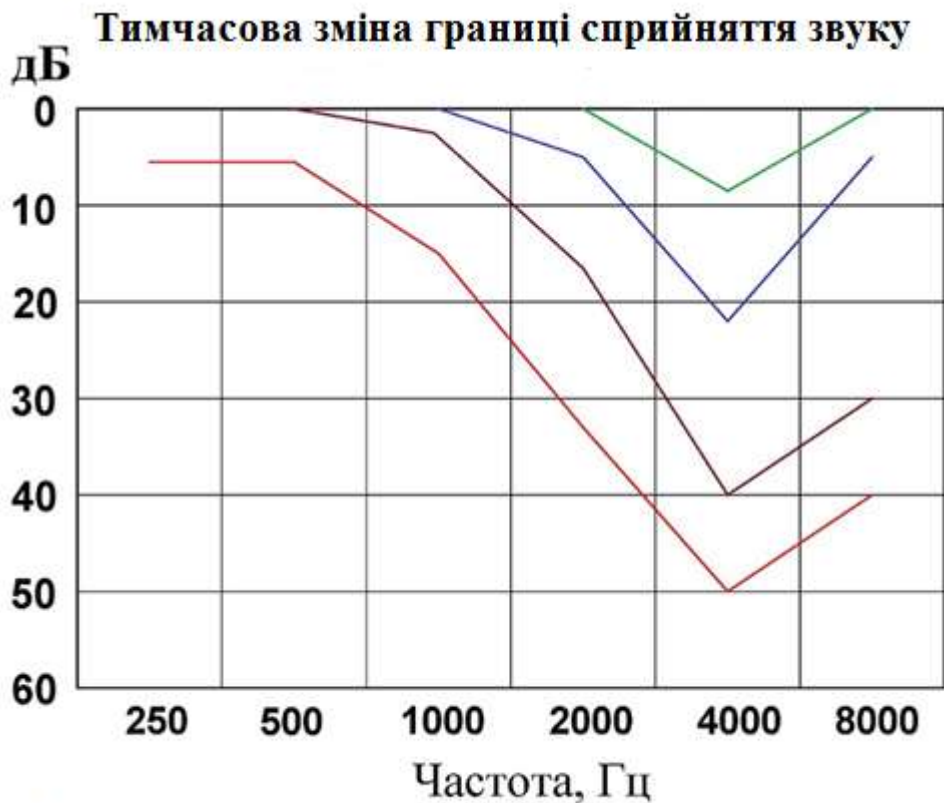
Для колісних транспортних засобів нормативним документом, що регулює допустимі рівні шуму є ДСТУ 3649:2010 у Таблиці 1.7 зазначена витримка з цього ДСТУ.

Таблиця 1.7 – витримка з ДСТУ 3649:2010

Тип КТЗ	Рівень шуму (звуку), дБА
Легкові та вантажопасажирські автомобілі	87
Автобуси з максимальною масою понад 3500 кг та двигуном потужністю, кВт:	
— менше ніж 150;	90
— 150 та більше	93
Автобуси та вантажні автомобілі з максимальною масою, кг:	
— не більше ніж 2000;	88
— понад 2000, але не більше ніж 3500	89
Вантажні автомобілі, автопоїзди з максимальною масою понад 3500 кг та двигуном потужністю, кВт:	
— менше ніж 75;	91
— 75 та більше, але менше ніж 150;	93
— 150 та більше	94
Примітка. Під потужністю двигуна розуміють максимальну потужність, зазначену в НЕ.	

Багато дослідників з різних сфер науки, таких як: медицина, психологія, та інших говорять про те що проблема шумового забруднення одна з, а іноді і перша проблема для здоров'я людей. Серед її конкурентів за перше місце треба відзначити паління та зайва вага. З цього можна зробити однозначний висновок, що цією проблематикою можна і потрібно займатися.

Окрім зазначених вище травм, які може отримати людина знаходячись в полі дії шуму треба відмітити найочевидніше – тимчасову та перманентну втрату, погіршення слуху. Це відбувається при знаходженні біля джерела шуму з потужністю 80 дБ і вище На графіку нижче зображено приклад ймовірного тимчасового погіршення порогів звукового сприйняття[1]



Погіршення сприйняття звуку різних частот після припинення шуму:  
через 30с; через 15хв; через 5 год; через 24 год;

Рис.1.1 – Графік тимчасового погіршення порогу сприйняття звуку

Вченими було виявлено залежність зниження слухових можливостей людини саме від дози шумового впливу, тобто впливу який людина отримала не від пікових імпульсних значень, а від довготривалого впливу. Це призводить до перманентного погіршення слуху, особливо при сильному постійному звуку. Наприклад при великому стажі роботи на виробництві чи водінні авто, яке не відповідає нормам ДСТУ. На Рис.4 показана залежність часу роботи на підприємстві з великим шумовим забрудненням. Треба відзначити, що погіршення стану здоров'я людини не є лінійним, а має відмінності за рахунок певної унікальності кожного організму.



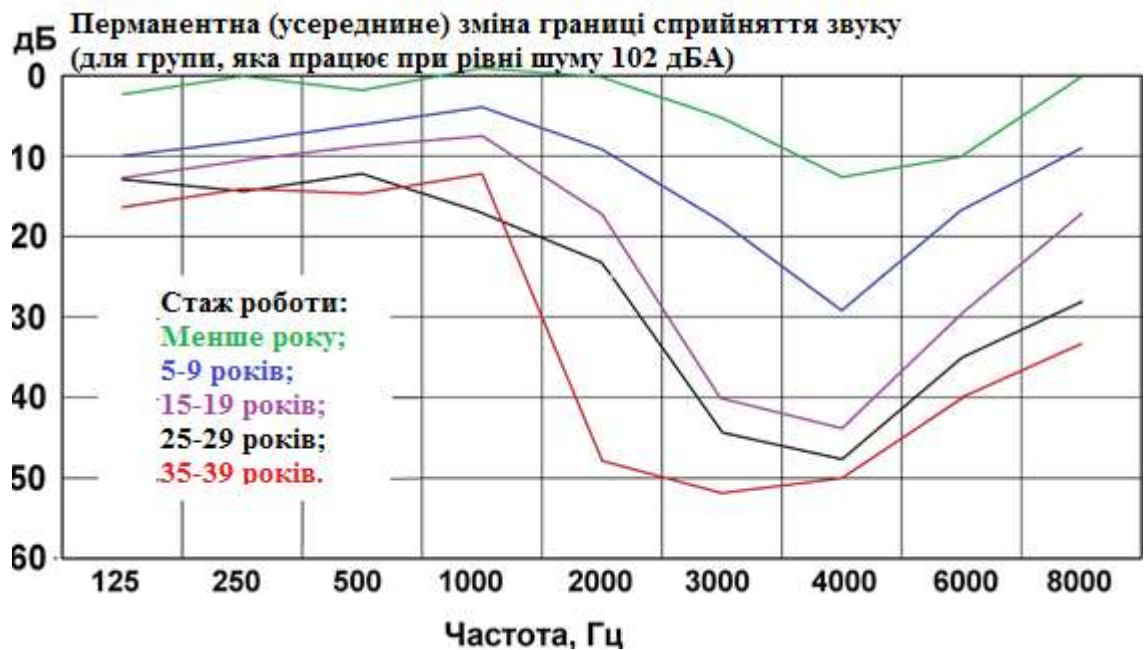


Рис.1.2 – Графік перманентного погіршення порогу сприйняття звуку

Також було виявлено, що погіршується робота серцево-судинної системи. У людини підвищується ризики отримання хвороби серця, таких як: стенокардії, інфаркту міокарда, коронардіосклерозу та інших. Проте мінімальний шум для отримання негативного ефекту в цій сфері вище ніж рівень для погіршення слуху. Як виявилось шум до 70 дБА не призводить до негативних наслідків у роботі серця. Неочікуваним фактом стало те, що вплив шумів на роботу серцево-судинної системи відбувається без участі органів слуху чи нервової системи, тому ми можемо говорити про прямий фізичних вплив. На Рис.5 візуалізовано підвищення ризику отримання хвороби серця та слухового апарату (у%) до стажу роботи в зазначених на графіку умовах (у роках).[2]

Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

ВВ71.110004.001

Арк.

10

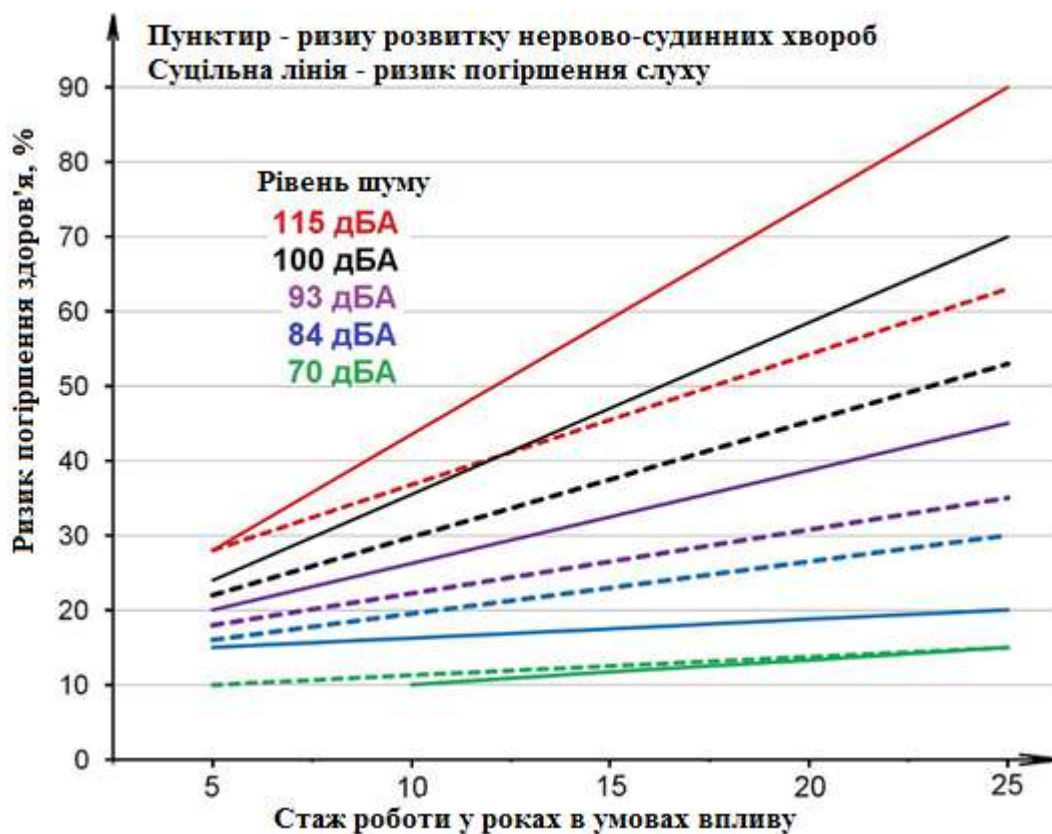


Рис1.3 – Графік ризику погіршення здоров'я

Базуючись на дослідженнях впливу шуму на роботу серця, в тому числі підвищення кров'яного тиску, було встановлено вплив на нервову систему. При 40-70 дБА виявлено певні зміни в роботі нервової системи, проте без негативних наслідків. Проблеми виникають при постійний шумі від 80 дБА.[3]

