

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРЬСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
Факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій, мехатроніки і робототехніки
Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи

магістра

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

Виконав: студент 2 курсу, групи ІВТ-2м

Спеціальності: 175 «Інформаційно-
вимірювальні технології»

Левицький А.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник: завідувач кафедри ІВТ,

доктор технічних наук, професор,

Подчашинський Ю.О.

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

Рецензент: _____

(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 інформаційно-вимірювальних технологій

Спеціальність 175 «Інформаційно-вимірювальні технології»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри інформаційно-
вимірювальних технологій

д.т.н., професор Подчашинський Ю.О.

« _____ » _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу магістра

Студент _____ Левицький Артур Вячеславович

1. Тема роботи: Комп'ютеризована прилад для вимірювання параметрів акустичного шуму

Керівник роботи: завідувач кафедри ІВТ, доктор технічних наук, професор Подчашинський Ю.О.

затверджена наказом по університету від « 14 » листопада 2024 р. № 654/с

2. Термін здачі закінченої роботи на кафедру « 15 » _____ грудня _____ 2024р.

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, розробка алгоритму та програми роботи системи, розрахунок метрологічних характеристик, безпека життєдіяльності та охорона праці.

5. Перелік графічного матеріалу
 структурна схема, електрична принципова схема, перелік елементів, блок-схема алгоритму роботи системи

6. Консультанти кваліфікаційної роботи магістра із зазначенням розділів

роботи, що їх стосуються

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв

7. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Огляд та аналіз джерел інформації	01.10.24 – 05.10.24	Виконано
2	Формулювання завдань кваліфікаційної роботи.	06.10.24 – 10.10.24	Виконано
3	Розробка методу вимірювань акустичного шуму	25.10.24 – 09.11.24	Виконано
4	Розробка структурної схеми системи	11.10.24 – 15.10.24	Виконано
5	Розробка функціональної схеми	16.10.24 – 24.10.24	Виконано
6	Розробка алгоритму та програми обробки вим. інформації	10.11.24 – 22.11.24	Виконано
7	Розрахунок метрологічних характеристик	23.11.24 – 03.12.24	Виконано
8	Оформлення пояснювальної записки та презентаційного матеріалу	11.12.24 – 17.12.24	Виконано

Студент

(підпис)

Керівник роботи

(підпис)

Левицький А.В.

(прізвище та ініціали)

Подчашинський Ю.О.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

В рамках даної кваліфікаційної роботи створено комп'ютеризований прилад для вимірювання параметрів акустичного шуму. Основною метою розробки було забезпечення точного контролю рівнів шуму та їх аналізу в реальному часі. Пристрій інтегрує сучасні технології для моніторингу шумів та аналізу перехідних процесів, що дозволяє використовувати його як інструмент моніторингу в умовах виробництва, лабораторій або житлових зон.

Ключові слова: комп'ютеризований прилад, акустичний шум, комп'ютеризована система, моніторинг, аналіз шуму.

ABSTRACT

As part of this qualification work, a computerized device for measuring acoustic noise parameters has been developed. The primary objective of the development was to ensure accurate monitoring of noise levels and their real-time analysis. The device integrates modern technologies for noise monitoring and analysis of transient processes, allowing it to be used as a monitoring tool in industrial, laboratory, or residential environments.

Keywords: computerized device, acoustic noise, computerized system, monitoring, noise analysis.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	7
ВСТУП.....	8
1. ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ МЕТОДІВ ВИМІРЮВАННЯ АКУСТИЧНОГО ШУМУ	11
1.1. Огляд існуючих рішень вимірювання шуму	11
1.2. Алгоритми вимірювання та обробки акустичних сигналів	15
1.3. Опис та методи акустичного шуму як об'єкта вимірювання.	28
1.4. Пристрій для вимірювання акустичного шуму та його аналоги.....	31
1.5. Висновки до розділу	45
2. РОЗРОБКА МЕТОДІВ ТА СТРУКТУРИ КОМП'ЮТЕРИЗОВАНОЇ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ.....	46
2.1. Принцип оцінки акустичного шуму	46
2.2. Підбір обладнання для побудови системи оцінки акустичної обстановки у приміщенні. Структурна схема.	47
2.3. Підбір основних компонентів системи	48
2.4. Висновки до розділу	54
3. ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ ТА СХЕМИ СИСТЕМИ	55
3.1. Вибір апаратних засобів та їх параметрів.....	55
3.2. Принципова схема приладу.....	60
4. ПРОГРАМНО - АЛГОРИТМІЧНЕ ТА МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ.....	62
4.1. Розробка алгоритму для введення акустичної інформації з можливістю прив'язки місця до навколишнього середовища.	62
4.2. Розробка програмного забезпечення.....	69
4.3. Розрахунок метрологічних характеристик	71
4.4. Нормативні документи рівня шуму.....	73
4.5. Нормативні вимоги до впливів віброакустичних факторів	76
ВИСНОВКИ.....	84

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	85
Додатки	88

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ПЛК – Програмований логічний контролер

ПЗ – Програмне забезпечення

АСУ – Автоматизована система управління

ОУ – Об'єкт управління

АФЧХ – Амплітудно-фазо частотні характеристики

МФ – Мікрофон (INMP441)

МікроП – Мікропроцесор (ESP32-WROOM)

GPS-Д – GPS-датчик (GPS9)

SD-K – SD-карта для зберігання даних

ТФТ-Д – TFT-дисплей

ЗІЗ – Засоби індивідуального захисту

ЧЗ – Часовий захист (від шумового впливу)

РГШ – Рівень громкості шуму

ФШ – Фільтрація шуму

ДБА – Децибели А-важення

СЗШ – Спектральна зона шуму

ПЗВ – Параметри запису відео

ПТЗ – Протокол передачі звуку

МС – Модуль збору даних

РС – Ресурс системи

ПС – Параметри системи

КШ – Кількість шумових сигналів

ІНМ – Інтерфейс мережею (Wi-Fi)

СКШ – Спектр характеристик шуму

ВСТУП

Актуальність теми. Зумовлена зростанням рівня акустичного шуму в сучасному світі, що негативно впливає на здоров'я людей, їхній комфорт та працездатність. Інтенсивний розвиток транспортної інфраструктури, промисловості, будівництва, а також повсякденна діяльність створюють значне шумове навантаження на довкілля. Це спричиняє широкий спектр проблем, таких як порушення сну, підвищення стресового стану, погіршення продуктивності праці та загальне зниження якості життя.

Враховуючи ці виклики, виникає необхідність розробки точних, надійних та доступних інструментів для вимірювання параметрів акустичного шуму. Комп'ютеризовані прилади є ефективним рішенням, що дозволяє не лише фіксувати рівні шуму, а й проводити їх детальний аналіз для оцінки впливу на здоров'я та довкілля.

Застосування таких пристроїв є надзвичайно важливим у промисловості, транспорті, міському плануванні та інших галузях, де контроль і зменшення шумового забруднення стають ключовими завданнями. У цьому контексті дослідження, спрямовані на розробку та впровадження комп'ютеризованих систем для моніторингу та аналізу шуму, мають значний науковий і практичний інтерес, що обумовлює актуальність обраної теми.

В даній роботі розроблено та досліджено нову систему контролю, що дозволяє замінити застарілі плати апаратної логіки надійним обладнанням, що відповідає сучасним вимогам до вимірювальної і іспитової техніки, але в той же час цілком зберігає колишню функціональність і особливості роботи з механізмами керування. Функції формування аварійних повідомлень, сигналів захисту, що виконувалися раніше на апаратному рівні реалізовано програмно.

Мета даної роботи – розробка комп'ютеризованого приладу для вимірювання параметрів акустичного шуму, що забезпечить високу точність, надійність та можливість аналізу шумових характеристик у реальному часі.

Завданням є створення інструменту, який інтегрує сучасні технології, такі як цифрові сенсори та аналітичне програмне забезпечення, для проведення детального аналізу акустичних параметрів. Такий пристрій має знайти широке застосування у сфері екологічного моніторингу, контролю рівня шуму на робочих місцях, оцінки шумового впливу в житлових зонах та розробки заходів зі зниження шумового забруднення

Об'єкт дослідження – акустичний шум як фізичне явище, його параметри та вплив на навколишнє середовище та людину.

Предмет дослідження – методи та засоби вимірювання параметрів акустичного шуму, зокрема комп'ютеризовані прилади, що використовуються для аналізу та моніторингу шумових характеристик.

Методи дослідження базуються на цілісному підході, який включає в собі теоретичні методи, що базується на аналізі наукової літератури, гостів, стандартів та технічної документації з акустичних вимірювань, щоб визначити основні параметри шуму та вимог до вимірювальних приладів. Математичне моделювання для оцінки характеристик акустичного шуму, розрахунків точності вимірювань і аналізу перехідних процесів. Методи цифрової обробки сигналів, що застосовуються для аналізу отриманих даних, фільтрації шумів і покращення точності вимірювань. Інженерні підходи до проектування та розробки апаратної і програмної частин комп'ютеризованого приладу.

Наукова новизна даної роботи полягає в:

- 1) Розроблено комп'ютеризований прилад із використанням сучасних цифрових сенсорів та алгоритмів обробки сигналів.;
- 2) Забезпеченні можливості аналізу перехідних процесів у реальному часі.
- 3) Створено універсальну систему для застосування у промисловості, екологічному моніторингу та житлових умовах.
- 4) Оптимізовано конструкцію для зниження експлуатаційних витрат та підвищення зручності використання.
- 5) Удосконалено методи вимірювань

Практична цінність даної роботи полягає в:

- 1) Розробці приладу, який дозволяє проводити точні вимірювання параметрів акустичного шуму та аналізувати його характеристики в реальному часі;
- 2) розраховано метрологічні характеристики комп'ютеризованого приладу для вимірювання параметрів акустичного шуму;
- 3) пропонується впровадити підвищення ефективності заходів з контролю шуму завдяки доступу до об'єктивних даних і розширеного аналізу.

Структура та обсяг роботи. Дана робота складається з анотації, вступу, 4 основних розділів, висновків, переліку використаних літературних джерел та додатку. Робота викладена на 110 сторінках основного тексту і містить 28 рисунків та коду.

Публікації. За темою кваліфікаційної магістерської роботи було опубліковано 2 тези науково-практичної конференції:

Назви публікацій

1. ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ МЕТОДІВ ВИМІРЮВАННЯ АКУСТИЧНОГО ШУМУ

1.1. Огляд існуючих рішень вимірювання шуму. [28]

За точністю — рівноточні та нерівноточні.

Рівноточні вимірювання — це кілька вимірювань однієї величини, виконаних за допомогою однакових засобів вимірювання в однакових умовах.

Нерівноточні вимірювання — кілька вимірювань однієї величини, виконаних за допомогою різних за точністю засобів вимірювання та/або в різних умовах.

Методи обробки результатів вимірювань цих типів дещо різняться. Тому перед початком обробки вимірювань необхідно перевірити, чи є вимірювання рівноточними, що здійснюється за допомогою статистичної перевірки (критерій Фішера).

За кількістю вимірювань — одноразові та багаторазові.

Одноразове вимірювання — вимірювання, яке виконується лише один раз.

Багаторазове вимірювання — вимірювання однієї величини, яке отримується через кілька послідовних одноразових вимірювань (відліків).

Згідно зі статистичними розподілами, ряд вимірювань можна аналізувати за допомогою математичної статистики, якщо кількість вимірювань більше за чотири ($n > 4$).

Вимірювання можна вважати багаторазовим, якщо число вимірювань складає не менше чотирьох. У більшості випадків проводяться одноразові вимірювання, наприклад, вимірювання часу щогодини. Однак іноді для отримання більш точного результату одноразового вимірювання недостатньо. Тому рекомендується робити кілька вимірювань.

Наприклад, при вимірюванні артеріального тиску, з огляду на його коливання, варто провести два чи три вимірювання, а результатом взяти їх

медіану. Що стосується багаторазових вимірювань, то дворазові та триразові вимірювання не мають сенсу оцінювати за допомогою статистичних методів через недостатню кількість вимірів.

За характером зміни вимірюваної величини — статичні та динамічні.

Статичне вимірювання — вимір величини, яка вважається сталою протягом періоду вимірювання відповідно до заданого завдання. Наприклад, вимірювання лінійних розмірів виробу при нормальних температурах можна вважати статичним, оскільки коливання температури в цеху на рівні десятих часток градуса призводять до похибки, яка не перевищує 10 мкм/м, що не є значущим у порівнянні з похибкою виготовлення деталі. У таких випадках величина може вважатися сталою.

При калібруванні довжини штрихових мір на Державний первинний еталон термостатування забезпечує стабільну температуру на рівні 0,005 °C. Такі зміни температури спричиняють похибку вимірювань в 1000 разів меншу — не більше 0,01 мкм/м. Однак для цієї вимірювальної задачі температура є суттєвим чинником, і її зміни потрібно враховувати для досягнення необхідної точності вимірювань. Тому в таких випадках використовують методику динамічних вимірювань.

