


Вінницький національний технічний університет
Факультет інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії
Кафедра обчислювальної техніки

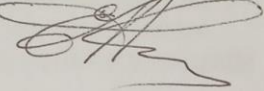
МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на тему:
Комп'ютерний вимірник акустичних шумів

Виконав: студент 2 курсу, групи 1КІ-21м
Спеціальності 123-комп'ютерна інженерія
(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Комарівський Д.О. 

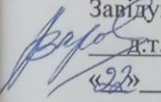
(прізвище та ініціали)

Керівник к.т.н., доц. ОТ Крупельницький Л.В.
(прізвище та ініціали)

Рецензент к.т.н., доц., каф. ПЗ Коваленко О.О.
(прізвище та ініціали) 

Допущено до захисту

Завідувач кафедри ОТ

 к.т.н., проф. Азаров О.Д.

«22» 12 2022.р

м.Вінниця - 2022 року

Вінницький національний технічний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії
Кафедра обчислювальної техніки
Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр комп'ютерної інженерії
Напрямок підготовки Інформаційні технології
(шифр і назва)
Спеціальність Комп'ютерна інженерія
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ОТ
д.т.н., проф. Азаров О.Д.

"15" 09 2022 року

ЗАВДАННЯ
НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

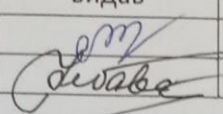
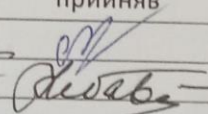
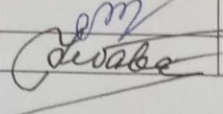
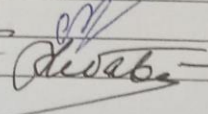
Комарівський Дмитро Олексійович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Комп'ютерний вимірювач акустичних шумів
керівник роботи Крупельницький Леонід Віталійович к.т.н. доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від "15" 09 2022 року № 205-А


2. Строк подання студентом роботи _____
3. Вихідні дані до роботи параметри, що вимірюються: діапазон вимірювання реверберації (20-20000 Гц), час реверберації (100-400 мс), рівень психофотметричних шумів (10-50 дБ). Розробити: алгоритми та програмне забезпечення комп'ютерного методу для вимірювання часу реверберації, рівня шумів для реалізації в аналізаторі параметрів звукових трактів АПЗТ-АЗ.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) вступ, 1 огляд акустичних параметрів приміщень та психофотметричних шумів та аналіз методів їх вимірювання, 2 розробка методів спектрального аналізу для вимірювань акустичних параметрів приміщень з використанням полігармонійних сигналів, 3 розробка програмного забезпечення вимірювача акустичних параметрів приміщень та психофотметричних шумів, 4 економічний розділ, висновки.
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) алгоритм програмного забезпечення для вимірювання акустичних параметрів приміщень, алгоритм програмного забезпечення для вимірювання психофотметричних шумів, скріншот результату роботи програми для вимірювання акустичних параметрів приміщень, скріншот результату роботи програми для вимірювання психофотметричних шумів
6. Консультанти розділів роботи

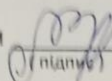
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1-3	Крупельницький Л.В., к.т.н., доц.		
4	Небава М.І., к.е.н., професор.		

7. Дата видачі завдання 06.09.2022р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Аналіз завдання. Вступ	24.09.22	викон.
2	Розробка технічного завдання	30.09.22	викон.
3	Огляд методів вимірювання реверберації в приміщеннях та психофотометричних шумів	10.10.22	викон.
4	Аналіз сучасних алгоритмів вимірювань акустичних параметрів приміщень	14.10.22	викон.
5	Розробка структурної схеми та програмного забезпечення	25.10.22	викон.
6	Розробка економічної частини	30.11.22	викон.
7	Аналіз виконання ТЗ, висновки	05.11.22	викон.
8	Попередній захист ДП	21.11.22	викон.

Студент  Комарівський Д.О.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи  Крупельницький Л.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Магістерська робота присвячена розробці комп'ютерного методу вимірювання акустичних параметрів приміщень та психофотричних шумів.

Перша частина містить теоретичні відомості для дипломної роботи, розглядає визначення звукових хвиль, теорію реверберації та основні характеристики приміщень і представляє теоретичні відомості про психофотричні звуки. Друга частина присвячена розробці структурних рішень аналізатора просторових параметрів - дається огляд існуючих методів і алгоритмів, вибір оптимального з них і деякі удосконалення від нього. Третя частина охоплює основні етапи розробки програмного забезпечення, такі як: дизайн інтерфейсу користувача, читання та обробка сигналу.

Також є розділ про економічне обґрунтування доцільності розробки. У кінці кожного розділу наводяться висновки розділу, а в кінці роботи - загальні висновки.

ABSTRACT

The master's thesis is dedicated to the development of computer-aided methods for measuring room acoustic parameters and psophometric noises.

The first part contains theoretical information for the thesis, deals with the definition of sound waves, the theory of reverberation and the main properties of rooms, and also provides theoretical information about psophometric sounds. The second part is devoted to the development of constructive solutions for room analyzers - an overview of existing methods and algorithms for selecting the best ones and some of their improvements. The third part covers the basic steps of software design, such as B. the design of the user interface, reading and processing of signals.

In addition, the economic justification for the design of the sections must be considered. At the end of each section, the conclusions presented in the section are given, and at the end of the work, general conclusions.

ЗМІСТ

ВСТУП	9
1 ОГЛЯД АКУСТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРИМІЩЕНЬ ТА ПСОФОМЕТРИЧНИХ ШУМІВ ТА АНАЛІЗ МЕТОДІВ ЇХ ВИМІРЮВАННЯ	11
1.1 Систематизація акустичних параметрів приміщень	11
1.2 Типи приміщень за акустичною характеристикою	12
1.3 Аналіз основних параметрів звукових хвиль	15
1.4 Процес реверберації звуку в приміщеннях	19
1.5 Амплітудно-частотна характеристика реверберації	22
1.6 Статистичний метод аналізу звукових полів	26
1.7 Ревербераційний метод вимірювання параметрів приміщень	28
1.8 Визначення акустичного шуму та його видів	29
1.9 Висновок	32
2 РОЗРОБКА МЕТОДІВ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛІЗУ ДЛЯ ВИМІРЮВАНЬ АКУСТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРИМІЩЕНЬ З ВИКОРИСТАННЯМ ПОЛІГАРМОНІЙНИХ СИГНАЛІВ	33
2.1 Характеристика об'єкту вимірювань	33
2.2 Основні вимоги до вимірювачів акустичних параметрів приміщень	39
2.3 Характеристика вимірювальних мікрофонів	40
2.4 Класифікація алгоритмів вимірювань акустичних параметрів за типом сигналу	42

					<p style="font-size: 1.2em; margin: 0;">08-08-23.МКР.005.00.000 ПЗ</p> <p style="margin: 0;">Комп'ютерний вимірювач акустичних шумів.</p> <p style="margin: 0;">Пояснювальна записка</p>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%; text-align: center;">Літ.</td> <td style="width: 33%; text-align: center;">Арк.</td> <td style="width: 33%; text-align: center;">Арквів</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"> </td> <td style="text-align: center;">6</td> <td style="text-align: center;">109</td> </tr> </table>	Літ.	Арк.	Арквів		6	109
Літ.	Арк.	Арквів										
	6	109										
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата								
Розроб.		Комарівський Д.О.										
Перевір.		Крупельницький Л.В.										
Реценз.		Коваленко О.О.										
Н. Контр.		Швець С.І.										
Затверд.		Азаров О.Д.										

ВНТУ, 1КІ-14м

2.5 Вибір методу вимірювань реверберації за типом алгоритму	45
2.5.1 Сучасні концепції вимірювань	46
2.5.2 Розташування джерел та приймачів звуку	48
2.5.3 Виникнення акустичних завод при встановленні обладнання	51
2.6 Розробка полігармонійного методу вимірювання частотних характеристик звукових каналів і трактів	52
2.7 Особливості застосування цифрових нерекурсивних фільтрів для псофометрів	58
2.8 Можливості реалізації комп'ютерних методів вимірювань акустичних параметрів приміщень	61
2.9 Розробка структурної схеми комп'ютерного аналізатора акустичних параметрів приміщень	63
2.10 Висновок	65
ЗРОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИМІРЮВАЧА АКУСТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ТА ПСОФОМЕТРИЧНИХ ШУМІВ	66
3.1 Аналіз вимогів і властивостей програми	66
3.2 Розробка алгоритму роботи програми	68
3.3 Розробка інтерфейсу користувача	71
3.4 Запис звуку	73
3.5 Розбиття реверберації на спектр	75
3.6 Обробка звуку шумоміром	80
3.7 Вибір комп'ютерних комплектуючих	83
3.8 Рекомендації користувачу ПЗ вимірювального комплексу	85
4 ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ	87
4.1 Суть технічної проблеми, яка виникла на сучасному етапі розвитку науки, техніки і технології	87

4.2	Способи вирішення технічної проблеми	88
4.3	Основні вимоги до розроблюваного засобу	89
4.4	Оцінювання комерційного потенціалу розробки	90
4.5	Прогнозування витрат на виконання науково-дослідної, дослідно-конструкторської та конструкторсько-технологічної роботи	93
4.6	Розрахунок кошторису витрат на розробку обладнання	93
4.6.1	Основна заробітна плата розробників	93
4.6.2	Витрати на основну заробітну плату робітників	94
4.6.3	Додаткова заробітна плата розробників та робітників, які приймали участь в розробці обладнання.....	95
4.6.4	Нарахування на заробітну плату розробників та робітників.....	95
4.6.5	Амортизація обладнання.....	96
4.6.6	Витрати на силову електроенергію.....	97
4.6.7	Інші витрати.....	97
4.6.8	Загальні витрати на проведення розробки обладнання	98
4.7	Прогнозування комерційних ефектів від реалізації результатів розробки	98
4.8	Розрахунок ефективності вкладених інвестицій та періоду їх окупності	100
4.9	Висновок	104
	ВИСНОВКИ.....	105
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	107
	ДОДАТКИ.....	110

					08-08-23.МКР.005.00.000 ПЗ	Анк.
Змн.	Анк.	№ док.м.	Піліпис	Дата		8

ВСТУП

Актуальність проблеми: вимірювання акустичних параметрів приміщень та шуму є важливим для вибору та контролю приміщень для телестудій, концертних залів тощо. Розроблені програми дають можливість вимірювати акустичні параметри приміщень та психофотричні шуми. використання тільки ноутбука з мікрофоном і вимірювання динаміків.

Предмет дослідження: процес вимірювання акустичних параметрів приміщень і психофотричних звуків.

Тема: Комп'ютерні методи вимірювання акустичних параметрів та психофотричного шуму в приміщеннях.

Мета і завдання: Підвищити точність і розширити діапазон вимірювання акустичних параметрів приміщень і психофотричних шумів приміщень шляхом створення комп'ютерного методу і алгоритму вимірювання. Для цього необхідно дослідити існуючі методи вимірювання параметрів приміщень і шуму, запропонувати метод, що дозволяє комплексно відобразити параметри приміщень і шум, і реалізувати його в програмному кодї.

Методи дослідження: систематизація та вибір оптимальних методів вимірювання з використанням аналітичних, статистичних моделей поширення звукових коливань, а також експериментальні дослідження. Алгоритмічні методи та методи цифрової обробки сигналів.

Матеріали досліджень складають повний комплекс теоретичних матеріалів досліджень, алгоритмів та програмного забезпечення для вимірювання акустичних параметрів приміщень та психофотричного шуму.

Наукова та практична цінність роботи:

- запропоновано метод вимірювання акустичних параметрів приміщень за допомогою полігармонічних сигналів;
- покращено вимірювання психофотричних шумів методом спектрального аналізу з цифровою фільтрацією;

– досліджено залежність результатів вимірювань від властивостей апаратної частини комп'ютера;

– оптимізовано інтерфейс програми та спосіб графічного відображення результатів вимірювань.

Практичним результатом роботи є комп'ютерні програми для вимірювання акустичних параметрів та психофотричних шумів приміщень. Застосування розробок дає можливість використовувати нові режими роботи аналізатора параметрів звукового тракту АПЗТ-АЗ.

Апробація і публікація за темою роботи Д.О. Комарівський, Л.В. Крупельницький Особливості комп'ютерного вимірювання акустичних шумів / Всеукраїнська НПК «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2021)». Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2021/paper/viewFile/13089/11011>.

1 ОГЛЯД АКУСТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРИМІЩЕНЬ ТА ПСОФОМЕТРИЧНИХ ШУМІВ ТА АНАЛІЗ МЕТОДІВ ЇХ ВИМІРЮВАННЯ

В даному розділі розглядаються властивості звукових коливань та їх параметри. Проводиться огляд і аналіз властивостей звукових коливань в приміщеннях різного типу та можливості їх комп'ютерного вимірювання. Визначаються основні параметри приміщень, а також можливості вимірювань звукових параметрів приміщень за допомогою комп'ютерних засобів.

1.1 Систематизація акустичних параметрів приміщень

У більш-менш великих закритих приміщеннях слухач сприймає не тільки прямий звук, але і ряд його відстрочених повторень, які викликані відображеннями на граничних поверхнях і виникають у швидкій послідовності. При відображенні звуку його енергія поглинається, кожне наступне повторення стає слабшим. Коли джерело звуку вимкнено, кількість відбитої енергії зменшується до повного її зникнення. Процес поступового ослаблення звуку називається реверберацією [3]. Час реверберації є найважливішим фактором, що визначає акустичну якість залів. Якщо загасання відбувається занадто повільно, мова і музика звучать недостатньо чітко, якщо реверберація коротка, мова звучить занадто глухо, а звуки музики втрачають зв'язність і виразність. Навіть при оптимальному значенні часу реверберації акустичні властивості залу можуть сильно відрізнятися в різних напрямках через різні шляхи відбивання від джерела звуку до слухача. Найбільш сприятливі умови відрізняються не тільки для мови та музики, а й для інших видів музики (камерна, естрадна, симфонічна). Тому акустичне оформлення концертних залів (вибір форми, розміщення глядачів, обробка граничних поверхонь розсіювальними і поглинаючими конструкціями, використання підвісних відбивачів і т. д.) часто вимагає

компромісних рішень. У залах великої місткості умови прослуховування можна покращити за допомогою електроакустичних систем.

Коли звукова хвиля стикається з перешкодою, частина звукової енергії поглинається перешкодою, частина відбивається нею, а частина повторно випромінюється перешкодою.

Раніше в будівельну акустику входили питання про ізоляцію приміщень від шуму, що проникає ззовні; тепер ці проблеми виділили в окрему область – будівельну акустику. Методи будівельної акустики також використовуються в техніці шумозаглушення будівель [4]. При експериментальному дослідженні акустичних властивостей приміщень в якості джерела звуку часто використовують імпульсний сигнал. При цьому реєструється послідовність прийнятих прямих і відбитих поверхнею сигналів.

У будівельній акустиці виділяють більш сувору хвильову теорію і менш сувору, але більш зручну для інженерних розрахунків геометричну теорію, в якій напрямок поширення і межі основної частини потоку звукової енергії, що проходить звукові хвилі падаючи на перешкоду або відбиваючись, зображуються прямими променями. Чим коротша довжина звукової хвилі порівняно з розміром перешкоди, тим правильніші геометричні зображення. Загалом ранні відбиття містять більше енергії, ніж ревербераційні. Крім того, ранні відображення безпосередньо залежать від геометричних форм простору і унікальні для кожної конкретної точки простору. Таким чином, акустичні параметри кожної точки в кімнаті визначаються комбінацією прямого звуку і ранніх відбитків, що надходять в цю точку [5].

1.2 Типи приміщень за акустичною характеристикою

Об'єктивні параметри, такі як час реверберації, структура резонансної частоти, час падіння та напрямок ранніх відображень тощо, отримані за допомогою хвильової, статистичної або геометричної теорії, є основою для оцінки акустичних властивостей різних просторів (концертних залів, студій, театрів), аудиторії тощо). Однак, оскільки проблема декодування процесу

формування просторового слухового образу на основі отриманої інформації про об'єктивні параметри не може вважатися остаточно вирішеною, суб'єктивні оцінки відіграють важливу роль в оцінці якості звучання музики та мови в різних залах. . В останні роки різні дослідники доклали значних зусиль, щоб встановити зв'язок між об'єктивно вимірними параметрами звукового поля в приміщеннях і суб'єктивною оцінкою якості звучання музичних і мовних програм, розташованих там [6]. У літературі з цих питань опубліковано численні (іноді суперечливі) результати. Найбільш детальні дослідження здійснені Л. Беранеком [7] і М. Шредером.

Суб'єктивна оцінка акустики приміщення для музично-мовленнєвих програм викликає значні труднощі, оскільки вимагає вирішення наступних завдань: вибір методу оцінювання; вибір критеріїв оцінювання; Встановлення їх зв'язків з об'єктивними параметрами тощо. Вибір методу оцінювання: усі використані методи є спеціально організованими аудіюваннями, які проводяться одним із таких способів:

- у штучно створених умовах, наприклад у синтезованому звуковому полі, що створюється в демпфованій камері та поширюється системою гучномовців;
- за допомогою стереофонічних записів, зроблених в тестовій залі на «штучну голову» для подальшого прослуховування через навушники;
- шляхом безпосереднього прослуховування оркестру або виконавців у тестованих залах досвідченими експертами зі статистичною обробкою їхніх оцінок [8].

У будь-якому разі результати суб'єктивних оцінок акустики приміщення суттєво залежать від відбору експертів: їх загальної та музичної культури, досвіду слухання, смаку, професії тощо. D. Вибір критеріїв оцінки: Одна з перших спроб створити «словник» Л. Беранека [7] взявся за складання критеріїв суб'єктивної оцінки акустики мюзик-холів. На основі власного досвіду та інтерв'ю з відомими диригентами, музикантами та досвідченими слухачами він вибрав із багатьох суб'єктивних оцінок різних залів (теплий, холодний, порожній, глухий тощо) і запропонував десятку найбільш значущих і незалежних. Незважаючи на те, що

ця методика викликала ряд заперечень експертів, вона послужила поштовхом для численних досліджень. Деякі з результатів цих досліджень зараз включено до стандартів. До найпоширеніших суб'єктивних критеріїв оцінки акустичної якості приміщень належать: жвавність, наповненість, чіткість, чіткість, задушевність, теплота, просторовість, гучність (гучність), збалансованість (баланс), ансамбль (ансамбль), тембр (тембр). як негативні чинники - луна, тріпотливе відлуння, що заважає шуму. У деяких роботах пропонуються додаткові параметри, наприклад рівність, атака, текстура.

Перш ніж приступити до встановлення зв'язку між суб'єктивними оцінками якості звучання та об'єктивними параметрами, була проведена загальна класифікація всесвітньо відомих концертних залів за якістю звучання різноманітних музичних творів, які в них містяться, на основі анкетування опитаних музикантів, музичних критиків, слухачів тощо d. У результаті всі розглянуті зали (більше півсотні в різних країнах світу) були об'єднані в три групи - А, В, С - за якістю звучання виконуваних в них творів. Відповідно в цих залах вимірювали об'єктивні параметри ревербераційного процесу [9].

Однак дослідження суб'єктивної оцінки якості звуку в різних приміщеннях змусили ввести ряд додаткових параметрів, які більш тонко характеризують процес реверберації. Ось деякі з них:

– «Ранній звук» визначається як прямий звук і відбиття, які надходять у перші 80 мс після надходження прямого звуку. Крім того, важливе значення має напрямок надходження цих ранніх звуків. Наприклад, звуки, що доносяться з бічних стінок в перші 80 мс, створюють відчуття просторового розширення джерела звуку, що покращує якість сприйняття музики;

– «Гучність ранніх звуків» визначається енергією прямого звуку та енергією відбитих звуків, що надходять у перші 80 мс;

– «гучність реверберації» визначається загальною звуковою енергією, що досягає слухача через 80 мс;

- «час ранньої реверберації» - час загасання звуку після вимкнення джерела, коли рівень звукового тиску зменшується на 10 дБ. Крім того, час

реверберації (RP) використовується для порівняння з суб'єктивними оцінками, коли звуковий тиск падає від -5 до -35 дБ у повних залах;

- «внутрішньослуховий коефіцієнт крос-кореляції» (ICC) визначається як коефіцієнт кореляції сигналів, отриманих обома вухами (зазвичай використовується час інтеграції від 0 до 80 мс у трьох октавних діапазонах із центральною частотою 500, 1000 і 2000 Гц). Цей коефіцієнт характеризує ступінь відмінності між звуковими сигналами в обох вухах як за часом надходження, так і за амплітудою.

Крім того, низка інших параметрів (еквівалентна реверберація, розподіл рівня звукового тиску тощо) використовується для порівняння з суб'єктивними оцінками. Порівняння результатів суб'єктивних досліджень у зазначених залах із зазначеними параметрами показало чіткий зв'язок між загальним враженням від акустики залу та часом реверберації [8]. У кращих концертних залах, відібраних за результатами суб'єктивних досліджень, середній час реверберації становить 2,02 с.

1.3 Аналіз основних параметрів звукових хвиль

Однією з основних характеристик звукової хвилі є її довжина (визначається кількістю періодів/циклів зміни тиску в одиницю часу), амплітуда (максимальна різниця між найвищим і найнижчим тиском у межах циклу), форма хвилі, тощо [10].

Відстань, яку звукова хвиля проходить зі швидкістю звуку за один цикл на даній частоті, називається довжиною хвилі (λ). Повний цикл означає підвищення тиску повітря, проходження його через точку максимального розрідження, потім зменшення тиску, проходження через «нульову позначку», подальше зниження тиску шляхом проходження через точку максимального розрідження, а потім збільшення тиску. початкове значення. Таким чином містить цикл

має два півперіоди: напівцикл тиску й напівцикл розрідження (рис. 1.1). Кількість повних циклів змін тиску за одиницю часу називається частотою (f). Частота звукової хвилі вимірюється в кількості повних циклів за секунду, а саме – у герцах [8].

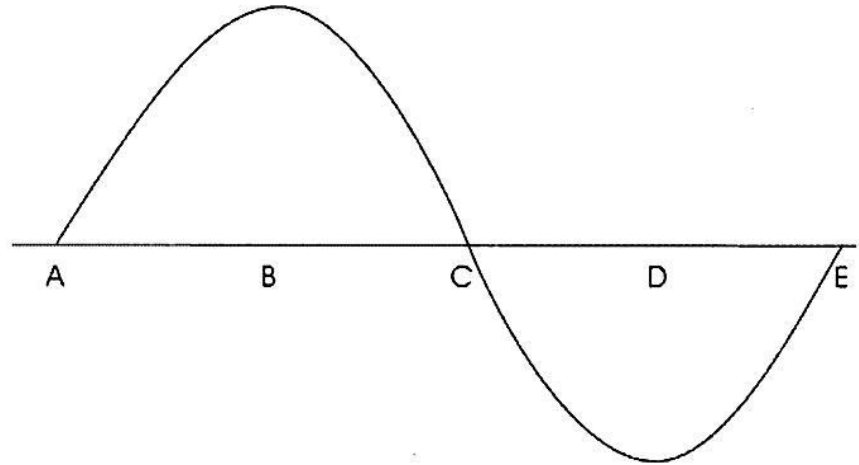


Рисунок 1.1 – Звукова хвиля синусоїдальної форми,

де B - точка найвищого тиску;

D - точка максимального розрідження;

A-C - напівцикл тиску;

C-D - напівцикл розрідження.

Звукова хвиля поширюється по кімнаті від свого джерела (колонки, музичний інструмент тощо) і поширюється до тих пір, поки не досягне граничних поверхонь цієї кімнати: стін, підлоги, стелі тощо. Частина енергії звукової хвилі (особливо низькочастотної) діапазону) проникає крізь стіни, частина поглинається стінами, а частина відбивається назад у центр кімнати. У різному ступені майже завжди присутні всі три типи розподілу звукової енергії.

Відбита звукова хвиля, втративши частину своєї енергії, змінює напрямок і поширюється до тих пір, поки не досягне інших поверхонь в кімнаті, від яких знову відбивається, втрачаючи частину своєї енергії і т. д. Це триває до тих пір, поки енергія звукової хвилі остаточно вимерла.

Якщо довжина окружності кола дорівнює циклічній синусоїді (відстань від А до Е), то радіальна лінія цього кола при обертанні показуватиме кут, що дорівнює значенню фази синусоїди при а дана точка (рис. 1.2) [11].

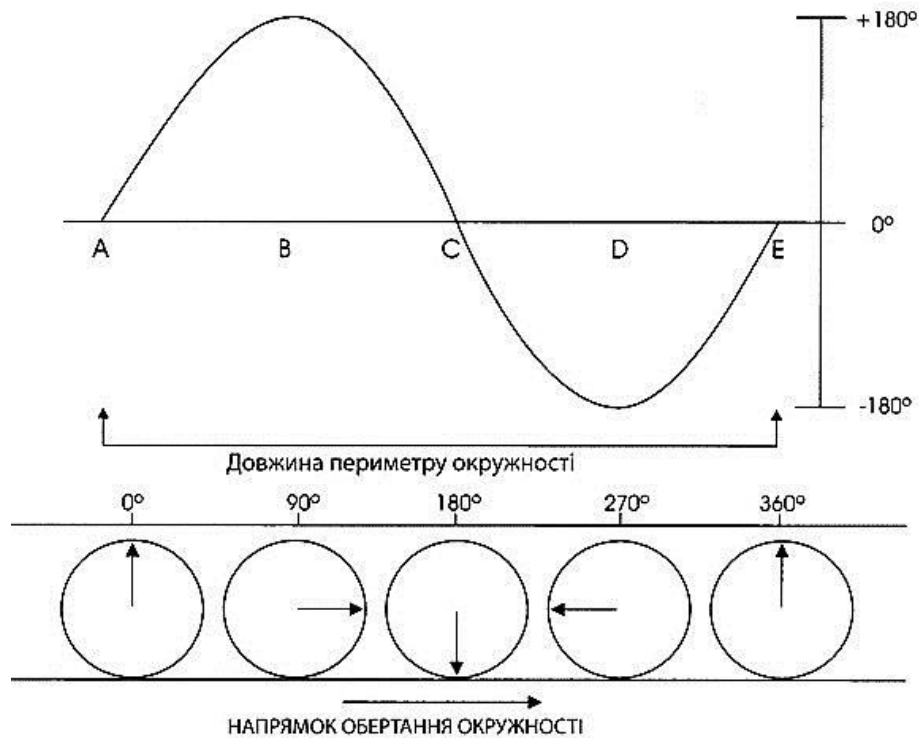


Рисунок 1.2 – Гармонійна хвиля; амплітуда і фаза

Коли звукова хвиля потрапляє на поверхню, вона частково відбивається під тим самим кутом, під яким вона вдаряється про цю поверхню, але фаза звукової хвилі не змінюється. Отже, звуковий образ можна подати у вигляді рисунка 1.3.