Останнє що треба відзначити це зміна в роботі органів зору при шумовому забрудненні. Воно виникає при постійному шумі від 85 дБА і полягає в зміні частоти сприйняття кольорів, а саме для зеленого – зниження для червоного- підвищення також це впливає на чіткість бачення, що також треба враховувати. [4]

# 1 ОГЛЯД І АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ

## 1.1 Загальні відомості

Згідно статистики в нашій країні з кожним роком збільшується кількість колісних транспортних засобів на душу населення з чого виникає збільшення кількості проведених техоглядів авто різних типів, особливо якщо взяти на увагу розвиток вторинного ринку базою для якого є експорт авто які були у вживанні на території країн Західної Європи Одним з пунктів є перевірка показників шуму, як в салоні, так і ззовні транспортного засобу. Крім періодичного техогляду до аналогічних перевірок можна віднести приймання продукції, що виготовляють на автобудівних підприємствах. Для проведення таких процедур використовують спеціалізовані прилади для вимірювання шуму.

Для розуміння проблематики потрібно визначити значення термінів на які буде посилатися вся робота.

Поняття “шуму” сильно переплітається з поняттям “звуку”, бо перше окремий випадок другого, проте треба відзначити, що зараз поняття “шум” використовується в радіотехніці та в сфері електричного струму. Ми будемо розглядати шум з категорії звуку, тобто, як хаотичні коливання різної фізичної природи[5] За класифікацією його можна розділити по різним категоріям, а саме:

### 1. За спектром:

- Стаціонарні;
- Нестационарні.

### 2. За частотою:

- Низькочастотні (<300 Гц)
- Середньочастотні (300-800 Гц)
- Високочастотні (>800 Гц)

					ВВ71.110004.001	Арк.
						12
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

3. За часовими характеристиками:

- стаціонарний;
- нестаціонарний:
  - коливається;
  - переривчастий;
  - імпульсний.

4. За природою виникнення:

- механічний
- аеродинамічний
- гідравлічний
- електромагнітний

5. За характеристикою спектру:

- широкосмуговий шум з безперервним спектром шириною більше 1 октави;
- тональний шум, в спектрі якого є виражені тони. Вираженим тон вважається, якщо одна із третьоктавних смуг частот перевищує інші не менш, ніж на 10 дБ[6]

За рахунок характеристики сприйняття звукових сигналів людським вухом, ми сприймаємо звук різної частоти, який створює однаковий з фізичної сторони звуковий тиск, як сигнали, які відрізняються гучністю. Це є суб'єктивною характеристикою для людей, проте це треба враховувати при розрахунку звукоізоляції та норм шуму. Схематично це зображено на Рис.1.4 зазначеному нижче.

					ВВ71.110004.001	Арк.
						13
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

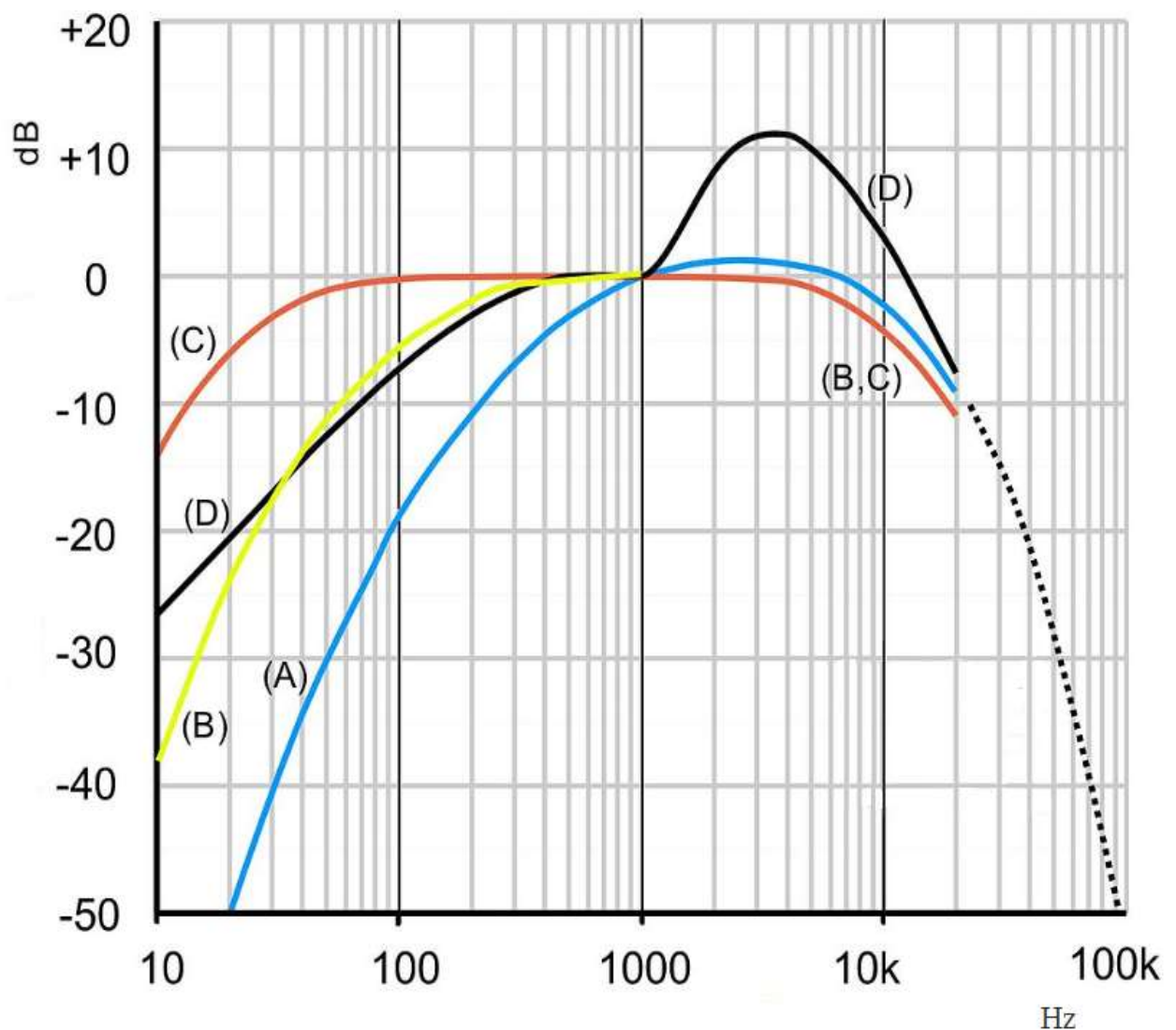


Рис.1.4 – Графік залежності частоти до гучності

Людина краще сприймає звук в частотному діапазоні 500-2000 Гц, значно гірше сигнали частотою менше 50 та вище 10000 Гц. Ультразвукові та інфразвукові хвилі ми не сприймаємо своїм вухом, проте вони мають сильний вплив на організм, в особливості при значній інтенсивності останніх та довгому перебуванні в полі взаємодії.

Звуковий тиск  $P$ , Па – це тиск, що виникає в результаті розповсюдження звукового коливання. Звукові хвилі збуджують коливання частинок повітряного середовища, в результаті чого змінюється атмосферний тиск.

Частота звуку  $f$ , Гц, визначається числом коливань звукового тиску на секунду. Звукові сигнали поділяють на 3 великі групи: інфразвук ( $< 20$  Гц), звук (від 20 до 2000 Гц) та ультразвук ( $> 2000$  Гц). Весь діапазон розбивають на октавні полоси. У кожній з них верхня гранична частота у два рази більше нижньої, а середньгеометрична частота, яка характеризує октавну полосу, розраховується за формулою (1):

$$f_{\text{сг}} = \sqrt{f_{\text{в}} * f_{\text{н}}} \quad (1)$$

Ці значення частоти для октавної полоси стандартизовані та рівні: 31,5; 63; 125; 250; 500; 1000; 2000; 4000; 8000 Гц.

Інтенсивність звуку, Вт/м<sup>2</sup> – це потік енергії, що переноситься звуковими хвилями за одиницю часу, що відноситься до одиниці площі поверхні, по нормалі до напрямлення розповсюдження хвилі.