Динамічне вимірювання — вимір величини, що змінюється з часом. Швидка зміна величини вимагає високої точності при визначенні моменту вимірювання. Наприклад, вимір відстані до рівня поверхні Землі з повітряної кулі або вимірювання постійної електричної напруги. Динамічне вимірювання є виміром залежності величини від часу.

За метою вимірювання — технічні та метрологічні

Технічні вимірювання — це вимірювання, які проводяться для отримання інформації про властивості об'єктів, процесів і явищ навколишнього світу. Вони використовуються, наприклад, для контролю і управління експериментами, моніторингу технологічних параметрів продукції або виробничих процесів, управління транспортними потоками, діагностики

та лікування в медицині, екологічного моніторингу тощо. Зазвичай технічні вимірювання виконуються за допомогою робочих засобів вимірювань, хоча в окремих випадках, коли потрібна особлива точність, використовуються еталони.

Метрологічні вимірювання — це вимірювання, які проводяться для забезпечення єдності вимірювань і необхідної точності технічних вимірювань.

До метрологічних вимірювань належать:

- відтворення одиниць і шкал фізичних величин первинними еталонами та передача їхніх розмірів менш точним стандартам;
- калібрування засобів вимірювань;
- вимірювання під час калібрування або повірки засобів вимірювань;
- інші вимірювання для метрологічних потреб, наприклад, уточнення фундаментальних фізичних констант, довідкових стандартів властивостей матеріалів, або підтвердження вимірювальних можливостей лабораторій.
- Метрологічні вимірювання зазвичай проводяться з використанням еталонів.

Таким чином, технічні вимірювання забезпечують створення продукції для промисловості, сільського господарства, армії, управлінських структур і населення, а система метрологічних вимірювань є основою, яка підтримує, розвиває та вдосконалює технічні вимірювання.

За використаними одиницями вимірювання — відносні та абсолютні.

Відносні вимірювання полягають у визначенні співвідношення величини до однойменної величини, яка слугує еталоном одиниці. Наприклад, під час вимірювання активності радіонукліда в джерелі можна порівняти її з активністю іншого радіонукліда, що має статус еталона.

Абсолютні вимірювання, навпаки, проводяться без доступу до еталонної одиниці вимірюваної величини. У цьому випадку експериментатор

відтворює одиницю величини безпосередньо під час вимірювань. Це здійснюється двома основними способами:

- безпосереднє відтворення одиниці з природних явищ, використовуючи закони фізики та фундаментальні фізичні константи;
- визначення одиниці на основі відомих залежностей між нею та одиницями інших величин.

Абсолютне вимірювання можна описати як процес, заснований на прямих вимірюваннях однієї чи кількох основних величин або використанні значень фундаментальних фізичних констант. Наприклад, вимірювання сили за допомогою динамометра є відносним, тоді як визначення сили за допомогою фізичної константи g (прискорення вільного падіння) та еталона маси (основної величини в міжнародній системі одиниць) — це абсолютне вимірювання.

На практиці впровадження та метрологічне забезпечення відносних вимірювань зазвичай є кращим варіантом, оскільки вони простіші, точніші та надійніші, ніж абсолютні. Абсолютні вимірювання, або так звані "фундаментальні вимірювання", застосовуються переважно у виняткових випадках, таких як незалежне відтворення основних одиниць міжнародної системи одиниць чи відкриття нових фізичних закономірностей.

За способом отримання результату вимірювань: прямі, непрямі, сукупні та спільні. [28]

Прямі вимірювання: виконуються безпосередньо за допомогою приладів, що мають шкалу чи еталон вимірюваної величини. Наприклад, вимірювання довжини штангенциркулем або електричної напруги вольтметром.

Непрямі вимірювання: значення величини визначається через обчислення на основі результатів прямих вимірювань інших величин, пов'язаних із шуканою функціонально.

Сукупні вимірювання: одночасно вимірюються кілька однорідних величин, а їхні значення визначаються через розв'язання системи рівнянь, отриманих під час вимірювань різних комбінацій цих величин. Приклад: калібрування набору гир за допомогою еталонної гирі шляхом вимірювання різних поєднань і подальшого розв'язання рівнянь.

Спільні вимірювання: одночасно вимірюються дві чи більше різнорідних величин для вивчення залежності між ними. Наприклад, вимірювання температурного коефіцієнта лінійного розширення (ТКЛР) через одночасні вимірювання зміни температури та довжини зразка.

1.2. Алгоритми вимірювання та обробки акустичних сигналів

Місце проведення вимірювань

Потрібно обрати чутливі зони шуму, тому бажано обирати точку на відкритому повітрі для проведення вимірювань. Вона повинна бути вибрана таким чином, щоб забезпечити максимальний рівень шуму від джерела.

У деяких випадках важко провести вимірювання на відкритому повітрі, і може знадобитися вимірювання в приміщенні. Це зазвичай відбувається, якщо зовнішня зона, наприклад, передній чи задній двір, відсутня (наприклад, у квартирах багатоповерхових будівель).

Вимірювання в приміщенні є менш бажаним. Можливо використовувати мікрофон, прикріплений до штанги, яка виступає з вікна приміщення, замість проведення вимірювань у приміщенні.

З практичних міркувань може бути неможливо проводити вимірювання в зоні, чутливій до шуму. У таких випадках вибирається альтернативна точка, яку називають похідною точкою.

Похідна точка може бути доцільною, якщо кілька приміщень вносять свій внесок у шум, який досягає зони, чутливої до шуму. У цьому випадку похідні точки слід обирати таким чином, щоб рівень шуму від кожного приміщення можна було виміряти окремо. Слід уважно вибирати похідну точку, щоб відстань від приміщення була достатньою для його сприйняття як

точкового джерела шуму. Якщо в приміщенні є кілька джерел шуму, може знадобитися встановлення кількох похідних точок для контролю окремого обладнання.

Погодні умови можуть значно впливати на рівень шуму, який досягає зони, чутливої до шуму. Це особливо важливо, коли рівень низький і відстань між чутливою зоною та джерелом шуму перевищує 200 метрів. Якщо вважається, що шум у зоні, чутливій до шуму, залежить від погодних умов, тоді можна використовувати похідну точку.

Розташування мікрофона.

Проблеми можуть виникнути при вимірюванні шуму через розташування мікрофона та штатива. Наприклад, якщо мікрофон розташований занадто близько до акустично відбивної поверхні, відображення від цієї поверхні може штучно збільшити рівень шуму. Крім того, якщо штатив розташований на жорсткій поверхні, вібрації через його ніжки можуть впливати на виміряний рівень шуму.

Мікрофон слід розташовувати так, щоб мінімізувати відображення від найближчих поверхонь і отримувати максимальний рівень шуму, не залежний від відображень.

Рекомендується наступна процедура:

- Для відповідності рекомендованим процедурам австралійських та міжнародних стандартів слід використовувати висоту мікрофона від 1,2 до 1,5 метра над землею або підлогою. Висота мікрофона може перевищувати 1,5 метра в особливих обставинах, наприклад, при вимірюванні на штанзі за межами вікна будівлі, щоб уникнути вимірювань у приміщенні;
- Щоб уникнути відображень від найближчих акустично відбивних поверхонь, мікрофон найкраще розташовувати на відстані не менше 3,5 метра від таких поверхонь на відкритому повітрі.

Стандарти дозволяють проводити вимірювання ближче 3,5 метра від відбивних поверхонь. Такі вимірювання можуть проводитися лише за виняткових обставин, наприклад, якщо мікрофон розташований за вікном, щоб уникнути вимірювань у приміщенні. У таких випадках до виміряного рівня додається негативна поправка, як зазначено в примірниках;

- Щоб уникнути впливу відображень у приміщенні, мікрофон слід розташовувати на відстані не менше 1,2 метра від будь-якої акустично відбивної поверхні. Для вимірювань у приміщенні корекція відображень не проводиться;
- Щоб уникнути відображень від тіла людини під час безпосереднього зчитування показань шумоміра, прилад слід тримати на витягнутій руці або розташовувати на штативі, при цьому особа, що проводить вимірювання, повинна знаходитися на безпечній відстані;
- Вібрації, що передаються через ніжки штатива з жорсткої поверхні, такої як бетон або дощата підлога, можуть створювати зайвий шум. Це можна усунути за допомогою віброізоляції, наприклад, використовуючи пінопластові підкладки

Перевірка обладнання.

Під час проведення вимірювань шуму в польових умовах (наприклад, із фабричних приміщень, розважального шуму або фонових шумів) слід виконувати певні процедури, щоб забезпечити точність отриманих даних. Деякі з цих процедур також застосовуються під час аналізу записів у лабораторії.

Використання обладнання має відповідати рекомендаціям виробника. Зокрема, слід враховувати наступні моменти:

- Деяким пристроям потрібен мінімальний час для розігріву, перш ніж вони почнуть працювати оптимально. Кращим орієнтиром є рекомендації виробника;

- Перед використанням і після нього слід перевіряти заряд батареї кожного пристрою;
- Калібрування повинно проводитися як до, так і після вимірювання. Якщо використовується магнітофон, калібрувальний сигнал слід записувати на початку та в кінці стрічки. Різниця в калібруванні може свідчити про недійсність вимірювання, якщо вона значна;
- Внутрішній шум обладнання може спричиняти похибку вимірювання. Усі пристрої, включаючи магнітофони та шумоміри, мають внутрішній електричний шум. Важливо, щоб сигнал, який вимірюється, був значно вищим за цей шум. Рекомендується мати запас не менше ніж 10 дБ від внутрішнього шуму обладнання;
- Головки магнітофона слід регулярно очищати за допомогою відповідної рідини для очищення.

Методи вимірювання максимальної ефективності [27]

Два індекси шуму використовуються для визначення ефективного рівня шуму відповідно до регламентів. Вони розглядаються нижче.

L_{Aeq} (або рівень еквівалентного звукового тиску) — це показник середнього рівня звукового тиску за певний період часу, виражений в децибелах (дБ). Вимірювання L_{Aeq} часто використовуються для оцінки рівня шуму в різних умовах,

L_{Aeq} можна виміряти за допомогою наступних методів:

- запис шуму на магнітофон з подальшим аналізом для отримання L_{Aeq} . Цей метод слід використовувати, якщо потрібна висока точність, наприклад, якщо існують сумніви щодо перевищення рівня шуму;
- інтегроване вимірювання L_{Aeq} за допомогою відповідного шумоміра на місці. Цей метод можна використовувати, якщо шум явно перевищує нормативи;
- середнє відхилення показників шумоміра. Цей метод також можна використовувати, якщо шум явно перевищує нормативи, але його не

слід застосовувати, якщо шум є нестійким (змінюється більше ніж на 8 дБ(A)).

У загальному випадку L_{Aeq} визначається за принципом рівності енергії:

$$L_{Aeq} = 10 \times \log_{10} \frac{1}{T} \int_0^T \left(\frac{P(t)}{P_0} \right)^2 dt$$

Перед вибором методу вимірювання слід звернутися до відповідних стандартів. Метод вимірювання шуму залежить від принципів, що використовується, і типу об'єкта, який оцінюється. Наприклад, у випадку принцип N-1(як правило, використовується період 30 хвилин) зазвичай записують шум на магнітофон для великих об'єктів і проводять короткотривале вимірювання для малих об'єктів. Для великих об'єктів із тональним або імпульсним шумом обов'язково проводиться запис на магнітофон.

Розглянемо L_{Ost10} :

L_{Ost10} — це один з методів вимірювання рівня шуму в октавних смугах і може здійснюватися за допомогою:

- Запису шуму на магнітофон із подальшим аналізом за допомогою відповідного обладнання, такого як аналізатор у реальному часі. Цей метод є пріоритетним, якщо потрібна висока точність або існують сумніви щодо перевищення рівня шуму
- Середнього максимуму показників шумоміра для визначених октавних смуг, використовуючи шумомір з октавним фільтром. Цей метод можна використовувати, якщо шум явно перевищує нормативи

Цей метод часто застосовується, коли шум, зокрема в окремих октавах, співвідноситься з музичними звуками, тобто коли є потреба розділити вплив різних частот шуму (наприклад, низькочастотних або високочастотних звуків). Важливо, що цей метод дає можливість враховувати різні частоти в

межах музичних звуків і виключати сторонні шуми, якщо їх частоти не співпадають з музикою.

Отже, L_{OCT10} є методом, що використовує октавний аналіз для оцінки рівня шуму, в тому числі в контексті шуму від музики або подібних джерел.

Час вимірювання

Час, протягом якого проводиться вимірювання ефективного рівня шуму, значною мірою залежить від мінливості джерела шуму. При цьому використовуються принципи N-1 та N-2.