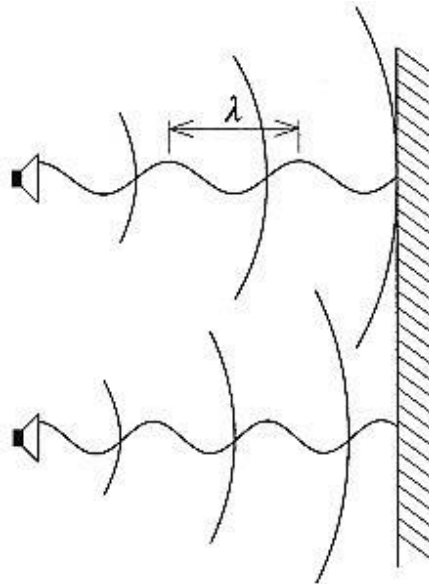


Рисунок 1.3 – Фазова залежність віддзеркалених хвиль,

де λ – довжина хвилі.

Звукові хвилі різної частоти (і, отже, різної довжини), випромінювані джерелом звуку з однаковою фазою, досягнуть поверхні з іншою фазою на однаковій відстані.

Відомо, що зміна фази на 180° призводить до зміни полярності. Отже, якщо ви змішуєте два сигнали з однаковою частотою та амплітудою, але зміщені по фазі на 180° , ці сигнали гасять один одного.

Поворот фази сигналу на 360° або 720° відповідає відповідній кількості повних циклів, що означає повернення до нульового значення фази [12].

Тому при зіткненні звукової хвилі з поверхнею фаза звукової хвилі не змінюється. Було також встановлено, що існує залежність між відстанню, пройденою звуковою хвилею, і фазою. Це означає, що при попаданні на поверхню розділу фаза звукової хвилі залежить від відстані від джерела звуку до поверхні та від частоти цієї звукової хвилі. Хвилі різної частоти, що поширюються від одного джерела, приходять на поверхню, що відбиває, з різними фазами. Фазу відбитої звукової хвилі можна розрахувати за загальною відстанню, пройденою хвилею від її джерела до поверхні розділу та назад. Якщо

ця загальна відстань, поділена на довжину хвилі, є цілим числом, то фаза хвилі збігається на початку і в кінці її шляху [11].

1.4 Процес реверберації звуку в приміщеннях

Реверберація - це «післязвук», що залишився в закритих приміщеннях. Він створюється багаторазовим відбиттям на поверхнях і одночасним поглинанням звукових хвиль. Реверберація характеризується періодом (у секундах), протягом якого потужність звуку зменшується на 60 дБ [9].

Явище реверберації полягає в накладенні різних ехо-сигналів від джерела звуку. Ефект реверберації можна спостерігати в закритих приміщеннях після вимкнення джерела звуку. Художньо-естетичне враження, яке створює реверберація, залежить від контексту звукового твору і визначається у вищих відділах мозку. Зазвичай надмірна тривалість реверберації призводить до неприємного гулу, «порожнечі» приміщення, а недостатня – до різкого переривчастого тону без музичної «соковитості». Штучно створена реверберація в певних межах сприяє поліпшенню якості звуку і створює відчуття приємного «резонансу» приміщення [7].

При записі мови, вокалу, музики, а також створенні різних шумових ефектів використання штучної реверберації є невід'ємною частиною загальної обробки звукового сигналу. Цей вид обробки визначається як технічними умовами запису, так і художньо-естетичними завданнями. Реверберація використовується для посилення і посилення художньої виразності мови, співу, звучання певних музичних інструментів. Наприклад, під час запису музичних програм у приміщенні з незадовільною акустикою або низькою гучністю певний склад виконавців зазвичай не може досягти необхідного балансу між гучністю та чистотою звуку. У цьому випадку використання штучної реверберації дає можливість покращити якість звучання музичної програми. Так само, при записі співака або сольного інструменту, реверберація допомагає створити необхідне

акустичне забарвлення голосу або інструменту, оскільки він «занурюється» в звучання супроводжуючого ансамблю [4].

За допомогою реверберації можна створити ефект наближення і віддалення від джерела звуку. Для цього рівень реверберації поступово змінюється, створюючи ілюзію зміни акустичного співвідношення, тобто враження зміни звукового образу. При озвучуванні відеофільму або звуковому оформленні презентації часто виникає потреба підкреслити акустичні умови конкретного місця проведення заходу. Для цього також використовується ефект реверберації.

Через млявість слуху люди мають здатність зберігати (інтегрувати) слухові відчуття та об'єднувати їх у загальне враження, якщо вони тривають не довше 50 мс (точніше 48 мс). Тому всі хвилі, які досягають вуха протягом 50 мс від вихідного звуку, додаються до корисного звуку. Затримка 50 мс відповідає різниці шляху 17 м. Згруповані звуки, що надходять пізніше, сприймаються як відлуння. Відображення від бар'єрів, що потрапляють в заданий проміжок часу, корисні і бажані, так як підвищують сприйняття гучності на значення 5-6 дБ, покращують якість звуку, надають звуку «жвавність», «пластичність». », «круглий» «ємність» [8-й]. Час реверберації зазвичай визначається як час, потрібний для зменшення гучності сигналу на 60 дБ (або до $1/1000000$ від початкового значення). Цей час позначається математичними символами. Час реверберації - це об'єктивна оцінка параметрів звукового дизайну, які окреслюють звукопоглинання.

Час затримки залежить від багатьох чинників, зокрема:

- розмір і форма приміщення;
- тип і розподіл будівельних матеріалів;
- частоти звуку;
- положення джерела звуку;
- вологості і температури.

Для обчислення часу реверберації використовують формулу, яка належить Себіну, першому досліднику архітектурної акустики:

$$T = \frac{0.164V}{A}, \quad (1.1)$$

де V — це об'єм приміщення;

A — загальний фонд звукопоглинання.

$$A = a_1 S_1 + a_2 S_2 + \dots, \quad (1.2)$$

де a_i — коефіцієнт звукопоглинання (залежить від матеріалу, його дисперсних, або фрикційних характеристик);

S_i — площа кожної поверхні [13].

Значно впливає час затримки ранніх відображень по відношенню до часу надходження прямого звуку і відносно один одного. Для найкращого звучання мови та музики час затримки має бути різним. Хороша розбірливість мови досягається, коли перший сигнал надходить не пізніше, ніж через 10 - 15 мс після прямого, а всі три мають бути на відстані 25 - 35 мс один від одного. При прослуховуванні музики найкраще відчуття простору і «прозорості» досягається, коли перше відображення досягає слухача не раніше ніж через 20 мс і не пізніше ніж через 30 мс після прямого сигналу. Всі три затримані сигнали повинні бути в інтервалі часу 45 - 70 мс [14].

Найкращий просторовий ефект досягається, коли рівні затриманих вихідних сигналів незначно відрізняються один від одного і від рівня прямого сигналу. При підключенні до структури початкових відбитків решти реверберації найбільш сприятливий звук виходить у тому випадку, коли друга частина процесу починається після всіх дискретних відображень. Підключення процесу реверберації відразу після прямого сигналу погіршує якість звуку [15].

При забезпеченні оптимальної структури перших (ранніх) відображень звучання музики залишається хорошим навіть при значному (на 10-15%) відхиленні часу реверберації від рекомендованого. Щоб досягти оптимальної затримки відбитих сигналів порівняно з прямим звуком, необхідний мінімальний об'єм приміщення, який не повинен порушуватися. Між тим, проектуючи приміщення, його розміри вибираються із заданої місткості, тобто проблема вирішується чисто економічно, а це неправильно. Навіть у невеликому концертному залі оптимальна структура ранніх відображень може бути досягнута лише при заданій висоті та ширині залу перед сценою, який не можна опускати. Наприклад, відомо, що звучання симфонічного оркестру в залі з низькою стелею значно гірше, ніж у залі з високою [4].

1.5 Амплітудно-частотна характеристика реверберації

Кожен складний тон складається з серії коливань різних частот, співвідношення рівнів яких абсолютно визначено для цього тону.

Звичайно, при передачі звуку повинні зберігатися первинні співвідношення між частотними складовими звуку. Він оцінює якість будь-якої ділянки звукового каналу на основі його амплітудно-частотної (скорочено частотної) характеристики, яку часто називають аббревіатурою частотної характеристики. АЧХ позначає графік залежності коефіцієнта передачі від частоти сигналів, що надходять на вхід даної ділянки каналу або окремого звукотехнічного пристрою. Коефіцієнт передачі - це відношення величин сигналів на виході підсилювача і на його виході [16].

В ідеалі підсилена вихідна напруга підсилювача повинна бути однаковою на всіх частотах. Графічно частотна характеристика такого підсилювача – пряма лінія, паралельна осі частот, на рисунку 1.4– крива а.

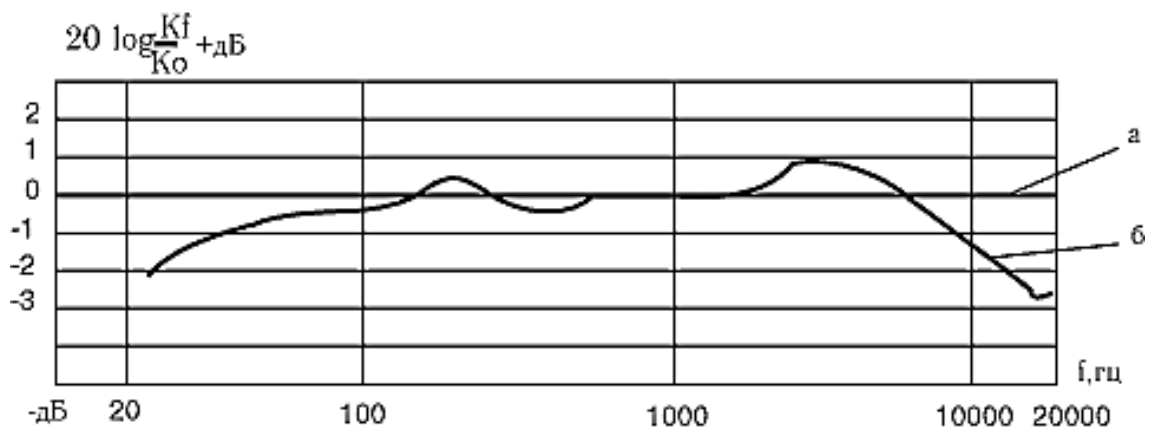


Рисунок 1.4 – Частотні характеристики:

де а – ідеальна частотна характеристика;

б – можливий приклад реальної.

У реальних умовах АЧХ не є лінійною у всьому діапазоні звукових частот (від 20 до 20 000 Гц) через наявність у ланцюзі котушок індуктивності та конденсаторів, які змінюють свій опір змінному струму при зміні його частоти [10].

Частотну криву можна побудувати, якщо по осі абсцис відкласти логарифмічну шкалу частот, а по осі ординат відкласти значення відношення коефіцієнтів пропускання на відповідних частотах до коефіцієнта пропускання на середній частоті. Б. на частоті 1000 Гц, виражаються в децибелах. АЧХ зазвичай демонструє падіння як нижніх, так і вищих частот звукового діапазону (крива б) [13].

Це означає, що посилення на нижніх і високих частотах менше, ніж на середніх. У таких випадках зазвичай говорять про блокування АЧХ в цих областях. Якщо підсилення на деяких частотах перевищує середнє, кажуть, що частотна характеристика в цьому діапазоні збільшується.

Тепер розглянемо, як АЧХ впливає на якість відтворення. Високі та низькі частоти в діапазоні вищих і нижчих звукових частот складають суть спотворення частоти. Суб'єктивно вони сприймаються так: високочастотні перешкоди (від 2 до 3 кГц) роблять звук глухим і погіршують розбірливість мови. Надмірне

підсилення (підвищення) високих частот призводить до підкреслення шиплячих і свистячих шумів і до неприродно різкого звуку в музиці, який дратує слух [15].

Перевантаження нижніх частот (100-200 Гц і нижче) позбавляє звук повноти, соковитості, псує красу тембру, а надмірне їх посилення викликає відчуття неприємного, булькаючого звуку [13].

Величина нерівномірності АЧХ в діапазоні звукових частот нормується. Нормалізація враховує видимість слухових спотворень.

Для студійної частини тракту передачі звуку (радіомовлення і телебачення) і для професійних студій звукозапису нерівномірність АЧХ в робочому діапазоні частот (для приладів вищого класу якості - від 30 до 15000 Гц) повинна не перевищує 1 дБ, тобто X. коефіцієнти передачі на різних частотах не повинні відрізнятися більш ніж на 12%.

При проектуванні звукового тракту від декількох підсилювачів і ділянок довгих з'єднувальних ліній необхідно подбати про те, щоб усі секції мали майже лінійну АЧХ. Якщо цього неможливо досягти безпосередньо, зазвичай використовується метод компенсації частотних спотворень. Цей метод полягає у вставці спеціального коригувального елемента послідовно з елементом, що вносить спотворення, АЧХ якого є як би дзеркальним відображенням АЧХ, що підлягає корекції. Наприклад, якщо довга лінія через наявність ємності між її двома проводами «забиває» високі частоти на 10 дБ, то послідовно з нею включається коригувальний елемент (ланцюг), що підвищує високі частоти на ті ж 10 дБ. У цьому випадку результуюча АЧХ є лінійною [9].

За допомогою сучасних комп'ютерних програм, таких як ODEON, CATТ, ORPHEUS та інші, можна провести детальний розрахунок структури звукового поля в приміщеннях будь-якої складності. Розрахунки базуються на трьох статистичних, геометричних і хвильово-теоретичних методах, які дозволяють розрахувати властивості імпульсу в будь-якій точці приміщення (розподіл звукового тиску і рівнів звукової потужності, структуру процесу реверберації, включаючи кількість, час і напрямки) . приходу та рівнів ранніх відображень

(рис. 1.5, 1.6), час стандартної, еквівалентної, ранньої реверберації, величину міжслухового коефіцієнта кореляції та десятки інших параметрів).

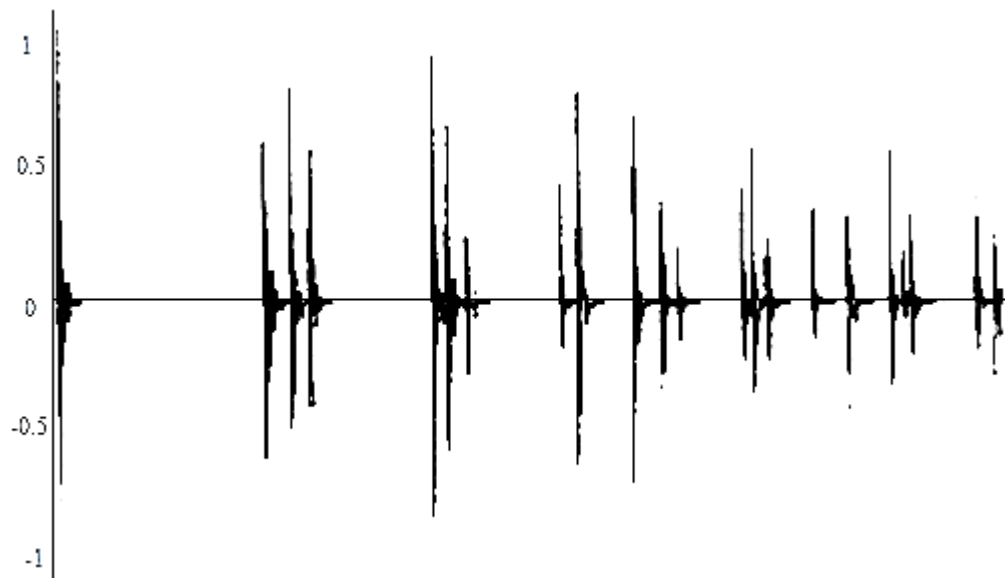


Рисунок 1.5 – Імпульсні параметри приміщення

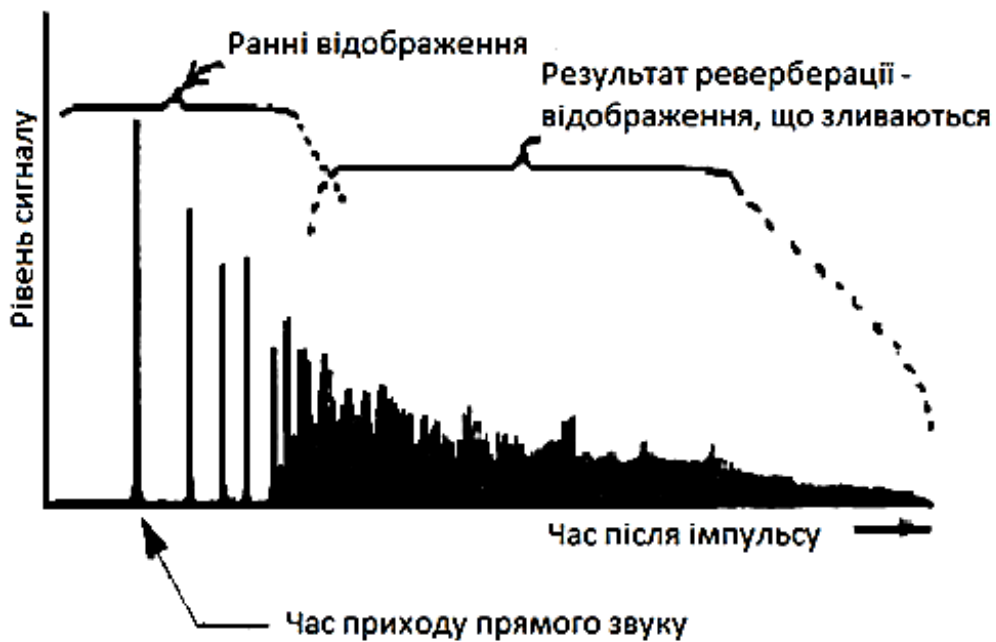


Рисунок 1.6 – Структура ревербераційного процесу

Кожна з цих теорій працює найбільш ефективно для свого діапазону частот і дозволяє отримати інформацію про різні властивості процесу реверберації. Хвильова теорія в основному використовується в області низьких частот і

дозволяє розрахувати резонансні частоти в приміщенні і розподіл рівнів звукового тиску в ньому.

Геометрична теорія застосовується в діапазоні високих частот і дозволяє отримати інформацію про структуру ранньої частини процесу реверберації за допомогою геометричного аналізу шляху звукового променя [13].

1.6 Статистичний метод аналізу звукових полів

Статистичний метод аналізу звукового поля є приблизним, він застосовний лише до дифузного поля в обмеженому діапазоні частот і для певних зон у кімнаті - його не можна використовувати для аналізу звукового поля поблизу сцени або поблизу сильно демпфованих зони в кімнаті, наприклад Кімната, крім того, вона не дозволяє врахувати розподіл амплітуд і фаз сигналу в кімнаті і дає лише середні значення енергії різних характеристик звукового поля. Проте статистична теорія за певних умов дозволяє створити фізичне уявлення про процеси формування звукового поля в просторі та зробити досить простий розрахунок деяких їх властивостей. В даний час методи статистичної теорії широко використовуються для оцінки параметрів звукового поля в студіях, концертних залах та інших приміщеннях. Основним критерієм оцінки кривої реверберації, визначеної за допомогою статистичної теорії, є стандартний час реверберації [5].

Стандартний час реверберації - це такий проміжок часу T (с), протягом якого щільність звукової енергії зменшується в 106 разів порівняно з первинною щільністю, а рівень енергії зменшується на 60 дБ. Його величина оцінюється за формулою Ейрінга:

$$T = \frac{0,161 * V}{-S * \ln(1 - \alpha_{cp})} \quad (1.3)$$

де V - об'єм приміщення;

S - площа внутрішніх обмежуючих поверхонь;

α_{cp} - середній коефіцієнт поглинання.

При невеликих коефіцієнтах поглинання ($\alpha_{cp} < 0,2$) цей вираз може бути спрощений і представлений в наступному виді (формула Себина) [8] :

$$T = \frac{0,161 * V}{\alpha_{cp} * S}. \quad (1.4)$$

Ці дві формули є основними для оцінки акустичних параметрів різних приміщень (студій, концертних залів тощо). Слід зазначити, що вони не враховують вплив форми приміщення і розташування звукопоглиначів і дають трохи завищені значення часу реверберації, але, незважаючи на їх приблизний характер, розрахунки забезпечують прийнятну точність для практика.

Практично всі стандарти і вимоги стандартів і міжнародних рекомендацій зводяться до вимог щодо забезпечення конкретного часу реверберації.

Обґрунтування причини обмеження застосовності статистичних методів у приміщеннях великого об'єму потребує додаткового пояснення. Передумови статистичної теорії ближчі до реальності, ніж велика кількість відображень, які зазнає звукова енергія під час її розпаду. З цього випливає, що положення статистичної теорії незастосовні до великих приміщень і до приміщень з великим середнім коефіцієнтом поглинання. В обох випадках кількість відображень виявляється занадто малою [4].

1.7 Ревербераційний метод вимірювання параметрів приміщень

Метод реверберації пов'язаний з отриманням тимчасових параметрів приміщення, тому не в повній мірі відповідає сучасним вимогам створення акустичного образу в досліджуваному приміщенні. Інформація про акустичні дефекти іноді настільки неповна і навіть невірна, що приміщення з однаковими

часовими параметрами істотно відрізняються за акустичними властивостями. Це пов'язано з тим, що зазначені параметри не враховують значну кількість факторів, що впливають на формування звукового поля. Не враховуються такі фактори: форма приміщення; шар світловідбиваючих і звукопоглинальних матеріалів; розташування джерела звуку та його спрямованість [17].

Звуковий тиск і інтенсивність звуку є точковими характеристиками звукового поля. Вони залежать від положення точки вимірювання та умов поширення звукових хвиль. Звукова потужність не залежить від зазначених факторів і тому є унікальною мірою гучності конкретного джерела шуму.

Експериментально перевірено придатність приміщення для вимірювання шуму в умовах вільного далекого поля. При цьому висуваються такі вимоги:

- сторонні шуми (перешкоди), що проникають у приміщення, мають бути не менше ніж на 10 дБ слабшими від сумарного шуму приладу та перешкод як за загальним рівнем, так і за рівнем окремих складових спектру в робочому діапазоні частот; інакше необхідно внести зміни;

- падіння рівня звукового тиску в дальній зоні джерела звуку при подвоєнні відстані від джерела до точки вимірювання має становити не менше 6 дБ;

- у кімнаті не повинно бути видно стоячих хвиль, принаймні в місцях розміщення мікрофонів [12].

Під час використання мікрофонів слід враховувати кілька факторів. Зокрема, зауважимо, що чим вища частота вимірювання, тим меншим має бути розмір мікрофона [16]. Щоб не спотворювати звукове поле, мікрофонні приймачі комп'ютера, з'єднувальні кабелі повинні мати невеликі розміри по відношенню до довжини звукової хвилі, а відстань між мікрофоном і оператором, який керує комп'ютером, повинна бути не менше 1 м. слід звести до мінімуму індуковані електричні та магнітні поля, які особливо помітні на довгих кабелях.

1.8 Визначення акустичного шуму та його видів

Шум - це коливання частинок навколишнього середовища, які сприймаються органами слуху людини як небажані сигнали. З точки зору акустики: шум – це нестабільні або випадкові акустичні коливання, що характеризуються випадковою зміною амплітуди та частоти.

За походженням звуки бувають:

- аеродинамічного походження - шум, що створюється в газах;
- гідродинамічного походження - шуми, що утворюються в рідинах;
- електромагнітного походження - шум, що створюється вібрацією елементів електромеханічних пристроїв під дією змінних магнітних сил;
- механічного походження - шум, що виникає від вібрації поверхонь машин і апаратів, а також від ударів у з'єднаннях деталей, вузлів або конструкцій в цілому. За частотною характеристикою шуми звукового діапазону частот поділяються на:

- низькочастотний (<400 Гц);
- середньочастотний (400—1000 Гц);
- високочастотний (>1000 Гц) [18].

У деяких областях техніки, особливо в електроніці та акустиці, існує абстрактне поняття кольору шуму, яке призначає певний колір шумовому сигналу на основі його статистичних властивостей. Однією з таких властивостей, яку можна використовувати для розрізнення типів шуму, може бути спектральна щільність (розподіл потужності по частотах). За кольором прийнято розрізняти такі види шуму: білий шум, рожевий шум, червоний (коричневий) шум і сірий шум. Іноді виділяють також інші різновиди [19].

Білий шум - це постійний шум, спектральні компоненти якого рівномірно розподілені по всьому діапазону частот. Прикладами білого є шум водоспаду або шум Шоттки на з'єднаннях з високим опором. Свою назву він отримав від білого світла, яке включає електромагнітні хвилі на частотах у всьому видимому діапазоні електромагнітного випромінювання.

У природі та техніці не існує такого поняття, як ідеальний білий шум (тобто білий шум, який має однакову спектральну потужність на всіх частотах),

оскільки такий сигнал мав би нескінченну потужність, але білий шум можна визначити як будь-який шум з однаковою (або майже однаковою) спектральною щільністю) у цьому діапазоні частот.

Білий шум широко використовується у фізиці та техніці, особливо в будівельній акустиці – щоб приховати небажані шуми всередині будівель, генерується постійний білий шум низької амплітуди.

В електронній музиці білий шум використовується як один із інструментів музичного аранжування і як вхідний сигнал для спеціальних фільтрів, які створюють шумові сигнали іншого роду. Він також зазвичай широко використовується в синтезі звукових сигналів для відтворення звуку ударних інструментів, таких як тарілки.

Білий шум використовується для вимірювання частотних характеристик різних лінійних динамічних систем, таких як підсилювачі, електронні фільтри, дискретні системи керування тощо. Якщо на вхід такої системи подати білий шум, то на виході ми отримаємо сигнал реакції системи на наданий вплив. Завдяки тому, що амплітудно-фазочастотна характеристика лінійної системи є відношенням Фур'є-перетворення вихідного сигналу до Фур'є-перетворення вхідного сигналу, отримати цю характеристику математично досить просто, і для всіх частот, оскільки вхідний сигнал можна розглядати як білий шум. У багатьох генераторах випадкових чисел (як програмних, так і апаратних) білий шум використовується для генерації випадкових чисел і випадкових послідовностей [19].

Рожевий шум (мерехтливий шум) — це шум, спектральна щільність якого змінюється з частотою f відповідно до закону $1/f$. Це забезпечує однакову енергію сигналу перешкоди для кожної октави. Прикладом рожевого шуму є звук пролітає гелікоптера. Іноді рожевим шумом називають будь-який шум, спектральна щільність якого зменшується зі зменшенням частоти.

Червоний шум (броунівський шум) — шумовий сигнал, який відтворює броунівський рух. Оскільки англійською він називається Brown noise, його назву часто перекладають як коричневий шум.

Спектральна щільність червоного шуму пропорційна $1/f^2$, де f — частота. Це означає, що шум має більше енергії на низьких частотах. Енергія шуму падає на 6 децибел на октаву. Акустичний червоний шум звучить приглушено порівняно з білим або рожевим шумом.

Сірий шум – це шумовий сигнал, який відповідає психоакустичній кривій постійної гучності на всіх частотах, тобто X . для людського вуха він однаково гучний на всіх частотах.

Існуючі стандарти передбачають максимально допустимий рівень шуму 85 дБ. Рівень звукового тиску на частотах 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 Гц не повинен перевищувати 99, 92, 86, 83, 80, 78,76 або 74 дБ [20].

Слух людини по-різному чутливий до звуків різної частоти. Тому при вимірюванні шуму доцільно використовувати так звані психометричні фільтри, які відповідним чином формують амплітудно-частотну характеристику на вході вимірювального пристрою. Психометричні фільтри стандартизовані як у сфері зв'язку, так і в мовленні.