Рівень інтенсивності  $L_I$ , дБ, рівень звукового тиску  $L_p$  дБ. Рівень інтенсивності використовуються при акустичних розрахунках, а рівень звукового тиску – при вимірюваннях шуму. За рахунок не лінійності характеристик органів слуху людського організму діапазон в якому ми здатні сприймати звукові сигнали має відмінності від вже зазначених 20-20000 Гц. Саме такий графік залежності зазначено нижче на Рис.1.5[7]

					BB71.110004.001	Арк.
						15
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

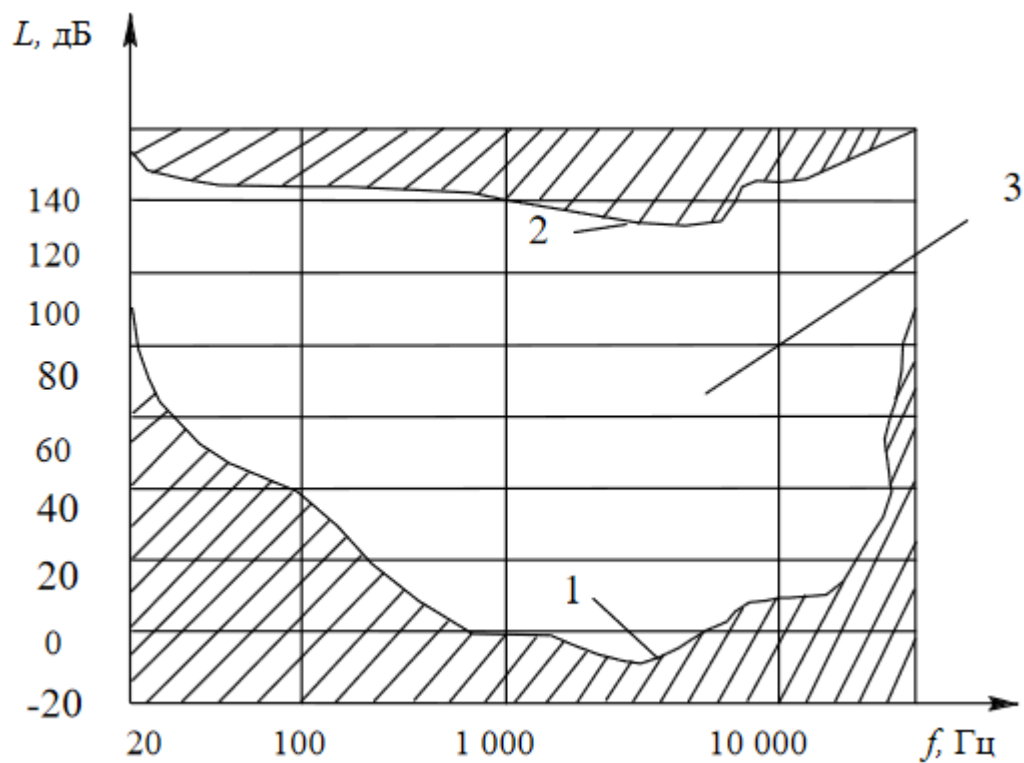


Рис.1.5 – Слухове сприйняття людини

- 1 – границя чутності;
- 2 – границя больового порогу;
- 3 – область слухового сприйняття людини.

Рівень звуку  $L_A$ , дБА. Ця величина визначається по формулі (2):

$$L_A = 20 \lg \frac{P_A}{P_0} \quad (2)$$

Де –  $P_A$  звуковий тиск, який вимірюють за шкалою “А” шумоміру.

Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

BB71.110004.001

Арк.

16

## 1.2 Огляд аналогічних засобів вимірювання

### 1.2.1 Шумоміри

Є найрозповсюдженішим приладом для вимірювання рівню звуку. В своїй основі це портативний прилад, що має в своєму складі ненаправлений мікрофон, підсилювач сигналу, корегуючі фільтри, детектор та індикатор, в інтегруючих шумомірах додатково присутній інтегратор. За рахунок того що чутливість людського вуха від частоти, а вид залежності розподіляється за рахунок зміни інтенсивності вимірюваного звуку. Тому для імітації людського сприйняття звуку в шумомірах використовують набір з 3-х комплектів фільтрів, які здатні забезпечувати потрібну форму частотної характеристики. Їм дали індекси А,В,С. Фільтр А використовують при фіксації слабких рівнів шуму, В – для середніх, а С обробляє пікові значення шуму. Окремо існує фільтр D, його використання обмежується вимірюванням авіаційного шуму. Але на сьогоднішній день використання В і D вважають не доцільним, тому в сучасних варіаціях різних стандартів для шумомірів вимоги до цих фільтрів не формулюють. Залишили лише А та С для роботи з піковими значеннями звуку на діаметрально протилежних звукових рівнях. Окрім цих параметрів виділяють ще 3 окремих режими роботи: F(fast), S(slow), I(impulse) вони використовуються в залежності від характеристики звукового сигналу. Вони відповідають часу за який формується вибірка для експозиційного усереднення. F відповідає 0,125с, S – 1с та I – імпульсний режим.

					BB71.110004.001	Арк.
						17
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		



На Рис.1.6 бачимо структурну схему шумоміру.



Рис 1.6 – Структурна схема шумоміру

МФ- мікрофон;

КН – канал нормалізації;

АЦП – аналогово-цифровий перетворювач;

БК – блок керування;

ЦІ – цифровий індикатор.

Як можна побачити зі схеми наведеної вище, першою ланкою є мікрофон, і саме від правильності його вибору залежить значна частина точності приладу. Двома типами мікрофонів між якими стоїть вибір є конденсаторні та п'єзоелектричні моделі.

Перший тип працює за рахунок зміни ємності конденсатору під впливом звукових коливань вібрації, головним фактором є зарядженість конденсатору, це досягається підключенням до джерела постійної напруги. Завдяки стійкій схемі роботи конденсаторні мікрофони мають рівномірну амплітудно-частотну характеристику, що забезпечує охоплення великої смуги частот, високої чутливості приладу, та якісної передачі звукового сигналу. З недоліків треба виділити значну ціну, надчутливість до різноманітних кліматичних умов. Подібні мікрофони можливо використовувати у випадку цілеспрямованої аналізу слабких сигналів у лабораторних умовах.

Другий тип – це п'єзоелектричні мікрофони, вони дешевші за конденсаторні проте мають нелінійну амплітудно-частотну характеристику та також є досить чутливими до кліматичних умов експлуатації. Не дивлячись на меншу чутливість, цей тип мікрофонів зазвичай краще підходять для стандартних шумомірах. Потрібно виділити шумоміри з двома мікрофонами, вони поєднують кращі сторони обох типів, але такі прилади є досить специфічними і потребують окремого калібрування.

Канал нормалізації – це сукупність фільтрів та підсилювачів. Основним його завданням є відокремлювання корисного, основного сигналу та підсилення останнього до вхідного рівня АЦП, який перетворює аналоговий звуковий сигнал в цифровий до подальшої обробки. Блок керування відповідає за виведення інформації на цифровий індикатор, котрим слугує в основній своїй масі LED дисплеї.

					ВВ71.110004.001	Арк.
						19
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

### 1.2.2 Цифрові аналізатори спектру

До іншого типу приладів для вимірювання шуму відносять частотні аналізатори. На відміну від зазначених вище, ці прилади здатні до більш глибокого аналізу сигналу та побудови спектру, що дозволяє краще оцінити зміну характеристик звукового сигналу. В основі звичайних аналізаторів спектру лежить шумомір з смуговими фільтрами та функцією дискретного перетворення Фур'є у блоці керування. Для обробки складних акустичних сигналів прийнято розділяти всю частотну область на вибірку частот з заданою шириною, тому за основу смугового фільтру обирають октавний чи доле октавний варіанти. Візуалізацію роботи подібного приладу можна побачити на Рис.1.7.

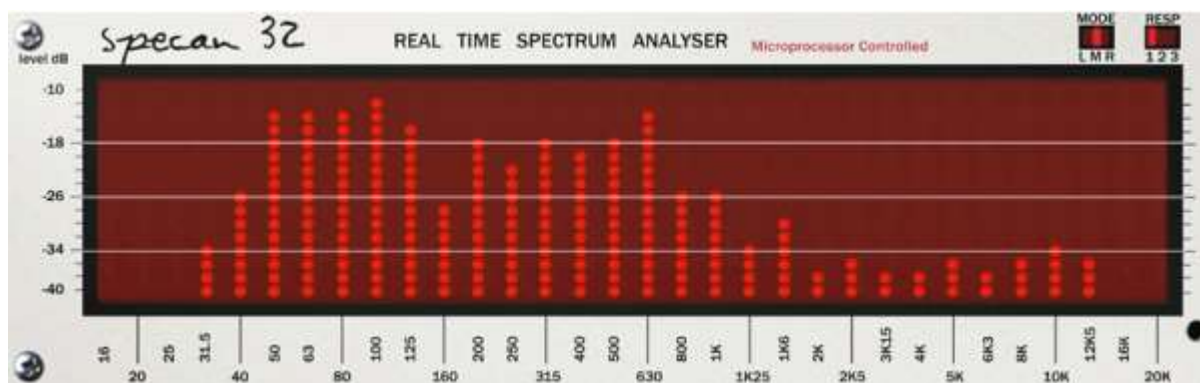


Рис.1.7 – Робота третьоктавного аналізатору Spesan32

Якщо розглянути графік частотної характеристики такого фільтру, то можна побачити інерційність вимірювання рівня в частотній області. Це можна регулювати зміною наростання та спадання рівнів, що ми бачимо на Рис.1.8.

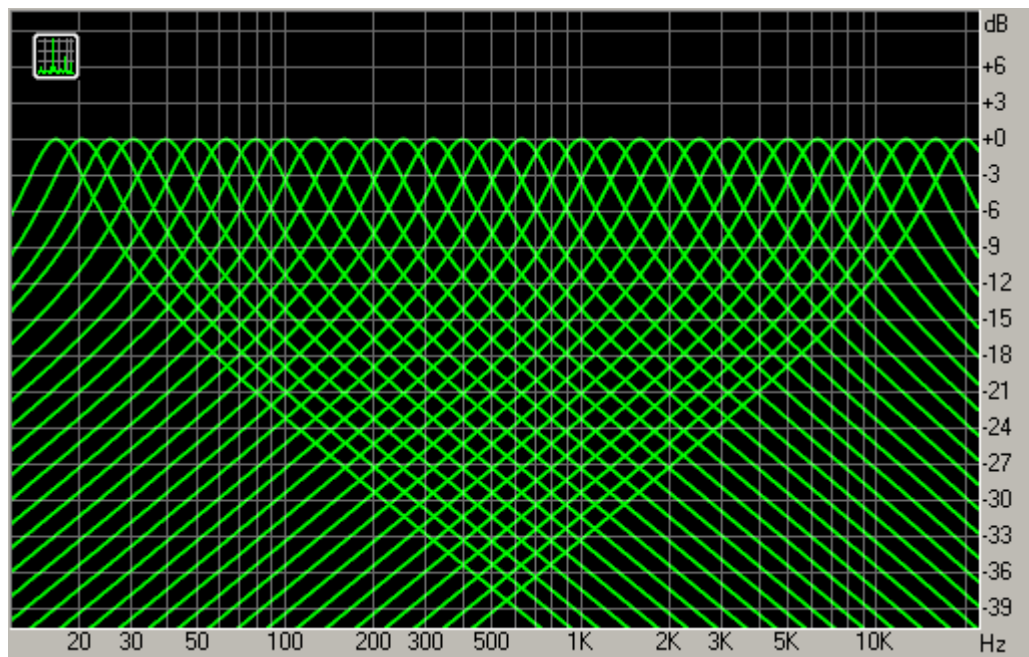


Рис.1.8 – Частотні характеристики фільтрів аналізатору спектрів

Математичною складовою вимірювальної системи такого типу, як вже зазначалось є дискретне перетворення Фур'є, що є одним з видів перетворень Фур'є, але воно потребує певної дискретної функції на вході. Його широко використовують в різних алгоритмах, а саме: при стисненні звукових файлів MP3 чи зображень формату JPEG.