Принцип N-1 не встановлює конкретного часу вимірювання, але рекомендується, щоб L_{Aeq} вимірювався таким чином, щоб він представляв L_{Aeq} за 30-хвилинний період. Шумові викиди слід спостерігати щонайменше 30 хвилин для оцінки тривалості; якщо шум стабільний протягом цього періоду (тобто немає підвищення чи зниження рівня шуму, помітного на слух або за показаннями шумоміра), коротке вимірювання (наприклад, п'ятихвилинне) може бути достатнім для представлення L_{Aeq} за 30 хвилин;

Якщо шум змінюється циклічно або регулярно, то L_{Aeq} слід вимірювати протягом кількох періодів циклу. Якщо рівень шуму змінюється випадковим чином, то можна використовувати коротке вимірювання за умови, що воно проводиться належним чином;

Принцип N-2 вимагає, щоб вимірювання шуму тривало не менше 15 хвилин, якщо вимірюється рівень шуму, який включає музику або інші звуки, які можуть бути чутні.

Аналіз і коригування.

Частота вибірки:

- Якщо рівень шуму L_{Aeq} , L_{OCT10} , L_{A90} або L_{OCT90} визначається за допомогою методу вибірки, частота вибірки повинна бути достатньою для того, щоб отримати необхідну кількість вибірок. Кількість вибірок є важливішим фактором, ніж швидкість вибірки. Рекомендується використовувати частоту вибірки не менше одного зразка на секунду.
- Якщо рівень вимірюється за допомогою ручного вимірювання середнього максимального, мінімального або середнього відхилення показників, кожен зразок повинен бути зафіксований, і має бути зроблено не менше 40 зразків.

Коригування:

Політика N-1 вимагає коригувань, що враховують характер шуму. Вимоги для виконання коригувань чітко пояснені в політиці.

Для коригування тональних і тривалих характеристик шуму можуть бути застосовані такі методи:

- Тональне коригування для великих підприємств проводиться за допомогою А-відваженого запису шуму і визначається шляхом арифметичного середнього коригувань для кількох зразків. Має бути зроблено щонайменше три зразки однакової тривалості, причому сумарна тривалість зразків повинна бути не менше 24 секунд.
- Якщо тон знаходиться між двома 1/3 октавними смугами, то стандартний 1/3 октавний аналіз може не відобразити реальну тональну природу шуму. В такому випадку можна варіювати швидкість відтворення на магнітофоні, щоб змінити частоту тону і отримати максимальне коригування. Зміна швидкості не повинна перевищувати 13% від нормальної швидкості.

- Політика вимагає, щоб зразки були представницькими для тональної природи шуму. Важливо, щоб запис на магнітофоні відображав тональну природу самого шуму, а не лише його запису.
- Наявність виявленого тону на записі не завжди означає, що коригування є доцільним. Потрібно враховувати, серед іншого, чи є тон постійним і чи є він суб'єктивно неприємним.

Коригування тривалості визначається на основі часу, протягом якого шум є чутним протягом безперервних 30 хвилин. Варто зауважити, що це коригування базується на чутності на точці вимірювання, а не на загальному часі, коли шум видається підприємством. Наприклад, шум може безперервно видаватися з підприємства, але бути чутним лише 50% часу на точці вимірювання через маскувальний ефект шуму від транспорту.

Метод оцінювання шумового навантаження за наявності постійного шуму проводиться:

Оцінюванням шумового навантаження на постійних робочих місцях здійснюється на основі виміряного рівня шуму в децибелах (дБ А), що визначається за допомогою шумоміра на характеристиці «повільно» на шкалі «А». У разі індивідуального оцінювання шумове навантаження постійного шуму розраховується як різниця в дБ А між рівнем шуму на постійному робочому місці та нормативним рівнем шуму для відповідного виду виробництва.

Групове оцінювання шумового навантаження за наявності постійного шуму на постійних робочих місцях проводиться за допомогою карти постійного шуму, яка складається в три етапи:

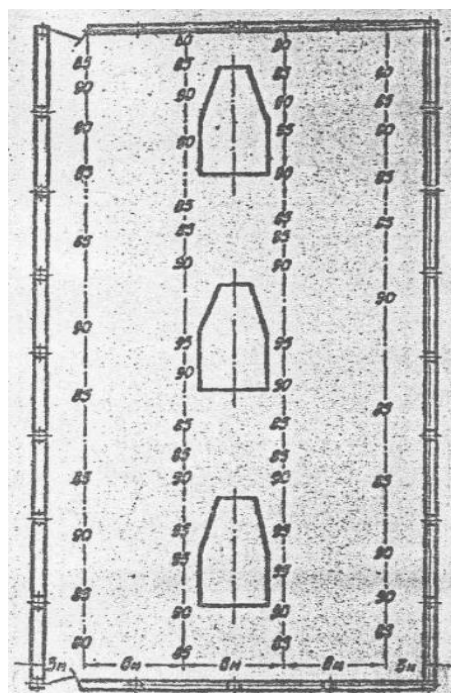
- **Складання плану** виробничого приміщення. Планування виробничого приміщення повинно відповідати вимогам попередніх інструкцій, з урахуванням розташування виробничого обладнання, перегородок, вікон, дверей та колон.

- **Встановлення точок на плані**, які обмежують шумові зони. Для цього використовують шумомір, який вимірює рівень шуму на характеристиці «повільно» на шкалі «А», переміщуючи його по виробничому приміщенню.
- **Нанесення контурів шумових зон на план приміщення.** Це робиться шляхом з'єднання точок з однаковими рівнями шуму лініями, що позначають верхні межі шумових зон. Лінії повинні мати цифрові позначення.

Якщо під час маршруту з увімкненим шумоміром не вдалося знайти точки з допустимим рівнем шуму для даної категорії виробництва, побудову шумових зон слід починати з нанесення верхньої межі більш високої шумової зони.

Для позначення шумових зон на карті постійного шуму використовують штрихування, аналогічне карті непостійного шуму.

У випадку групового оцінювання шумове навантаження постійного шуму на кожного працівника, який знаходиться на постійному робочому місці в цій шумовій зоні, встановлюється за аналогією з індивідуальним оцінюванням, зазначеним раніше.



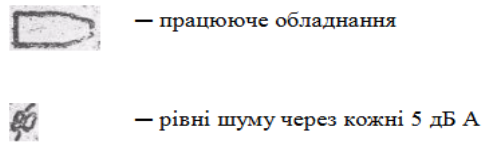


Рисунок 2.1. — План виробничого приміщення за межами зон за наявності постійного шуму

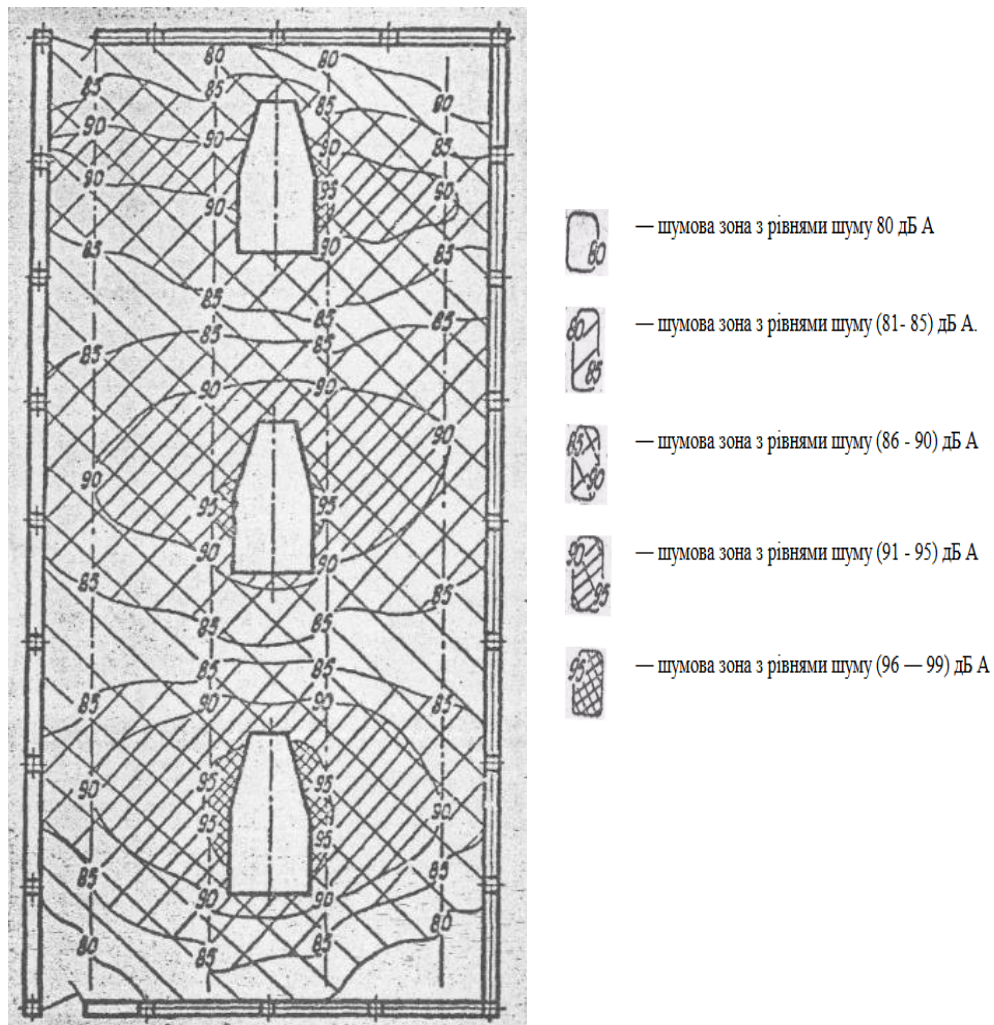


Рисунок 2.2. - Карта постійного шуму.

Метод оцінювання шумового навантаження за непостійного шуму: [29]

Індивідуальне оцінювання шумового навантаження проводиться:

- за величиною еквівалентного рівня шуму, виміряного у дБА за допомогою інтегрувального шумоміра;
- за величиною еквівалентного рівня шуму, розрахованого згідно з ГОСТу у дБА.

Шумове навантаження визначається як різниця у дБА між еквівалентним рівнем шуму на постійному робочому місці та нормативним рівнем для відповідної категорії виробництва.

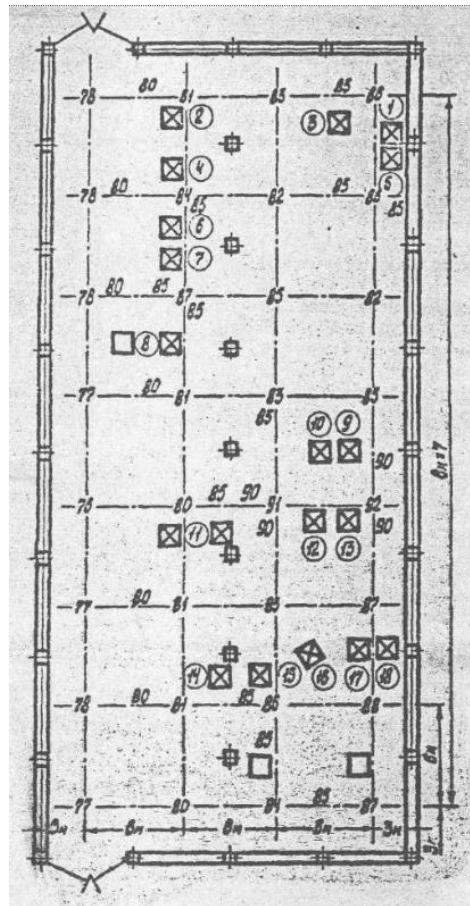
Групове оцінювання шумового навантаження виконується за допомогою карти непостійного шуму, що складається у кілька етапів:

1. На план приміщення наносять місця розташування обладнання, внутрішні приміщення, перегородки, двері, вікна та будівельні колони. Усі робочі місця позначають і нумерують.
2. На план приміщення накладається координатна сітка відповідно до методики, наведеної у додатку.
3. У кожній точці приміщення, що відповідає вузлам координатної сітки, вимірюють еквівалентний рівень шуму у дБА згідно з ГОСТом. Числові значення записують на плані поруч із вузлами сітки.
4. На плані визначають частини приміщення з однаковими еквівалентними рівнями шуму. Шумові зони позначають, наносячи відповідні межі на план.

Якщо у координатній сітці немає точок з допустимими рівнями шуму, позначення починається з найближчої вищої шумової зони.

Для зручності використання шумових карт зони, починаючи з другої, штрихуються з поступовим збільшенням частоти штрихування залежно від номера зони. Перша зона, що відповідає допустимому рівню шуму, не штрихується.

У разі групового оцінювання шумове навантаження для всіх працівників у межах однієї шумової зони є однаковим. Воно визначається як різниця між верхньою межею шумової зони у дБА та нормативним рівнем шуму для відповідної категорії виробництва.



— робоче місце №5



— рівень шуму у вузлі координатної сітки — 82 дБ А



— працююче обладнання



— відімкнене обладнання



— будівельна колона



— рівень шуму 85 дБ А — межа шумової зони

Рисунок 2.3 — План виробничого приміщення з координатною сіткою та межами зон за наявності непостійного шуму.