Особливістю людського слуху є також певна динамічна властивість слухового відчуття, яка означає, що результати вимірювань повинні бути інтегровані з певною постійною часу. Зазначені психометричний та інтегруючий фільтри при проведенні комп'ютерних вимірювань повинні бути реалізовані у вигляді цифрових нерекурсивних фільтрів.

1.9 Висновок

У першому розділі розглянуто основні теоретичні визначення аналізу акустичних параметрів приміщення за допомогою реверберації. Також порівнюються хвильова, статистична та геометрична теорії. Перевіряються основні параметри приміщень та основні недоліки при вимірюванні акустичних параметрів різних приміщень.

РОЗРОБКА МЕТОДІВ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛІЗУ ДЛЯ ВИМІРЮВАНЬ АКУСТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРИМІЩЕНЬ З ВИКОРИСТАННЯМ ПОЛІГАРМОНІЙНИХ СИГНАЛІВ

У цьому розділі будуть вказані етапи розробки конструкції аналізатора, а також необхідні параметри приміщення і об'єктів в ньому. Крім того, визначено істотні вимоги до аналізаторів цього типу та вимірювальних приладів. Наведено класифікацію та порівняння існуючих алгоритмів і концепцій.

2.1 Характеристика об'єкту вимірювань

Великі диспетчерські не тільки дають більше місця для розміщення обладнання, але й дозволяють зберегти «дихання» акустики. Але вони також мають інші переваги. У великих диспетчерських, наприклад, набагато легше досягти акустичного контролю. По-перше, у великих кімнатах управління гармонійні резонанси кімнати (або «стоячі хвилі») не поділяються на найнижчі частоти — нижчі, ніж у маленьких кімнатах. З іншого боку, відбиття від поверхонь кімнати (особливо від стін) повертається з більшою затримкою, тобто слабше. Збільшений час затримки дозволяє нашим вухам сприймати їх як відображення, а не забарвлювати звук прямого сигналу. На рисунку 2.1 показано приклад розміщення пристрою в диспетчерській [12].

У маленьких кімнатах все набагато складніше: поверхні стін набагато ближче до вух слухача, а гори обладнання створюють більше акустичних перешкод для прослуховування. А фізичний об'єм пристроїв у невеликих приміщеннях залишає акустиці приміщення менше місця для «дихання». Великий мікшерний пульти в малих кімнатах (на відміну від великих) створює більш сильний вплив на рівномірність звучання моніторів навіть у добре

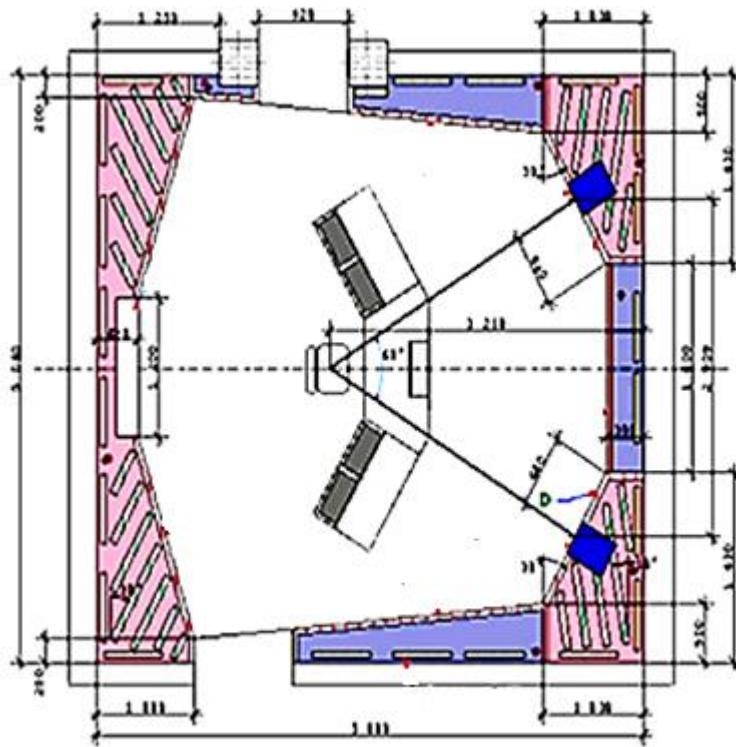


Рисунок 2.1 – Приклад структури контрольної кімнати

спроєктованих кімнатах, які до цього мали відмінні характеристики. На рисунку 2.2 наведено приклад спроєктованої кімнати.

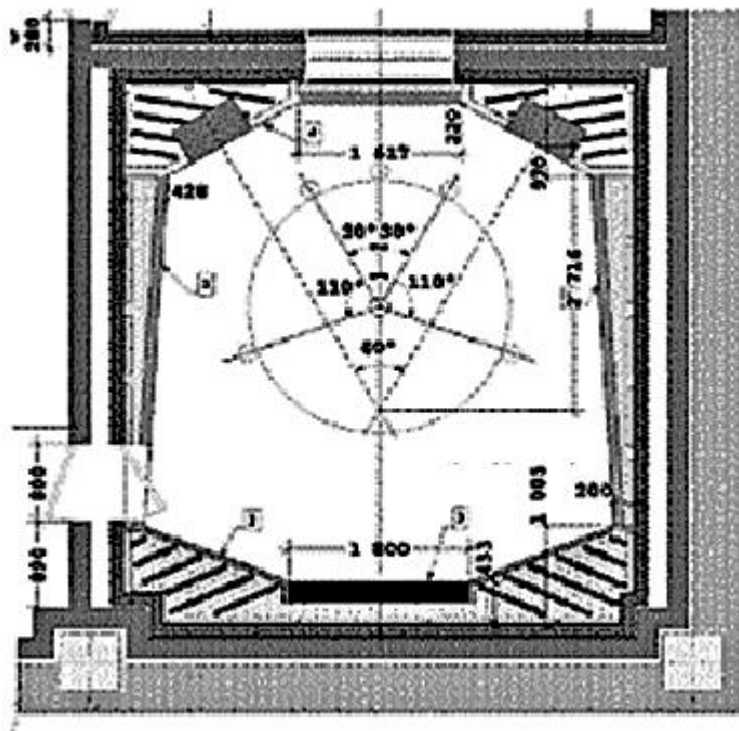


Рисунок 2.2 – Приклад плану контрольної кімнати невеликого розміру

Як би там не було, невеликі диспетчерські існували з самого початку електронного запису. І сьогодні вони, здається, є нормою в найшвидше розвиваючому секторі індустрії звукозапису – у так званих проектних студіях [21]. Вплив економічних факторів і відсутність великих приміщень, придатних для студій (особливо в зручних для клієнтів районах), є основними факторами, які практично гарантують зростання потреби в таких диспетчерських. Ось і виходить, що такі студії продовжують будувати. Слід також зазначити, що постійно збільшується обсяг роботи для мультимедійних закладів, де диспетчерські зазвичай дуже маленькі. Умови моніторингу в них часто далекі від оптимальних; складається враження, що більшість людей уже погодилися на це.

Однак, незважаючи на те, що звук все ще вважається «бідним родичем» в мультимедійному середовищі, в цій сфері формується більш уважне ставлення. Усе це вимагає радикальної переоцінки того, що потрібно зробити, щоб забезпечити кращі, надійніші та стійкіші умови моніторингу в малих диспетчерських [22].

Якщо сьогодні не вирішити ці проблеми в невеликих приміщеннях, зневажливе ставлення до стеження може стати комплексною проблемою.

Під «маленькими» ми маємо на увазі приміщення об'ємом менше 100 м³, що приблизно відповідає приміщенням розміром 6м x 5м x 3м. Варто пам'ятати, що «розмір» приміщення в акустичному сенсі залежить від бажаної частоти поділу гармонійних резонансів, тобто частоти, нижче і вище якої резонанси проявляються по-різному. З цієї причини навіть велика кімната, в якій рівномірне резонансне поділ помітне лише на частоті до 50 Гц, є акустично «маленьким», якщо не вжито заходів для розширення зони рівномірного резонансного поділу ще глибше, наприклад, 20 Гц. Чим вища частота, на якій сплески енергії гармонійних резонансів, спричинені формою та розміром кімнати, більше не накладаються й рівномірно розподіляються, тим «меншою» стає кімната в акустичному сенсі. В частотному діапазоні, що перебуває нижче частоти поділу резонансів, різні частотні складові відтвореного музичного матеріалу звучать із різним рівнем гучності, тому що якісь частоти можуть збігатися із частотами

гармонійних резонансів (і підсилюватися), а якісь – ні; тобто звучання починає підкорятися формі окремих резонансів (рис. 2.3).

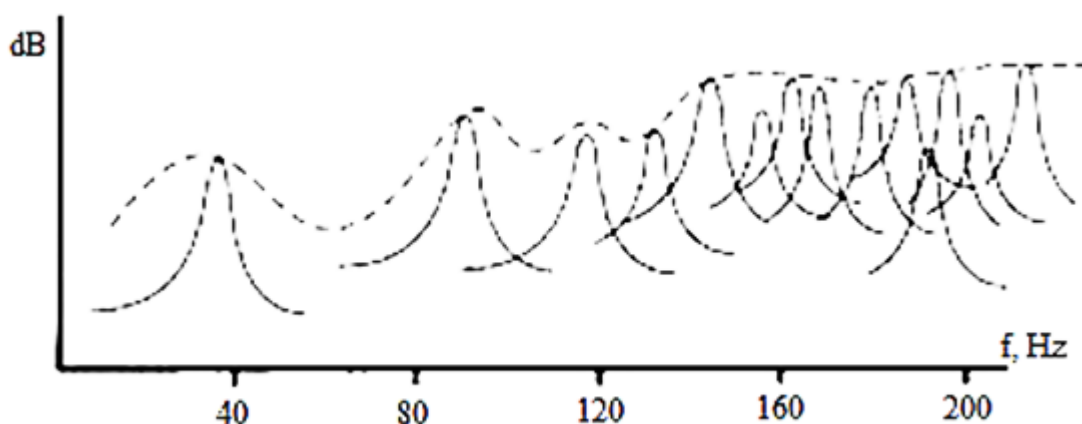


Рисунок 2.3 – Розподілення гармонійних резонансів у приміщенні

У діапазоні частот, який лежить вище частоти розділення резонансів, гармонічні резонанси накладаються і зазвичай сприяють досить рівному звуку, не маючи такого негативного впливу на звук. У невеликих кімнатах частота поділу гармонійних резонансів вище - з цього можна зробити висновок, що чим більше кімната, тим нижча частота сприяє рівному звуку (за умови, звичайно, що всі інші властивості кімнат є те саме). те саме).

Іншим основним недоліком, спричиненим кімнатними гармонічними резонансами, є те, що звук у кімнаті відрізняється як від джерела звуку (наприклад, монітор), так і від об'єкта, який приймає звук (наприклад, слухач або мікрофон), і стає залежним від положення. Які гармонійні резонанси стимулюються в якій точці кімнати, а які ні, залежить від кутів напрямку джерела звуку. Якщо джерело звуку або слухач знаходяться в зоні загасання даного резонансу, ніяких змін у сприйманому звуку на частоті цього резонансу не буде помічено. Через це отримати той самий звук з динаміка можливо тільки в безеховій камері. Крім того, в безеховому приміщенні низькі частоти сприймаються слухачем «в рівновазі» на будь-якій відстані від динаміка [14].

Проблеми, перераховані вище, ускладнюються тим фактом, що кожна кімната поглинає звукову енергію по-своєму, що залежить як від розміру кімнати, так і від того, як вона акустично оброблена. Справа в тому, що різні матеріали більшою чи меншою мірою поглинають різні частоти. Крім того, звукопоглинання і акустичне демпфування не тільки визначають силу відбитої звукової енергії, а й впливають на Q (Q) енергетичного розподілу гармонійних резонансів.

У цьому сенсі значення Q дещо схоже на Q еквалайзера, якщо «пагорб» при «підтягуванні» може бути або досить широким (низький Q), або досить вузьким (високий Q) (рис. 2.4). Для гармонічних резонансів краще віддавати перевагу резонансам із низькою добротністю. У цьому випадку резонанс виражений менш яскраво і менш нав'язливий для вуха (на відміну від високодобротних резонансів).

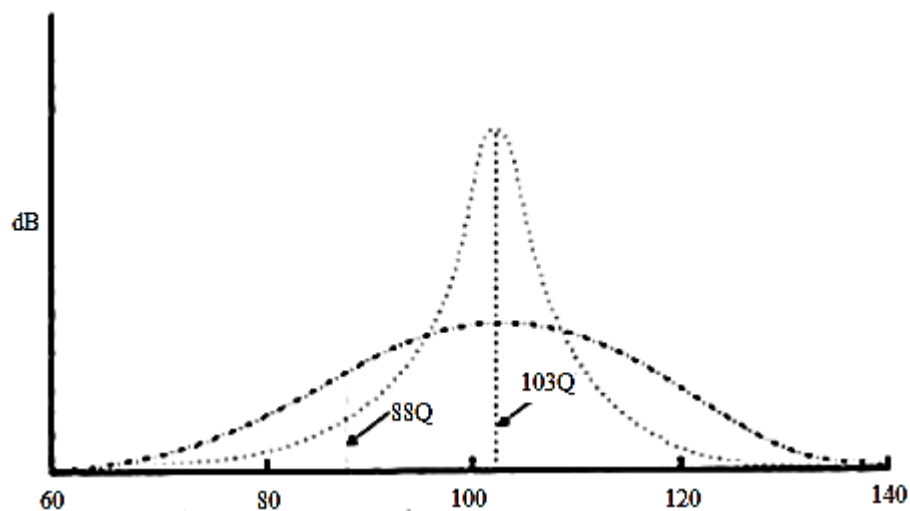


Рисунок 2.4 – Ефект демпфування в залежності від Q

Приміщення з хорошим акустичним демпфуванням і звукопоглинанням одночасно розширюють частотний вміст резонансної енергії та знижують рівні резонансних ударів. З усього вищесказаного можна зробити висновок, що в кімнаті з відповідними звукопоглинальними системами та низькою добротністю звук більш рівномірний, ніж у кімнаті з твердішими (відбиваючими) стінами, де гармонійні резонанси мають високу добротність. Слід зазначити, що в у другому випадку звук в кімнаті стає голосніше, оскільки така кімната набагато повільніше випромінює енергію джерела звуку.

Безехові камери є практичним екстремальним варіантом сильно зволених і звукопоглинальних приміщень. Рівномірність одержуваного з ними звуку дозволяє використовувати їх для різних видів вимірювань.

На жаль, низькочастотне звукопоглинання є каменем спотикання при проектуванні невеликих приміщень, оскільки звукопоглинальні конструкції на цих частотах повинні бути великими як за розміром, так і за глибиною, а обмежений обсяг невеликих приміщень не дозволяє їх застосування. Насправді ефективні низькочастотні поглиначі традиційно мали великі розміри, і, що найголовніше, вони вимагали глибокого простору. Чим більше глибина звукопоглинальної системи, тим більше низьких частот вона може поглинати. Наприклад, якщо на частоті 40 Гц довжина хвилі становить близько восьми метрів, то для поглинання звуку на цій частоті (і вище) необхідна система звукопоглинання глибиною близько двох метрів [4].

Зробимо висновок, що якщо диспетчерська не забезпечує достатнього поглинання «поверхів», то сприйняття різних частот у цьому частотному діапазоні залежить від місця розташування слухача та джерела звуку. Якщо при цьому залишиться надлишок низьких частот у вигляді напівревербераційної (відбитої) звукової енергії, кімната також буде сильно «басити» («булькати»). У цьому випадку, якби це була просто кімната для запису, то це могло б бути добре чи погано залежно від обставин, кожна залежала від вимог до звучання та виразності музичних інструментів. Однак, коли диспетчерська «шипить», можна очікувати, що робота, яка виконується в ній, зазвичай матиме «пояснені» низькі частоти. Такі мікси не звучатимуть на повну силу за інших умов. Крім того, якщо ви слухаєте ці мікси в інших насичених басом кімнатах, деякі низькочастотні звуки будуть сприйматися голосніше, а інші м'якше, тому що структура гармонійних резонансів буде різною в різних кімнатах, а значить, вони будуть однаковими. Звуки в різних кімнатах по-різному посилюються резонансами по-різному.

2.2 Основні вимоги до вимірювачів акустичних параметрів приміщень

Відповідно до ГОСТ 24146-89 вимірювання часу реверберації в залах необхідно проводити в 16 третьоктавних смугах частот із середньгеометричними частотами і межами смуги від 125 до 4000 Гц [23]. Аудіосигнал під час таких вимірювань може генеруватися динаміком або комп'ютером, випромінюючи 1/3-октавні смуги сигналу. Як звуковий сигнал дозволяється використовувати нефільтрований шум, вибухові звукові імпульси (наприклад, холості постріли з рушниці), фрагменти оркестрової музики, а при виконанні оркестрової музики необхідно вибирати фрагменти, в яких супроводжується різке тутті-фортісимо. з паузою 3-5 секунд. В оркестрі не повинно бути інструментів, які мають власну реверберацію (литаври, контрабас, барабани, фортепіано).

Акустичний розрахунок простору є невід'ємною частиною дизайну різних звукових приміщень, будь то театр, кінотеатр або аудиторія. Діапазон частот усіх вимірювальних приладів повинен перевищувати номінальний діапазон вимірювань не менше ніж на 10%, тобто не менше 100-5000 Гц. Термометр повинен вимірювати температуру повітря з точністю $\pm 1^{\circ}\text{C}$. Психрометр повинен вимірювати відносну вологість з точністю $\pm 5\%$.

Перед вимірюванням часу реверберації визначають ступінь наповненості залу слухачами та виконавцями, а також основні параметри залу та записують їх у протокол. Положення переобладнаних елементів залу та сцени повинно бути відображено в протоколі обмірів. Перед вимірюваннями прилад необхідно відкалібрувати на відповідність його перевірочним характеристикам. Якщо результати калібрувальних вимірювань відрізняються від калібрувальних характеристик, відбувається заміна відповідного блоку.

Джерело звуку, яке використовується для вимірювання часу реверберації, має бути встановлено в тих самих місцях, де розташовані основні джерела звуку в цій кімнаті. При використанні в якості джерела звуку звукової

системи залу слід використовувати тільки ті, що розташовані в зоні сцени (групі порталу). У залах, які не мають сцени і сценічної радіаторної групи (наприклад, спортивні зали), в робочий режим включено озвучення. При цьому всі частотні коректори переводяться в нейтральне положення, лінії затримки і пристрої реверберації повинні бути вимкнені.

При вимірюванні часу реверберації приймальний мікрофон повинен бути розміщений принаймні в трьох точках кімнати [22].

2.3 Характеристика вимірювальних мікрофонів

Мікрофони — електроакустичні перетворювачі, які перетворюють звукові коливання в електричні. Залежно від конструкції розрізняють мікрофони тиску, у яких звуковий тиск діє на мембрану лише з одного боку, і мікрофони з градієнтом тиску, у яких звуковий тиск діє на дві сторони мембрани, але з певною фазою змін. У першому випадку сила, що діє на мембрану, визначається звуковим тиском, що діє на неї, а в другому — різницею тиску з обох сторін мембрани з урахуванням різних фаз вібрації.

Мікрофони мають бути якомога меншими порівняно з довжиною хвилі звуку, щоб не впливати на вимірюване звукове поле. Невеликі мікрофони можна використовувати в широкому діапазоні частот. Перевагою маленьких мікрофонів є більш рівномірна характеристика спрямованості. Тому, якщо виміряти, що напрямок поширення звуку не точно збігається з віссю наведення мікрофона, помилок буде менше. Однак через відносно низьку чутливість цих мікрофонів їх використання обмежене, коли виміряні значення малі.

Залежно від типу звукового поля розрізняють кілька показників чутливості мікрофона. У вільному полі напруга, створювана мікрофоном, пов'язана зі звуковим тиском біжучої хвилі у вільній площині, що рухається в напрямку осі мікрофона до центру мікрофона. Чутливість в дифузному полі - це відношення вихідної напруги до звукового тиску в цьому полі. Щоб визначити

чутливість до тиску, напруга на виході мікрофона порівнюється зі звуковим тиском, який фактично виникає перед мембраною мікрофона.

Конденсаторні мікрофони в основному використовуються для вимірювань через їх відносно гладку частотну характеристику. Крім того, конденсаторні мікрофони не чутливі до температурних коливань, мають високу стабільність характеристики в часі і мають рівномірну діаграму спрямованості. Останнім часом для вимірювань використовуються п'єзоелектричні мікрофони, виготовлені з термостійких матеріалів, що володіють досить великим п'єзоефектом. Вони використовують властивість п'єзоелектричних матеріалів створювати напругу між електродами, прикріпленими до пластин із цих матеріалів, коли вони механічно деформуються. У висококласних вимірювальних пристроях п'єзомікрофони використовуються рідко. В основному це пов'язано зі стабільністю низьких температур і дуже високим внутрішнім опором ємнісного типу. Останнє ускладнює підключення по довгих лініях і до навантажень з низьким опором. До переваг п'єзомікрофонів можна віднести простоту конструкції, малі розміри та високу чутливість [24].

Електродинамічні мікрофони майже завжди використовуються для порівняльних вимірювань. Вони мають дуже низький рівень власних перешкод і тому підходять для вимірювань з низьким рівнем шуму.

Під час використання мікрофонів слід враховувати кілька факторів. Зокрема, відзначимо, що чим вище частота вимірювань, тим менше повинен бути розмір мікрофона. Щоб не спотворювати звукове поле, мікрофонні приймачі, з'єднувальні кабелі повинні мати невеликі розміри по відношенню до довжини звукової хвилі, а відстань між мікрофоном і оператором, який обслуговує пристрій, повинна бути не менше 1 м. перераховані електричні та магнітні поля, які особливо помітні на довгих кабелях [24].

2.4 Класифікація алгоритмів вимірювань акустичних параметрів за типом сигналу

Існує кілька методів вимірювання та оперативного контролю частотної характеристики та її окремих параметрів - за допомогою послідовного набору сигналів з фіксованими частотами, за допомогою сигналу, частота якого змінюється з часом, і за допомогою шумоподібного сигналу з однорідним частотним спектром. Зазначені методи мають свої недоліки, які пов'язані як зі складністю методу вимірювання, так і з неможливістю адекватної оцінки параметрів цифрових трактів зі стисненням звукового сигналу. Водночас нові можливості відкривають комп'ютерні методи вимірювання з якісними перетворювачами постійного та змінного струму та методи спектральної обробки сигналів.

Якщо мова йде про цифрову реверберацію, то достатньо подати на неї один імпульс, щоб згенерувати сигнал, який дозволять більшість звукових редакторів, і записати результат. Якщо мова йде про реальну кімнату, то цей спосіб натрапляє на серйозні обмеження обладнання для відтворення і запису: колонка і мікрофон повинні мати однакові АЧХ і АЧХ, а в кімнаті не повинно бути шуму, щоб реверберація не заглушала з вас. Друга з цих вимог, як правило, недосяжна для залів, акустику яких "записують" у присутності глядачів.

Хоча можливо збільшити потужність одного імпульсу для боротьби з шумом (рис. 2.5), гучномовці зазвичай не в змозі передавати імпульсні сигнали високої потужності без серйозних спотворень. У минулому звуки плескань у долоні, запуску пістолетів і розриву повітряної кульки часто використовувалися для вимірювання імпульсних реакцій приміщення.

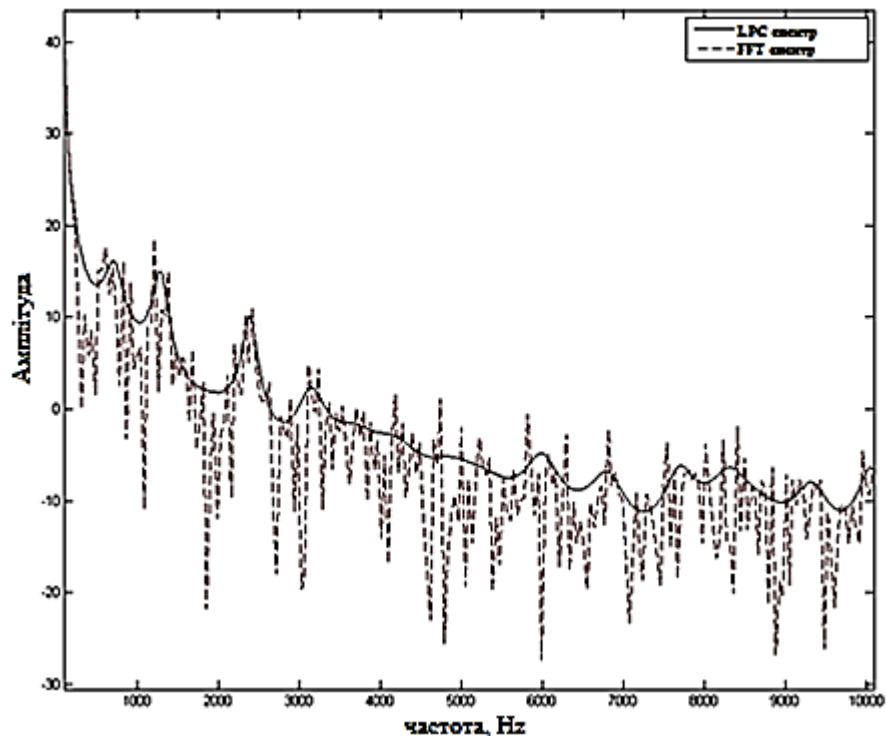


Рисунок 2.5 – Спектр одиничного імпульсу

На жаль, усі ці звуки досить далекі від одиничного імпульсу, і результат може вимагати значного вирівнювання частотної характеристики. Удари долонями недостатньо сильні, щоб усунути шум, шум гармати містить занадто мало низькочастотних компонентів і має низьку повторюваність, повітряні кулі також не забезпечують повторюваності та мають дуже нерівномірну діаграму спрямованості на різних частотах.

Більш сучасний метод вимірювання імпульсних характеристик заснований на використанні спеціальних шумових послідовностей (MLS - Maximum-Length Sequence). Якщо відповідь системи (приміщення) на таку послідовність зафіксована, бажану імпульсну характеристику системи можна відновити деконволюцією (зворотною фільтрацією) (рис. 2.6) [12].

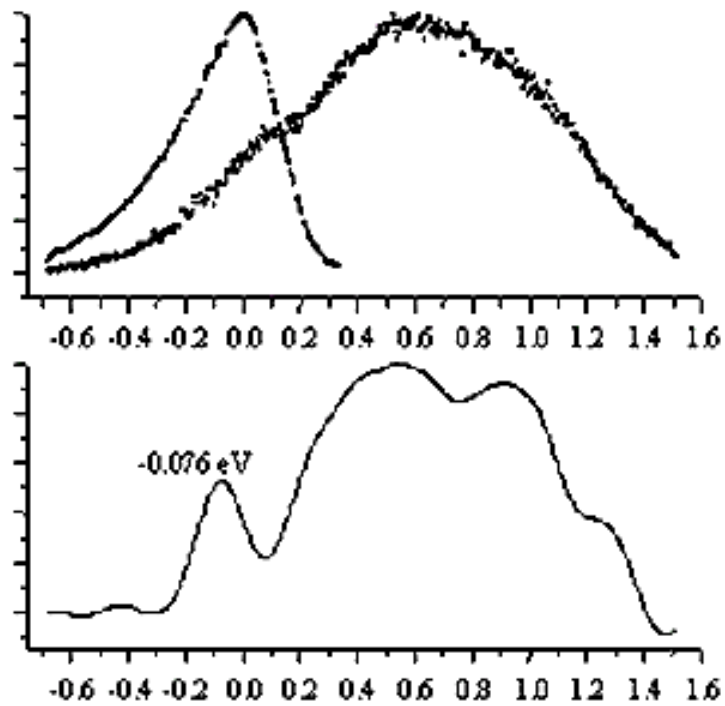


Рисунок 2.6 – Результати методу деконволюції

З MLS-послідовностями операція деконволюції є досить простою, і тому вони широко використовуються для вимірювання акустики приміщення, забезпечуючи гарне співвідношення сигнал/шум для результуючих імпульсних характеристик. Однак метод MLS має деякі недоліки.