Проте не дивлячись на ефективність, у цього способу обробки сигналів є недолік в швидкодії, для подолання цієї проблеми використовують швидке перетворення Фур'є (FFT). Таку технологію реалізує FFT-аналізатор. Якщо розглянути FFT як деякий набір фільтрів, то на відміну від октавних смугових фільтрів, фільтри FFT мають ідентичні частотні полоси в герцах, а не в частинах октави. Візуалізацію цього можна побачити на графіку флікер-шуму, на звичайному аналізаторі це буде пряма лінія, а у видку FFT-аналізатору – це похила за спадом в 3 дБ/окт, проте прямою буде білий шум – він має рівну енергію на рівних частотних інтервалах.

Роботу такого приладу можна побачити на Рис.1.9.

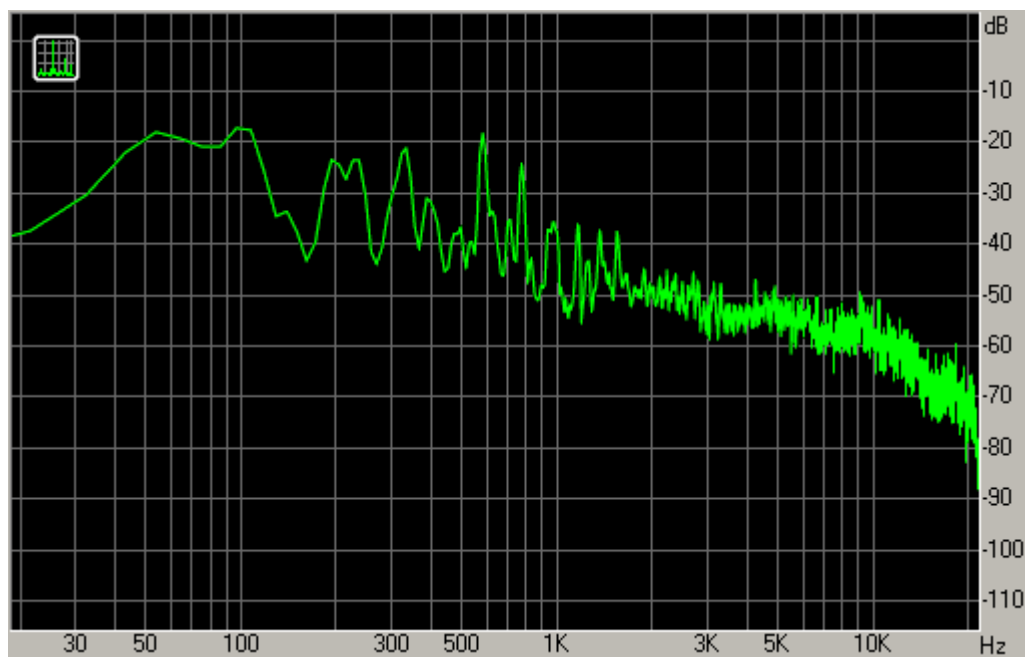


Рис.1.9 – Дисплей FFT –аналізатору

Саме аналізатори спектру найбільше підходять під специфіку обраної тематики для подальшого дослідження.

### 1.2.3 Дозиметри шуму

Дозиметри шуму – це наступний крок у розвитку вимірювачів шуму. Вони допомагають вирішити проблему з фіксацією загального рівня звукової енергії за певний час. Як правило їх використовують для перевірки приміщень на підприємствах та виробництвах на предмет їх відповідності до умов прийнятих в нормативних документах що до рівня звукового забруднення, особливо це необхідно, якщо цей рівень має схильність до сильних змін за робочу зміну. Проте для отримання точних результатів вимірювання необхідно відкалібрувати цю вимірювальну систему відповідно до певного прийнятого стандарту, котрих на даний момент велика кількість. Наприклад:

ISO-1999 IEC61252-1993, IEC67672-1-2003 – для більшості країн Європи

ANSI S1.25-1992, ANSI S1.4-1983, ANSI S1.43-1997 – для США

Головною відмінністю цих стандартів є відносність перерахування вимірюваних величин. Якщо у якості граничного рівня обрано значення 85дБА і людина під час роботи знаходиться під постійним впливом такого рівня шуму протягом 8 годин, то вона отримує 100% від дози шуму. Якщо значення шуму впливу становить 88 дБА, то згідно з ISO людина отримує вже 200% від значення шуму, оскільки в такому варіанті використовується метод усереднення енергії. Тобто кожне підвищення рівня шуму на 3 дБА призводить до подвоєння значення дози. На відміну від ISO, згідно до стандарту OSHA, в якому перерахунок становить 5 дБА, подвоєння дози шуму відповідає збільшенню цієї величини на 90 дБА. Зображення дозиметру шуму є на Рис.1.10.

					BB71.110004.001	Арк.
						23
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		



Рис. 1.10 – Дозиметр шуму

Загалом прилади даного типу хоч і можна використовувати для діагностування акустичних параметрів авто, проте вони націлені на довгий період вимірювання (в кращому випадку 4-8 годин), тому в якості бази для розробки треба обрати іншу платформу.

					BB71.110004.001	Арк.
						24
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

### 1.3 Опис обраної платформи

На основі аналізу існуючих вимірювальних систем найбільш придатною виявився аналізатор спектрів. Саме його було обрано в якості основи для реалізації проекту.

Серед великого спектру різноманітних мікроконтролерів було віддано перевагу сімейству AVR, а саме, вже вдосконалена платформа Arduino, яка має в своєму ядрі мікроконтролер вмонтований до печатної плати з підключеними до неї додатковими модулями, що полегшують процес розробки. Цей апаратно-програмний комплекс дозволяє створювати складні вимірювальні системи за допомогою мови Arduino, яка базується на C\C++, що значно полегшує роботу з програмною частиною, на відміну використання мови асемблеру. Треба відзначити, що ця мова досить сильно розвивається та поповнюється великою кількістю нових бібліотек. До переваг комплексу можна також віднести зручне та інтуїтивно зрозуміле підключення датчиків різних типів та засобів виведення інформації. Програмна частина платформи складається з IDE Arduino для написання програм, їх попередньої компіляції та встановлення на автономну систему. Апаратна частина являє собою набір змонтованих печатних плат з вже встановленими портами вводу/виводу та роз'ємами для кабелю живлення у більшості моделей сімейства.

Не дивлячись на весь спектр представлених на ринку контролерів Arduino, принципової різниці між ними не має. Проте для кращого розуміння треба навести приклад з 4-х найпоширеніших різновидів останніх. Їх зображення ми бачимо на Рис.1.11, а загальні характеристики у Таблиці 1.8.

					BB71.110004.001	Арк.
						25
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		





Рис.1.11 – модельний ряд Arduino MEGA UNO DUE NANO

Таблиця 1.8 – Характеристики сімейства Arduino

Arduino	Mega	Due	Uno	Nano
МК	Atmega1280	Atmel SAM3X8E ARM Cortex-M3	Atmega328P	Atmega168 Atmega328
$U_{жив}$	5 В	3.3 В	5 В	5 В
ФП КБ	128	512	32	16/32
EEPROM	4	-	1	0.5/1
SRAM КБ	8	256	2	1/2
USB	FTDI	Atmega16U2	Atmega8U2 Atmega16U2	FTDI
АВ	16	12+2ЦАП	6	6
Розміри	101,6 × 53.3	101,6 × 53.3	68,6 × 53.3	43 × 18

## 2. АПАРАТНА ЧАСТИНА ВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ

### 2.1 Опис елементної бази

#### 2.1.1 Arduino UNO

Для проектування було обрано Arduino UNO, оскільки серед всього ряду сімейства Arduino ця модель – це найкраще співвідношення в кількості портів, швидкодії та флеш-пам'яті. Її зображена на Рис.2.1 та зазначені характеристики у Таблиці 2.1.