У ситуації групового оцінювання шумове навантаження непостійного шуму на постійних робочих місцях в цілому в даному виробничому приміщенні дорівнює критерію шумового навантаження (КШН), який обчислюють за формулою (1) в дБ А:

$$\text{КШН} = (\sum_{i=1}^N N_i \cdot \Delta L_{\text{Аекв}i}) / N, \quad (1)$$

де N — кількість працівників; N_i — кількість працівників на постійних робочих місцях в кожній шумовій зоні; $\Delta L_{\text{Аекв}}$ — максимальне перевищення нормативного рівня шуму з кожній шумовій зоні; $K_{\text{ШН}}$ — середньо зважене перевищення нормативного рівня шуму даного виробництва і є однозначним показником шкідливого впливу непостійного шуму на всю групу працівників на постійних робочих місцях.

Оцінювання шумового навантаження на непостійних робочих місцях.

Індивідуальне оцінювання: для індивідуального оцінювання шумового навантаження на непостійних робочих місцях застосовується методика, описана в попередньому розділі для постійних робочих місць.

Групове оцінювання: групове оцінювання шумового навантаження виконується з використанням карти непостійного шуму, підготовленої відповідно до описаних етапів у методиці для постійних робочих місць.

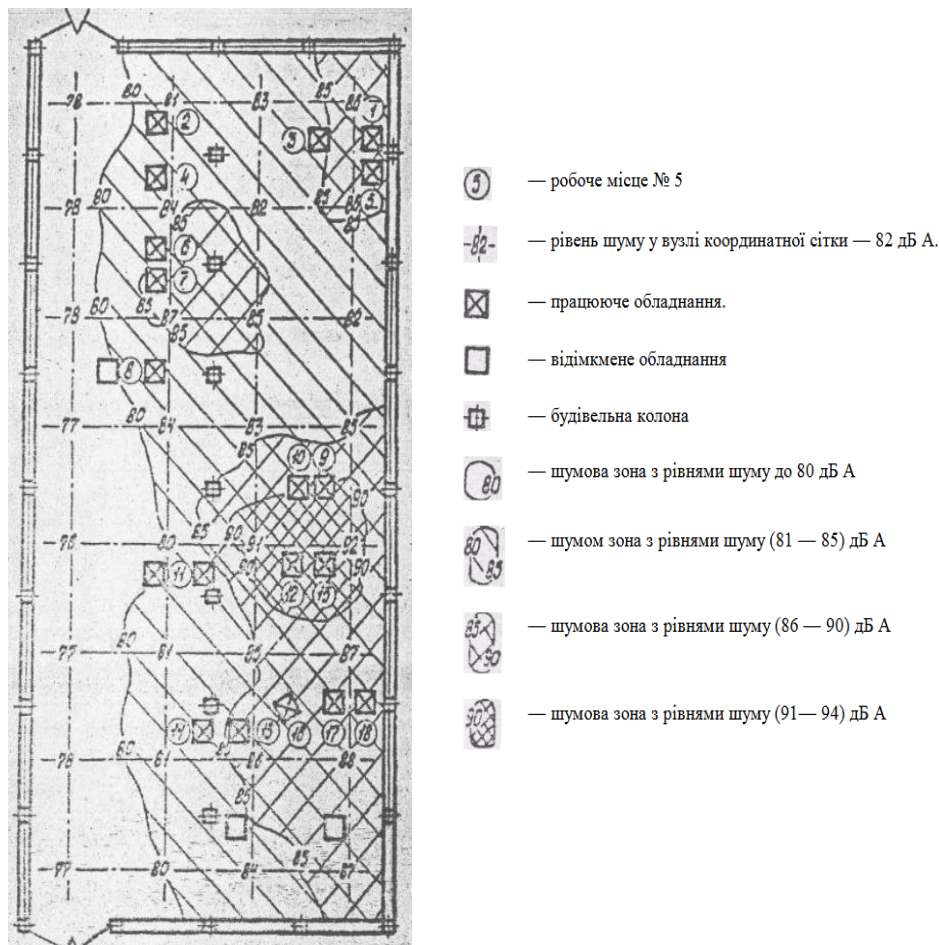


Рисунок 2.4 — Карта непостійного шуму

Розрахунок еквівалентного рівня шуму:

На основі службової інструкції або даних хронометражу типового маршруту працівника визначається тривалість його перебування у кожній шумовій зоні.

У випадку групового оцінювання шумове навантаження на непостійних робочих місцях у межах одного виробничого приміщення визначається за допомогою критерію шумового навантаження (КШН). Він розраховується за формулою (2) і виражається в дБ(А).

$$\text{КШН} = (\sum_{n=1}^N \Delta L_{\text{Аеквп}}) / N, \quad (2)$$

де N—кількість працівників в цілому; n—кількість робочих місць; $\Delta L_{\text{Аеквп}}$ —перевищення нормативного рівня шуму на кожному n-робочому місці, КШН —середньозважене перевищення нормативного рівня шуму на даному виробництві і є однозначним показником шкідливого впливу непостійного шуму на всю групу працівників на непостійних робочих місцях.

1.3. Опис та методи акустичного шуму як об'єкта вимірювання.

Методи вимірювання шуму, інфразвуку та ультразвуку: [19]

Вимірювання шуму здійснюється на постійних робочих місцях у приміщеннях, на території підприємств, на промислових спорудах і машинах (в кабінах, на пультах управління тощо).

Результати вимірювань повинні відображати шумовий вплив протягом усього робочого дня. Тривалість вимірювання непостійного шуму встановлюється залежно від типу шуму:

- для переривчастого — на повний цикл роботи з урахуванням перерв із фоновим шумом;

- для шуму, що коливається у часі, — 30 хвилин або три цикли по 10 хвилин;
- для імпульсного шуму — 30 хвилин.

Вимірювання шуму виконується шумомірами, що відповідають чинним стандартам і мають свідоцтва про перевірку. Перед та після вимірювання проводиться калібрування приладів, і відхилення не повинно перевищувати 1 дБ.

Мікрофон розташовується на висоті 1,5 м від підлоги (стоячи) або на висоті та відстані 15 см від вуха (сидячи чи лежачи), спрямовуючи його до джерела шуму.

Методи розрахунку доз шуму [28]

З фізичної точки зору еквівалентний рівень шуму та доза є аналогічними поняттями, і їх можна взаємно перераховувати. Проте у фізіолого-гігієнічному відношенні ці параметри мають принципову різницю.

Еквівалентний рівень визначається за логарифмічною шкалою у децибелах, починаючи від порога сприйняття звуку. Доза ж виражається у частках від допустимої дози, яка є межею шкідливого впливу, і оцінюється в лінійних величинах. Еквівалентний рівень відображає середній рівень шуму протягом робочої зміни, тоді як доза характеризує сумарну енергію шуму за цей же період.

Для гігієнічної оцінки дози фактичне значення порівнюють із допустимим, і результат виражається у вигляді кратності. Щодо логарифмічних рівнів, фактичне значення порівнюється із допустимим, а отримана різниця переводиться у рази за допомогою таблиці.

Різниця рівнів, дБ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20
Відношення доз, раз	1	1,3	1,6	2	2,5	3,2	4	5	6,3	8	10	32	100

Якщо числове значення отриманої різниці рівнів відсутнє у таблиці, необхідно знайти комбінацію значень у рядку "Різниця рівнів", які у сумі дорівнюють отриманій різниці. Потім у рядку "Відношення доз" знайдені значення перемножуються, щоб отримати остаточний результат.

Методи вимірювання шуму поділяються на: [8]

- **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 лабораторних. 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:

- рівень звукового тиску L_p , дБ, в октавних або трьохоктавних 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.

1.4. Пристрій для вимірювання акустичного шуму та його аналогів [13]

Шумомір — це електронний прилад, який дозволяє об'єктивно вимірювати рівень звуку в децибелах (dB). Він широко використовується як у побуті, так і в професійній діяльності, завдяки своїй простоті у використанні та високій точності вимірювань. Прилад є доступним за ціною та не вимагає складних налаштувань. Для початку роботи достатньо просто увімкнути пристрій, без необхідності виконувати складні дії або читати тривалу інструкцію. Приклад шумомірів наведено на рисунку 2.5.



Рис. 2.5. Шумоміри: 1 - PCE-430, 2 - FNIRSI FDM01,
3 - ВШВ-003-M2

Він складається з кількох основних компонентів, які працюють разом для точного вимірювання рівня звуку. Початково, мікрофон сприймає звукові хвилі, перетворюючи їх у електричний сигнал. Цей сигнал потім підсилюється через преампер, що дозволяє збільшити його потужність для подальшої обробки.

Далі, аналоговий сигнал перетворюється в цифровий за допомогою аналогово-цифрового перетворювача (ADC), щоб мікропроцесор або мікроконтролер міг його обробити і визначити рівень шуму. Обчислений рівень виводиться на дисплей, зазвичай у децибелах (дБ).

Для точності вимірювань застосовуються фільтри, які дозволяють усунути непотрібні частоти або шум, що можуть спотворювати результати. Крім того, шумомір має калібрувальні елементи, що забезпечують правильність показань, а також систему живлення, зазвичай у вигляді акумулятора або батареї для портативних моделей.

Усі ці компоненти разом дозволяють забезпечити точне і надійне вимірювання рівня шуму в різних умовах.

Аналізатор спектра [1] - 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.

Аналізатор спектра працює таким чином: він приймає вхідний сигнал, перетворює його в частотну область за допомогою перетворення Фур'є або аналогічних методів і відображає спектр на екрані. На дисплеї зазвичай видно графік, на якому по горизонтальній осі відображаються частоти, а по вертикальній — рівень сигналу (амплітуда) для кожної частоти. Це дозволяє зрозуміти, які частоти присутні в сигналу і яка їх інтенсивність.

Аналізатори спектра використовуються в різних сферах, таких як аудіообладнання для вимірювання звукових характеристик, в телекомунікаціях для аналізу радіосигналів або в лабораторних умовах для вивчення сигналів різних приладів. Вони дозволяють виявляти проблеми з сигналом, такі як шум або спотворення, і точно налаштовувати системи для досягнення оптимальної роботи. Приклад вигляду аналізатору спектра вказано на рис.2.6.



Рис. 2.6. - Аналізатор спектра цифровий SIGLENT SVA1015X

Акустична камера [3] — це пристрій, призначений для отримання зображень акустичного поля з метою визначення місця розташування джерел звуку та їх характеристик. Пристрій складається з мікрофонного масиву, який записує звуки з різних напрямків, і обчислювального блоку, який аналізує отримані дані. Сигнали з мікрофонів обробляються за допомогою спеціальних алгоритмів, що дозволяє локалізувати джерела звуку з високою точністю.

Для створення візуалізації акустична камера використовує вбудовану відеокамеру або зображення, на яке накладаються акустичні дані. Таке поєднання дає змогу побачити інтенсивність звуку і його розташування прямо на об'єкті, що досліджується. Це робить камеру ефективним інструментом у виявленні проблем, пов'язаних із шумом, наприклад, у транспортних засобах, промислових установках або будівлях.

Акустичні камери широко застосовуються в авіації, автомобілебудуванні, промисловій діагностиці, будівництві та наукових дослідженнях. Вони дозволяють аналізувати акустичні характеристики об'єктів, виявляти дефекти чи джерела небажаного шуму, а також покращувати дизайн і функціональність технічних систем. Приклад зовнішнього вигляду акустичної камери наведено на рис.2.7



Рис. 2.7. – Акустична камера FLUKE

Мобільні додатки: із розвитком смартфонів і мобільних технологій з'явилися спеціалізовані додатки для вимірювання рівня шуму. Вони використовують вбудовані мікрофони смартфона для збору звукових даних і аналізу рівня гучності. Хоча такі додатки є зручними та доступними, їх точність обмежується якістю мікрофона та апаратних характеристик смартфона. Через це вони зазвичай не забезпечують високої точності вимірювань і не підходять для професійного використання, але можуть бути корисними для побутових потреб або попереднього аналізу.

Класифікація та застосування шумомірів

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

- **Шумоміри 0 класу** призначені для найвищого рівня точності вимірювань і відповідають найсуворішим міжнародним стандартам, наприклад, стандарту ІЕС 61672-1. Вимірювання відбуваються в діапазоні від 20Гц до 18кГц. [9]
- **Шумоміри класу 1** — це високоточні прилади, призначені для використання в наукових дослідженнях, сертифікаційних випробуваннях і вимірюваннях, що вимагають максимальної точності. Вони забезпечують високу якість вимірювань і враховують широкий діапазон частот. Їх застосовують у сфері аудіоінженерії, акустичних дослідженнях та для моніторингу шуму у складних середовищах.
- **Шумоміри класу 2** — прилади з дещо меншою точністю, ніж клас 1, але достатньою для більшості практичних завдань. Вони використовуються для моніторингу рівня шуму в навколишньому середовищі, на робочих місцях або в побуті. Завдяки доступності та простоті експлуатації шумоміри класу 2 є найпоширенішими в повсякденному використанні.
- **Шумоміри 3 класу** точності є менш точними, ніж прилади 1 або 2 класу, і призначені для базових або орієнтовних вимірювань рівня шуму. Вони мають більший допуск похибок і зазвичай не враховують усіх тонкощів акустичних параметрів, таких як широкий частотний діапазон або точність у вимірюванні короткочасних імпульсів.