По-перше, послідовності MLS мають білий спектр і не завжди можуть забезпечити гарне співвідношення сигнал/шум на низьких частотах для переповнених залів, оскільки середньо- та низькочастотний шум повного залу приблизно червоний (спад приблизно 3,5) дБ/октаву). По-друге, цей метод призначений для забезпечення лінійності вимірюваної системи. Коли в системі відбуваються нелінійності або тимчасові зміни (навіть незначні, такі як рух аудиторії, повітряні маси або тремтіння в аудіосистемі), вони вносять спотворення, які проявляються в імпульсних характеристиках у вигляді помилкових ревербераційних відображень.

Найсучасніший метод отримання кімнатних імпульсних характеристик також використовує метод деконволюції, але ковзний тон служить тестовим сигналом. Гармонійні спотворення можна відфільтрувати із записаного відгуку

кімнати, оскільки вони завжди на вищих частотах, ніж тестовий сигнал, а реверберація, яка нас цікавить, менша (через збільшення частоти з часом).

Крім того, для покращення відношення сигнал/шум можна збільшити амплітуду низькочастотної складової тестового сигналу та врахувати її під час деконволюції. Таким чином, за допомогою цього тестового сигналу можна усунути багато проблем методу MLS і забезпечити гарне співвідношення сигнал/шум у результуючому імпульсному відгуку. Іншим методом отримання («синтезу») імпульсу є комп'ютерне відстеження «звукових променів» у комп'ютерно змодельованому просторі [12].

2.5 Вибір методу вимірювань реверберації за типом алгоритму

Існують три основні методи оцінювання і вимірювання звукових параметрів приміщень:

- ревербераційний;
- стаціонарний;
- імпульсний.

Метод реверберації вимірює залишкову «реверберацію» в закритих приміщеннях, яка спричинена багаторазовими відбиттями на поверхнях і одночасним поглинанням звукових хвиль. Сама реверберація характеризується інтервалом часу (в секундах), за який звукова потужність зменшується на 60 дБ [5].

Стаціонарний метод дозволяє досліджувати звукові процеси і з'ясувати просторові акустичні параметри приміщення, частотні характеристики передачі звуку, форму приміщення, розташування відбиваючих і звукопоглинальних матеріалів, розташування джерела звуку і визначити його спрямованість.

Імпульсний метод охоплює всі фактори, що впливають на акустичні умови. Цей метод аналізує осцилограму мимовільного звукового імпульсу і визначає порядок надходження окремих відбитків від різних поверхонь приміщення в точку спостереження.

Щоб точно оцінити приміщення за його акустичними параметрами комп'ютерними методами, необхідно точно розрахувати точки розміщення колонок і мікрофона комп'ютера..

2.5.1 Сучасні концепції вимірювань.

Завдання сумісності приміщень – завдання не з легких. Існує прямий зв'язок: чим менше кімната, тим складніше це завдання вирішити. Якщо вся звукова енергія (включаючи енергію відбиття звуку) сприймається слухачем лише в задній частині кімнати (що часто трапляється в невеликих кімнатах управління), різниця в досягненні вуха слухача між прямим і відбитим сигналами становить дуже мала і становить лише кілька мілісекунд. Така невелика різниця між часом приходу прямого і відбитого сигналів насправді проявляється як небажане тональне забарвлення прямого сигналу. У цьому випадку психоакустичний ефект, на який сподіваються деякі концепції диспетчерської, не має бажаного ефекту.

До речі, деякі з подібних концепцій дизайну диспетчерської (наприклад, концепція LEDE (рис. 2.7)) [22] є досить складними за своєю природою і можуть «працювати» лише в тому випадку, якщо їх дизайн дуже ретельно продуманий з самого початку. На жаль, у більшості випадків люди просто сліпо копіюють ці концепції та «масштабують» їх під розміри свого приміщення, не розуміючи закладених у них принципів.

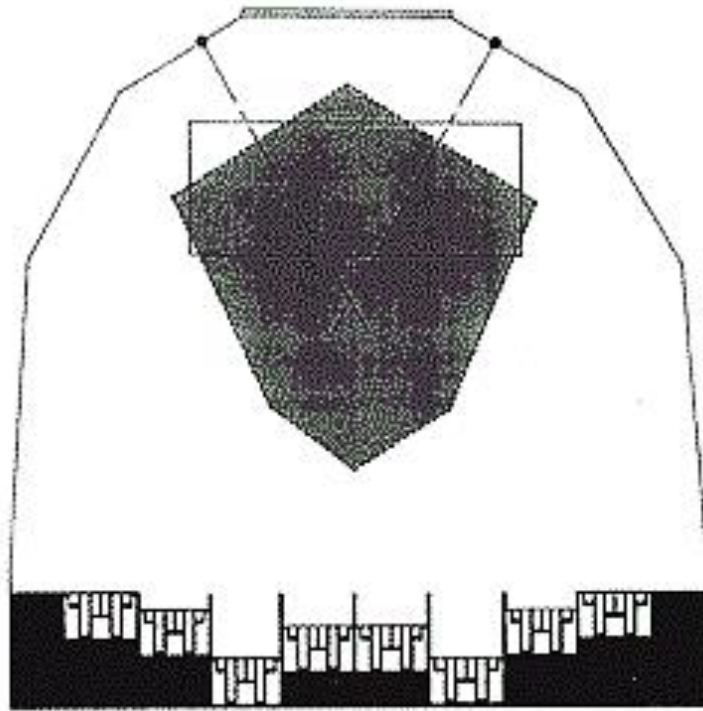


Рисунок 2.7 – Схема концепції LEDE

Крім того, основним фактором, що впливає на проектування диспетчерської, є погане розуміння того, якою повинна бути диспетчерська за визначенням, що, у свою чергу, призвело до широкого розмаїття умов моніторингу. Звук для кіно, телебачення та радіо має різні потреби, і люди, які працюють у цих сферах, мають різні пріоритети. І навіть якби ми змогли якось уніфікувати вимоги до диспетчерських, різноманіття думок з цього приводу не зникло б.

Здається, що максимальна широта та однаковість частотної характеристики повинні бути бажаними для всіх диспетчерських. Однак виявляється, що ця гідна і логічна мета не отримала загального визнання. Крім того, найбільші проблеми виникають у студій, які знаходяться в «золотій середині» між справді професійними та домашніми студіями. І це зрозуміло, адже, випускаючи велику кількість записів по всьому світу, такі студії змушені працювати в дуже конкурентному сегменті ринку.

2.5.2 Розташування джерел та приймачів звуку.

Дуже важливо звернути увагу на наступні три змінні: розташування джерела звуку, положення слухача і характер самої кімнати. Якщо відомо, що будь-яке розташування джерела звуку в будь-якій кімнаті, крім безлукового кімнати, вироблятиме гармонійний резонанс у звуках, що відрізняються в цій кімнаті, тоді найкраще, що можна зробити, це спробувати знайти положення для моніторів у місцях, де присутній звук, у кімнаті з найменшою змінністю.

Навіть велике безехове приміщення, але без триметрових звукопоглинаючих клинових пробійників, не буде таким безеховим в нижніх октавах частотного діапазону, тому і тут, якщо монітори встановити в різних місцях кімнати, звук низькі частоти будуть сприйматися інакше. Тому джерела звуку найкраще встановлювати на самому краю кімнати, а найкращий варіант — настінні монітори (рис. 2.8).

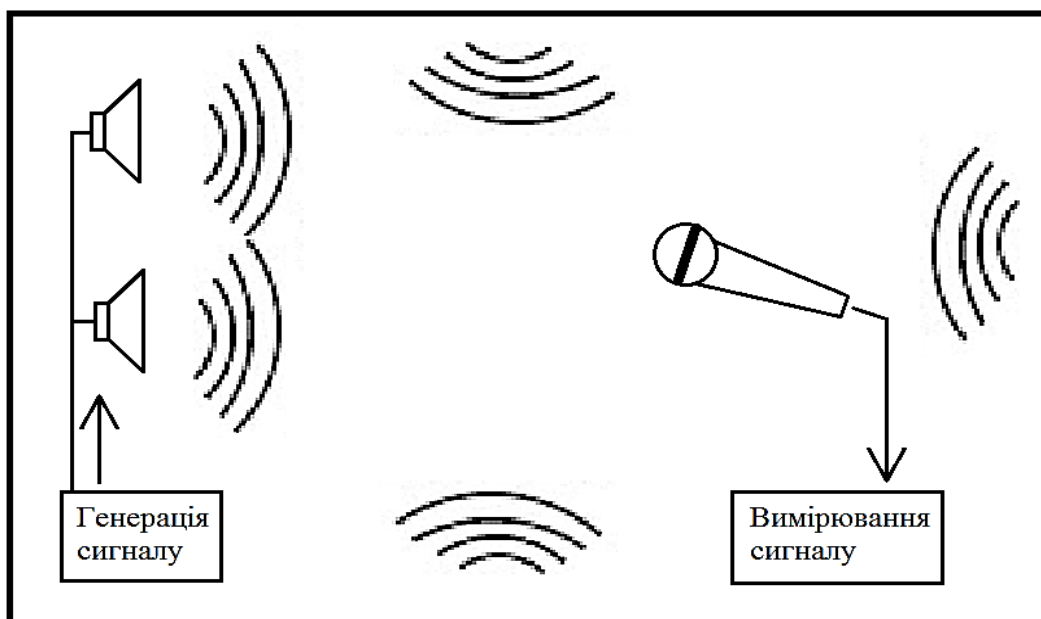


Рисунок 2.8 – Приклад розташування обладнання в кімнаті

В області стоячих хвиль передні стіни приміщення є поверхнями максимального тиску, тому монітор, встановлений в такій стіні, буде порушувати резонанси практично однакового рівня, не сприяючи один одному. Розміщення моніторів у площині передньої стіни також дозволяє стіні діяти як

продовження їх дифузорів, сприяючи більш рівномірному поширенню звукових хвиль, що розширюються. Причина, по якій стіни кімнати є поверхнею максимального тиску, полягає в тому, що звук повинен змінити напрямок, щоб відбиватися від них. При цьому він на мить зупиняється, а коли його швидкість дорівнює нулю, тиск досягає максимуму, інакше порушуються закони фізики про збереження енергії.

Зі зниженням частоти динаміки збільшують свою спрямованість і стають всенаправленими. Таким чином, коли динаміки знаходяться в шафах і на будь-якій відстані від стін, нижчі частоти випромінюватимуться в усіх напрямках навколо корпусів динаміків, а також поширюватимуться вбік на стіну позаду шаф динаміків [14]. Потім вони відбиваються назад у простір і націлюються на позицію слухача. Різні частоти мають різні довжини хвиль. Отже, якщо вони мають однакову довжину шляху від гучномовця до стіни та назад до слухача, вони повертатимуться не по фазі. Тому вони або підсилюють звук прямого сигналу, або послаблюють його, що призводить до нерівномірного сприйняття звуку в місці слухача. Звичайно, стіну за колонками можна зробити звукопоглинальною. Однак через необхідність поглинання низьких частот він займає багато місця і знижує рівень звуку динаміків. Крім того, якщо всі поверхні кімнати зробити звукопоглинальними, ми маємо безехову кімнату. Багато людей в таких ситуаціях відчують незрозумілий страх і навіть паніку.

Встановлення моніторів врівень із твердою та нерезонуючою передньою стіною допомагає розподілити тиск по кімнаті та збільшити рівень низькочастотного звуку, спрямовуючи всю їхню енергію вперед. Це може бути корисним для розширення низькочастотного звуку, особливо коли система монітора має обмежений запас потужності. І якщо ця стіна є звуковідбиваючою, то людям у цій кімнаті стає легше спілкуватися. У той же час немає небажаних відображень для моніторингу, оскільки весь випромінюваний звук йде від стіни. Посилення низькочастотних звуків легко коригується електронними настройками, які не вносять фазовий зсув. Насправді корекція амплітуди не вносить фазових спотворень, вона лише коригує фазу.

Різниця між тиском в осьовому напрямку та тиском, спричиненим надходженням більш-менш синфазних відображень, виникає через затримку відображень, тому що вони повинні «подорожувати» довше; крім того, тиск, створюваний відбиттям звуку, є нерівномірним у частотному балансі. Проблеми відбиття є акустичними проблемами і вимагають акустичних рішень. Розташування моніторів рівня на передній стіні кожної диспетчерської, таким чином, є неодмінною передумовою для «точного» моніторингу [9].

Якщо монітори неможливо встановити в несучу стіну, що в будь-якому випадку погано з точки зору звукоізоляції, потрібно зробити щільну і міцну перегородку. Звичайно, навіть якщо така стінка слабка, вона все одно буде поглинати звук, але через слабкість буде резонувати і створювати вторинне випромінювання на певних частотах, що тільки ще більше порушить загальний звук. Рівномірне випромінювання та розподіл звуку є першим кроком на шляху до якісного моніторингу. Однак ця мета сама по собі не може бути досягнута, якщо немає рівномірного розподілу енергії у відбивних або напівревербераційних звукових полях. У великих приміщеннях різні оператори використовують різні методи (і дотримуються різних принципів), щоб забезпечити послідовне сприйняття звуку людиною за мікшером. Але в невеликих кімнатах сильніші відображення з різним тональним балансом повертаються з різних точок кімнати протягом часу психоакустичної інтеграції мозку, тобто часу, коли наш мозок вже сприймає ці відображення не як відображення, а як звукове забарвлення. Ситуацію погіршує позаосьова нерівномірність звуку, яка ще більше погіршує частотний баланс відбитого звуку.

Якщо зробити звукопоглинальними всі поверхні кімнати, крім передньої стіни і підлоги, то слухачі будуть сприймати тільки прямий сигнал від моніторів. На щастя, найпростішим завданням для розробників таких моніторів є досягнення стабільного звуку по осі ($\pm 30^\circ$). Тому такі монітори дешевше акустичних систем, які претендують на універсальність використання в будь-яких приміщеннях.

Досить велика частина часу та ресурсів, які витрачаються на розробку моніторів, витрачається на спроби створити системи, які б забезпечували відносно рівні частотні характеристики в приміщеннях з поганою акустикою. По суті, такі «універсальні» монітори є не що інше, як монітори на заміну. Оpubліковані властивості таких акустичних систем (моніторів), безумовно, були виміряні в умовах тиші. Вже одне це говорить про те, що навіть виробники визнають погіршення своїх властивостей за різних умов.

2.5.3 Виникнення акустичних завад при встановленні обладнання.

Кожен пристрій у кімнаті створює відбиття звуку. Об'єкти, малі порівняно з даною довжиною хвилі, зазвичай «поглинаються» звуком: він обходить їх, як би «ковтаючи». Але коли поверхні об'єктів порівнюються з довжиною хвилі, вони діють як дзеркала. Звук поширюється зі швидкістю близько 340 метрів за секунду при температурі близько 20 °С. Звукова хвиля з частотою 340 Гц має довжину близько 1 метра. Відповідно, звукова хвиля з частотою 100 Гц буде мати довжину більше 3 метрів, і така частота легко «проковтне» невеликий настільний монітор розміром максимум 40 см. Частота 10 кГц, довжина якої всього близько 3 см, поверхні корпусів моніторів будуть у кілька разів ширше довжини хвилі, тому на віддзеркалення вони «працюють» як дзеркало.

Низькі частоти також «маскують» мікшери, але якщо мікшери мають великі плоскі задні панелі, варто звернути увагу на їх взаємодію з «нижньою серединою»; Будь-яку вібрацію між передньою стінкою приміщення і задньою стінкою змішувача варто усунути за допомогою поглинаючого матеріалу, розміщеного перед задньою стінкою змішувача..

2.6 Розробка полігармонійного методу вимірювання частотних характеристик звукових каналів і трактів

В аналогових аналізаторах спектру для оцінки форми частотної характеристики використовується вимірювальний сигнал з частотною

модуляцією - миттєва частота гармонійного сигналу змінюється, а амплітуда не змінюється. Цей метод найкраще підходить для швидкого графічного відображення форми частотної характеристики на екранах пам'яті. Вимірювання RFC можливе шляхом плавної зміни частоти сигналу, але ця можливість не використовується у відомих аналізаторах спектру для звукового діапазону частот. При вимірюванні АЧХ звукових трактів метод має недоліки, пов'язані з низькою точністю вимірювань, труднощами отримання показань на фіксованих частотах і неможливістю синхронізації вимірювань в міжміських каналах звукового мовлення і магістральних лініях.

З цифровими приладами для вимірювання частотної характеристики переважав метод, заснований на шумовому сигналі вимірювання. Шумоподібний сигнал з рівномірно розподіленим спектром формується цифровим способом за допомогою генератора псевдовипадкової послідовності. За результатами вимірювання оцінюється спектр вихідного сигналу, контурна форма якого відображає АЧХ тракту. Цей метод краще адаптований до специфіки вимірювань у звуководах і трактах, не вимагає попередньої синхронізації, дозволяє отримати вимірювання АЧХ на окремих частотах шляхом цифрового спектрального аналізу або фільтрації, і може використовуватися для оперативних налаштувань. Недоліком зашумленого сигналу є принципова неможливість вимірювання ФКГ і ГКГ.

Імпульсний сигнал, близький до дельта-функції, також має рівномірний спектр і використовується, наприклад, для вимірювання часу акустичної реверберації приміщень. Його також можна використовувати для вимірювання частотної характеристики, частотної характеристики та частотної характеристики електричних шляхів звуку, оскільки окремі спектральні компоненти дельта-функції мають однакову амплітуду та початкову фазу. Однак у порівнянні з шумоподібним сигналом амплітуда кожного окремого спектрального компонента імпульсного сигналу значно менша за амплітуду загального імпульсу. А це призводить до посилення впливу шумів і перешкод тракту на результати розрахунку АЧХ, АЧХ і АЧХ.

Для реалізації полігармонічного методу вимірювання використовується програмно-апаратний комплекс, структура якого наведена на рисунку 2.9. Він складається з програмного забезпечення, яке дозволяє генерувати тестовий сигнал, і самого комплексу, який реалізує синтез тестового сигналу в аналоговій формі і потім передає його по каналу зв'язку, якість якого необхідно визначити.

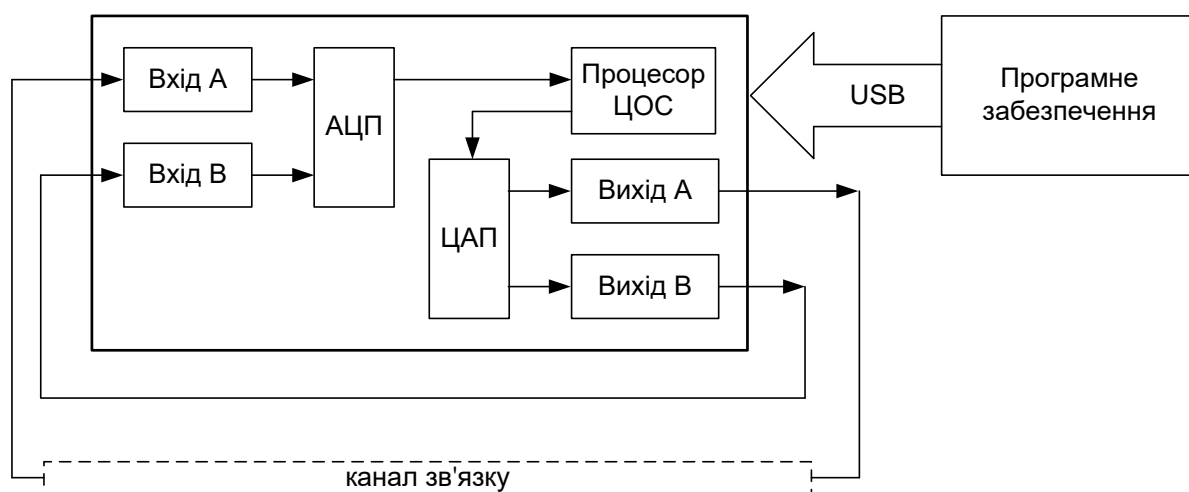


Рисунок 2.9 – Узагальнена структура пристрою, що реалізує полігармональний метод вимірювання АЧХ

Для вимірювання АЧХ і АЧХ звукових каналів і трактів рекомендується використовувати полігармонічний сигнал (ПГС), сформований із суми 10÷20 гармонійних складових, значення частоти яких може задавати користувач. із стандартизованої серії або будь-який. Всі амплітуди і початкові фази гармонічних складових однакові:

$$S(t) = \sum_{i=1}^N A_i \sin(2\pi f_i t), \quad (2.1)$$

де A_i – амплітуда кожної з N гармонійних складових.

Приклад осцилограми такого полігармонічного сигналу наведено на рис. 2.10, а його спектр – на рис. 2.11 (задані частоти 32,5, 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 10000, 16000 Гц). Щоб отримати частотну характеристику та частотну характеристику, необхідно проаналізувати спектр вихідного сигналу

звукового тракту, вибрати опорну частоту (наприклад, 1000 Гц) і розрахувати відхилення рівня сигналу на інших частотах, що дасть нерівномірність АЧХ. Для отримання ГСН розраховується різниця фаз між кожною спектральною складовою та еталонною. Оскільки АЧХ і АЧХ є відносними, використовується вибірка сигналу, помилки, спричинені варіаціями коефіцієнта передачі аудіоканалу, зведені до мінімуму, і для вимірювання АЧХ не потрібен опорний сигнал. Останній необхідний, наприклад, для вимірювання властивостей каналів передачі звуку на великі відстані або шляхів запису-відтворення магнітофонів.

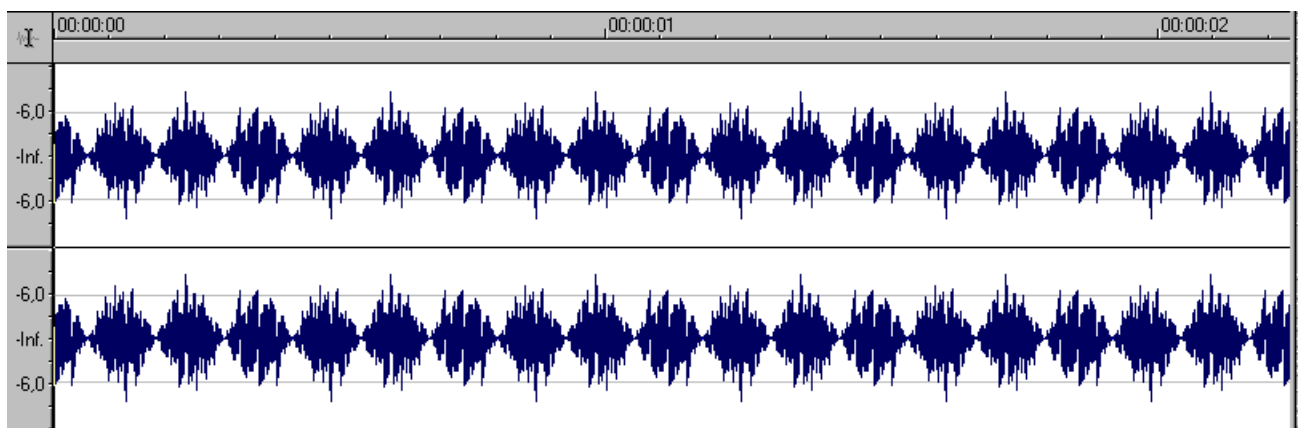


Рисунок 2.10 – Форма тестового сигналу

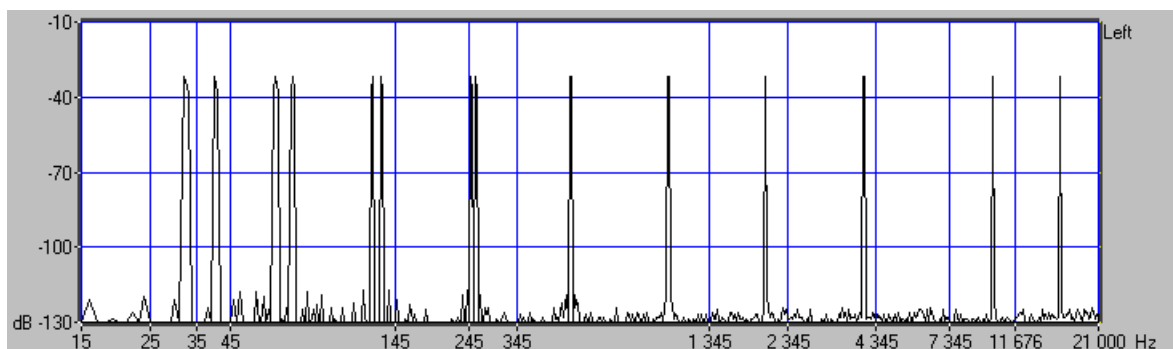


Рисунок 2.11 – Спектр тестового сигналу

Для більш детального аналізу форми АЧХ та вимірювання характеристики ГКС запропоновано так званий імпульсний сигнал (ІПС), в якому кількість гармонійних складових збільшена до 50÷150 порівняно з ПГС. Назва ІПС пояснюється формою на рис.2.12. Як видно із спектру ІПС на рис. 2.13, спектральні складові заповнюють весь діапазон смуги частот 20 Гц – 20 кГц.