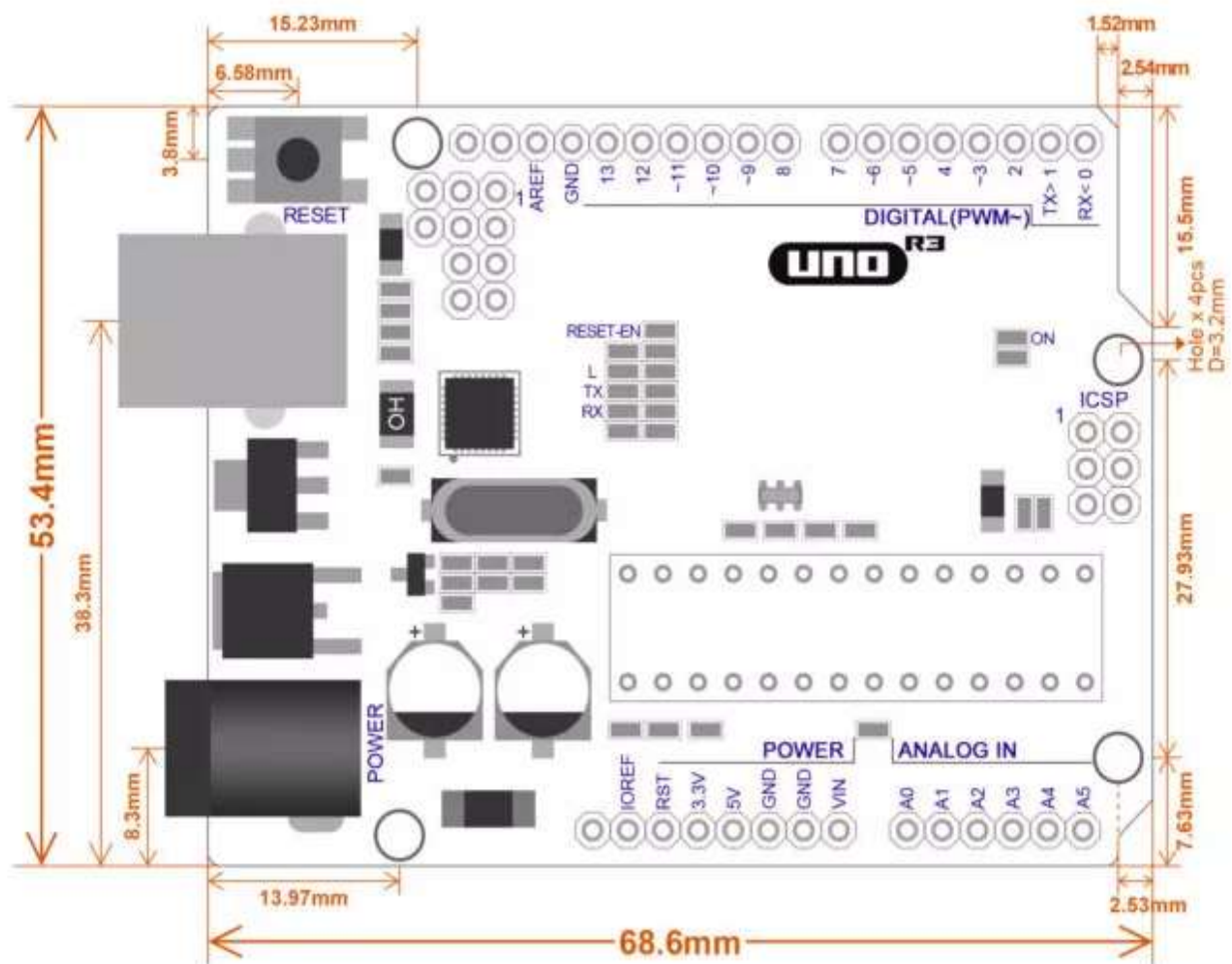


Рис. 2.1 – Arduino UNO

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики

Тип мікроконтролеру	Atmega328P
Напруга живлення мікроконтролеру	5 В
Рекомендована напруга живлення плати	7 – 12 В
Гранично допустима напруга живлення плати	6 – 20 В
Цифрові входи-виходи	14 (з яких 6 підтримують ШІМ)
Виходи ШІМ модуляції	6
Аналогові входи	6
АЦП( $N/f_d/U_{\text{Max}}$ )	10/ 32кГц/ 5В
Допустимий струм цифрових виходів	20 мА
Допустимий струм виходу 3,3 В	50 мА
Об'єм флеш-пам'яті (FLASH)	32 кБ (з яких 0,5 кБ використовується завантажувачем)
Об'єм оперативної пам'яті (SRAM)	2 кБ
Об'єм енергонезалежної пам'яті (EEPROM)	1 кБ
Частота такту	16 мГц
Довжина плати	68,6 мм
Ширина плати	53,4 мм
Вага	25 г

На Рис.2.2 та Рис.2.3 вказані принципова схема та схема розташування портів відповідно.

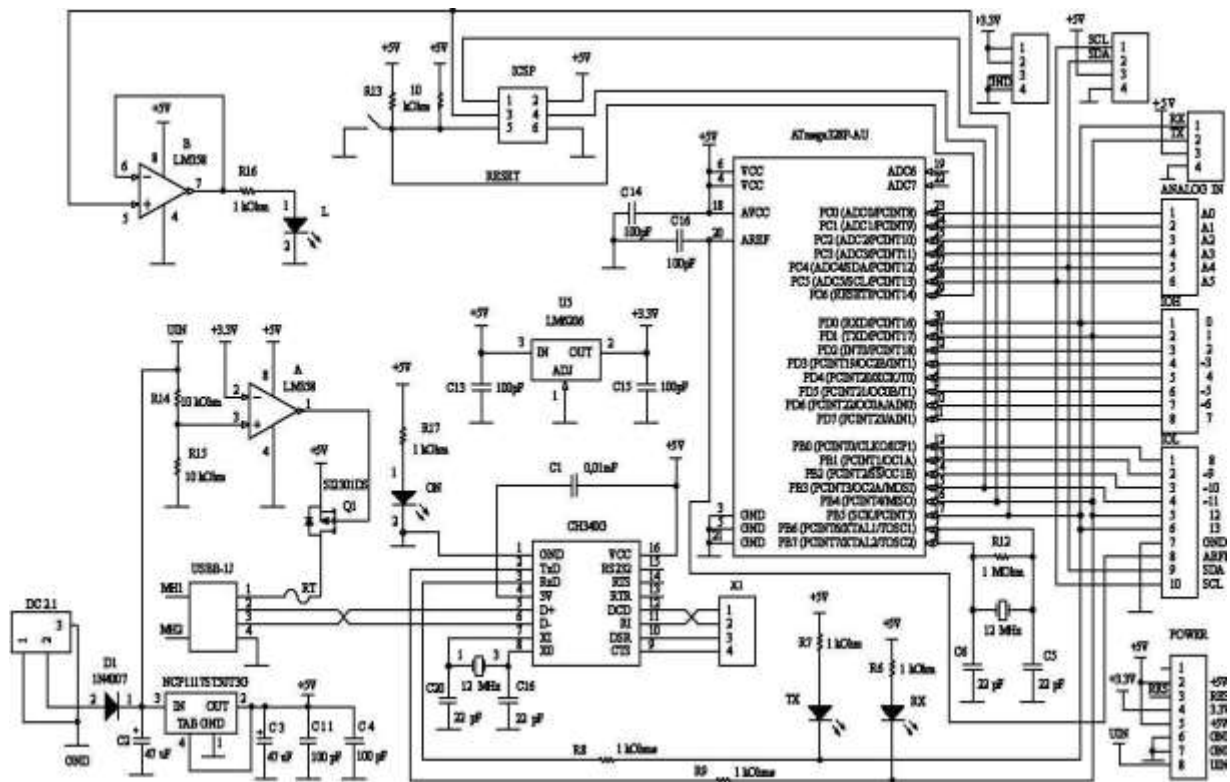


Рис.2.2 – Arduino UNO схема принципова електрична

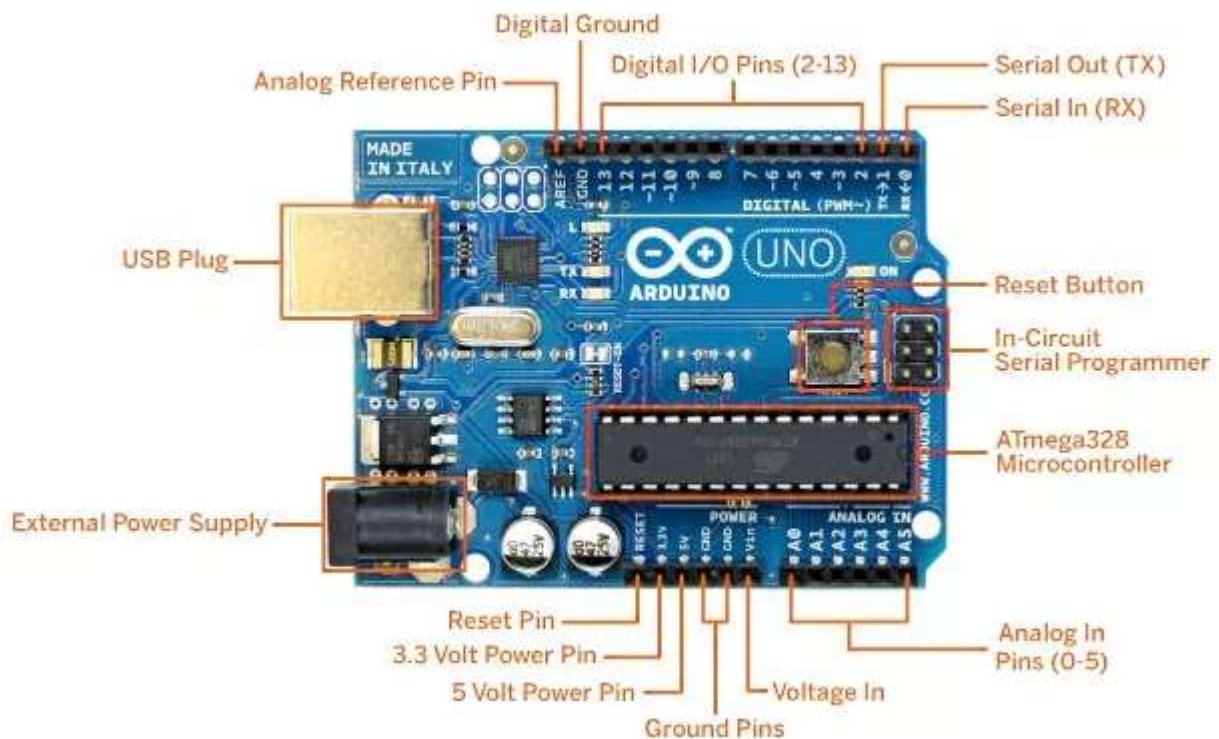


Рис.2.3 –Arduino UNO Розташування портів

### 2.1.2 LCD дисплей

Існує велика кількість дисплеїв, які добре інтегруються в системи на базі Arduino. Здебільшого різниця полягає в розмірах дисплею та його контрастності. Для проекту було обрано модель 12864b v2.0 з чіпом керування st7920. На Рис.2.4 є зображення даного дисплею.

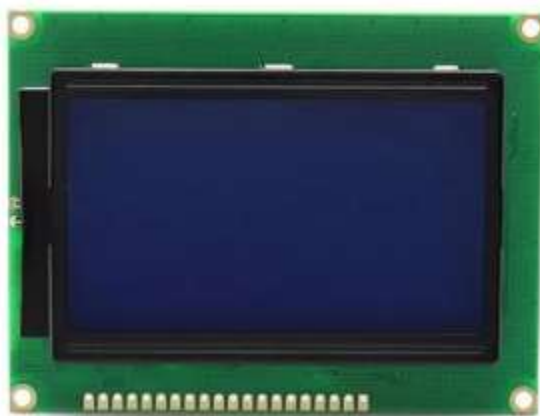


Рис.2.4 – LCD дисплей 12864b v2.0

Дисплей здатен підтримувати два режими передачі даних, а саме послідовний та паралельний. Вони обидва реалізуються бібліотеками U8glib та U8g2lib, різниця в можливостях цих бібліотек невелика, проте остання з них – це більш нова версія, і в майбутньому вона буде підтримуватися розробником. Для використання паралельного інтерфейсу, дисплей підключається до будь-яких входів Arduino, але в даному проекті буде використовуватись послідовний тип підключення, його реалізація наведена на Рис.2.5.