Також існують так звані **інтегруючі шумоміри** - це прилади для вимірювання шуму, які здатні оцінювати не тільки миттєвий рівень звуку, але й середній рівень шуму за певний проміжок 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:

$$K(f) = U_{\text{вих}} / U_{\text{вх}},$$

$K(f)$ —залежність коефіцієнта передачі сигналу, який передається входу фільтра $U_{\text{вх}}$ на його вихід $U_{\text{вих}}$, 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.

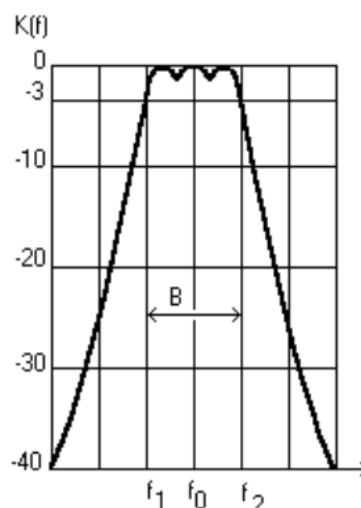


Рис. 2.8. – Частотна характеристика октавного фільтра

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.

Цифровий шумомір WT1357 [24]

Цифровий шумомір WT1357 — портативний електронний прилад, який отримує аналогові сигнали від звукових коливань та перетворює їх на цифрові. Визначає рівень інтенсивності шуму в діапазоні від 30 дБ до 130 дБ. Покази виводяться на великий РК-дисплей у числовому вигляді та у вигляді графічної шкали і можуть передаватися на комп'ютер для подальшої обробки. Діапазон графічної шкали 50 дБ із ціною розподілу 1 дБ наведено на рис. 2.9.



Рис. 2.9. – Цифровий шумомір WT1357 (30-130dB (A) (31.5Hz-8kHz))

Переваги та особливості вимірювача рівня шуму WT1357:

- Миттєвий вимір рівня звуку
- Діапазон виміру: 30...130 дБ. Прилад показує значення рівня звуку в межах одного з чотирьох під діапазонів: 30...80 дБ, 50...100 дБ, 60...110 дБ, 80...130 дБ
- Графічна кругова шкала: на 50 дБ із кроком 1 дБ для спостереження за рівнем звуку в межах поточного під діапазону, періодичність відображення 50 мс
- Живиться від батареї «крона» (в комплекті), також є гніздо для підключення адаптера.
- Індикатори «OVER» та «UNDER» для сигналізації про вихід вимірюваного рівня звуку за верхню або нижню межі діапазону вимірювання відповідно.
- Два типи фільтра, що зважає: А і С
- Функція швидкого або повільного зняття показань (FAST/SLOW)
- Функція утримання максимального значення (MAX)
- Вихідний аналоговий сигнал змінного (AC) та постійного (DC) струму
- Напівдюдюмовий електронний конденсаторний мікрофон, оснащений вітрозахистом – поролоновою кулькою, що одягається при поривах вітру.
- Ціна: 1495 грн

Загалом, це цілком хороший варіант, але він не відповідає вимозі щодо вимірювання частоти звукових коливань.

Шумомір ВШВ-003-М3 [25]

Шумомір ВШВ-003-М3 — це прилад, призначений для вимірювання та аналізу рівнів шуму і вібрації в житлових і виробничих приміщеннях. Він дозволяє проводити оцінку акустичного та вібраційного середовища, забезпечуючи точні результати завдяки вбудованим сенсорам і сучасним алгоритмам обробки сигналу.

Прилад оснащений вбудованими фільтрами з частотними характеристиками А, В, С, Лін, а також смуговими октавними фільтрами, що дають змогу виконувати класифікацію, вимірювання та оцінку нормованих параметрів шуму і вібрації. Шумомір ВШВ-003-М3 зображений на рис. 2.10.



Рис. 2.10. – Шумомір ВШВ-003-М3

Прилад ВШВ-003-М3 є малогабаритним, портативним вимірювальним пристроєм та призначений для аналізу та вимірювання шуму (шумомір) та вимірювання вібрації (віброметр) у житлових приміщеннях, виробничих та польових умовах. Використовується для визначення джерел та характеристик шуму та вібрації в місцях знаходження людей, при дослідженнях та випробуваннях машин та механізмів, при розробці та контролі якості виробів.

Віброметр і шумомір ВШВ-003-М3 має вбудовані фільтри з частотними характеристиками А, В, С, а також смугові фільтри: октавні та третьоктавні, що дозволяють проводити класифікацію, вимірювання та визначення

нормованих параметрів та характеристик шуму та вібрації відповідно до вимог санітарних норм та стандартів безпеки праці.

Вимірювач вібрації та шуму ВШВ-003-М3 поставляється у зручній для перенесення сумці. Прилад укомплектований п'єзоелектричними вібровимірювальними перетворювачами ДН-3-М1 та ДН-4-М1, що мають коефіцієнт перетворення відповідно $10 \text{ мВ} \cdot \text{с}^2/\text{м}$ та $1 \text{ мВ} \cdot \text{с}^2/\text{м}$, та конденсаторним мікрофоном з капсулом М-101, що має чутливість $50 \text{ мВ}/\text{Па}$.

Смуга частот, Гц:

- Вимірювання параметрів вібрації: 1 ... 10000;
- Рівень звукового тиску за влучним висловом ЛИН: 2 ... 18000.
- Динамічний діапазон вимірювання параметрів вібрації:
 - віброприскорення, $\text{м}/\text{с}^2$: $3 \cdot 10^{-3} \dots 10^{-3}$;
 - віброшвидкості, $\text{мм}/\text{с}$: $3 \cdot 10^{-2} \dots 5 \cdot 10^{-4}$;
 - рівня звуку, дБ отн. $2 \cdot 10^{-5} \text{ Па}$: 22 ... 140.

Основна похибка вимірювання:

- параметрів вібрації, %: ± 10 ;
- шуму (клас точності): 1.
- Споживана потужність, $\text{В} \cdot \text{А}$:
 - при живленні від мережі: 5;
 - при живленні від акумуляторної батареї: 1.
- Фільтри октавні із середніми геометричними частотами, Гц:
 - від 1 Гц до 16000 Гц;
 - Фільтри третьоктавні із середніми геометричними частотами, Гц:
 - від 2,0 Гц до 16000 Гц;
- Маса ВШВ-003 М3 з приладдям не більше 6 кілограмів.
- Ціна: 68 000 грн.

Професійний цифровий шумомір PCE-430 [26]

Професійний шумомір PCE-430 є пристроєм для вимірювань звуку на робочих місцях, будівельних майданчиках, на дорозі, в аеропортах і т.д. Вимірювач рівня звуку є пристроєм класу 2 і оснащений октавним частотним фільтром. Опціонально, вимірювач рівня звуку PCE-428 може бути модернізований за допомогою фільтра 1/3 октавної смуги. На додаток до цифрового відображення вимірюваного значення на графіку також може відображатися хід рівня звуку. У шумоміра є різні частоти, такі як А, В, С і Z. Вигляд шумоміра наведено на рис. 2.11.



Рис. 2.11. – Професійний цифровий шумомір PCE-430 (22-136 дБ).

Крім того, звуковий вимірювач може забезпечувати вимірювання з тимчасовими оцінками Fast, Slow, Pulse і Peak. Діапазон вимірювання складає від 22...136 дБА на частоті 3 Гц ... 20 кГц. Прилад здатний зберігати 3 різних вимірювальних профіля що дозволить швидко переключатися на необхідні заміри без тривалої настройки пристрою. Наприклад, ви можете вибирати між L_{aeq} , L_{cPeak} , L_{AFmax} , L_{AFMin} і т.д. Особливо зручна функція буде для компаній, де одним пристроєм будуть користуватися кілька інженерів.

Функція утримання піку дозволяє записувати максимальний рівень звукового тиску під час довгострокового вимірювання і утримувати його на дисплеї. 24-бітний AD-конвертер і спеціально розроблена електроніка допомагають знизити рівень шуму до дуже низького. Семплірування вимірювального сигналу з частотою більше 48 кГц дозволяє забезпечити

високу точність і поліпшену стабільність виміряного значення на вимірнику рівня звуку.

Переваги та особливості цифрового шумоміра PCE-430:

- Висока точність вимірювань: Прилад відповідає стандартам класу 1, що забезпечує високу точність вимірювань.
- Октавні фільтри: Оснащений октавними фільтрами 1/1, з можливістю опціонального розширення до 1/3 октави, що дозволяє детально аналізувати частотні характеристики шуму.
- Широкий діапазон вимірювань: Діапазон вимірювань становить від 22 до 136 дБА, з частотним діапазоном від 3 Гц до 20 кГц, що дозволяє фіксувати як низькі, так і високі частоти.
- Різноманітні часові оцінки: Підтримує часові оцінки Fast, Slow, Pulse та Peak, що забезпечує гнучкість у різних сценаріях вимірювань.
- Збереження вимірювальних профілів: Можливість зберігати до трьох різних вимірювальних профілів, що спрощує перемикання між різними налаштуваннями без необхідності повторної конфігурації.
- Інтерфейс USB: Забезпечує легке підключення до комп'ютера для передачі та аналізу даних.
- Підсвічування дисплея: Великий, легко читабельний РК-дисплей з підсвічуванням забезпечує зручність роботи в умовах недостатнього освітлення.
- Надійний корпус: Міцний корпус забезпечує довговічність приладу в різних умовах експлуатації.

Технічні характеристики цифрового шумоміра PCE-430:

- Діапазон вимірювань: 22–136 дБА.
- Точність: Відповідає класу 1.
- Діапазон частот: 3 Гц – 20 кГц.
- Живлення: Працює від стандартних батарейок або через USB-кабель, що забезпечує гнучкість у виборі джерела живлення.

- Пам'ять: Вбудована пам'ять для зберігання даних вимірювань з можливістю подальшого аналізу.
- Ціна: 137 712.00 грн.

Завдяки своїм характеристикам та функціональним можливостям, шумомір PCE-430 є надійним інструментом для професійного вимірювання та аналізу шуму в різних галузях.

Визначення проблем, що потребують вирішення [14]

Відомо, що в умовах підвищеного шуму важко зосередитися, а шум негативно впливає на продуктивність. Якщо гучність звуку дорівнює або перевищує рівень звичайної розмови, він стає не тільки джерелом роздратування, але й відволікаючим чинником, спричиняючи мимовільне переключення уваги. Це призводить до зниження продуктивності праці, оскільки співробітникам необхідно відновити концентрацію, що займає від 10 до 25 хвилин, а досягнення початкового рівня концентрації може зайняти ще кілька хвилин. Це пов'язано з тим, як організм налаштовується на продуктивний режим після встановлення необхідних нейронних зв'язків у головному мозку.

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.

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

Крім того, тривалий вплив шуму негативно впливає на нервову систему та може скорочувати тривалість життя. Люди, які живуть у великих містах, страждають від шуму на 36% більше, ніж ті, хто мешкає в малих населених пунктах.

Людині, яка систематично зазнає негативного впливу шуму, доводиться витрачати 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.

Постійний вплив шуму може змусити людину витрачати значно більше зусиль для підтримки продуктивності, що веде до перевантаження нервово-психічних і фізичних ресурсів. Шум також порушує функції вегетативної нервової системи, спричиняючи звуження капілярів, що може викликати проблеми з кровообігом. Якщо рівень шуму перевищує 84-88 дБ, це може призвести до підвищення артеріального тиску, а тривале перебування під його впливом — до біохімічних змін у мозку.

Систематичний вплив шуму сповільнює зорово-моторні реакції, порушує нервову активність і біоелектричні процеси мозку, що може призвести до серйозних фізіологічних проблем через надлишок гормонів стресу, таких як адреналін і кортизол. Крім того, високий рівень шуму, що досягає 110 дБ і більше, може стати причиною зниження слуху, а шум від 85 дБ може призводити до зниження слухової чутливості. За тривалого впливу шуму слух може знижуватися непомітно і досягати значних втрат через кілька років. 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.

Високий рівень шуму також може викликати шумову хворобу, що проявляється як сукупність різноманітних симптомів, як об'єктивних так і суб'єктивних.

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.

Лікування шумової хвороби складне, і слух можна лише частково відновити. Тому важливо здійснювати контроль за рівнем шуму, щоб створити безпечне і комфортне середовище для людей та знизити ризики для здоров'я та приймати заходи для зменшення ризику.

1.5. Висновки до розділу

У розділі проведено загальний огляд по:

Класифікації вимірювань, яка включає шість напрямків: за точністю (рівноточні та нерівноточні), за кількістю вимірювань (одноразові та багаторазові), за характером зміни величини (статичні та динамічні), за метою (технічні та метрологічні), за одиницями вимірювання (відносні та абсолютні) та за способом отримання результату (прямі, непрямі, сукупні, спільні).