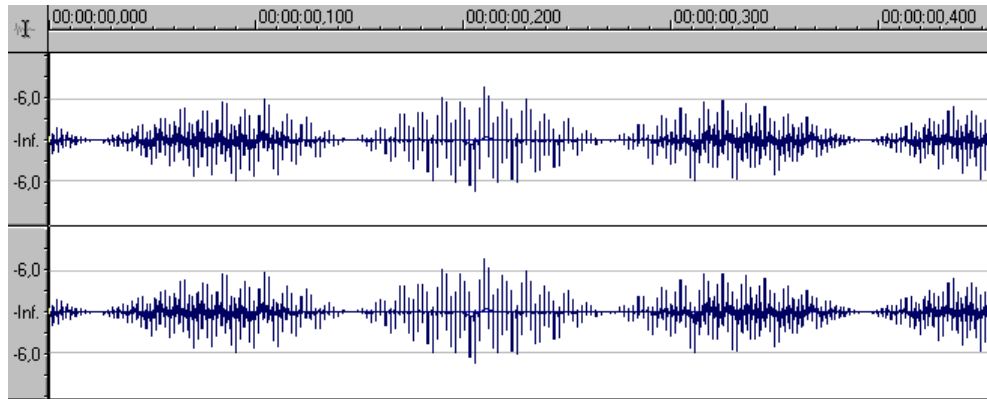


Рисунок 2.12 – Форма імпульсо-подібного сигналу

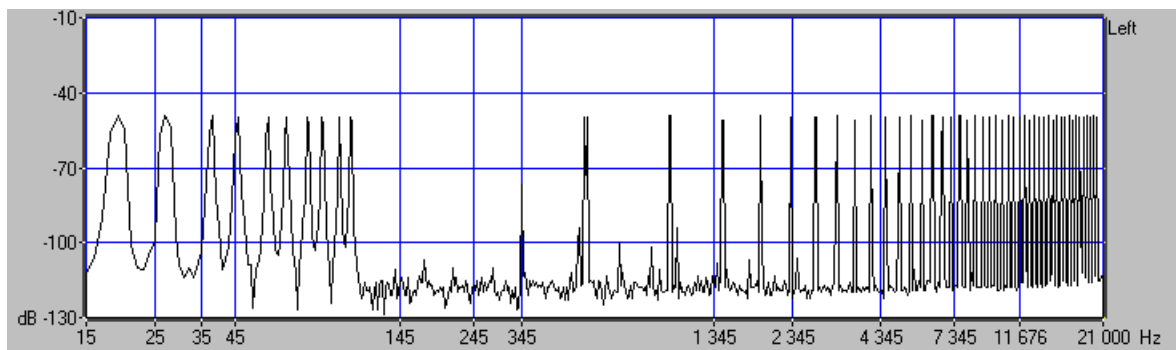


Рисунок 2.13 – Спектр імпульсо-подібного сигналу

При цьому АЧХ каналу передавання можна визначити у вигляді відношення отриманого сигналу $S'(t)$ до згенерованого $S(t)$:

$$\frac{S'(t)}{S(t)} = \frac{\sum_{i=1}^N A'_i \sin(2\pi f_i t)}{\sum_{i=1}^N A_i \sin(2\pi f_i t)}, (2.2)$$

при цьому відношення A'_i/A_i дозволить оцінити коефіцієнт передачі звукового тракту на відповідній частоті.

Групову затримку (GLD) можна обчислити за невеликим стрибком частоти між спектральними компонентами. Хід групової затримки (GLD) показує різницю в часі затримки сигналів різних частот, які проходять через звуковий шлях. АЧХ визначається як частотна похідна фазочастотної характеристики (ЧЧХ):

$$G(f) = \frac{d\Psi(f)}{df}, \quad (2.3)$$

де обчислення похідної замінюється обчисленням відношення приросту ФЧХ до приросту частоти на імпульсно-подібному сигналі ІПС.

Метод вимірювання АЧХ за допомогою ІПС наочно показує свої переваги при контролі параметрів трактів, що містять компресійно-декомпресійні пристрої за допомогою методів МРЕГ. Застосування компресії дозволяє значно зменшити пропускну здатність каналу, але зрозуміло, що це призводить до погіршення якості сигналу. Вимірювання АЧХ таких каналів методами моногармонічного або частотно-модульованого тестового сигналу не показує відхилень від норми. У той же час суб'єктивна оцінка реального звукового сигналу в ряді випадків не дозволяє оцінити АЧХ як відповідну еталону.

Тестовий сигнал, що складається з багатьох спектральних компонентів, найбільш наближений до реального звукового сигналу. Тому метод вимірювання з PGS і ІПС дозволяє найбільш об'єктивно оцінити АЧХ зв'язку при передачі звукового сигналу. На рисунку 2.14 показаний спектр ІПС після проходження через компресор-декомпресор МРЕГ-2 зі швидкістю передачі каналу 384 кбіт/с.

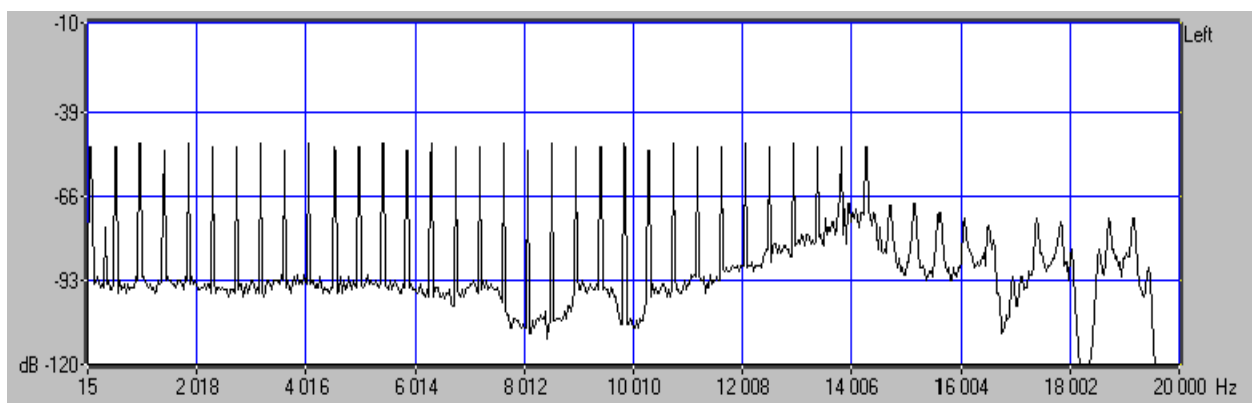


Рисунок 2.14 – Спектр імпульсно-подібного сигналу після проходження каналу зі стисненням

Було проведено тестування різних методів компресії з різноманітними полосами пропускання. Найкращі результати показав метод компресії MPEGLayer 3. Спектр ІПС після проходження через компресор-декомпресор MPEGLayer 3 з швидкістю пропускання каналу 128 кБіт/с наведено на рис 2.15.

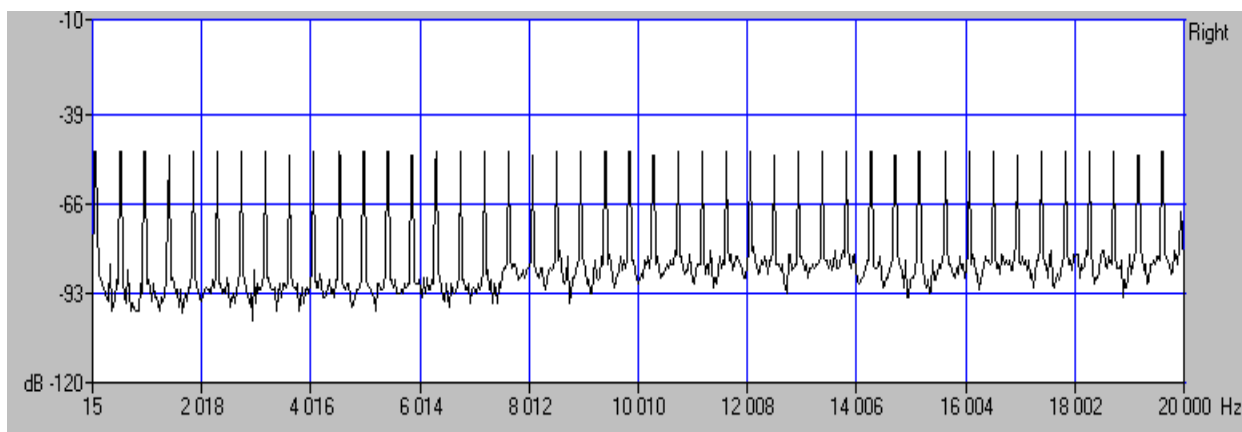


Рисунок 2.15– Спектр імпульсо-подібного сигналу після проходження каналу зі компресор-декомпресором MPEGLayer 3

Технічна реалізація методів вимірювання з полігармонійними сигналами можлива в системах з цифро-аналоговими і аналого-цифровими перетворювачами (ЦАП і АЦП) і процесором цифрової обробки сигналів [2].

2.7 Особливості застосування цифрових нерекурсивних фільтрів для псофометрів

Фільтр зі скінченною імпульсною характеристикою (нерекурсивний фільтр) або КИХ-фільтр (КИХ-фільтр від англ. *finite impulse response* — кінцева імпульсна характеристика) — один із видів лінійних цифрових фільтрів, характерною особливістю якого є часове обмеження його імпульсної характеристики. (з певного моменту часу вони стають рівними нулю.[25] Через відсутність зворотного зв'язку такий фільтр також називають нерекурсивним. Знаменник передатної функції такого фільтра є певною константою.

Одним із способів подолання потенційної нестабільності фільтра є створення такого фільтра, який має всі нулі в характеристиці; він використовує лише множники прямого з'єднання і є безумовно стабільним (рис. 2.16) [26].

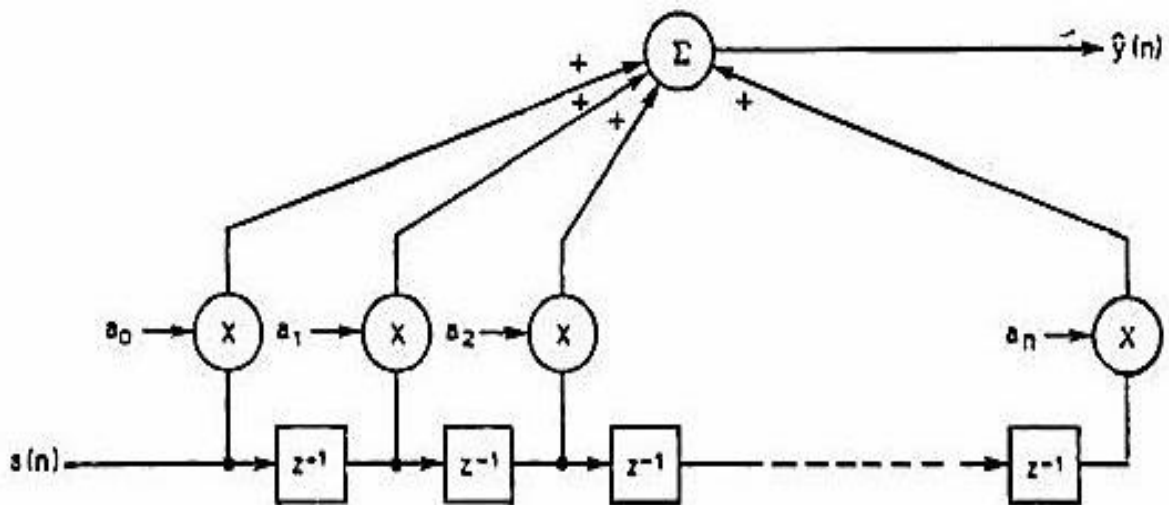


Рисунок 2.16 – Структурна схема нерекурсивного фільтра з кінцевою імпульсною характеристикою

Цей фільтр має лише обмежену пам'ять, яка встановлюється кількістю елементів затримки, в результаті чого фільтр має кінцеву імпульсну характеристику (типу FIR або поперечний). Затримка вхідного сигналу здійснюється за допомогою певної кількості елементів затримки: вона може бути досить великою, але в даному випадку розглядається обмежена їх кількість. Вихідні дані цих елементів затримки послідовно множаться на число вагових коефіцієнтів, що зберігаються в пам'яті, і отримані числа підсумовуються для формування вихідного сигналу; тут передбачається, що вихідний сигнал визначається шляхом згортання вхідного сигналу з вагами або значеннями імпульсної характеристики, що зберігаються в пам'яті. Цей фільтр містить лише нулі в характеристиці (оскільки він не має рекурсивних елементів зворотного зв'язку), і тому потрібна велика кількість елементів затримки, щоб отримати частотну характеристику з крутим зрізом. Однак фільтр завжди стабільний і може забезпечити лінійну фазову характеристику.

Для реалізації психофотометричного фільтра ми використовуємо два фільтри, кожен з яких складається з двох фільтрів – рекурсивний фільтр низьких частот Чебишева другого порядку та фільтр низьких частот Баттерворта першого порядку.

Фільтр Баттерворта — один із видів електронних фільтрів. Фільтри цього класу відрізняються від інших способом конструкції. Фільтр Баттерворта розроблений таким чином, щоб його амплітудна характеристика на частотах проходження була максимально плавною [26].

Частотна характеристика фільтра Баттерворта є максимально плавною на частотах пропускання і падає майже до нуля на частотах зупинки. При відображенні частотної характеристики фільтра Баттерворта на логарифмічну АЧХ амплітуда зменшується до мінус нескінченності на частотах смуги відхилення. У випадку фільтра першого порядку частотна характеристика падає зі швидкістю -6 децибел на октаву (-20 децибел на декаду) (насправді всі фільтри першого порядку, незалежно від типу, ідентичні та мають однакову частотну характеристику). З фільтром Баттерворта другого порядку АЧХ спадає на -12 дБ на октаву, з фільтром третього порядку на -18 дБ і так далі (рис. 2.17).

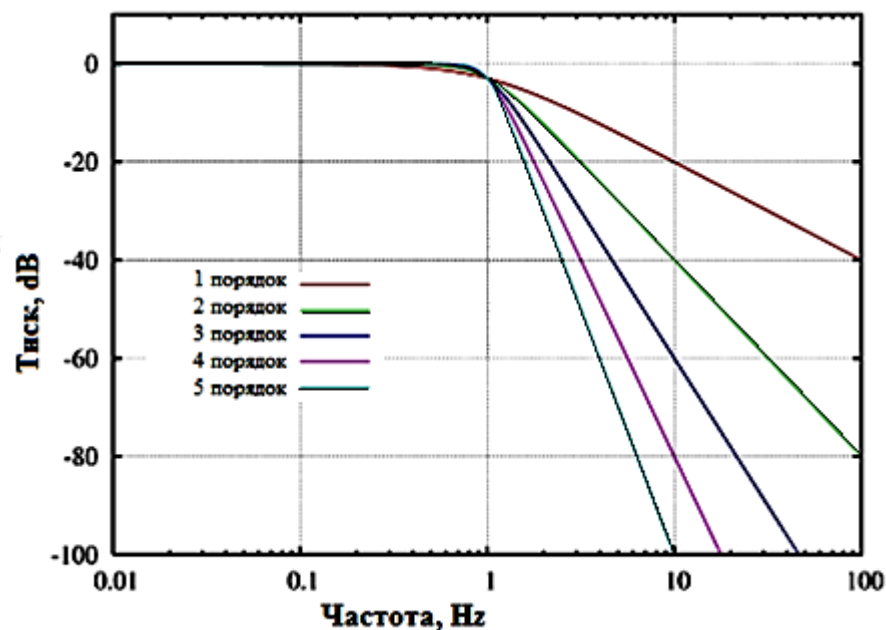


Рисунок 2.17–АЧХ для фільтрів Баттерворта нижніх частот порядку від 1 до 5.

Нахил характеристики - $20n$ дБ / декаду, де n - порядок фільтра.

АЧХ фільтра Баттерворта є монотонно спадною функцією частоти. Фільтр Баттерворта є єдиним фільтром, який зберігає форму частотної характеристики для вищих порядків (за винятком більш крутого спаду характеристики в смузі придушення), тоді як багато інших типів фільтрів (фільтри Бесселя, фільтри Чебишева, еліптичні фільтри) мають різні форми АЧХ при різних порядках.

Фільтр Чебишева - один з типів лінійних аналогових або ж цифрових фільтрів, відмінною рисою якого є більш крутий нахил АЧХ (АЧХ) і значні пульсації АЧХ на частотах смуг пропускання (фільтри Чебишева першого типу) і відхилення (фільтр Чебишева другого типу), ніж інші типи фільтрів. Фільтр був названий на честь відомого російського математика 19 століття Пафнутія Львовича Чебишева, оскільки властивості цього фільтра базуються на поліномах Чебишева [13]. Фільтри Чебишева зазвичай використовуються там, де необхідно забезпечити необхідні властивості Частотна характеристика з за допомогою фільтра малого порядку, зокрема хороше загасання частот із смуги придушення, і при цьому не настільки важлива плавність АЧХ на частотах смуг пропускання і придушення, це фільтри Чебишева типу I і II.

2.8 Можливості реалізації комп'ютерних методів вимірювань акустичних параметрів приміщень

Аналізатор параметрів звукових шляхів (АПЗТ) - перший універсальний комп'ютерний аудіометр для дому, що пройшов державну метрологічну атестацію. Завдяки вдалій структурі та використаній сучасній елементній базі, в результаті використання оригінальних алгоритмів розрахунку, розроблених у повній відповідності до чинних стандартів, АПЗТ не має аналогів в Україні, Росії, країнах СНД та Балтії. В 3-5 разів дешевше імпортованих аналогів.

АПЗТ призначені для вимірювання електричних характеристик студійних трактів для формування радіо- і телепрограм, каналів кабельного, мікрохвильового і супутникового звукового мовлення, а також вимірювання параметрів інших низькочастотних систем і пристроїв (магнітофонів, пультів), програвач міні-дисків і компакт-дисків тощо). Прилади реалізують всі методи вимірювання, передбачені ГОСТ-11515, а також вимірюють детонацію магнітофонів і параметри вимірювачів рівня. Незамінний для коректного вимірювання параметрів систем і пристроїв, що використовують стиснення звуку.

АПЗТ-02 побудований на основі високоточного АЦП і ЦАП, підключеного до персонального комп'ютера. Конструктивно це портативний пристрій з вбудованим рідкокристалічним дисплеєм (LCD). Розрахунок властивостей виконується програмним забезпеченням із використанням процесора цифрової обробки сигналів (DSP) і системного процесора Pentium. АПЗТ-02 можна розглядати як завершений системний блок персонального комп'ютера, доповнений пристроями введення-виведення (до нього можна підключити зовнішній монітор, принтер і т.д.). Результати вимірювань представлені в числовій, табличній і графічній формі з можливістю збереження та друку для подальшого аналізу. АПЗТ-02 запрограмований на роботу в режимах: генератор, лічильник, генератор і лічильник одночасно. Він поєднує в собі функції чотирнадцяти приладів: селективного вольтметра і вольтметра середньоквадратичного значення, псофометра і генератора сигналів, вимірювача АЧХ і АЧХ, частотоміра і аналізатора спектру, всіх видів вимірювачів спотворень, детонометра та ін.

Новий ноутбук-сумісний компактний аналізатор АПЗТ-А3 завдяки своїм техніко-економічним характеристикам доступний кожній телерадіокомпанії. Уся електронна вимірювальна частина розміщена в модулі розміром з половину стосу паперу: 210 x 297 x 43 мм. Використовується 24-розрядний кодек USB ADC DAC з аналоговим і цифровим (SPDIF) інтерфейсами. Для цього

використовується оригінальна процедура автокалібрування. Програмне забезпечення - в середовищі Win98.

При створенні АПЗТ-А3 перед розробниками стояло подвійне завдання - без шкоди для параметрів і можливостей АПЗТ-02, метрологи якого хотіли створити прилад, який вдвічі дешевший і може використовуватися додатково для вимірювань, ніж якісний звуковий АЦП. -ЦАП в сучасних комп'ютерних монтажно-трансляційних студіях радіо і телебачення.

24-розрядні АЦП і ЦАП, інтегровані в АРЗТ-А3, підтримуються операційними системами MS Windows 98...XP як стандартні аудіопристрої USB. Це дозволяє використовувати АРЗТ-А3 як якісну зовнішню звукову карту в більшості програм для запису, редагування та відтворення. Професійно підібраний для іншого студійного аудіообладнання та нормалізований рівень сигналу на збалансованих аналогових входах і виходах (роз'єми Canon). Наявність цифрового SPDIF і оптичного інтерфейсів дозволяє підключати АРЗТ-А3 до входу або виходу сучасних цифрових мікшерів, магнітофонів, програвачів і тих же комп'ютерів з вбудованими SPDIF картами [27].

2.9 Розробка структурної схеми комп'ютерного аналізатора акустичних параметрів приміщень

Далі розглядається використання АПЗТ-А3 в якості вимірювального приладу. Принцип роботи, схема апаратної частини на рисунку 2.18 [27].

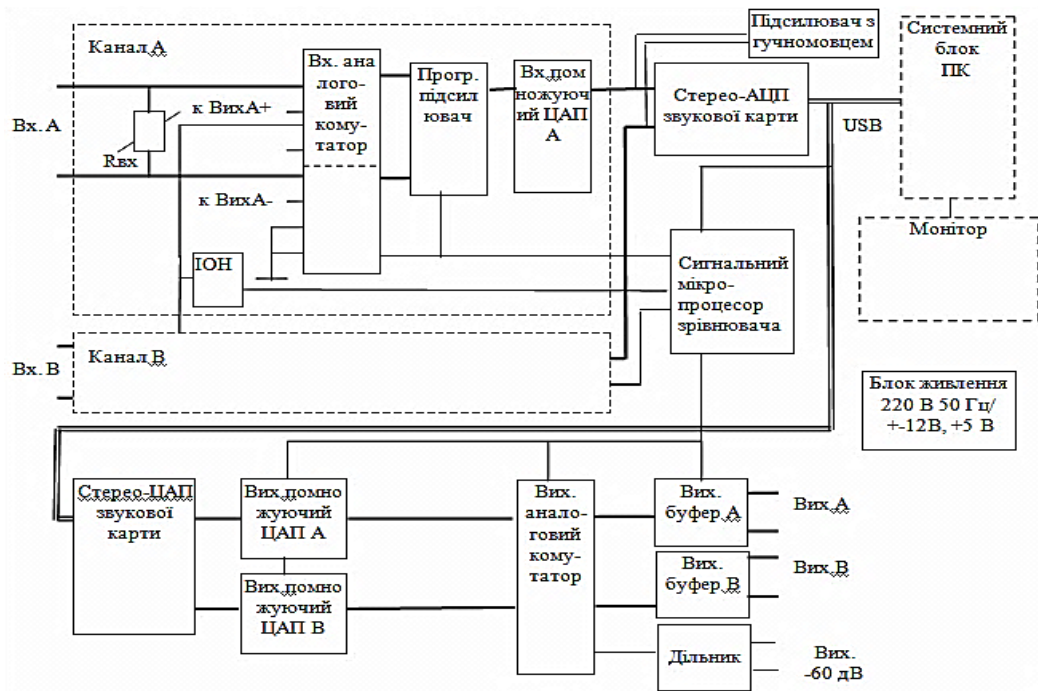


Рисунок 2.18 – Структурна схема аналізатора акустичних параметрів приміщень

Вхідна частина складається з двох вимірювальних каналів А і В. У диференціальні входи вбудовані програмовані резистори для регулювання перетинаються звукових шляхів. Можна запрограмувати значення вхідного опору 150 Ω , 200 Ω , 600 Ω і 100 k Ω .

Програмований підсилювач перетворює вхідний сигнал із збалансованого на несиметричний і програмно регулює діапазон дискретного рівня вхідної напруги +12 дБ, 0 дБ, мінус 12, мінус 24 дБ (0 дБ відповідає напрузі 0,775 V_{rms}), а ЦАП множення вхідного сигналу додатково регулює рівень сигналу входів АЦП від +18 до мінус 30 дБ з кроком 0,1 дБ. АЦП звукової карти перетворює аналогові сигнали в каналах А і В з роздільною здатністю 16 ... 24 двійкових розрядів і частотою дискретизації 44,1 ... 96 кГц (в залежності від типу карти). Вихідний код АЦП надсилається на системну плату персонального комп'ютера через послідовний порт USB (APZT-A3) або через шину, вбудовану в звукову карту комп'ютера (APZT-AZM), де обробляється відповідно до вимірювання алгоритм. Аналогова частина управляється кодами, які персональний комп'ютер посилає на мікропроцесор керуючого сигналу через інтерфейс USB.

Генератор APZT має базову звукову карту стерео ЦАП і ЦАП подвійного помноження. Послідовне підключення обох ЦАП дозволяє плавно регулювати рівень вихідного сигналу в діапазоні від мінус 80 до +12 дБ з кроком 0,1 дБ. Перемикач аналогового виходу виводить сигнал DAC і дозволяє контролювати вмикання вихідних каналів А і В. Вихідні буферні пристрої А і В містять диференціальні генератори сигналів і буферні підсилювачі для роботи на низькоомному навантаженні.

Основним методом аналізу сигналу в APZT-A3 є аналіз спектрів, отриманих шляхом швидкого перетворення Фур'є (ШПФ) з попереднім зважуванням віконними функціями. Кількість відліків ШПФ на кожному каналі становить від 32 768 до 131 072. Процесор комп'ютера класу Pentium 500 МГц і вище дозволяє виконувати заданий аналіз і виводити результати зі швидкістю, достатньою для оперативного коригування характеристик.

Програмне забезпечення APZT-A3 ADDATEST орієнтоване на середовище MS Windows 98 ... XP.

- У програмі ADDATEST APZT-A3 доступні наступні режими вимірювання:
- Waveform - режим двоканального осцилографа з часовими мітками;
- моногармонічний комплекс - усі доступні вимірювання на сигналі з однієї частоти - рівень напруги та зсув у вольтгах, децибелах, квантах, частоті, коефіцієнт нелінійних спотворень, відношення сигнал/шум та ефективна кількість бітів для цифрових шляхів, паразитних амплітудна модуляція (РАМ) через мережеві гармоніки, перехідні перешкоди між каналами;
- Двухгармонійний комплекс - чотири види існуючих інтермодуляційних вимірювань з використанням сигналів двох частот - 2-го і 3-го порядків різницевого тону, інтермодуляції в трактах передавачів і каналів міжміського звукового мовлення;
- Рівень шуму - RMS у вольтгах, децибелах, квантах,
- зважені псофометричними фільтрами типу АіВ; селективна (супутня) перешкода та її частота, селективна напруга в певній смузі частот;

- амплітудно-частотна характеристика - швидке вимірювання форми АЧХ, її нерівномірності та різниці АЧХ і АЧХ між каналами за допомогою полігармонічного сигналу з суми гармонік певного частотного діапазону;
- АЧХ на імпульсно-подібному сигналі (IPS) - те саме, але зі складним сигналом з великої кількості гармонік різних частот, дозволяє контролювати локальну нерівномірність характеристики, особливо ефективно оцінює системи з цифровим стисненням MPEG та ін. .
- Груповий час затримки на IPS – міра нерівномірності часу затримки (похідна від FCH) у смузі звукових частот, реалізована вперше в побутовому приладі, адекватно описує фазові спотворення сигналу.

2.10 Висновок

У цьому розділі були розглянуті основні характеристики приміщень, методи вимірювання їх властивостей та збурення, які виникають при вимірюваннях. Також було обрано методику аналізу акустичних параметрів приміщень, яка враховує методи уникнення помилок та розроблено структурну схему комп'ютерного аналізатора..

3 РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИМІРЮВАЧА АКУСТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ТА ПСОФОМЕТРИЧНИХ ШУМІВ

У цьому розділі описано етапи розробки програмного забезпечення. Визначено вимоги до розробленої програми та її необхідні властивості. Поетапно описано розробку алгоритму програми, розробку інтерфейсу та структурних частин програми – записувати звук, розбивати його на спектр і виводити на екран.

3.1 Аналіз вимогів і властивостей програми

Для обробки сигналу необхідно створити програму, здатну передавати сигнал із певною заданою частотою, зчитувати, записувати та обробляти звук, відбитий від мікрофона, і вимірювати псофометричний шум. Звук має формат wav, оскільки файли цього містять всю необхідну інформацію про записаний сигнал. Програма написана на сучасній мові високого рівня C#.

У програмі вимірювача акустичних параметрів реалізований наступний принцип - на мікрофон комп'ютера надходить сигнал тривалістю 1 мс (для приміщень не менше 6х6 м), що складається із суми заданих частот. Потім записується сигнал відповіді. Програма розбиває сигнал реверберації на частоти та показує, як затухає кожна з них. Частоти, що застосовуються до виходу, тривалість вихідного сигналу та тривалість запису реверберації програмуються.