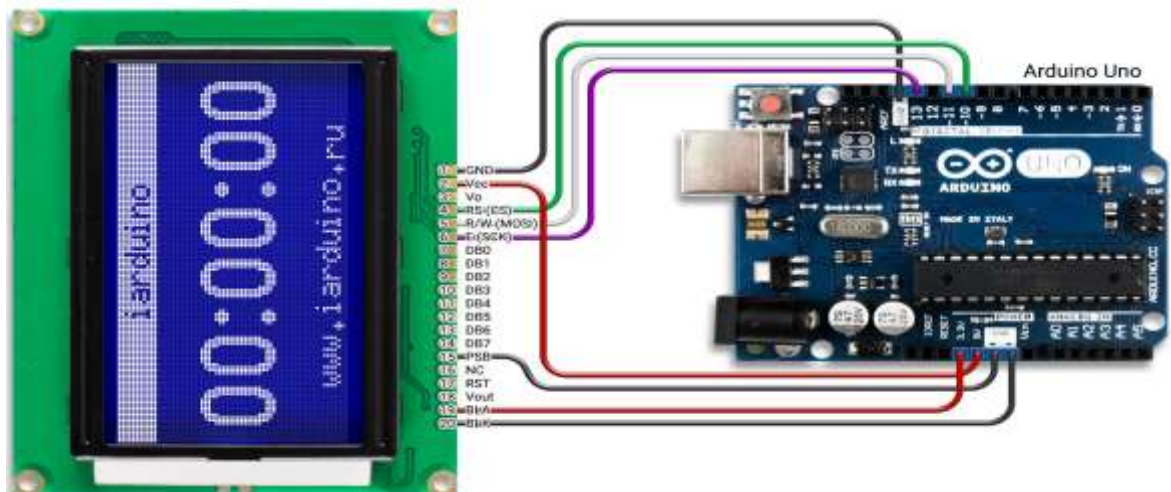


Рис.2.5 – Підключення 12864b v2.0 до Arduino

В Таблиці 2.2 нижче наведено детальний опис кожного з портів та загальні характеристики дисплею.

Таблиця 2.2 – Характеристики дисплею

Напруга живлення модулю	4,5...5,5В
Напруга живлення підсвітлення	3...3,6В
Струм споживаний модулем	До 5мА
Струм споживаний підсвітленням	До 60мА
Колір підсвітлення дисплею	Синій
Тип дисплею	LCD STN
Розмір пікселів	0,48*0,48 мм
Шаг пікселів	0,52*0,52 мм (Ш)
Кут обзору	70°
Робоча температура	–20 ... + 70°С
Температура зберігання	–30 ... + 80°С
Габарити	92*69*12 мм

У таблиці 2.3 можна побачити детальний опис портів модулю.

Таблиця 2.3 – Опис портів дисплею

PIN NO.	SYMBOL	DESCRIPTION	FUNCTION
1	VSS	GROUND	0V (GND)
2	VDD	POWER SUPPLY FOR LOGIC CIRCUIT	+5V
3	V0/VDD/NC	LCD CONTRAST ADJUSTMENT OR LCD VOLTAGE OR NC	
4	D/I	INSTRUCTION/DATA REGISTER SELECTION	D/I = 0 : INSTRUCTION REGISTER D/I = 1 : DATA REGISTER
5	R/W	READ/WRITE SELECTION	R/W = 0 : REGISTER WRITE    R/W = 1 : REGISTER READ
6	E	ENABLE SIGNAL	
7	DB0	DATA INPUT/OUTPUT LINES	8 BIT: DB0-DB7
8	DB1		
9	DB2		
10	DB3		
11	DB4		
12	DB5		
13	DB6		
14	DB7		
15	PSB	SERIAL/PARALLEL SELECTION	PSB=0:SERIAL MODE PSB=1 8/4BIT PARALLEL BUS MODE
16	NC		
17	RST	RESET SIGNAL	RSTB=0,DISPLAY OFF,DISPLAY FROM LINE 0.
18	VEE/NC	LCD DRIVE VOLTAGE/NC	
19	A	SUPPLY VOLTAGE FOR LED+	+5V
20	K	SUPPLY VOLTAGE FOR LED-	0V

### 2.1.3 Мікрофон з підсилювачем KY-037

У розроблюваній вимірювальній системі в якості мікрофона модуль KY-037з можливістю регулювання чутливості за допомогою резистора для підлаштування. Його можна побачити на Рис.2.6., а характеристики – у Таблиці 2.4.

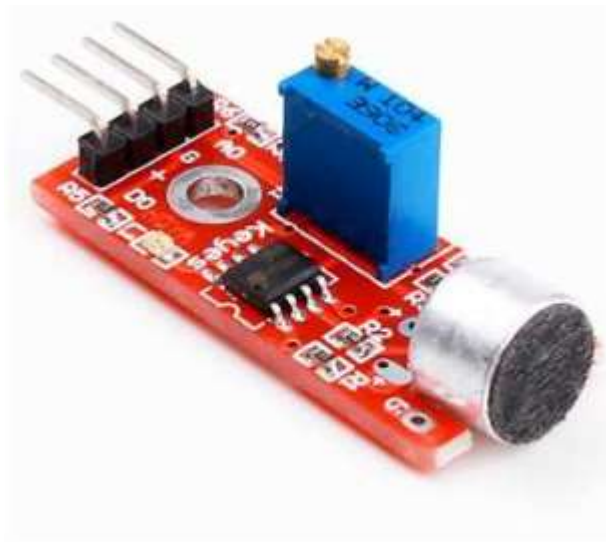


Рис.2.6 – Мікрофон KY-037

“+” – живлення

“G” – земля

“A0” – аналоговий вихід

“D0” – цифровий вихід

Таблиця 2.4 – Характеристики мікрофону

Напруга живлення	3,3 – 5 В
Максимальна дистанція виявлення	5 м
Розмір модулю	32x17x15 мм
Частотний діапазон	25 – 18000 Гц
Похибка підсилювачу	0,5%



Регулювання чутливості реалізується шляхом зміни положення регулюючого валу за допомогою сторонніх інструментів, в якості останніх можна використати викрутку або пінцет. Залежність чутливості від положення валу зазначена на Рис.2.7 нижче.

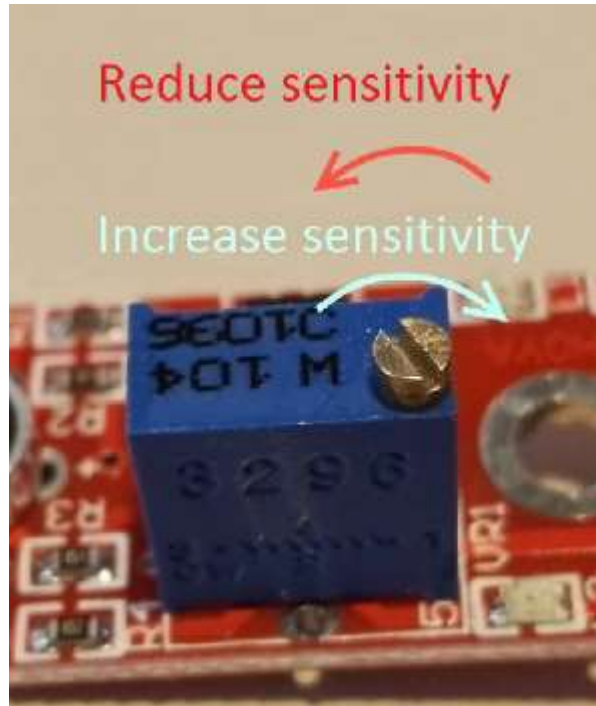


Рис.2.7 - Регулювання чутливості на модулі КУ-037

Ця функція дуже допомагає при налаштуванні роботи приладу, тобто немає необхідності включати до схеми додаткові резистори для фіксації певного рівня чутливості. Проте цей елемент є слабкою точкою модуля, і при неправильній взаємодії з ним, може вийти з ладу. Для реалізації ФНЧ в роботі використовуються конденсатор ємністю 10 нФ та підлаштовний резистор з опором до 100 Ом.

## 2.2 Опис та розрахунок структурної схеми

Для розробки будь-якої складної системи треба починати з уточнення робочих параметрів, а потім і проектування різних схем роботи приладу, які відображають його в детальних подробицях. За рахунок того що неможливо в одній схемі сконцентрувати всі нюанси системи, тому їх розробляють декілька, і кожна з них описує прилад з однієї проте різної сторони.

Структурна схема ВАПКТЗ буде базуватися на структурній схемі шумоміру за рахунок подібності більшої частини алгоритму роботи з урахуванням особливості майбутньої системи. Різниця полягає в заміні чи розширенні функціоналу окремих структурних блоків

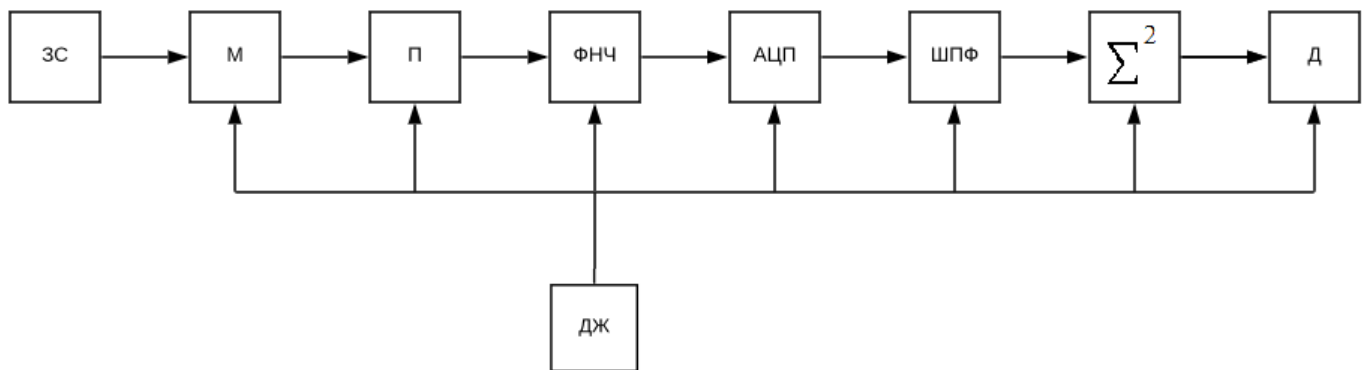


Рис. 2.8 - Структурна схема шумоміра

ЗС – звуковий сигнал;

М – мікрофон;

П – підсилювач;

ФНЧ – фільтр низьких частот;

АЦП – аналогово-цифровий перетворювач;

ШПФ – швидке перетворення Фур'є;

$\Sigma^2$  – суматор квадратів;

Д – дисплей;

ДЖ – джерело живлення.

Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

ВВ71.110004.001

Арк.

35

Виключення зі схеми блоку каналу нормалізації за рахунок автоматичного підсилення сигналу самим мікрофоном. В якості АЦП слугує вбудований 10-бітний АЦП Arduino UNO, це допоможе зробити готовий виріб дещо компактнішим, оскільки немає необхідності в підключенні зовнішнього модулю АЦП. Блок мікроконтролеру відображає програмну частину вимірювання, а саме: реалізацію фільтрації сигналу та швидкого перетворення Фур'є з подальшим виведенням обробленої інформації на блок дисплею. Основним джерелом живлення є блок живлення підключений до Arduino UNO через порт USB, а живлення мікрофону та дисплею реалізується за допомогою портів живлення на платформі завдяки кабельному з'єднанню, яку використовують, в нашому випадку – це Arduino UNO. Загалом ця структурна схема не є унікальною розробкою, а слугує для схематичного уявлення про робочу структуру вимірювальної системи. Проте розробка цієї схеми дозволяє перейти до наступної ступені розробки.

					BB71.110004.001	Арк.
						36
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

## 2.3 Опис та розрахунок функціональна схеми

На підставі структурної схеми була розроблена функціональна схема вимірювальної системи. На Рис.2.9 зображена функціональна схема.

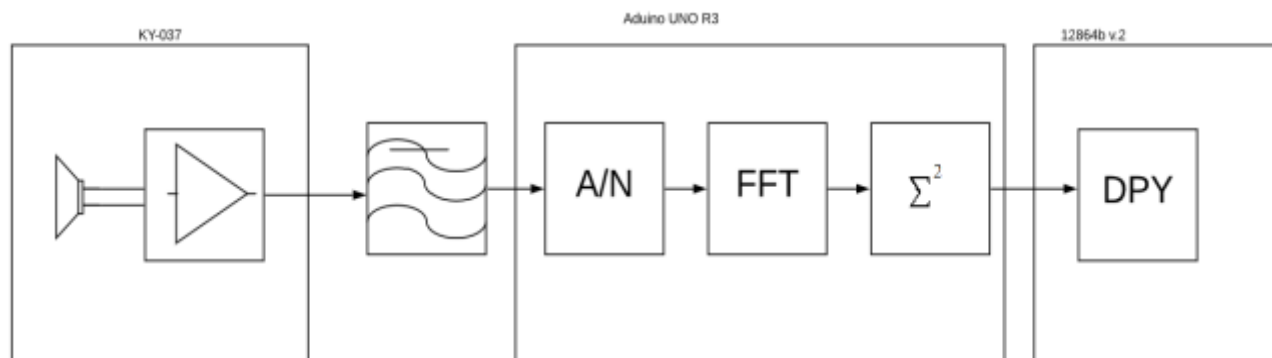


Рис.2.9 - Функціональна схема

На схемі зображені основні модулі вимірювального приладу та їх взаємодію у системі. Функціонування системи відбувається у нескінченному циклі від початку подання живлення і до його вимкнення. Після включення починається ініціалізація всіх модулів після чого відбувається реалізація циклу, який починається з першого сприйняття звукового сигналу датчиком мікрофону і завершується виведенням інформації на табло дисплею, після чого цикл повторюється.

Базуючись на це можна почати проектування заключної частини, а саме до електричної принципової схеми.

## 2.4 Розрахунок основних спектральних частот та меж 1/3 – октавних фільтрів

За системою рівнянь:

$$\begin{cases} f_{\text{нес}} = \sqrt{f_1 * f_2} \\ \frac{f_2}{f_1} = \sqrt[3]{2} \end{cases} \rightarrow \begin{cases} f_{\text{нес}} = \sqrt{f_1 * f_2} \\ f_2 = f_1 * \sqrt[3]{2} \end{cases} \rightarrow$$

$$\rightarrow \begin{cases} f_{\text{нес}} = f_1 \sqrt{1,26} \\ f_2 = f_1 * 1,26 \end{cases} \rightarrow \begin{cases} \frac{f_{\text{нес}}}{\sqrt{1,26}} = f_1 \\ f_2 = \frac{f_{\text{нес}}}{\sqrt{1,26}} * 1,26 \end{cases} \quad (3)$$

Маємо:

- $f_{\text{нес}1} = 31,5 \text{ Гц}; f_{1.1} = 28,06 \text{ Гц}; f_{1.2} = 35,36 \text{ Гц};$
- $f_{\text{нес}2} = 63 \text{ Гц}; f_{2.1} = 56,12 \text{ Гц}; f_{2.2} = 70,72 \text{ Гц};$
- $f_{\text{нес}3} = 125 \text{ Гц}; f_{3.1} = 111,36 \text{ Гц}; f_{3.2} = 140,31 \text{ Гц};$
- $f_{\text{нес}4} = 250 \text{ Гц}; f_{4.1} = 222,71 \text{ Гц}; f_{4.2} = 280,63 \text{ Гц};$
- $f_{\text{нес}5} = 500 \text{ Гц}; f_{5.1} = 445,44 \text{ Гц}; f_{5.2} = 561,24 \text{ Гц};$
- $f_{\text{нес}6} = 1000 \text{ Гц}; f_{6.1} = 890,87 \text{ Гц}; f_{6.2} = 1122,5 \text{ Гц};$
- $f_{\text{нес}7} = 2000 \text{ Гц}; f_{7.1} = 1781,74 \text{ Гц}; f_{7.2} = 2245 \text{ Гц};$
- $f_{\text{нес}8} = 4000 \text{ Гц}; f_{8.1} = 3563,48 \text{ Гц}; f_{8.2} = 4490 \text{ Гц};$
- $f_{\text{нес}9} = 8000 \text{ Гц}; f_{9.1} = 7126,97 \text{ Гц}; f_{9.2} = 8980 \text{ Гц};$
- $f_{\text{нес}10} = 16000 \text{ Гц}; f_{10.1} = 14254 \text{ Гц}; f_{10.2} = 17960 \text{ Гц};$

## 2.5 Розрахунок параметрів ФНЧ

$$f_{\text{зрізу}} = 30000 \text{ Гц}; C_{\text{кон}} = 10 \text{ нФ};$$

$$f_{\text{зрізу}} = \frac{1}{2 * \pi * R_{\text{рез}} * C_{\text{кон}}} \quad (4)$$

$$R_{\text{рез}} = \frac{1}{2 * \pi * f_{\text{зрізу}} * C_{\text{кон}}} \quad (5)$$

$$R_{\text{рез}} = 53 \text{ Ом};$$

					BB71.110004.001	Арк.
						39
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

## 2.6 Опис та розрахунок електричної принципової схеми

Згідно з ДСТУ ГОСТ 2.702:2013 електрична принципова схема – це різновид електричної схеми виробу, що дає найточніше уявлення про склад і принципи його роботи. Цей вид креслення не враховує фізичні розміри і реальне розташування окремих модулів та деталей об'єкту. Проте на схемі зображено точне з'єднання окремих елементів друг з другом. При розробці схеми даного типу використовується технічна документація модулів системи наданих від виробника чи знайдених на просторах Інтернету. [8]

На основі технічної документації та розроблених раніше структурній та функціональній схемам була зроблена електрична принципова схема, що зображена на Рис.2.10

					ВВ71.110004.001	Арк.
						40
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

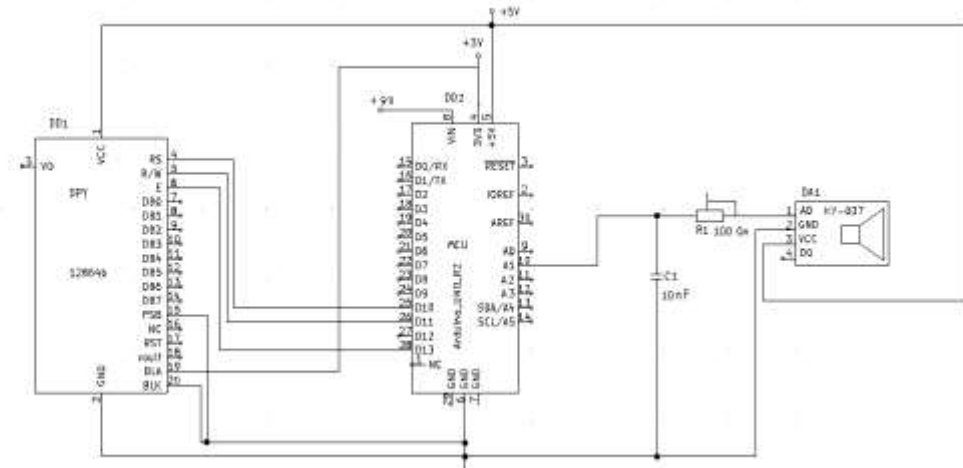


Рис.2.10 - Електрична принципова схема

На основі отриманих схем можна починати розрахунок основних похибок системи, а потім перейти до розробки програмної частини вимірювального приладу.

Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

BB71.110004.001

Арк.

41



### 3.АНАЛІЗ ПОХИБОК СИСТЕМИ

#### 3.1 Розрахунок сумарної похибки

У якості АЦП в цій системі використовується вбудований 10-розрядний АЦП на Arduino UNO. Це відповідає 1024 градаціям на виході АЦП, номінальна максимальна напруга дорівнює 5 В. З цих значень ми можемо вирахувати значення абсолютної похибки за наступною формулою:

$$\delta_{\text{АЦП}} = \frac{100\%}{2^{10}} = \frac{100}{1024} = 0,098\% \text{ (6);}$$

Відносна похибка модуля КУ-037 :

$\delta_p = 0,1\%$ ; (підсилювачу)

$\delta_{\text{МК}} = 0,5\%$ ; (мікрофону)

Сумарна похибка:

$$\delta_{\Sigma} = \sqrt{\delta_{\text{АЦП}}^2 + \delta_p^2 + \delta_{\text{МК}}^2} = 0,52\% \text{ (7)}$$

$$\Delta_{\Sigma} = \frac{0,52\% \cdot 100 \text{дБА}}{100\%} = 0,52 \text{дБА} \text{ (8)}$$

					ВВ71.110004.001	Арк.
						42
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

### 3.2 Похибка з'єднання

При використанні провідного з'єднання виникає спотворення корисного сигналу. Воно має декілька джерел.