Алгоритму вимірювання шуму, що включає кілька етапів: вибір місця проведення вимірювань, розташування мікрофона, перевірка обладнання та застосування методів для забезпечення максимальної ефективності. Важливі методи оцінки шумового навантаження для постійного та непостійного шуму, а також для непостійних робочих місць.

Методів вимірювання шуму, інфразвуку та ультразвуку, що включають розрахунок дози шуму та обробку результатів. Для вимірювання акустичного шуму використовуються різні типи шумомірів, зокрема цифрові моделі, такі як **WT1357**, **ВШВ-003-М3** та **РСЕ-430**. Проблеми, що виникають через недотримання контролю за рівнем шуму, можуть негативно впливати на здоров'я людей.

2. РОЗРОБКА МЕТОДІВ ТА СТРУКТУРИ КОМП'ЮТЕРИЗОВАНОЇ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ

2.1. Принцип оцінки акустичного шуму

Прилад складається з чотирьох основних компонентів: мікрофона (датчика), підсилювача, обробки сигналу та дисплея. Мікрофон перетворює звуковий сигнал на електричний. Для вимірювання шуму найкраще використовувати електронний мікрофон, який забезпечує точність, стабільність і надійність. Сигнал, що генерується мікрофоном, має низьку амплітуду, тому він підсилюється за допомогою попереднього підсилювача перед тим, як оброблятися головним процесором, зазвичай програмним способом.

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

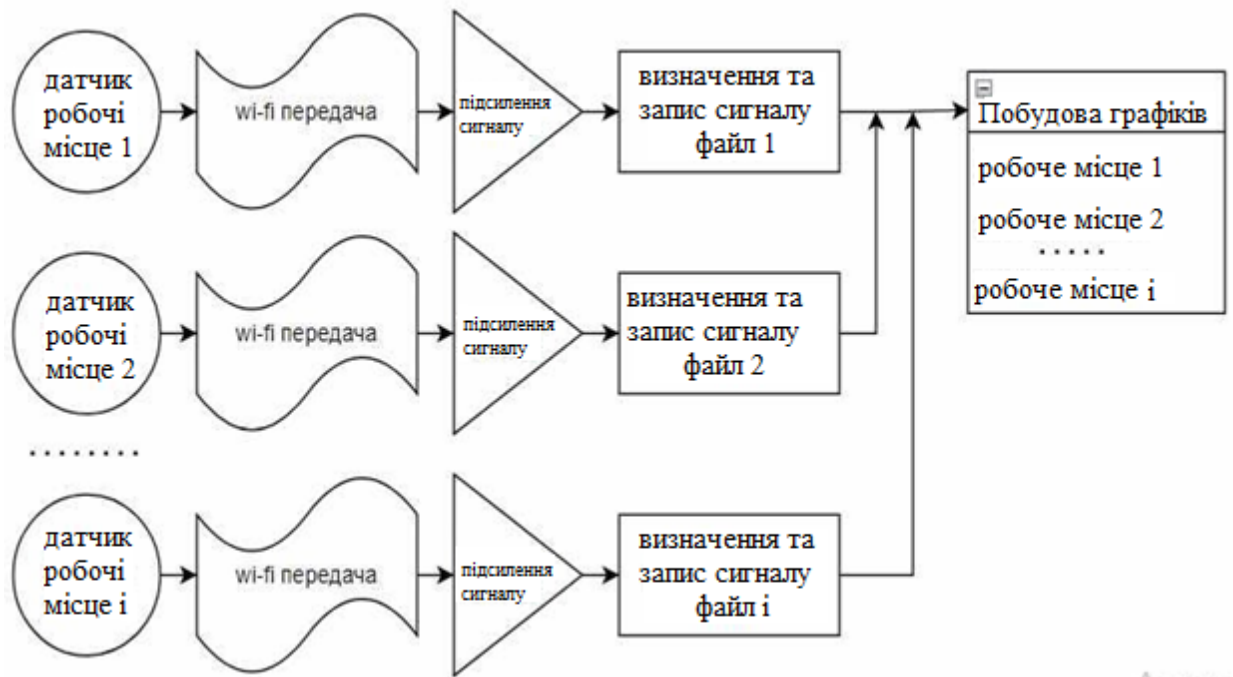


Рис. 3.1. - Принцип оцінки акустичного шуму

2.2. Підбір обладнання для побудови системи оцінки акустичної обстановки у приміщенні. Структурна схема. [7]

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.

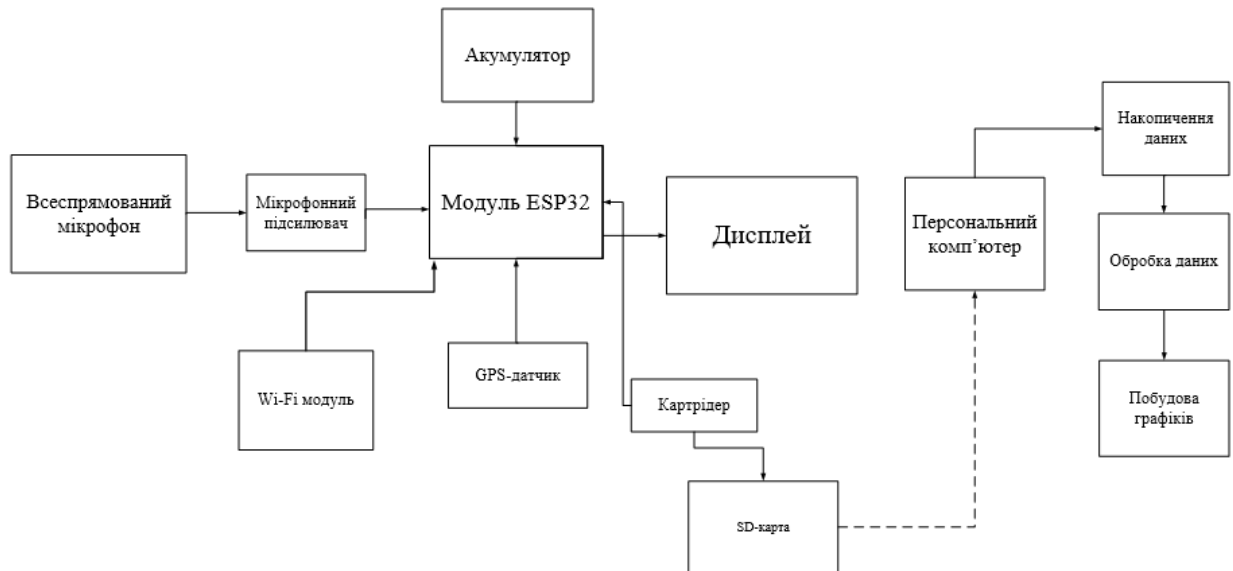


Рисунок 3.2. - Структурна схема комп'ютеризованого приладу вимірювання акустичного шуму

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:

2.3. Підбір основних компонентів системи

Модуль ESP32-WROOM із чіпом ESP32-D0WDQ6 [2]

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.

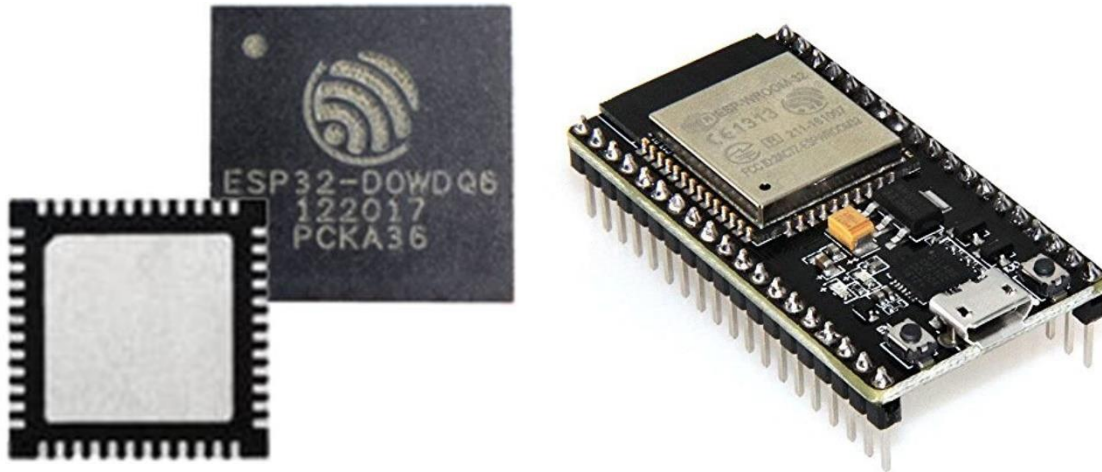


Рис. 3.3. – Модуль ESP32-WROOM та чіп ESP32-D0WDQ6

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: 1А
- Вхідна напруга через пін V_{in}: 5–14 В
- Габарити: 51×28 мм

Високопродуктивний мікрофон INMP441 [5]

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

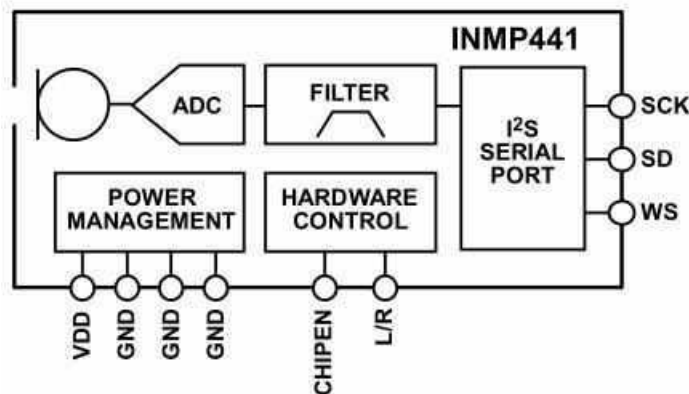


Рис. 3.4. – Принципова схема всепрямованого електронного мікрофона INMP441



Рис. 3.5. - Зовнішній вигляд всепрямованого електронного мікрофона INMP441

Як видно із схеми всепрямованого 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.

Літієвий акумулятора типорозміру 18650: [15]

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.



Рис. 3.6 – літієвий 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

USB перехідник для програмування та налагодження модулю ESP32 [11]

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

IPS Дисплей 1.8 spi TFT ST7735 [6]

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

RTC DS1338Z-33 годинник точного часу. [4] [23]

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.

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.

2.4. 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.

3. ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ ТА СХЕМИ СИСТЕМИ

3.1. Вибір апаратних засобів та їх параметрів

Для проєктованого 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:

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

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

$$16 \text{ бітів: } 12 = 1,3 \text{ байти.}$$

$$32400 * 44100 * 1,3 = 185749200 \text{ байт} : 1024 : 102 = 1778 \text{ Мбайт} = 1,8$$

Гбайт.

Отримуємо: мінімальний необхідний обсяг пам'яті для зберігання цифрового аудіо файлу 1,8 Гбайт для одного робочого дня. Для адекватного підстрахування можливостей безвідмовної роботи flash-картки обов'язково потрібно закласти відсоток запасу, приймаємо 10%. Разом обсяг пам'яті для зберігання цифрового аудіофайлу на один робочий день складе:

$$1,8 * 1,1 = 2 \text{ Гбайт.}$$

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.

Вибір процесору для ПК [10]

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 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 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.