Сума частот використовується для представлення сигналу, ослаблення якого в реверберації відображає тип приміщення. Звук представлений і записаний за допомогою семплів.

Семпл - це фрагмент аудіоінформації, вирізаний або записаний з існуючого джерела - наприклад, звук акустичного музичного інструменту, звук штучного або природного походження, звук, вирізаний з існуючої аудіокомпозиції чи відеофільму тощо [23] . .

Зразок — це N-байтовий елемент масиву в поточному перегляді даних. Елементом може бути аналоговий сигнал, попередньо дискретизований у

цифровий формат: зображення в комп'ютерній графіці (RGB), радіолокаційне зображення (GEOTIFF), звукова хвиля (WAV). Важливими є дві властивості вибірок: роздільна здатність, тобто кількість біт, і частота дискретизації (дискретизація). Кількість бітів у вибірці визначає її здатність розрізняти рівні амплітуди сигналу. Велика кількість біт дозволяє більш якісно і точно відтворювати оцифрований звук. Частота дискретизації безпосередньо пов'язана з найвищою частотою, яку може відтворити семпл. Наприклад, семпл із частотою дискретизації 40 кГц може виводити звук із частотами до 20 кГц.

WAV (waveform audio format) — це формат аудіофайлів, розроблений Microsoft і IBM. WAVE базується на форматі RIFF і розширює його інформацією про аудіопараметри, такі як використовуваний кодек, частота дискретизації та кількість каналів. Як і RIFF, WAV був призначений для комп'ютерів IBM PC, тому всі змінні записуються у форматі little-endian. Еквівалентом WAV для комп'ютерів PowerPC є AIFF [23].

Хоча файли WAVE можна записувати за допомогою будь-якого аудіокодека, часто використовується нестиснений PCM, що призводить до великих розмірів файлів (близько 172 кбіт/с для якості CD). Ще одним недоліком файлу є обмеження обсягу до 4 Гб через 32-бітну змінну. Формат WAV був частково витіснений стислими форматами, але завдяки своїй простоті він продовжує широко використовуватися в процесі редагування аудіо та на портативних аудіопристроях, таких як вертушки та цифрові диктофони.

У програмі шумоміра реалізовано 2 психометричних фільтри, кожен з яких складається з двох фільтрів - фільтра Баттерворта та фільтра Чебишева, які описані в теоретичній частині, пункт 2.9.

Окремою частиною має бути моделювання інерційності стрілки шумоміра, яке буде реалізовано шляхом перетворення окремих фільтрів запам'ятовуючих пристроїв. При цьому вибірки перетворюються в децибели.

Також необхідно виконати перетворення сигналу з формату WAV, тобто. X. бітів у семплах і навпаки, щоб забезпечити поділ і мікшування каналів, а також відкриття певного файлу або його запис.

3.2 Розробка алгоритму роботи програми

Спрощений алгоритм роботи вимірювача акустичних параметрів представлено на рисунку 3.1.



Рисунок 3.1 – Спрощений алгоритм програми

Пуск - запуск програми. Перший блок – це умова, яка визначає, яку дію буде виконувати користувач – налаштувати тривалість подання та запису сигналів або налаштувати генератори частот (блоки 2 і 3 відповідно). Перехід до четвертого блоку означає, що програма видала вихідний сигнал і записує сигнал реверберації.

У п'ятому блоці можна почути сигнал, який відповідає сумі заданих частот.

У блоці 6 показано відображення на екрані графіків записаного сигналу реверберації та окремих частотних складових.

Блок 7 – це умова, яка визначає завершення роботи з програмою. Якщо так, програма завершує роботу та закриває головне вікно. Якщо ні, то програма переходить до початку алгоритму.

Алгоритм роботи шумоміра наведено на рисунку 3.2.

Пуск - запуск програми. Перший блок – це умова, яка визначає, яку дію буде виконувати програма – відкривати файл чи записувати звук з мікрофона (блоки 2 і 3 відповідно). Перехід до четвертого блоку означає, що програма обробляє сигнал за допомогою фільтрів.

П'ятий блок показує умову, яка визначає, чи записуються результати в конкретний файл (блоки 6 і 7) або у файл із програмно визначеним іменем (8).

У блоках 9 і 10 показано відображення графіків обробленого сигналу і результату вимірювання рівня шуму.

Блок 11 - умова, яка визначає, чи завершена робота з програмою? Якщо так, програма завершує роботу та закриває головне вікно. Якщо ні, то програма переходить до початку алгоритму.

Рядок меню має дві кнопки - Файл, який містить кнопки Відкрити та Зберегти, і кнопку Довідка. Після натискання кнопок «Відкрити» та «Зберегти» відкриється відповідне діалогове вікно з пропозицією вибрати файл із доступних для обробки або зберегти отримані результати.

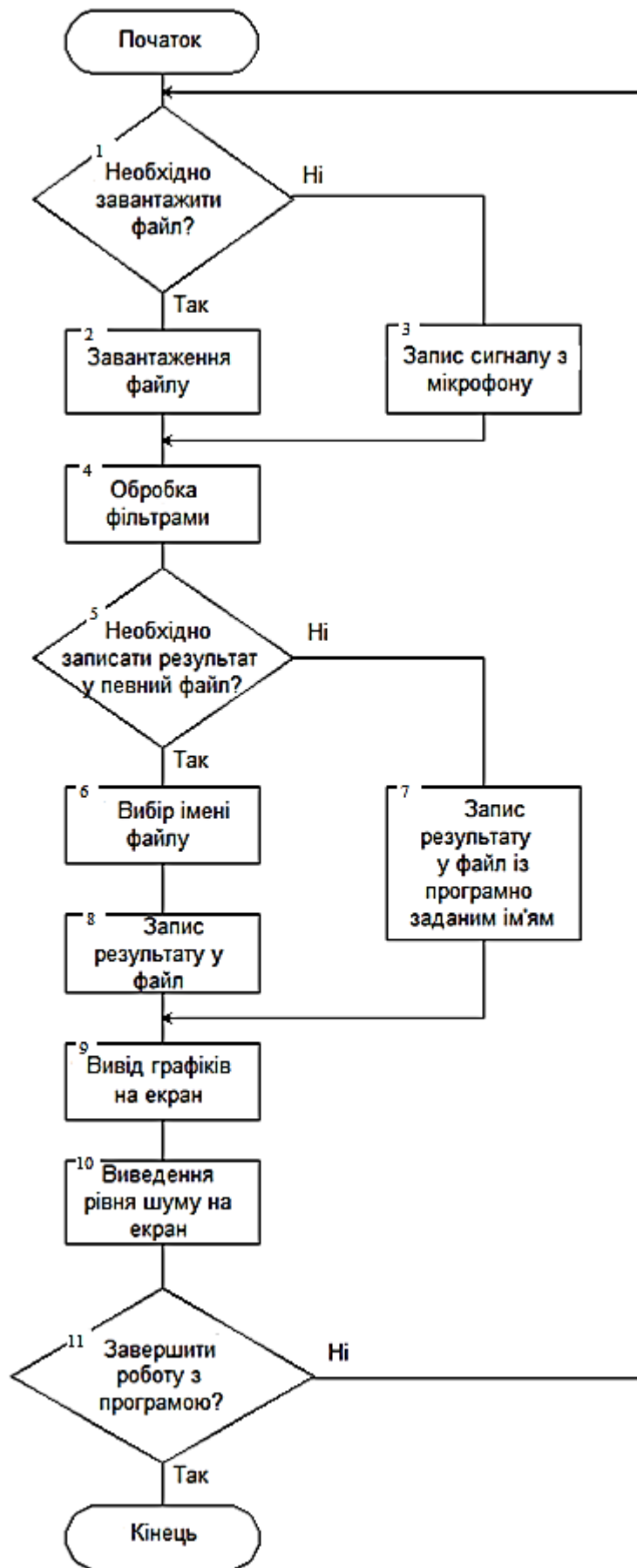


Рисунок 3.2 – Спрощений алгоритм програми

3.3 Розробка інтерфейсу користувача

Головне вікно програми містить дві вкладки. На першій вкладці, де знаходиться дисплей акустичних параметрів, є чотири області: список генераторів, область для прослуховування та редагування частот генераторів, область для тестування ехокамери та область для побудови графіків частот компонентів. .

Список генераторів показує генератори частоти, які використовувалися під час тестування.

Панель генераторів містить кнопки «Додати» та «Видалити» для додавання та видалення генераторів. Під кнопками знаходиться область налаштування частоти генератора. Ви також можете регулювати гучність у цій області. За допомогою прапорця Invert ви можете інвертувати фазу сигналу, графік якого відображається в окремому блоці діапазону. На панелі генераторів є кнопка відтворення, за допомогою якої можна почути сигнал.

У розділі Echo є повзунки тривалості сигналу, що надсилається з динаміка, і тривалості запису з мікрофона. Кнопкою тестування подається сигнал і починається запис. Нижче наведено графік вхідного сигналу, також є смуга прокрутки для перегляду всього графіка. Під діаграмою міститься інформація про поточні дані діаграми.

Область Component Chatot Graphs складається з графіка, списку частот і двох кнопок — «Додати» та «Видалити» — для додавання та видалення частот, для яких потрібно створити графік затухання. Під кнопкою «Додати» є текстовий блок, де потрібно ввести частоту для додавання до списку діаграм компонентів. Щоб видалити графік, виберіть частоту зі списку ліворуч від кнопки та натисніть кнопку видалення.

Перша вкладка головного вікна програми показана на рисунку 4.3.

Друга вкладка програми містить три області: рядок меню, область осцилографа та кнопки керування.

Незалежно від вибору файлу для запису, отримані результати зберігаються у вихідній папці з назвою, яка включає час і дату обробки.

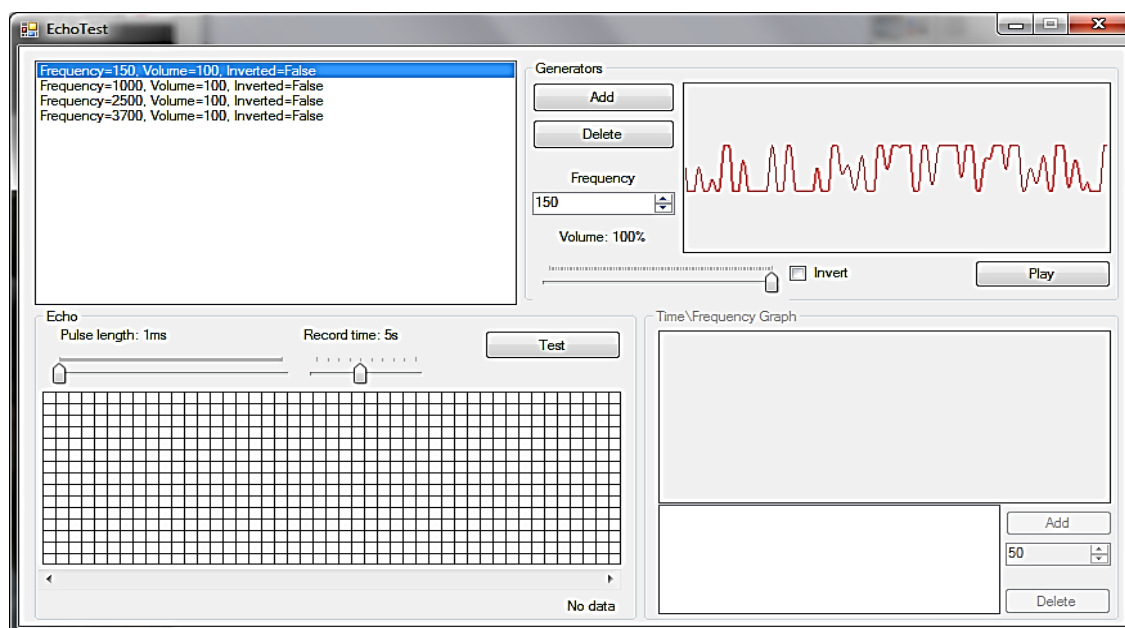


Рисунок 3.3 – Вимірювач акустичних параметрів приміщень

Вхідний сигнал записується в папку Input. Якщо ці папки ще не існують на вашому комп'ютері, вони будуть створені автоматично.

Область осцилографа містить 2 графіки: зелений - вхідний сигнал і червоний - оброблений сигнал. На графіку відображається 500 мілісекунд усього сигналу, а для перегляду всього графіка використовується смуга прокрутки.

При наведенні вказівника миші на область осцилографа значення вибірок (вхідного та обробленого сигналів) відображається в точці, де розташований курсор.

У правому нижньому кутку знаходяться значення, що відображають рівень шуму в децибелах. Зелений – рівень шуму вхідного сигналу, червоний – рівень шуму обробленого сигналу.

Коли головне вікно розтягнуто, графік змінюється через зміну кількості вибірок на точку.

Під областю видимості розташовані кнопки керування: Applyfilter, Start і Stop. Друга вкладка програми показана на рисунку 3.4.

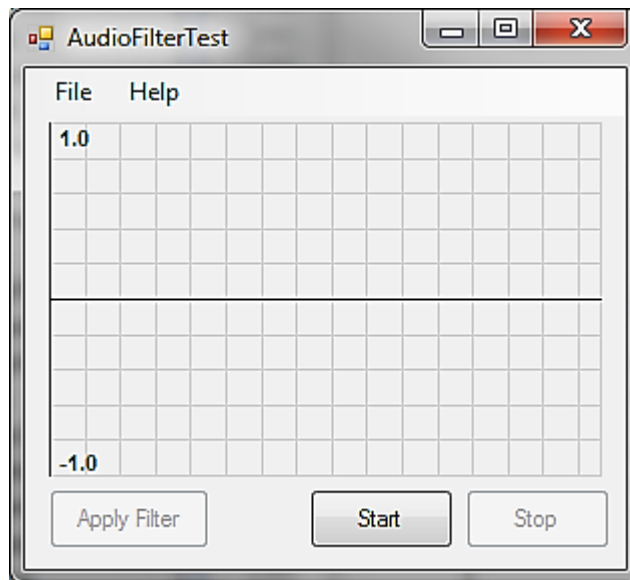


Рисунок 3.4 – Шумомір

Applyfilter стає активним після відкриття файлу та пропонує можливість застосувати фільтри до відкритого файлу.

start – починає запис сигналу, що надходить з мікрофона. Одночасно із записом сигнал обробляється фільтрами. Також при записі в області осцилографа відображаються графіки вхідного і обробленого сигналу в реальному часі.

stop – зупинити запис сигналу. Також завершує обробку графіки та фільтрів.

3.4 Запис звуку

NAudio - це іє і з викритим вихідним Oh кодом для .Net, написаний н марком хвнесками іагатыumber. Вход признаулс д забезпєня великого набору корисних slublymore klasicles, з box box побувати власнихлен

NAudio був створений тому, що в бібліотеці класів Framework, що поставляється з .NET 1.0, не підтримує відтворення аудіо. Опис класів System.Media введено в .NET 2.0, надано невелику підтримку, і MediaElement у WPF і Silverlight взяв трохи далі. Головною метою NAudio є надання повного набору аудіо пов'язаних класів, що дозволяє спростити розробку утиліту, який

грає або записує звук, або не дозволяє маніпулювати аудіофайлами в деякому роді.

Виберіть наступні параметри:

```
void echoRecorder_DataAvailable(object sender, WaveInEventArgs e)
{
    recordedEchoStream.Write(e.Buffer, 0, e.Buffer.Length);
    uint maxSamples=(uint)(sampleRate*RecordTimeTrack.Value* 2);
    if (recordedEchoStream.Length >= maxSamples)
    {
        StopEchoRecorder();
        recordedEchoStream.Position = 0;
        SetEchoTestResults(recordedEchoStream.ToArray());
        recordedEchoStream.Dispose();
        recordedEchoStream = null;
    }
}

private void StopEchoRecorder()
{
    if (echoRecorder != null)
    {
        echoRecorder.DataAvailable -= echoRecorder_DataAvailable;
        echoRecorder.StopRecording();
        echoRecorder.Dispose();
        echoRecorder = null;
    }
}
```

Запис звуку здійснюється у окремому потоці.

Запис звуку для шумоміра забезпечується таким чином:

```
WaveIn recorder;
```

```
...
```

```
recorder = new WaveIn();
```

```
recorder.DeviceNumber = 0;
```

```
recorder.BufferMilliseconds = 500;
```

```
recorder.DataAvailable += new EventHandler<WaveInEventArgs>(recorder_
DataAvailable);
```

```
recorder.WaveFormat = format;
```

```
recorder.StartRecording();
```

Для запису звуку у файл використовуємо такі методи:

```
byte[] originalBuff;
```

```
byte[] filteredBuff;
```

```
while (working || dataQueue.Count > 0)
```

```
{    if (dataQueue.TryDequeue(out originalBuff))
```

```
{    originalFileWriter.Write(originalBuff, 0 , originalBuff.Length);
```

```
...
```

```
fileWriter.Write(filteredBuff, 0 , originalBuff.Length);
```

```
...
```

Запис звуку здійснюється у окремому потоці.

```
public class AudioWorker
```

```
{
```

```
Thread workerThread;
```

```
...
```

```
workerThread = new Thread(ThreadFlow);
```

```
working = true;
```

```
workerThread.Start();
```

```
return true;
```

3.5 Розбиття реверберації на спектр

Швидке перетворення Фур'є (FastFourierTransform) — це швидкий алгоритм для обчислення дискретного перетворення Фур'є. Якщо для обчислення дискретного перетворення Фур'є безпосередньо з N точок даних потрібні $O(N^2)$ арифметичних операцій, тоді ШПФ дозволяє обчислити той самий результат за допомогою $O(N \log N)$ операцій. Алгоритм ШПФ широко

використовується в цифровій обробці сигналів для перетворення дискретних даних із часової області в частотну [11].

Основний крок алгоритму полягає у зведенні задачі для N чисел до задачі для $p=N/q$ чисел, де q - дільник N . Нехай ми вже можемо вирішувати задачу для N/q чисел. Застосуємо перетворення Фур'є до наборів $a_i, a_{q+i}, \dots, a_{q(p-1)+i}$ для $i=0, 1, \dots, q-1$. Тепер покажемо, як за $O(Np)$ обчислень розв'язати вихідну задачу. Зауважимо, що

$$b_i = \sum_{j=0}^{q-1} \varepsilon_{ij} \left(\sum_{k=0}^{p-1} a_{kq+j} \varepsilon^{kiq} \right). \quad (3.1)$$

Вирази в дужках нам уже відомі - це $i \pmod{p}$ -те число після перетворення Фур'є j -тої групи. Таким чином, для обчислення кожного потрібно b_i потрібно $O(q)$ обчислень, а для обчислення всіх b_i — $O(Nq)$ обчислень.

Розбиття ревербераційного сигналу на спектр відбувається за допомогою бібліотеки NAudio, класу FastFourierTransform, функція якого наведений нижче.

```
public static void FFT(bool forward, int m, Complex[] data)
{
    int n, i, i1, j, k, i2, l, l1, l2;
    float c1, c2, tx, ty, t1, t2, u1, u2, z;
    // Calculate the number of points
    n = 1;
    for (i = 0; i < m; i++)
        n *= 2;
    // Do the bit reversal
    i2 = n >> 1;
    j = 0;
    for (i = 0; i < n - 1; i++)
    {
        if (i < j)
```

```

    {
        tx = data[i].X;
        ty = data[i].Y;
        data[i].X = data[j].X;
        data[i].Y = data[j].Y;
        data[j].X = tx;
        data[j].Y = ty;
    }

    k = i2;
    while (k <= j)
    {
        j -= k;
k >>= 1;
    }
    j += k;
}
// Compute the FFT
c1 = -1.0f;
c2 = 0.0f;
l2 = 1;
for (l = 0; l < m; l++)
{
l1 = l2;
    l2 <<= 1;
    u1 = 1.0f;
    u2 = 0.0f;
    for (j = 0; j < l1; j++)
    {
        for (i = j; i < n; i += l2)
        {

```

```

        i1 = i + 1;
        t1 = u1 * data[i1].X - u2 * data[i1].Y;
        t2 = u1 * data[i1].Y + u2 * data[i1].X;
data[i1].X = data[i].X - t1;
        data[i1].Y = data[i].Y - t2;
        data[i].X += t1;
        data[i].Y += t2;
    }

    z = u1 * c1 - u2 * c2;
    u2 = u1 * c2 + u2 * c1;
    u1 = z;
}
c2 = (float)Math.Sqrt((1.0f - c1) / 2.0f);
if (forward)
    c2 = -c2;
    c1 = (float)Math.Sqrt((1.0f + c1) / 2.0f);
}

// Scaling for forward transform
if (forward)
{
    for (i = 0; i < n; i++)
    {
        data[i].X /= n;
        data[i].Y /= n;
    }
}
}

```

Виведення графіків на екран відбувається таким чином:

```

private void ShowSpectrum()
{

```

```

    Bitmap spectrumBitmap = new Bitmap(SpectrumPictureBox.Width,
SpectrumPictureBox.Height);

    Graphics sampleGraphics = Graphics.FromImage(spectrumBitmap);
    DrawGrid(sampleGraphics);
    if (recordedEchoSamples == null || recordedEchoSamples.Length == 0)
        {
            sampleGraphics.Dispose();
            TimeLabel.Text = "No data";
            SpectrumScrollBar.Enabled = false;
            SpectrumPictureBox.Image = spectrumBitmap;
            return;
        }
    float[] samples = new float[portionSyze];
    Array.Copy(recordedEchoSamples,SpectrumScrollBar.Value, samples, 0,
samples.Length);
    Complex[] fft = ConvertToComplex(samples);
    int m = (int)Math.Log(fft.Length, 2.0);
    FastFourierTransform.FFT(true, m, fft);
    Pen samplePen = new Pen(Color.Red, 1);
    int fftpos = 0;
    float pos = 0;
    for (int i = 0; i < SpectrumPictureBox.Width; i++) {
        fftpos = (int)((float)(fft.Length / 2) * (float)i /
(float)SpectrumPictureBox.Width);
        pos = GetFFTValue(fft[fftpos]) * (SpectrumPictureBox.Height);
        sampleGraphics.DrawLine(samplePen, i, pos, i, SpectrumPictureBox.Height);
    }
    sampleGraphics.Dispose();
    SpectrumPictureBox.Image = spectrumBitmap;
    ...

```

```

TimeLabel.Text =string.Format ("{0:D2} : {1:D3} / {2:D2} : {3:D3}",
currentTime.Seconds,          currentTime.Milliseconds,          totalTime.Seconds,
totalTime.Milliseconds)+" Step: " + msShown.ToString("F") + "ms";
}

```

Результати роботи програми наведено на рисунку 3.5.

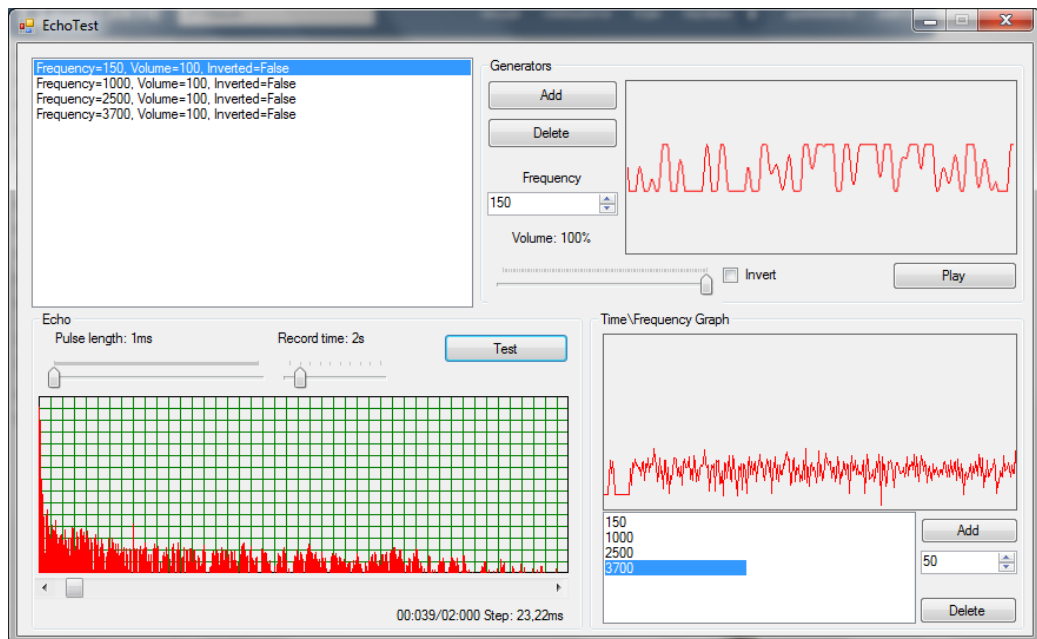


Рисунок 3.5 – Результати роботи програми вимірювача акустичних параметрів приміщень

3.6 Обробка звуку шумоміром

Псофометричні фільтри, реалізовані у даній програмі, складаються з фільтрів Чебишева і Баттерворта. Детальніше вони розглянуті у першому розділі.

Формула для рекурсивного фільтра другого порядку (3.2):

$$S'(i) = a_0 * S(i) + a_1 * S(i-1) + a_2 * S(i-2) - b_1 * S'(i-1) - b_2 * S'(i-2), \quad (3.2)$$

де $S(i)$ - вхідний,

$S'(i)$ - вихідний сигнали,

$b_0=1$.

Формула для рекурсивного фільтра першого порядку:

$$S'(i)=a_0*S(i)+a_1*S(i-1)-b_1*S'(i-1), \quad (3.3)$$

де $S(i)$ -вхідний,

$S'(i)$ -вихідний сигнали,

$b_0=1$.

Фільтри розраховані на частоту дискретизації 44100 Гц.

Коефіцієнти для фільтрів високих частот можна обчислити з коефіцієнтів фільтрів низьких частот на основі теореми додавання перетворень Фур'є. Якщо ми додамо спектральні функції в частотній області, ми отримаємо відповідну результуючу функцію в часовій області як суму вагових функцій, тобто X . Коефіцієнти фільтра [16].

Загальний фільтр пропускає всі частоти без загасання. Його рівняння має лише один коефіцієнт $a_0=1$. Усі інші коефіцієнти дорівнюють нулю, тобто $a_k=0$, якщо $k \neq 0$. Якщо від такого фільтра розраховується низькочастотний спектр, то залишається високочастотний спектр з тією ж граничною частотою. Для коефіцієнтів фільтра це означає: високочастотний коефіцієнт = коефіцієнт повного фільтра - коефіцієнт нижніх частот. Фільтр А складається з ФНЧ Чебишева 2-го порядку з $f_c=7700$ Гц:

$a_0=0.13726$; $a_1=0.27452$; $a_2=0.13726$; $b_1=-0.866$; $b_2=0.415045$

і ФВЧ Баттерворта 1-го порядку з $F_{cp}=6000$ Гц:

$a_0=0.687044$; $a_1=-0.68704$; $b_1=-0.37408$.

Фільтр В складається з ФНЧ Чебишева 2-го порядку з $f_c=5300$ Гц:

$a_0=0.070684$; $a_1=0.141368$; $a_2=0.070684$; $b_1=-1.2531$; $b_2=0.535844$

і такого ж ФВЧ Баттерворта 1-го порядку з $F_{cp}=6000$ Гц:

$a_0=0.687044$; $a_1=-0.68704$; $b_1=-0.37408$.

Коефіцієнти розраховані за допомогою програми Numeri.