Перше з них виражається в інтенсивності бітових помилок (BER). Для незахищеного кабелю це значення складає  $10^{-4} - 10^{-6}$ . При значенні в  $10^{-6}$  ми можемо говорити про те, що в середньому з 1000000 біт спотворюється 1 значення.

Друге джерело – це наводки (NEXT), вони виникають при використанні незахищених кабелів. Ця наводка має місце як при використанні багатожильних кабелів, як вита пара наприклад чи при використанні кількох одножильних на відстані що не перевищує їх поля взаємодії. Це значення вираховують за формулою:

$$NEXT = 10 \log \frac{P_{\text{вих}}}{P_{\text{нав}}} \quad (9)$$

Нажаль це значення досить складно розрахувати на практиці за рахунок використання великої кількості незахищених дротів для з'єднання елементів схеми і встановити її приблизне значення можливо лише при повірці готового приладу за допомогою еталону, проте в такому випадку ми отримаємо значення сумарної похибки з всіма неврахованими в розрахунках похибками джерела яких неможливо діагностувати теоретично.

					ВВ71.110004.001	Арк.
						43
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

## 4. РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО РІШЕННЯ

### 4.1 Опис середовища розробки

Розробка програмного коду відбувається в програмі Arduino IDE, це офіційне середовище розробки від виробника обраного для реалізації цієї роботи модуля. Для кодування буде використовуватись мова Arduino, що базується на C/C++. Саме середовище розробки має в своєму складі велику кількість вже готових до використання вмонтованих бібліотек та можливість підключення сторонніх бібліотек. Серед останніх треба відзначити наступні:

- U8glib – ця бібліотека використовується для налагодження взаємодії з дисплеєм. Це досить гнучкий інструмент, котрим можна дуже чітко змінювати параметри інформації, що виводиться, а саме: будування графіків, геометричних фігур чи виведення звичайного тексту, як латиницею так і кирилицею
- FFT – як можна зрозуміти з назви, це бібліотека для реалізації швидкого перетворення Фур'є.

					BB71.110004.001	Арк.
						44
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

## 4.2 Текст коду

```
#include "U8glib.h"

#include "fix_fft.h"


#define EN 6
#define RW 5
#define CS 4

// display set up, bar, line position L & R
#define LINEY 50
#define LINEXL 0
#define LINEXR 128


#define SAMPLES 128


#define AUDIO A0

U8GLIB_ST7920_128X64_4X u8g(10);


char im[SAMPLES];
char data[SAMPLES];
int barht[SAMPLES];


void setup()
{
    Serial.begin(600); // inti display

}


void loop()
```

					BB71.110004.001	Арк.
						45
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

```

        {
            static int i, j;
            int val;
            int xg = 81;
            // get audio data
for(i = 0; i < SAMPLES; i++)
    {
        val = analogRead(AUDIO); // 0-1023
        data[i] = (int)(val/4 - 128); // store as char
        im[i] = 0; // init all as 0
    }
    // run FFT
    fix_fft(data, im, 7, 0);
    for(i = 0; i < SAMPLES/2; i++)
    {
        barht[i] = (int)sqrt(data[i] * data[i] + im[i] * im[i]);
    }

    for(i = 0, j = 0; i < SAMPLES/2; i++, j += 2)
    {
        barht[i] = barht[j] + barht[j + 1];
    }
    barchart(SAMPLES/4, barht);
}

void barchart(int n, int bh[])
{
    int i, s, w, x,y; // bars, spacing and width
    s = 3*(LINEXR - LINEXL) / n;
    w = s / 2;

```

					BB71.110004.001	Арк.
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		46

```

for ( int i = 1; i < 11; ++i )
{
    y += pow(data[i],2);
}
x = y / 102
u8g.firstPage();
do
{
    u8g.setFont(u8g_font_helvR08);
    u8g.drawLine(LINEXL, LINEY, LINEXR, LINEY);
    u8g.drawStr(0, LINEY + 10, "0");
    u8g.drawStr(29, LINEY + 10, "125");
    u8g.drawStr(59, LINEY + 10, "500");
    u8g.drawStr(81, LINEY + 10, "4k");
    u8g.drawStr(100, LINEY + 10, "16Hz");
    for(i = 1; i < 11; i++)
    {
        u8g.drawBox(LINEXL + s * i, LINEY - bh[i], w, bh[i] + 1);
    }
    if(x < xg)
        u8g.drawStr(20, 10, ""x" - Norm");
    }
    else
    {
        u8g.drawStr(20, 10, ""x" - Excess");
    }
}while(u8g.nextPage());
}

```

## 5. РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО РІШЕННЯ

### 5.1 Реалізація системи та демонстрація її роботи

На Рис.5.1 можна побачити робочу, підключену до живлення систему.

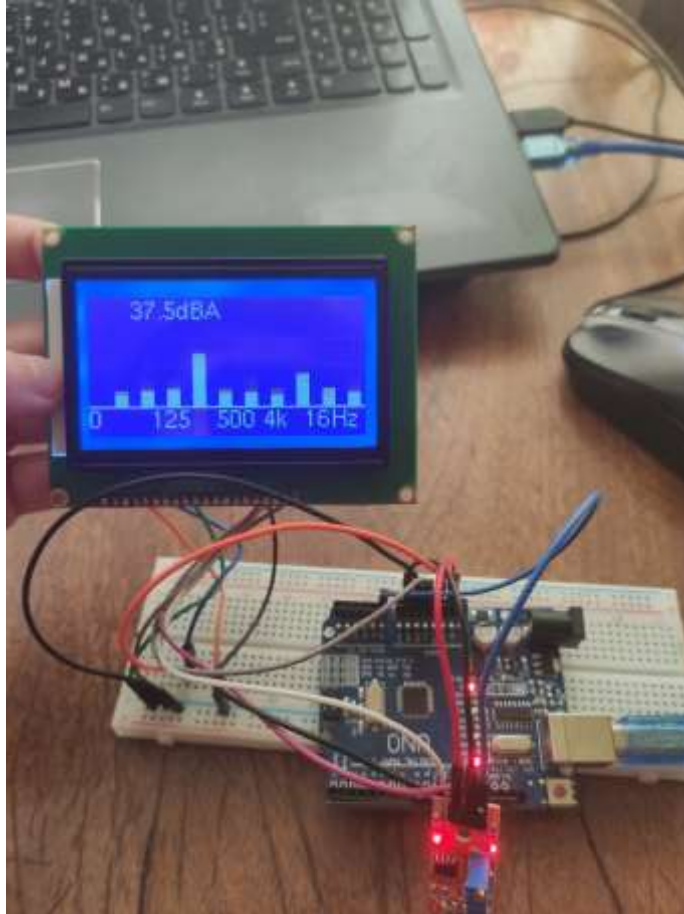


Рис.5.1 – Реалізація роботи вимірювальної системи

## 5.2 Калібрування

Калібрування проводиться в лабораторних умовах з постійним шумовим фоном, за допомогою еталонних засобів, а саме пістонфон bruel & kjaer 4226. Його зображення вказано на Рис.5.2.

На обраній частоті відповідній смузі спектру на мікрофон розробленої системи подається монотонний сигнал рівнем 94дБ, 104дБ та 114 дБ.

Максимальна похибка калібратора  $\pm 0,1$  дБ.

Наявність 10 опорних частот дозволила відкалібрувати систему, як за сумарним рівнем звуку, за рівнем звуку для кожної окремої частоти та перевірити адекватність частот спектру.



Рис.5.2 - пістонфон bruel & kjaer 4226



## Висновок

Результатом проектування є розроблений вимірювач акустичних параметрів колісних транспортних засобів. Для проектування було використана технічна документація на окремі модулі системи та нормативні акти, що є в відкритому доступі. У проекті описано спосіб калібрування даної вимірювальної системи. Було проаналізовані аналогічні системи, що є на ринку.

—

					BB71.110004.001	Арк.
						50
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

## Список використаної літератури:

1. Измеров Н.Ф., Суворов Г.А., Прокопенко Л.В. Человек и шум. — Москва: ГЭОТАР-МЕД, 2001. — 384 с. — 1000 экз. — ISBN 5-9231-0057-6.
2. Шаталов Н.Н. Сердечно-сосудистая система при воздействии интенсивного производственного шума. — Сердечно - сосудистая система при действии профессиональных факторов. ред. Кончаловская Н.М.. — М: Медицина, 1976. — С.153-166. — 256 с. — 6000 экз.
3. Рыжов А.Я. О влиянии производственного шума на мозговое кровообращение : [рус.] // Гигиена труда и профессиональные заболевания. — 1977. — № 9 (сентябрь). — С. 12-16. — ISSN 0016-9919.
4. Малинская Н.Н., Суворов Г.А., Шкаринов Л.Н. Глава 5. Шум, вибрация, ультра- и инфразвук // Руководство по гигиене труда : [рус.] : в 2 т. / ред. Измеров Н.Ф. — Москва : Медицина, 1987. — Т. 1. — С. 172. — 368 с. — 15 000 экз.
5. Дідковський В.С. Шум і вібрація / В.С. Дідковський —Київ: Вища школа, 1995.—262с.
6. Тэйлор Р. Шум. — М.: Мир, 1978. Переклад з англійської
7. В.С. Сердюк - Исследование уровней шума при специальной оценке труда – Омск -2015 30с
8. ДСТУ ГОСТ 2.702:2013 ЄСКД. Правила виконання електричних схем (ГОСТ 2.702-2011, IDT).

9. Бібліотека U8g для Arduino. Режим доступу:

<https://arduinoplus.ru/u8glib-oled-ekran-i-ssd1306/>

10. Бібліотека FFT для Arduino. Режим доступу:

[http://wikihandbk.com/wiki/Arduino:%D0%9F%D1%80%D0%B8%D0%BC%D0%B5%D1%80%D1%8B/fft\\_adc](http://wikihandbk.com/wiki/Arduino:%D0%9F%D1%80%D0%B8%D0%BC%D0%B5%D1%80%D1%8B/fft_adc)

					BB71.110004.001	Арк.
						52
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