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 напруги 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 Вивід землі
GND	2	
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)
- 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: 1А
- Вхідна напруга через пін Vin: 5–14 В
- Габарити: 51×28 мм

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

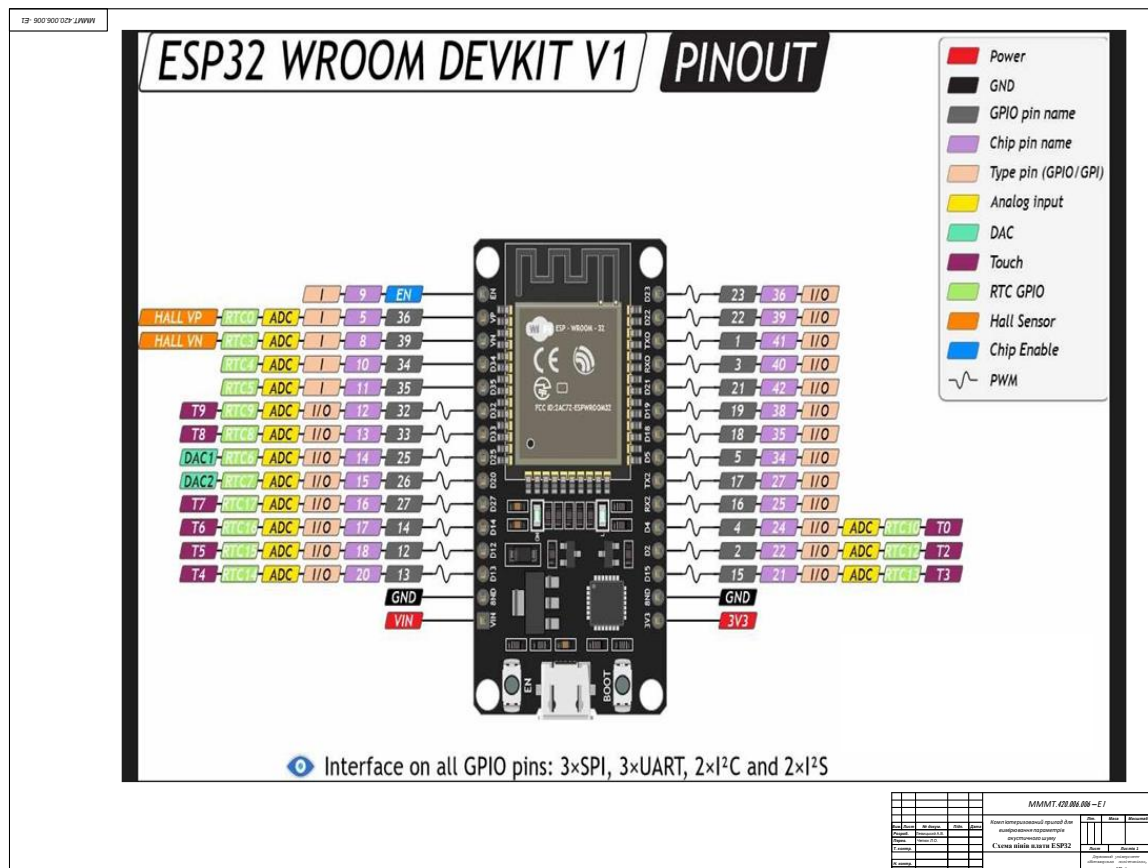


Рис. 4.1. - Схема пінів плати ESP32

3.2. Принципова схема приладу

У приладі для вимірювання шуму використовуються чотири основні компоненти: мікрофон (датчик), підсилювач, обробка сигналу та дисплей. Мікрофон перетворює звуковий сигнал на електричний. Найкращий варіант — електронний мікрофон, який поєднує точність, стабільність і надійність.

Електричний сигнал, отриманий мікрофоном, має низький рівень, тому підсилюється попереднім підсилювачем перед обробкою процесором,

зазвичай програмним. Інтервал можна збільшити після проведення пробних вимірів.

Джерелами шуму є: люди (які можуть переміщатися та сидіти на робочих місцях), телефонні апарати (які є на робочих місцях кожного матера та технолога), припливно-витяжна вентиляція (комунікації прокладені по периметру стелі на висоті 3 м, витяжки опущені на кожне місце). Точки розміщення датчиків визначаються на робочих місцях або в зонах постійного перебування людей на висоті 1,5 м від підлоги.

Оскільки шумного обладнання на досліджуваній ділянці немає, датчики розташовуються по одному на кожному робочому місці (виконавців, технологів, майстрів) та в місцях колективного перебування персоналу.

Аналіз обладнання дозволяє побудувати принципову схему, що демонструє взаємозв'язок компонентів і їх функціональність. Головною метою системи є збір даних про рівень шуму та географічні координати з їх відображенням на дисплеї.

Принципова схема включає наступні елементи: [21]

1. Мікрофон вимірює рівень шуму та передає цифрові дані через вихід I2S.
2. Датчик місцезнаходження збирає геодані для подальшої обробки.
3. Модуль керування системою здійснює контроль над системою, отримує дані від мікрофону і GPS-датчика, передає дані через Bluetooth та SPI.
4. TFT РК-дисплей відображає рівень шуму та географічні координати.
5. Блок живлення живить систему, а перезаряджаємий полімерний USB забезпечує заряд акумулятора.
6. Дані збираються і обробляються на персональному комп'ютері через кардрідер для SD-карт.

Принципова схема комп'ютеризованого приладу для вимірювання акустичного шуму наведена в додатку В.

4. ПРОГРАМНО-АЛГОРИТМІЧНЕ ТА МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

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.

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

Знімання показань акустичного фону можна здійснювати лінійно, вибираючи точки розміщення датчиків у виробничому приміщенні або зонах постійного перебування людей на висоті 1,5 м від підлоги. Така схема розташування підходить для офісів або виробничих ділянок із зафіксованими сидячими робочими місцями. В цьому випадку функцію визначення місцезнаходження виконує аналітик, орієнтуючись на план приміщення, а акустична карта складається на основі цих стаціонарних точок.

Інший метод вимірювання шуму передбачає використання GPS-датчика та датчика положення (MEMS). Оператор-аналітик, тримаючи пристрій для вимірювання шуму, переміщається по простору. Однак, через перешкоди від стін, GPS-датчик не можна використовувати в закритих приміщеннях. В таких умовах важливо прив'язувати звук до простору та часу, а найбільш значущими будуть ті звуки, що суттєво відрізняються від загального фону.

У цьому контексті важливо розуміти, що весь діапазон шуму нас не цікавить. Наприклад, шум лісу, який має рівень 40 дБ, для жителів мегаполісів часто сприймається як «тиша». Проте, навіть холодильник з рівнем шуму 40 дБ, відповідно до паспорта, може виявитися неприязним для комфортного проживання в квартирі.

Після проведення попередніх вимірів загального акустичного фону приміщення та первинного аналізу можна відфільтрувати всі показники, що знаходяться нижче критичного рівня. Платформа ESP32-WROOM32-DEVKIT дозволяє налаштувати прилад для ідентифікації та запису тільки звуків із заданими параметрами. Одночасно з цим фіксуватиметься місцезнаходження

датчика в просторі та часі, що дозволяє зафіксувати навіть тонкі зміни в акустичних характеристиках, яких людське вухо не здатне виявити, особливо в шумному середовищі цеху.

Як зазначалося раніше, гучність звуку визначається амплітудою (децибели) та частотою звукових коливань. Будь-яка механічна обробка матеріалів завжди супроводжується специфічними акустичними проявами, характерними для цієї діяльності. Наприклад, у закрісному цеху швейного виробництва звук удару металу по металу може бути непомітним на загальному фоні торохтіння різаків по тканині, хоча це може сигналізувати про швидку поломку обладнання. Металеві деталі, які повинні ковзати одна по одній або не торкатися, можуть створювати шум, що вказує на їх знос або зміщення. Оскільки такий сигнал про проблему часто полягає не в гучності, а у висоті (частоті коливань), при налаштуванні параметрів акустичних вимірювань це потрібно враховувати.

Аналогічно, в цехах металообробки може виникати свист або скрегіт, що вказує на зношування шестерень, ремінної передачі або потрапляння сміття, яке перешкоджає нормальній роботі верстата. Такі звуки можна ідентифікувати за їх висотою та тембром.

Акустичний метод неруйнівного контролю вже існує для знаходження аварійних ділянок на трубопроводах і успішно застосовується у 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 «Полюс» 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, 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.

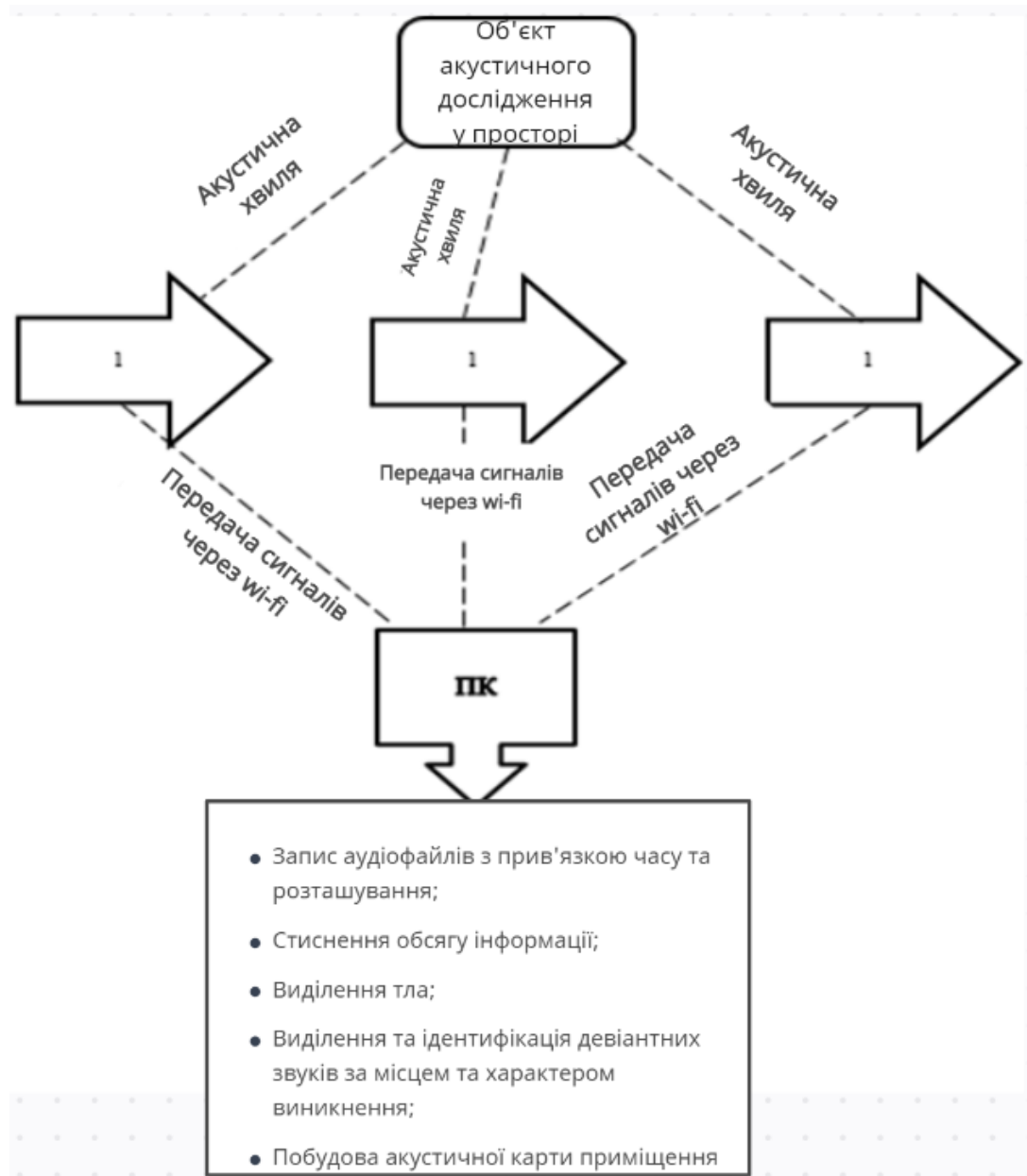


Рис. 6.1 - Алгоритм введення та передачі через wi-fi акустичної інформації з можливістю прив'язки місця до навколишнього середовища

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 для створення графічного інтерфейсу користувача та підключення GPS-модуля наведена в додатку Д. Запис звуку здійснюється як у вигляді числових значень, так і у форматі аудіо-запису. Для повної картини акустичного фону приміщення при записі даних з мікрофона необхідно одночасно фіксувати дані положення (через GPS-датчик і MEMS) та часу (за допомогою датчика точного часу).

Оскільки фіксація акустичного шуму може займати значний обсяг пам'яті, для зменшення її споживання необхідно використовувати стискання файлів. Для цього ми застосовуємо акуратне перетворення даних із налаштуванням бітрейту та частоти дискретизації, щоб зберегти високу якість запису. Блок-схему підключення мікрофона та процесу запису акустичних даних можна побачити 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

Звісно, робота інженера у галузі Інтернету речей була б неповною без прагнення до максимального рівня автоматизації. На початковому етапі збору акустичної інформації, коли база даних ще не достатня для автоматичного прийняття рішень, пропонується реалізувати автоматичну сигналізацію, наприклад, у вигляді звукового сигналу чи індикатора (лампочки), що спрацьовує при появі девіантного звуку. Для побудови такої системи можна застосувати протокол MQTT. Ця схема дозволяє налаштувати не лише сигналізацію, а й інтегрувати взаємодію між машинами (машино-машинне взаємодія).

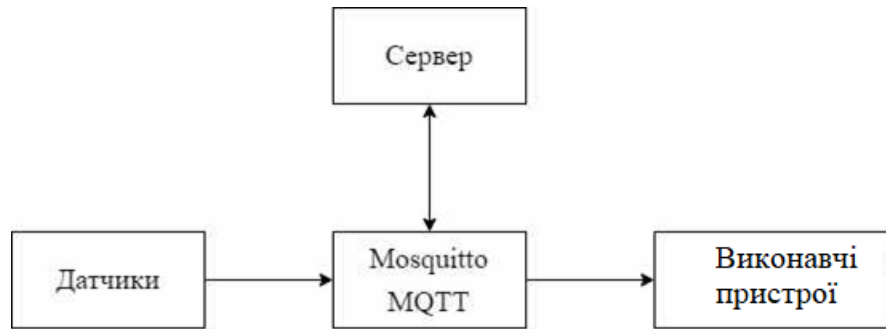


Рис. 6.5. - Блок-схема роботи мережі на основі MQTT протоколу

Брокер MQTT виступає як центральний зв'язковий пункт, відповідальний за передачу всіх повідомлень між клієнтами. Клієнт MQTT — це будь-який пристрій, наприклад, комп'ютер або мікроконтролер, який підключається до брокера. Клієнт, що надсилає повідомлення, називається видавцем (publisher), а клієнт, що отримує повідомлення, — передплатником (subscriber).