Програмна реалізація фільтрів:


```

for (int i = 0; i < samples.Length; i++)
{
    sample = samples[i];
    firstPassFilterData.XN = sample;
    switch (filterType)
    {
        case PsophometricFilterType.A:
            sample =
0.13726f*sample+0.27452f*firstPassFilterData.XN_1+0.13726f*firstPassFilterData.
XN_2+0.866f*firstPassFilterData.YN_1-0.415045f*firstPassFilterData.YN_2;
            break;
        case PsophometricFilterType.B:
            sample =
0.070684f*sample+0.141368f*firstPassFilterData.XN_1+0.070684f*firstPassFilterD
ata.XN_2+1.2531f*firstPassFilterData.YN_1-0.535844f*firstPassFilterData.YN_2;
            break;
        default:
            throw new Exception("Invalid value for TestFilterType");
    }
    sample = normalizeSample(sample);
    firstPassFilterData = shiftFilterData(firstPassFilterData, sample);
    result[i] = sample;
}
...
for (int i = 0; i < samples.Length; i++)
{
    sample = samples[i];
    secondPassFilterData.XN = sample;
    sample = 0.687044f*sample-
0.687044f*secondPassFilterData.XN_1+0.374088f*secondPassFilterData.YN_1;

```

```
sample = normalizeSample(sample);
secondPassFilterData = shiftFilterData(secondPassFilterData, sample);
result[i] = sample;
}
```

...

Повний лістинг програми шумоміра наведено в додатках.

3.7 Вибір комп'ютерних комплектуючих

Для роботи вимірювального комплексу необхідно апаратне та програмне забезпечення:

- центральний процесор;
- системна плата;
- оперативна пам'ять;
- жорсткий диск;
- корпус;
- блок живлення;
- клавіатура;
- мікрофон із підсилюванням;
- мережевий фільтр;
- операційна система Windows 10;
- розроблене ПЗ.

Оскільки для вимірювань використовується чутливий мікрофон з підсилювачем, необхідно звернути увагу на мінімальний шум від додаткових пристроїв.

Наприклад, можна вибрати центральний процесор Intel Xeon E5-2650 2000MHz/L3-20480Kb/QPI s2011 Box, який володіє всіма необхідними характеристиками для роботи вимірювального комплексу. Для охолодження такого процесора потрібно забезпечити безшумну систему охолодження, а саме водяне або пасивне охолодження, наприклад, Cooler Master Seidon 240M

(водяне), який має алюмінієвий радіатор і видає лише 25 дБ шуму, або Zalman FX100. , тобто пасивне охолодження .

Так як жорсткі диски також мають свій рівень шуму, особливо при запису, необхідно вибирати тихі диски, тобто твердотільні накопичувачі (SSD).

Наприклад, Kingston 120GB SSD 2.5" SATAIII має достатній об'єм і відносно невисоку ціну, а у Kingston Corporation хороша репутація.

Відеокарта не має особливого значення, сучасні материнські плати мають вбудовані відеокарти, яких достатньо для роботи системи.

Для звукової карти вибір припав на Creative Sound Blaster Z Bulk, яка має співвідношення сигнал/шум 116 дБ.

В якості мікрофона для запису сигналу був обраний Gembird M04 Black - бюджетний варіант з хорошою якістю і достатньою чутливістю, збільшеною спеціалізованим підсилювачем. Має інтерфейс 3.5 mini-jack, стійку основу з диском, що обертається, і рухливу головку, яка дозволяє точно наводити мікрофон на джерело сигналу.

Перевагами цієї системи є:

- низька вартість створення окремих компонентів;
- малі габарити.

Зовнішній вигляд компонентів показано на рисунку 3.6.

Якщо немає можливості забезпечити такі компоненти, необхідно перемістити мікрофон для запису якомога далі від комп'ютера. При цьому

необхідно подавати сигнал з достатнім звуковим тиском.



Рисунок 3.6 – Зовнішній вигляд комп'ютера для вимірювань

3.8 Рекомендації користувачу ПЗ та оператору вимірювального комплексу

Комп'ютер має мати такі мінімальні характеристики:

- Процесор Intel/AMD 2GHz;
- Оперативну пам'ять не менше 512 Mb;
- 1 Gb вільного місця на жорсткому диску;
- ОС Windows 10;
- Монітор з розширенням 1200x720 та палітрою в 256 кольорів.

Для нормальної роботи програми необхідно встановити .NETFramework 3.5 та підключити бібліотеки NAudio.

Якщо під час запуску програми ви отримуєте повідомлення про помилку, спочатку знайдіть бібліотеки, а потім переконайтеся, що кроки, які ви виконали для запуску програми, правильні.

Вручну змінювати текст вихідних файлів заборонено, за винятком біт за секунду, вибірок за секунду, кількості каналів, номера звукової карти та розміру буфера, і лише в місцях, позначених коментарями.

Програма запускається з відкриття файлу exe.

Щоб почути сигнал і перевірити частоту для вимірювання акустичних параметрів, натисніть кнопку відтворення. Коли частоти встановлені правильно, потрібно відрегулювати тривалість вихідного сигналу і тривалість запису. Потім натисніть кнопку перевірки.

Для введення та запису сигналу з мікрофона для обробки шумоміром необхідно натиснути кнопку Пуск. Щоб зупинити запис і обробку, натисніть кнопку зупинки. Якщо вам потрібно відкрити попередньо записаний файл WAV для обробки, натисніть кнопку «Файл» на панелі меню та виберіть «Відкрити». Щоб обробити сигнал за допомогою фільтра, натисніть кнопку Застосувати фільтр. Щоб зберегти оброблений файл у певний файл, виберіть «Зберегти». Крім цього способу запису, передбачено автоматичний запис вхідного та обробленого сигналу у відповідні вхідні та вихідні папки з назвою, що містить дату та час обробки файлу. Для отримання інформації про розробника програми натисніть кнопку Довідка.

У разі помилки необхідно перевірити підключення до динамічної бібліотеки або правильність введених даних.

Якщо сталася критична помилка, програму слід перезапустити.

4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Комерційний та технологічний аудит науково-технічної розробки

Метою даного розділу є проведення технологічного аудиту, в даному випадку нового програмного продукту комп'ютерного вимірювача акустичних шумів. Особливістю розробки є реалізований психометричний метод вимірювання, який передбачає накопичення відліків сигналу, до вихідних значень застосовується цифра фільтрація.

Аналогом розробки може бути Audio spectrum analyzer за ціною 800 грн.

Для проведення комерційного та технологічного аудиту залучають не менше 3-х незалежних експертів. Оцінювання науково-технічного рівня розробки та її комерційного потенціалу рекомендується здійснювати із застосуванням п'ятибальної системи оцінювання за 12-ма критеріями, у відповідності із табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Рекомендовані критерії оцінювання комерційного потенціалу розробки та їх можлива бальна оцінка

Бали (за 5-ти бальною шкалою)					
Кри-терій	0	1	2	3	4
Технічна здійсненність концепції					
1	Достовірність концепції не підтверджена	Концепція підтверджена експертними висновками	Концепція підтверджена розрахунками	Концепція перевірена на практиці	Перевірено роботоздатність продукту в реальних умовах
2	Багато аналогів на малому ринку	Мало аналогів на малому ринку	Кілька аналогів на великому ринку	Один аналог на великому ринку	Продукт не має аналогів на великому ринку

Продовження табл. 4.1

Ринкові переваги					
3	Ціна продукту значно вища за ціни аналогів	Ціна продукту дещо вища за ціни аналогів	Ціна продукту приблизно дорівнює цінам аналогів	Ціна продукту дещо нижче за ціни аналогів	Ціна продукту значно нижче за ціни аналогів
4	Технічні та споживчі властивості продукту значно гірші, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту трохи гірші, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту на рівні аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту трохи кращі, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту значно кращі, ніж в аналогів
5	Експлуатаційні витрати значно вищі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати дещо вищі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати на рівні експлуатаційних витрат аналогів	Експлуатаційні витрати трохи нижчі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати значно нижчі, ніж в аналогів
Ринкові перспективи					
6	Ринок малий і не має позитивної динаміки	Ринок малий, але має позитивну динаміку	Середній ринок з позитивною	Великий стабільний ринок	Великий ринок з позитивною динамікою
7	Активна конкуренція великих компаній на ринку	Активна конкуренція	Помірна конкуренція	Незначна конкуренція	Конкуренція немає
Практик на здійсненість					
8	Відсутні фахівці як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї	Необхідно наймати фахівців або витратити значні кошти та час на навчання наявних фахівців	Необхідне незначне навчання фахівців та збільшення їх штату	Необхідне незначне навчання фахівців	Є фахівці з питань як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї
9	Потрібні значні фінансові ресурси, які відсутні. Джерела фінансування ідеї відсутні	Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування відсутні	Потрібні значні фінансові ресурси. Джерела фінансування є	Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування є	Не потребує додаткового фінансування
10	Необхідна розробка нових матеріалів	Потрібні матеріали, що використовуються у військово-промисловому комплексі	Потрібні дорогі матеріали	Потрібні досяжні та дешеві матеріали	Всі матеріали для реалізації ідеї відомі та давно використовуються у виробництві

Продовження табл. 4.1

11	Термін реалізації ідеї більший за 10 років	Термін реалізації ідеї більший за 5 років. Термін окупності інвестицій більше 10-ти років	Термін реалізації ідеї від 3-х до 5-ти років. Термін окупності інвестицій більше 5-ти років	Термін реалізації ідеї менше 3-х років. Термін окупності інвестицій від 3-х до 5-ти років	Термін реалізації ідеї менше 3-х років. Термін окупності інвестицій менше 3-х років
12	Необхідна розробка регламентних документів та отримання великої кількості дозвільних документів на виробництво та реалізацію продукту	Необхідно отримання великої кількості дозвільних документів на виробництво та реалізацію продукту, що вимагає значних коштів та часу	Процедура отримання дозвільних документів для виробництва та реалізації продукту вимагає незначних коштів та часу	Необхідно тільки повідомлення відповідним органам про виробництво та реалізацію продукту	Відсутні будь-які регламентні обмеження на виробництво та реалізацію продукту

Усі дані по кожному параметру занесено в таблиці 4.2

Таблиця 4.2 – Результати оцінювання комерційного потенціалу розробки

Критерії оцінювання	ПІБ експертів		
	Експерт 1	Експерт 2	Експерт 3
	Бали		
Технічна здійсненність концепції	3	4	4
Наявність аналогів на ринку	3	3	3
Цінова політика	4	4	4
Технічні та споживчі властивості виробу	4	3	4
Експлуатаційні витрати	4	4	3
Ринок збуту	3	3	4
Конкурентоспроможність	3	4	3
Фахівці з технічної і комерційної реалізації	4	3	4
Фінансування	4	4	3
Матеріально-технічна база	3	3	3
Термін реалізації ідеї	4	4	4
Супровідна документація	4	3	3
Сума	43	42	42
Середньоарифметична сума балів	$(43+42+42) / 3 = 42,33$		

За даними таблиці 4.2 можна зробити висновок щодо рівня комерційного потенціалу даної розробки. Для цього доцільно скористатись рекомендаціями, наведеними в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 - Рівні комерційного потенціалу розробки

Середньоарифметична сума балів, розрахована на основі висновків експертів	Рівень комерційного потенціалу розробки
0 - 10	Низький
11 - 20	Нижче середнього
21 - 30	Середній
31 - 40	Вище середнього
41 - 48	Високий

Як видно з таблиці, рівень комерційного потенціалу розроблюваного нового програмного продукту є високим, що досягається за рахунок того, що в комп'ютерному вимірювачі акустичних шумів реалізовано психометричний метод вимірювання, який передбачає накопичення відліків сигналу, до вихідних значень застосовується цифра фільтрація.

4.2 Прогнозування витрат на виконання науково-дослідної (дослідно-конструкторської) роботи

4.2.1 Основна заробітна плата розробників, яка розраховується за формулою:

$$Z_o = \frac{M}{T_p} \cdot t, \quad (4.1)$$

де M – місячний посадовий оклад конкретного розробника (дослідника), грн.;

T_p – число робочих днів за місяць, 21 днів;

t – число днів роботи розробника (дослідника).

Результати розрахунків зведемо до таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Основна заробітна плата розробників

Найменування посади	Місячний посадовий оклад, грн.	Оплата за робочий день, грн.	Число днів роботи	Витрати на заробітну плату, грн.
Керівник проекту	28300	1347,62	33	44471,429
Програміст	26500	1261,90	33	41642,857
Всього				86114,29

Так як в даному випадку розробляється програмний продукт, то розробник виступає одночасно і основним робітником, і тестувальником розроблюваного програмного продукту.

4.2.2 Додаткова заробітна плата розробників, які брати участь в розробці обладнання/програмного продукту.

Додаткову заробітну плату прийнято розраховувати як 12,5 % від основної заробітної плати розробників та робітників:

$$Z_d = Z_o \cdot 12,5 \% / 100 \% \quad (4.2)$$

$$Z_d = (86114,29 \cdot 12,5 \% / 100 \%) = 10764,29 \text{ (грн.)}$$

4.2.3 Нарахування на заробітну плату розробників.

Згідно діючого законодавства нарахування на заробітну плату складають 22% від суми основної та додаткової заробітної плати.

$$H_z = (Z_o + Z_d) \cdot 22 \% / 100\% \quad (4.3)$$

$$H_z = (86114,29 + 10764,29) \cdot 22 \% / 100 \% = 21313,29 \text{ (грн.)}$$

4.2.4. Оскільки для розроблювального пристрою не потрібно витратити матеріали та комплектуючі, то витрати на матеріали і комплектуючі дорівнюють нулю.

4.2.5 Амортизація обладнання, яке використовувалось для проведення розробки.

Амортизація обладнання, що використовувалось для розробки в спрощеному вигляді розраховується за формулою:

$$A = \frac{Ц}{Тв} \cdot \frac{t_{вик}}{12} \text{ [Грн.]} \quad (4.4)$$

де Ц – балансова вартість обладнання, грн.;

Т – термін корисного використання обладнання згідно податкового законодавства, років

$t_{вик}$ – термін використання під час розробки, місяців

Розрахуємо, для прикладу, амортизаційні витрати на комп'ютер балансова вартість якого становить 29500 грн., термін його корисного використання згідно податкового законодавства – 2 роки, а термін його фактичного використання – 1,57 міс.

$$A_{обл} = \frac{29500}{2} \times \frac{1,57}{12} = 1931,548 \text{ грн.}$$

Аналогічно визначаємо амортизаційні витрати на інше обладнання та приміщення. Розрахунки заносимо до таблиці 4.5.

Так як вартість ліцензійної ОС та спеціалізованих ліцензійних нематеріальних ресурсів менше 20000 грн, то даний нематеріальний актив не амортизується (Microsoft Visual Studio), а його вартість включається у вартість розробки повністю, $B_{нем.ак.} = 3500$ грн.

Таблиця 4.5 – Амортизаційні відрахування на матеріальні та нематеріальні ресурси для розробників

Найменування обладнання	Балансова вартість, грн.	Строк корисного використання, років	Термін використання обладнання, місяців	Амортизаційні відрахування, грн.
Комп'ютер та комп'ютерна периферія (ПК, мікрофон, зовнішня звукова карта)	29500	2	1,57	1931,548
Офісне обладнання (меблі)	23000	4	1,57	752,976
Приміщення	630000	20	1,57	4125,000
Всього				6809,52

5.2.6 Тарифи на електроенергію для побутових споживачів (промислових підприємств) відрізняються від тарифів на електроенергію для населення. При цьому тарифи на розподіл електроенергії у різних постачальників (енергорозподільних компаній), будуть різними. Крім того, розмір тарифу залежить від класу напруги (1-й або 2-й клас). Тарифи на розподіл електроенергії для всіх енергорозподільних компаній встановлює Національна комісія з регулювання енергетики і комунальних послуг (НКРЕКП). Витрати на силову електроенергію розраховуються за формулою:

$$V_e = V \cdot P \cdot \Phi \cdot K_{\Pi}, \quad (4.5)$$

де V – вартість 1 кВт-години електроенергії для 1 класу підприємства, $V = 6,2$ грн./кВт;

P – встановлена потужність обладнання, кВт. $P = 0,4$ кВт;

Φ – фактична кількість годин роботи обладнання, годин.

K_{Π} – коефіцієнт використання потужності, $K_{\Pi} = 0,9$.

$$B_e = 0,9 \cdot 0,4 \cdot 8 \cdot 33 \cdot 6,2 = 589,248 \text{ (грн.)}$$

5.2.7 Інші витрати та загальновиробничі витрати.

До статті «Інші витрати» належать витрати, які не знайшли відображення у зазначених статтях витрат і можуть бути віднесені безпосередньо на собівартість досліджень за прямими ознаками. Витрати за статтею «Інші витрати» розраховуються як 50...100% від суми основної заробітної плати дослідників:

$$I_e = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{ib}}{100\%}, \quad (4.6)$$

де H_{ib} – норма нарахування за статтею «Інші витрати».

$$I_e = 86114,29 \cdot 75\% / 100\% = 64585,71 \text{ (грн.)}$$

До статті «Накладні (загальновиробничі) витрати» належать: витрати, пов'язані з управлінням організацією; витрати на винахідництво та раціоналізацію; витрати на підготовку (перепідготовку) та навчання кадрів; витрати, пов'язані з набором робочої сили; витрати на оплату послуг банків; витрати, пов'язані з освоєнням виробництва продукції; витрати на науково-технічну інформацію та рекламу та ін. Витрати за статтею «Накладні (загальновиробничі) витрати» розраховуються як 100...150% від суми основної заробітної плати дослідників:

$$H_{нзв} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{нзв}}{100\%}, \quad (4.7)$$

де $H_{нзв}$ – норма нарахування за статтею «Накладні (загальновиробничі) витрати».

$$H_{нзв} = 86114,29 \cdot 137\% / 100\% = 117977 \text{ (грн.)}$$

5.2.9 Витрати на проведення науково-дослідної роботи.

Сума всіх попередніх статей витрат дає загальні витрати на проведення науково-дослідної роботи:

$$B_{\text{заг}} = 86114,29 + 10764,29 + 21313,29 + 6809,52 + 3500 + 589,25 + 64585,71 + 117977 = 311652,91 \text{ грн.}$$

5.2.11 Розрахунок загальних витрат на науково-дослідну (науково-технічну) роботу та оформлення її результатів.

Загальні витрати на завершення науково-дослідної (науково-технічної) роботи та оформлення її результатів розраховуються за формулою:

$$ЗВ = \frac{B_{\text{заг}}}{\eta} \text{ (грн)}, \quad (4.8)$$

де η – коефіцієнт, який характеризує етап (стадію) виконання науково-дослідної роботи.

Так, якщо науково-технічна розробка знаходиться на стадії: науково-дослідних робіт, то $\eta=0,1$; технічного проектування, то $\eta=0,2$; розробки конструкторської документації, то $\eta=0,3$; розробки технологій, то $\eta=0,4$; розробки дослідного зразка, то $\eta=0,5$; розробки промислового зразка, то $\eta=0,7$; впровадження, то $\eta=0,9$. Оберемо $\eta = 0,5$, так як розробка, на даний момент, знаходиться на стадії дослідного зразка:

$$ЗВ = 311652,91 / 0,5 = 623306 \text{ грн.}$$

4.3 Розрахунок економічної ефективності науково-технічної розробки за її можливої комерціалізації потенційним інвестором

В ринкових умовах узагальнювальним позитивним результатом, що його може отримати потенційний інвестор від можливого впровадження результатів цієї чи іншої науково-технічної розробки, є збільшення у потенційного інвестора величини чистого прибутку. Саме зростання чистого прибутку забезпечить потенційному інвестору надходження додаткових коштів, дозволить покращити фінансові результати його діяльності, підвищить конкурентоспроможність та може позитивно вплинути на ухвалення рішення щодо комерціалізації цієї розробки.

Для того, щоб розрахувати можливе зростання чистого прибутку у потенційного інвестора від можливого впровадження науково-технічної розробки необхідно:

а) вказати, з якого часу можуть бути впроваджені результати науково-технічної розробки;

б) зазначити, протягом скількох років після впровадження цієї науково-технічної розробки очікуються основні позитивні результати для потенційного інвестора (наприклад, протягом 3-х років після її впровадження);

в) кількісно оцінити величину існуючого та майбутнього попиту на цю або аналогічні чи подібні науково-технічні розробки та назвати основних суб'єктів (зацікавлених осіб) цього попиту;

г) визначити ціну реалізації на ринку науково-технічних розробок з аналогічними чи подібними функціями.

При розрахунку економічної ефективності потрібно обов'язково враховувати зміну вартості грошей у часі, оскільки від вкладення інвестицій до

отримання прибутку минає чимало часу. При оцінюванні ефективності інноваційних проектів передбачається розрахунок таких важливих показників:

- абсолютного економічного ефекту (чистого дисконтованого доходу);
- внутрішньої економічної дохідності (внутрішньої норми дохідності);
- терміну окупності (дисконтованого терміну окупності).

Аналізуючи напрямки проведення науково-технічних розробок, розрахунок економічної ефективності науково-технічної розробки за її можливої комерціалізації потенційним інвестором можна об'єднати, враховуючи визначені ситуації з відповідними умовами.

4.3.1 Розробка чи суттєве вдосконалення програмного засобу (програмного забезпечення, програмного продукту) для використання масовим споживачем.

В цьому випадку майбутній економічний ефект буде формуватися на основі таких даних:

$$\Delta\Pi_i = (\pm\Delta\Pi_o \cdot N + \Pi_o \cdot \Delta N)_i \cdot \lambda \cdot \rho \cdot \left(1 - \frac{\rho}{100}\right), \quad (4.9)$$

де $\pm\Delta\Pi_o$ – зміна вартості програмного продукту (зростання чи зниження) від впровадження результатів науково-технічної розробки в аналізовані періоди часу;

N – кількість споживачів які використовували аналогічний продукт у році до впровадження результатів нової науково-технічної розробки;

Π_o – основний оціночний показник, який визначає діяльність підприємства у даному році після впровадження результатів наукової розробки, $\Pi_o = \Pi_o \pm \Delta\Pi_o$;

Π_b – вартість програмного продукту у році до впровадження результатів розробки;

ΔN – збільшення кількості споживачів продукту, в аналізовані періоди часу, від покращення його певних характеристик;

λ – коефіцієнт, який враховує сплату податку на додану вартість. Ставка податку на додану вартість дорівнює 20%, а коефіцієнт $\lambda = 0,8333$.

p – коефіцієнт, який враховує рентабельність продукту;

ϑ – ставка податку на прибуток, у 2022 році $\vartheta = 18\%$.

Припустимо, що при прогнозованій ціні 350 грн. за одиницю виробу, термін збільшення прибутку складе 3 роки. Після завершення розробки і її вдосконалення, можна буде підняти її ціну на 50 грн. Кількість одиниць реалізованої продукції також збільшиться: протягом першого року – на 25000 шт., протягом другого року – на 15000 шт., протягом третього року на 10000 шт. До моменту впровадження результатів наукової розробки реалізації продукту не було:

$$\Delta\Pi_1 = (0*50 + (350 + 50) * 25000) * 0,8333 * 0,24 * (1 - 0,18) = 1434999,943 \text{ грн.}$$

$$\Delta\Pi_2 = (0*50 + (350 + 50) * (25000 + 15000)) * 0,8333 * 0,24 * (1 - 0,18) = 2623999,895 \text{ грн.}$$

$$\Delta\Pi_3 = (0*50 + (350 + 50) * (25000 + 15000 + 10000)) * 0,8333 * 0,24 * (1 - 0,18) = 3279999,869 \text{ грн.}$$

Отже, комерційний ефект від реалізації результатів розробки за три роки складе 7338999,71 грн.

4.3.2 Розрахунок ефективності вкладених інвестицій та періоду їх окупності.

Розраховуємо приведену вартість збільшення всіх чистих прибутків $\Pi\Pi$, що їх може отримати потенційний інвестор від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки:

$$\Pi\Pi = \sum_1^T \frac{\Delta\Pi_i}{(1 + \tau)^t}, \quad (5.10)$$

де $\Delta\Pi_i$ – збільшення чистого прибутку у кожному із років, протягом яких виявляються результати виконаної та впровадженої науково-дослідної (науково-технічної) роботи, грн;

T – період часу, протягом якою виявляються результати впровадженої науково-дослідної (науково-технічної) роботи, роки;

τ – ставка дисконтування, за яку можна взяти щорічний прогнозований рівень інфляції в країні, $\tau = 0,05 \dots 0,15$;

t – період часу (в роках).

Збільшення прибутку ми отримаємо, починаючи з першого року:

$$\text{ПП} = (1434999,943/(1+0,1)^1) + (2623999,895/(1+0,1)^2) + (3279999,869/(1+0,1)^3) = 1304545,40 + 2168594,955 + 2464312,448 = 5937452,805 \text{ грн.}$$

Далі розраховують величину початкових інвестицій PV , які потенційний інвестор має вкласти для впровадження і комерціалізації науково-технічної розробки. Для цього можна використати формулу:

$$PV = k_{инв} * ZB, \quad (4.11)$$

де $k_{инв}$ – коефіцієнт, що враховує витрати інвестора на впровадження науково-технічної розробки та її комерціалізацію. Це можуть бути витрати на підготовку приміщень, розробку технологій, навчання персоналу, маркетингові заходи тощо; зазвичай $k_{инв} = 2 \dots 5$, але може бути і більшим;

ZB – загальні витрати на проведення науково-технічної розробки та оформлення її результатів, грн.

$$PV = 2 * 623306 = 1246611,66 \text{ грн.}$$

Тоді абсолютний економічний ефект E_{abc} або чистий приведений дохід (NPV , *Net Present Value*) для потенційного інвестора від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки становитиме:

$$E_{abc} = \text{ПП} - \text{PV}, \quad (4.12)$$

$$E_{abc} = 5937452,805 - 1246611,66 = 4690841,15 \text{ грн.}$$

Оскільки $E_{abc} > 0$ то вкладання коштів на виконання та впровадження результатів даної науково-дослідної (науково-технічної) роботи може бути доцільним.

Для остаточного прийняття рішення з цього питання необхідно розрахувати внутрішню економічну дохідність або показник внутрішньої норми дохідності (IRR , *Internal Rate of Return*) вкладених інвестицій та порівняти її з так званою бар'єрною ставкою дисконтування, яка визначає ту мінімальну внутрішню економічну дохідність, нижче якої інвестиції в будь-яку науково-технічну розробку вкладати буде економічно недоцільно.

Розрахуємо відносну (щорічну) ефективність вкладених в наукову розробку інвестицій E_g . Для цього використаємо формулу:

$$E_g = \sqrt[T_{жс}]{1 + \frac{E_{abc}}{PV}} - 1, \quad (4.13)$$

$T_{жс}$ – життєвий цикл наукової розробки, роки.

$$E_g = \sqrt[3]{(1 + 4690841,15/1246611,66) - 1} = 0,683$$

Визначимо мінімальну ставку дисконтування, яка у загальному вигляді визначається за формулою:

$$\tau = d + f, \quad (4.14)$$

де d – середньозважена ставка за депозитними операціями в комерційних банках; в 2022 році в Україні $d = (0,09 \dots 0,14)$;

f – показник, що характеризує ризикованість вкладень; зазвичай, величина $f = (0,05 \dots 0,5)$.

$$\tau_{\min} = 0,14 + 0,05 = 0,19.$$

Так як $E_b > \tau_{\min}$, то інвестор може бути зацікавлений у фінансуванні даної наукової розробки.