Для отримання повідомлення клієнт повинен підписатися на відповідний topic(тему) цього повідомлення. У моєму випадку температурний датчик публікує свої дані брокеру. Сервер зберігає топіки з даними від датчиків і вказівками для виконавчих пристроїв. Потім виконавчі пристрої підписуються на певні топіки, отримуючи необхідну інформацію.

4.2. Розробка програмного забезпечення

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.

4.3. Розрахунок метрологічних характеристик.

Визначення необхідного обсягу пам'яті `flash`-картки для дослідження акустичного стану

Засоби вимірювання, незважаючи на їх конструктивні особливості, мають спільні властивості, які гарантують виконання їх основного функціонального завдання. Технічні параметри, що характеризують ці властивості та впливають на результати і похибки вимірювань, називаються метрологічними характеристиками.

Нормований набір метрологічних характеристик формується таким чином, щоб дозволити оцінити похибки вимірювань у визначених робочих умовах. Це стосується не тільки окремих засобів вимірювання, а й їх комбінацій, таких як автоматичні системи вимірювання.

Однією з основних метрологічних характеристик є статична характеристика перетворення (або функція перетворення), яка описує залежність:

$$y = f(x)$$

де y — інформативний параметр вихідного сигналу вимірювального перетворювача, x — інформативний параметр вхідного сигналу. Статична характеристика може бути задана у вигляді рівняння, графіка чи таблиці. Цей термін застосовується до вимірювальних приладів, де незалежною змінною x є значення вимірюваної величини або інформативний параметр вхідного сигналу, а залежною величиною y — показання приладу.

Якщо статична характеристика перетворення лінійна, тобто:

$$y = Kx,$$

то коефіцієнт (K) називається чутливістю вимірювального приладу. В іншому випадку чутливість визначається як похідна статичної характеристики.

Ціна поділки та шкала

Для шкальних вимірювальних приладів важливою характеристикою є ціна поділки, яка відповідає зміні вимірюваної величини, що викликає переміщення покажчика на одну поділку шкали.

Якщо чутливість постійна по всьому діапазону, шкала називається рівномірною.

У разі нерівномірної шкали нормується мінімальна ціна поділки.

У цифрових приладах шкали як такої немає.

Натомість використовується ціна одиниці молодшого розряду у числовому показанні приладу. вказується ціна одиниці молодшого розряду числа в показанні приладу.

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:

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

4.4. Нормативні документи рівня шуму

На державному рівні встановлено нормативи, що регулюють мікроклімат, допустимі рівні шкідливих і небезпечних факторів виробничого середовища, а також параметри впливу, такі як гранично допустимі концентрації (ГДК), інтенсивність і тривалість впливу. Ці нормативи враховують класи умов праці та дають змогу проводити кількісну оцінку тяжкості трудового процесу.

Контроль рівня шуму здійснюється атестованими лабораторіями із застосуванням сертифікованого обладнання, що забезпечує точність і достовірність результатів. Трудова діяльність може мати різний ступінь складності, що залежить від специфіки виробничих умов та вимог до працівників.

В Україні рівень шуму на робочих місцях регламентується низкою нормативних документів, які встановлюють вимоги до охорони праці та допустимих рівнів шумового впливу. Ось основні з них:

1. Закон України "Про охорону праці" від 14 жовтня 1992 р. № 2695-12: визначає основні положення щодо забезпечення безпечних і здорових умов праці, включаючи контроль за рівнем шуму на робочих місцях.

2. Закон України "Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення" від 24 лютого 1994 р.: встановлює вимоги до санітарних умов, зокрема щодо допустимих рівнів шуму в робочому середовищі. [16]

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". [17]

6. ДСТУ 2867-94 "Шум. Методи оцінювання виробничого шумового навантаження": визначає загальні вимоги до методів оцінювання шумового навантаження у виробничих приміщеннях з постійним та непостійним шумом для окремих працівників та їх груп на постійних і непостійних робочих місцях. [18]

7. ДСН 3.3.6.037-99 "Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку": встановлює гігієнічні норми та вимоги до рівнів шуму, ультразвуку та інфразвуку на робочих місцях, а також методи їх контролю. [19]

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

9. ДСТУ ISO 9612:2008 "Акустика. Настанови щодо вимірювання та оцінювання експозиції шуму у виробничому середовищі": містить рекомендації щодо методів вимірювання та оцінювання впливу шуму на працівників у виробничих умовах. [22]

10. Наказ МОЗ України від 28.03.2023 р. № 572 "Про затвердження Порядку проведення оцінки рівня небезпеки шумового впливу на працівника та дій роботодавців щодо зменшення ризиків, пов'язаних із шумовим впливом": визначає процедури оцінки та управління ризиками, пов'язаними з шумовим впливом на робочих місцях.

11. Наказ МОЗ України від 23.03.2023 р. № 540 "Про затвердження Граничних та робочих значень шумового впливу на робочому місці": встановлює допустимі рівні шуму для різних категорій робочих місць та професій.

Дотримання нормативних документів є обов'язковим для забезпечення безпеки та здоров'я працівників, а також для створення комфортних умов праці.

Виробничий шум складається з спектра звукових хвиль різних частот. Під час дослідження шуму зазвичай аналізується діапазон частот від 16 Гц до 20 кГц, який поділяється на частотні смуги. У кожній із цих смуг визначають звуковий тиск, інтенсивність або звукову потужність. Спектр шуму характеризується рівнями зазначених параметрів, розподіленими за октавними смугами частот.

Октавою називається смуга частот, де верхня межа вдвічі перевищує нижню, тобто $f_2 = 2f_1$.

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 межах яких аналізуються спектри шумів ($f_{cg} \text{ мін} = 31,5 \text{ Гц}$, $f_{cg} \text{ макс} = 8000 \text{ Гц}$).

Залежно від частотного складу шуми класифікуються таким чином:

Низькочастотні ($f_{cg} < 250 \text{ Гц}$);

Середньочастотні ($250 \text{ Гц} < f_{cg} \leq 500 \text{ Гц}$);

Високочастотні ($500 \text{ Гц} < f_{cg} \leq 8000 \text{ Гц}$).

Виробничі шуми мають різноманітні спектральні та часові параметри, що визначають їхній вплив на організм людини. Виходячи з цих

характеристик, шуми поділяються на кілька типів, що дозволяє оцінити їх вплив і вжити заходів для зниження шкоди для здоров'я працівників.

4.5. Нормативні вимоги до впливів віброакустичних факторів

До віброакустичних факторів відносяться:

Шум;

1.Інфразвук;

2.Ультразвук (повітряний);

3.Вібрація (загальна та локальна).

4.За характером спектру шум поділяється на:

- Широкосмуговий: має безперервний спектр, ширина якого більше однієї октави.

Тональний: у спектрі присутні виражені дискретні тони. Для практичних цілей при контролі на робочих місцях тональний характер шуму визначається вимірюванням у третьоктавних смугах частот, де рівень звукового тиску в одній смузі має бути не менше ніж на 10 дБ вищим за рівень у сусідніх смугах.

За тимчасовими характеристиками шум поділяється на:

- Постійний: рівень звуку за 8-годинний робочий день змінюється не більше ніж на 5 дБ.

- Непостійний: рівень звуку змінюється більше ніж на 5 дБ за 8-годинний робочий день.

- Непостійний шум поділяється на:

- Коливний: рівень звуку безперервно змінюється у часі.

- Переривчастий: рівень звуку змінюється на 5 дБ і більше, тривалість інтервалів, де рівень залишається постійним, складає не менше 1 с.

- Імпульсний: складається з одного або кількох коротких звукових сигналів, тривалість кожного з яких менше 1 с. Рівні звуку в дБ АІ і дБ А на тимчасових характеристиках "імпульс" і "повільно" повинні відрізнятися не менш ніж на 7 дБ за ДСН 3.3.6.037-99.

Таблиця 1 – Класи умов праці:

Найменування показника, одиниця вимірювання	Клас (підклас) умов праці					
	Допустимий	шкідливий				Небезпечний
	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

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:

Середньогеометричні 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			

Згідно з нормативами для укороченого трудового дня (до 40 год. на тиждень), встановлюються загальні гранично допустимі рівні звукового тиску, рівнів звуку та еквівалентних рівнів звуку для основних типових видів трудової діяльності та робочих місць. Зазначені значення описані в таблиці, дивись додаток Б.

У деяких сферах економіки рівні шуму на робочих місцях можуть бути вищими за загальний норматив, тобто від 80 до 85 дБА. Це дозволяється, коли:

- підтверджено прийнятний ризик для здоров'я працівників;
- вжито заходів зниження цього ризику.

Якщо рівень шуму в робочому приміщенні коливається в межах 80-85 дБА, то необхідно вжити наступних заходів:

1. Підбір обладнання з меншими шумовими ефектами.
2. Інформування та навчання персоналу** щодо роботи з меншим рівнем шуму від обладнання.
3. Використання технічних засобів захисту** робітників, таких як захисні екрани, кожухи, звукопоглинаючі покриття, ізоляція та амортизація.

4. Обмеження тривалості та інтенсивності впливу шуму до прийняттого рівня.
5. Виробничий контроль вібрації та акустики**.
6. Обмеження доступу до робочих зон з рівнем шуму понад 80 дБА для осіб, які не мають відношення до основного технологічного процесу.
7. Надання засобів індивідуального захисту (ЗІЗ) для вух.
8. Щорічні медогляди** для працівників, які працюють при рівнях шуму від 80 дБА.

Ці заходи спрямовані на забезпечення здоров'я працівників і зниження негативного впливу шуму на їх організм.

ВИСНОВКИ

У процесі виконання кваліфікаційної роботи була розроблена комп'ютеризована система для збору, обробки та відображення результатів вимірювання акустичного шуму.

Основними компонентами системи є мікрофон INMP441 для збору акустичних сигналів, модуль ESP32-WROOM для обробки і передачі даних, GPS-датчик GPS9 для визначення географічних координат, модуль запису на SD-карту для збереження інформації, TFT-дисплей для візуалізації результатів, а також акумулятор із перезаряджуваним USB для живлення пристрою.

Надійність системи становить 49 776 годин безвідмовної роботи. Розраховані характеристики відповідають вимогам технічного завдання.

До графічного матеріалу додаються структурна та електрична схеми, топологія друкованої плати, а також список елементів, які використовуються для побудови. Що стосується програмного та алгоритмічного забезпечення, надано код програми для мікроконтролера та відповідні блок-схеми алгоритмів.

Розроблена система дозволяє аналізувати акустичний шум і контролювати регульовані параметри. Вона може бути використана для моніторингу рівня шуму в житлових районах, на виробничих майданчиках або на вулицях міста, а також у створенні пристроїв «розумного дому» чи інших вимірювальних систем для визначення акустичного шуму.

Загалом, цей комп'ютеризований пристрій є ефективним інструментом для вимірювання параметрів акустичного шуму, і його застосування може значно покращити вивчення та контроль шумового середовища.

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 8,3А [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>.

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

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

24) WINTACT WT1357 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://youtool.com.ua/wt1357/?gad_source=1&gclid=CjwKCAiAjp-7BhBZEiwAmh9rBR8zLncm8p-YdASwWUvu0rKVdRAFlNSgTFc1JeopNB5sxe5f_tPY9xoCwL4QAvD_BwE

25) ВІІВ-003-М3 [Електронний ресурс] - Режим доступу до ресурсу: <http://proflab.com.ua/produkt/product-details/2364-izmeritel-shuma-i-vibracii-vshv-003-m3.html>

26) PCE-430 [Електронний ресурс] - Режим доступу до ресурсу: https://pragmatic.com.ua/pce_4301?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=PR_Standart_All_New2&utm_content=725969272730&utm_term=stua3901&gad_source=1&gclid=CjwKCAiAjp-7BhBZEiwAmh9rBW0PSSrUZWSHA2A0j1zwFOLAmUlrY_5bcYUyDr5ug-nvbmYo3TTv8hoCNEMQAvD_BwE

27) Методи вимірювання [Електронний ресурс] - Режим доступу до ресурсу: https://stud.com.ua/28669/bzhd/klasifikatsiya_zasobiv_vimiryuvan#588

28) A guide to the measurement and analysis of noise [Електронний ресурс] - Режим доступу до ресурсу: <https://www.epa.vic.gov.au/about-epa/publications/280>

29) ДСТУ EN 61672-1:2017 [Електронний ресурс] - Режим доступу до ресурсу: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=74822