Розрахуємо термін окупності вкладених у реалізацію наукового проекту інвестицій за формулою:

$$T_{ок} = \frac{1}{E_e}, \quad (4.15)$$

$$T_{ок} = 1 / 0,683 = 1,47 \text{ р.}$$

Оскільки $T_{ок} < 3$ -х років, а саме термін окупності рівний 1,47 роки, то фінансування даної наукової розробки є доцільним.

Висновки до розділу: економічна частина даної роботи містить розрахунок витрат на розробку нового програмного продукту, сума яких складає 623306 гривень. Було спрогнозовано орієнтовану величину витрат по кожній з статей витрат. Також розраховано чистий прибуток, який може отримати виробник від реалізації нового технічного рішення, розраховано період окупності витрат для інвестора та економічний ефект при використанні даної розробки. В результаті аналізу розрахунків можна зробити висновок, що розроблений програмний продукт за ціною дешевший за аналог і є висококонкурентоспроможним. Період окупності складе близько 1,47 роки.

ВИСНОВКИ

У першому розділі розглядаються найважливіші теоретичні визначення аналізу акустичних параметрів приміщення за допомогою реверберації. Також порівнюються хвильова, статистична та геометрична теорії. Перевіряються основні параметри приміщень та основні недоліки при вимірюванні акустичних параметрів різних приміщень. Існують також теоретичні основи моделювання психофотричних фільтрів для вимірювання рівня шуму.

У другому розділі були розглянуті основні параметри приміщень, способи їх вимірювання та перешкоди, що виникали під час вимірювань. Також обрано методику аналізу акустичних параметрів приміщень, яка враховує методи уникнення помилок, та розроблено структурну схему комп'ютерного аналізатора. Розроблено також психофотричні фільтри на основі фільтрів Чебишева і Баттерворта.

У третьому розділі описано порядок розробки алгоритмів та програмного забезпечення для комп'ютерного методу вимірювання акустичних параметрів приміщень та методу цифрового фільтра для вимірювання психофотричного шуму.

Рентабельність розробки розраховувалась на основі наданих властивостей програмного забезпечення. З цього можна зробити висновок про те, що запропоноване нами технічне рішення є економічно доцільним, оскільки воно дозволить окрім підвищення ефективності технологічного процесу отримати чистий прибуток у розмірі 272 555,71 грн. Крім того, вкладені в розробку кошти амортизуються за 0,77 року.

– В результаті магістерської роботи:

- Запропоновано метод вимірювання акустичних параметрів приміщень за допомогою полігармонічних сигналів;
- досліджено залежність результатів від властивостей апаратної частини ЕОМ;
- Вимірювання психофотричних шумів за допомогою спектрального аналізу з цифровою фільтрацією та можливістю моделювання частотних характеристик слуху людини;
- Оптимізовано інтерфейс програми та спосіб графічного відображення результатів вимірювань.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Д.О. Комарівський, Л.В. Крупельницький Особливості комп'ютерного вимірювання акустичних шумів / Всеукраїнська НППК «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2021)». Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2021/paper/viewFile/13089/11011>.
2. Байда В. В. Комп'ютерні методи вимірювання психофотометричних шумів та акустичних параметрів приміщень / В. В. Байда – 2015 р. – Режим доступу: [<http://conf.vntu.edu.ua/allvntu/2015/initki/txt/bayda-axarov.pdf>]
3. Красильников В. А. Введение в физическую акустику / В. А. Красильников, В. В. Крылов – 1984 г. – 403 с. – ISBN 5-02-014742-7.
4. Ингерслев Ф. Акустика в современной строительной практике: пер. с англ. / Ф. Ингерслев. – М.: Госстройиздат, 1957. – 295 с. – ISBN 5-274-01086-5.
5. Исакович М. А. Общая акустика. Учеб. пособие / М. А. Исакович– М.: Издательство Наука – 1973 г. – 502 с. – ISBN: 5-9900084-3-0.
6. Лепендин Л. Ф. Акустика / Л. Ф. Лепендин – М.: «Высшая школа» – 1978 г. – 448 с.
7. Беранек А. П. Акустические измерения / А. П. Беранек — М.: ИИЛ – 1952 – 626с.
8. Грінченко В. Т. Основи акустики / В. Т. Грінченко, І. В. Вовк, В. Т. Маципура – Київ: Наукова думка, 2007. — 640 с. – ISBN 978-966-00-0622-5.
9. Морз Ф. Колебания и звук / Ф. Морз – М.-Л.: ГИТТЛ – 2012 – 497 с.
10. Клюкин И. И. Акустические измерения в судостроении / И. И. Клюкин, А. Е. Колесников – Л.: Судостроение – 1983 – 256 с., ил.
11. Стретт Дж. В. Теория звука. В 2-х томах. / Дж. В. Стретт – М.: Государственное издательство технико-теоретической литературы – 1955 г. – 504 с.

12. Ефимов А. П. Акустические измерения, оценки, контроль. Учебное пособие / А. П. Ефимов, Ю. С. Рысин, Д. Г. Свобода – М.: МТУСИ– 2005 – 113с.
13. Горелик Г. С. Колебания и волны. Введение в акустику, радиофизику и оптику, 2-е изд. / Г. С. Горелик— М.: Физмалит, 1959. — 572 с.
14. Бреховских Л. М. Волны в слоистых средах / Л. М. Бреховских – М.: Наука. – 1973. –343 с.
15. Чернов Л. А. Волны в случайно-неоднородных средах / Л. А.Чернов – М.: Наука – 1975. — 171 с.
16. Попов О. Б. Цифровая обработка сигналов в трактах звукового вещания: учеб. пособие для вузов / О. Б. Попов, С. Г. Рихтер. – М.: Горячая линия-Телеком, 2007. – 341 с. – ISBN 5-93517-296-8.
17. Діагностикабудівельнихматеріалів, конструкційнихелементівбудинків і спорудтамеханічнихсистемнеруйнівнимиметодаминаосновіпружниххвиль: монографія / Л. М. Шутенко, Я. О. Серіков, М. С. Золотов та ін. – К.: Техніка – 2009. – 261 с.
18. ДСТУ 2325-93. Шум. Терміни та визначення [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://document.ua/shum.-termini-ta-viznachennja-nor3427.html>.
19. Тэйлор Р. Шум. Пер. с англ. Д. И. Арнольда / Р. Тейлор — М.: Мир – 1978. — 308 с.
20. Жидецький В. Ц. Основи охорони праці / В. Ц. Жидецький. — Л.: Афіша – 2005. — 349 с. ISBN 966-8013-11-5.
21. Newell P. R., Project Studios: A More Professional Approach / P. R.Newell – Focal Press, Oxford – 1997.– 274 p. – ISBN-13: 978-0240515731.
22. NewellP. R., Studio Monitoring Design / P. R.Newell – Focal Press, Oxford – 1995.– 400 p. – ISBN-13: 978-0240514079.
23. ГОСТ 24146-89 Зали для глядачів. Метод измерения времени реверберации [Елетронний ресурс]. – Режим доступу: <http://vsegost.com/Catalog/38/38698.shtml>

24. Кривицкий Б.Х. Справочник по теоретическим основам радиоэлектроники. Том 1 / Б.Х. Кривицкий — М.: Энергия – 1977 – 504 с.
25. Визначення FIR-фільтру [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://uk.wikipedia.org/wiki/FIR-фільтр>.
26. Адаптивные фильтры: Пер. с англ./Под ред. К. Ф. Н. Коуэна и П. М. Гранта. – М.: Мир – 1988. – 392 с.
27. Аналізатори параметрів звукових трактів [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://aual.vinnitsa.com/prod/APZT-02-A3.html>.
28. Бібліотека NAudio [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://naudio.codeplex.com/>.
29. Методичні вказівки до виконання студентами-магістрантами наукового напрямку економічної частини магістерських кваліфікаційних робіт / Уклад. В. О. Козловський – Вінниця: ВНТУ, 2012. – 22с.

ДОДАТКИ

Додаток А
Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет
Факультет інформаційних технологій і комп'ютерної інженерії
Кафедра обчислювальної техніки

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ОТ
_____ проф., д.т.н. Азаров О.Д.
«___» _____

2022р.

Технічне завдання
до магістерської кваліфікаційної роботи
«КОМП'ЮТЕРНИЙ ВИМІРЮВАЧ АКУСТИЧНИХ ШУМІВ»

Керівник роботи: к.т.н., доцент
_____ Крупельницький Л.В.
«___» _____ 2022р.

Розробив: ст. гр. 1КІ-21м
_____ Комарівський Д.О.
«___» _____ 2022р.

1. Назва роботи

Магістерська кваліфікаційна робота (МКР) “Комп'ютерний вимірювач акустичних шумів”

2. Мета і вихідні дані для проведення робіт

2.1. Мета проведення ДКР

Метою проведення ДКР є розробка комп'ютерного комплексу для вимірювання акустичних шумів та завад.

У результаті роботи повинно бути розглянуто базові властивості акустичних шумів і завад. Проведено дослідження шумів і завад технічними методами. Визначались характеристики типового вимірювача шуму, а також визначення параметрів звукових трактів.

3. Етапи виконання робіт

- аналітичний огляд існуючих методів і рішень;
- базові властивості акустичних шумів і завад;
- дослідження шумів і завад технічними методами;
- структура пристрою для виміру акустичних шумів і завад;
- аналіз характеристик типового вимірювача шуму;
- визначення параметрів звукових трактів;
- КОНСТРУКЦІЯ І ПРИНЦИП РОБОТИ АПЗТ;
- керування блоком АПЗТ-02;
- вимірювання параметрів;
- основні розрахункові співвідношення що використовуються в програмному забезпеченні АПЗТ;

4. Джерела розробки

4.1 Акустика: Справочник / Под ред. М.А. Сапожникова. – М.: Радио и связь, 1989.

4.2 Шум. Пер. с англ. Д. И. Арнольда. Под ред. М. А. Исаковича. М., «Мир», 1978.

4.3 Акустические и электрические методы в триботехнике / Под ред. В.А. Белого. --- Минск : Наука и техника, 1987.--- 280 с.

4.4 ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ ”Средства и методы защиты от шума Классификация”.

4.5 Абракитов В.Э. Натурные исследование шума г.Харьков -Х.: Парус, 2008. -68 с.

5. Технічні характеристики

5.1 Склад комплексу та вимоги до конструкторської побудови.

5.1.1 Комплекс повинен бути виконаний у вигляді функціонально завершеного виробу, мати відповідні органи керування та індикації, сумісні з ПЕОМ типу IBM PC .

5.1.2 Аналогова частина комплекс повинен складатися з двох основних складових: генератора сигналів та вимірювача.

Генератор повинен складатися з ЦАП, фільтру низької частоти (ФНЧ), атенюатора, комутатора, вихідного двоканального узгоджувального пристрою.

Вимірювач повинен складатися з двоканальних: вхідного узгоджувального пристрою, атенюаторів, ФНЧ, АЦП.

5.1.3 Обчислювально-керуючий блок повинен складатися з системного комп'ютера, контролерів графічного рідиннокристалічного індикатора, привода гнучкого диску та інтерфейсу.

5.1.4 Конструктивно виріб повинен бути виконаний на основі міні-корпусу ПЕОМ типу Desktop. На передній панелі повинні розміщуватись: графічний рідинно-кристалічний індикатор, роз'єми для входів і виходів, привід гнучкого диску.

5.1.5 Програма керування і операційна система повинні загрузатись в системний мікрокомп'ютер з вмонтованого жорсткого диску. Запис результатів вимірювань повинен здійснюватись у вигляді текстового файлу на жорсткий і на гнучкий диск .

5.4. Додаткові вимоги

5.4.1 При вимірюванні інтегральних шумів повинна задаватись смуга аналізу в діапазоні від 20 до 20000 Гц.

5.4.2 Вимірювання інтегральних шумів повинно здійснюватись за методом середньоквадратичного сумування спектральних складових шуму, а психофотричних шумів - методом визначення квазіпікових значень на інтервалі часу не меншому за 10 с.

5.4.3 При вимірюванні психофотричних шумів в програмному забезпеченні системи передбачити використання відповідних фільтрів з характеристиками за ГОСТ 13 924, додаток 3а.

5.4.4 На зовнішній стаціонарний монітор повинна виводитись графічна інформація про поточні результати вимірювань.

5.4.5 Результати вимірювань повинні заноситись в текстовий файл.

5.4.6 На внутрішньому гучномовці реалізувати звуковий контроль вхідного сигналу .

5.5 Умови застосування

5.5.1 При проведенні вимірювань умови роботи повинні відповідати ГОСТ 22261 (група 1) . При цьому верхнє значення температури навколишнього середовища не повинно перевищувати + 30 град. С, а нижнє + 10 град. С, відносна вологість - 86% при температурі 20 С, барометричний тиск - від 84 до 106,7 КПа.

Додаток Б

Схема електрична принципова

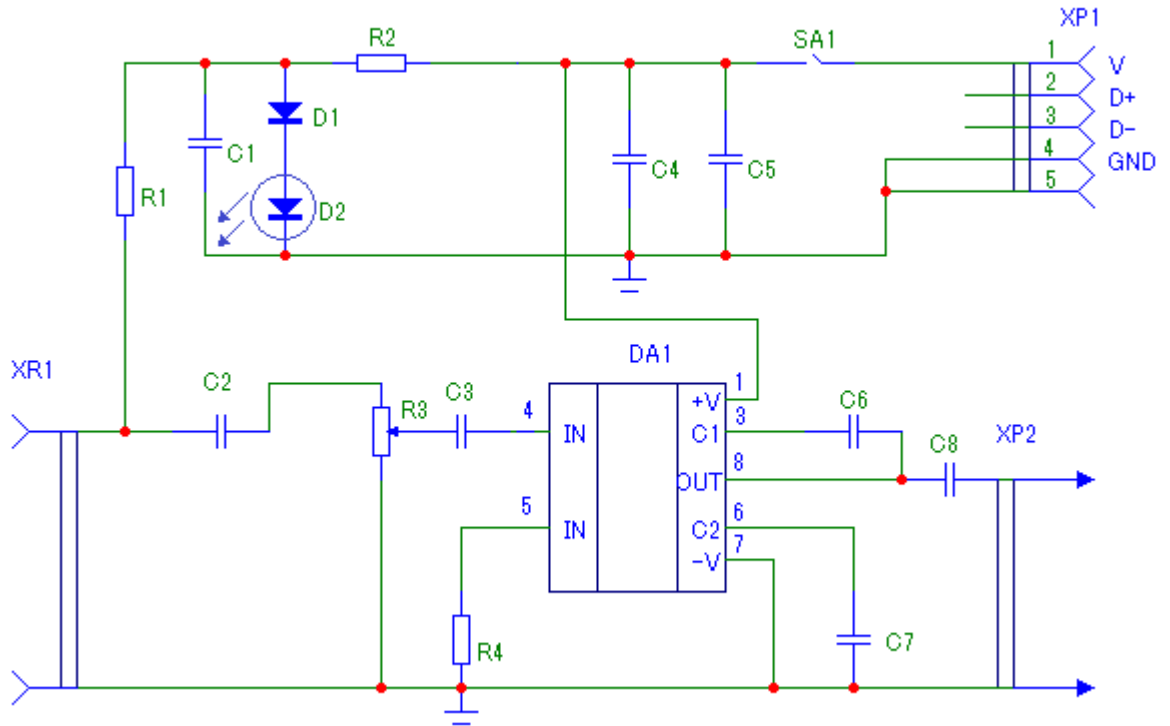


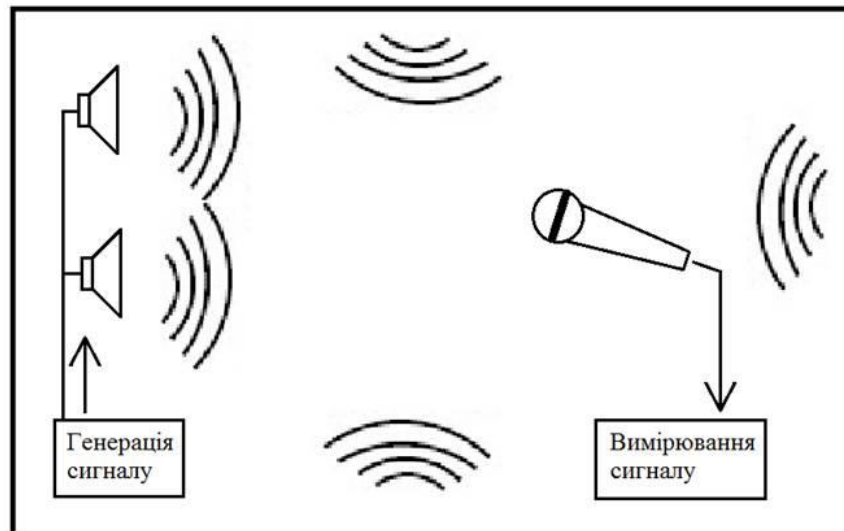
Рисунок 2.1 — Підсилювач мікрофонний

					<i>08-23.МКР.005.00.000 ЕЗ</i>					
<i>Змн.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>Підсилювач мікрофонний. Схема електрична принципова</i>					
<i>Розробив</i>								<i>Літ.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Перевірів</i>									<i>1</i>	<i>1</i>
<i>Реценз.</i>	<i>Коваленко О.О.</i>							<i>1КІ-21м</i>		
<i>Н. контр.</i>	<i>Швець С.І.</i>									
<i>Затвердж.</i>	<i>Азаров О.Д.</i>									

Поз. познач.	Найменування	Кіл.	Примітка
<i>Конденсатори</i>			
C1	X7R-0805-100мкФ-12В	1	
C2, C3	TECAP-1мкФ-12В	2	
C4	TECAP-0,1мкФ-5В	1	
C5	X7R-0805-100мкФ-12В	1	
C6	TECAP-150нФ-12В	1	
C7	X7R-0805-100мкФ-12В	1	
C8	TECAP-0,1мкФ-5В	1	
<i>Резистори</i>			
	PI-12 0805 5,1k 5%	2	
R3	PI-12 0805 22k 5%	1	
R4	PI-12 0805 100 5%	1	
SA1	Кнопка ПМ1-47	1	
		1	

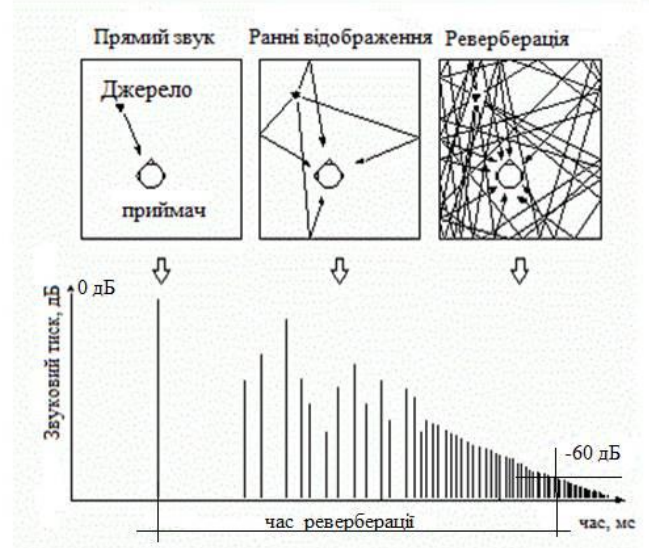
08-208-23.МКР.005.00.000 пЕЗ				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
Розроб.		Комарівський		
Перевір.		Крупельницький Л.В.		
Реценз.		Коваленко О.О.		
Н. Контр.		Швець С.І.		
Затверд.		Азаров О.Д.		
Підсилювач мікрофонний. Перелік елементів				
		Літ.	Арк.	Аркуші
			120	119
ІКІ-21м				

Розміщення гучномовців і мікрофона при акустичних вимірюваннях



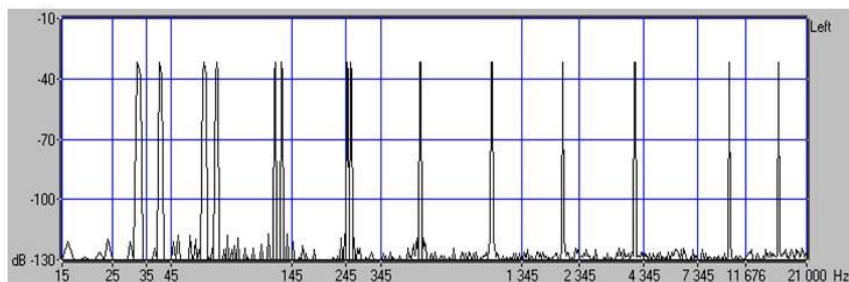
Реверберація звуку в приміщенні

Реверберація — залишкове «післязвуччя» у закритих приміщеннях. Утворюється внаслідок багатократного відбиття від поверхонь та одночасного поглинання звукових хвиль. Час реверберації зазвичай визначають як час, протягом якого гучність сигналу зменшується на 60 дБ.



Полігармонійний метод для вимірювання часу реверберації

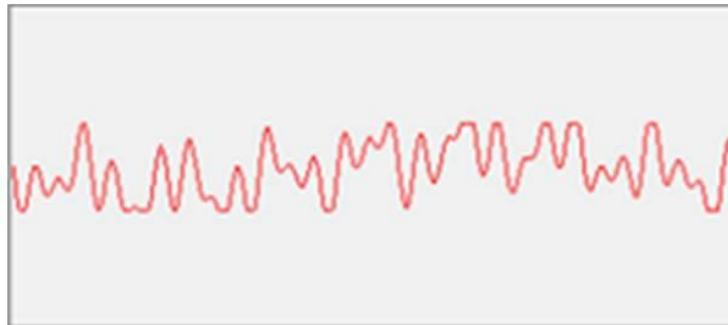
- Розроблений метод вимірювання акустичних параметрів приміщень полягає у вимірюванні часу реверберації суми частот, створених та сумованих у генераторі, вбудованому в програму, та поданих з гучномовця. Також можна показати час затухання кожної складової частоти із суми поданих.
- Всі амплітуди і початкові фази гармонічних складових однакові:
$$S(t) = \sum_{i=1}^N A_i \sin(2\pi f_i t)$$



Приклад спектру тестового сигналу

Переваги розробленого методу

- можливість аналізу акустичних характеристик за реверберацією на різних частотах під час одного заміру;
- можливість задання складових частот в залежності від типу приміщення;
- не потребує великих витрат на спеціалізовану апаратуру;
- сигнал має врівноважений розподіл амплітуд по частотному спектру.



Додаток Е

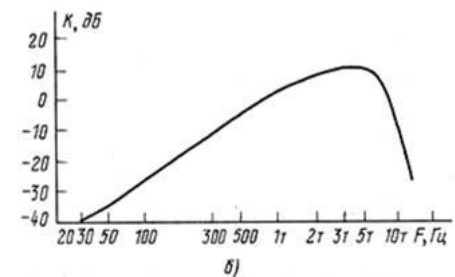
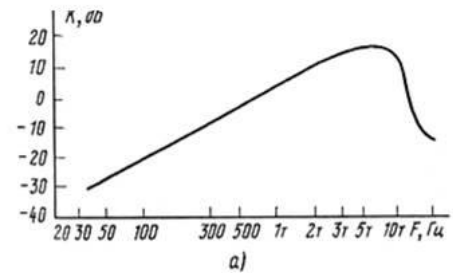
Алгоритм вимірювань реверберації в приміщеннях на основі полігармонійного сигналу



Псофометричні фільтри при оцінюванні рівня шумів

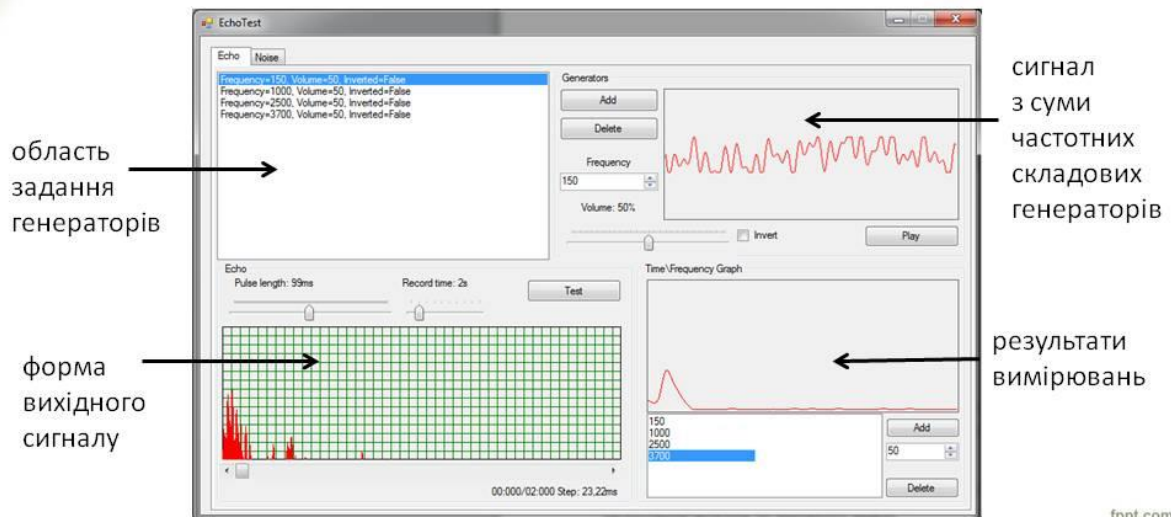
Слух людини має різну чутливість до шумів різних частот. Тому при вимірюванні акустичних параметрів доцільно використовувати так звані псофометричні фільтри, які будуть відповідним чином формувати амплітудно-частотну характеристику на вході вимірювача.

Псофометричні фільтри стандартизовані як у телерадіомовленні (а), так і в галузі зв'язку (б).



Програмна реалізація комп'ютерного методу для вимірювання акустичних параметрів приміщень

- ПЗ реалізовано мовою C# у вільному середовищі SharpDevelop.
- Використані бібліотеки NAudio та Math.NET для обробки.

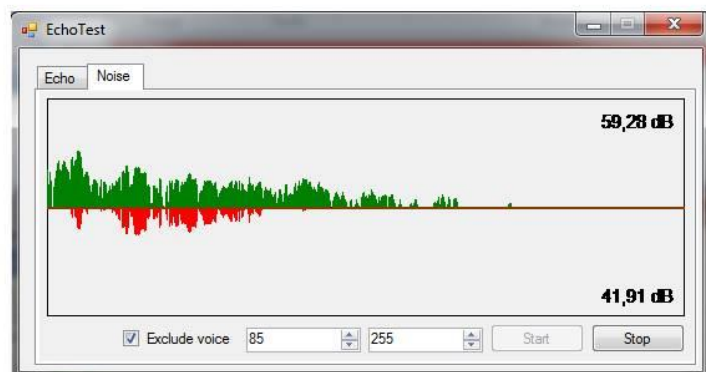


fppt.com

Програмна реалізація комп'ютерного методу для вимірювання психофотометричних шумів

Реалізуються 2 психофотометричні фільтри, кожен з яких складається з двох фільтрів – фільтру Баттерворта і фільтру Чебишева.

Одночасно відбувається переведення амплітуди семплів у децибели. Також передбачено конвертацію сигналу із wav-формату, тобто із бітів у семпли і навпаки, розділення і змішування каналів.



fppt.com