

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Інформаційних радіо технологій і технічного захисту інформації
(повна назва)

Кафедра Медіаінженерії та інформаційних радіоелектронних систем
(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА Пояснювальна записка

рівень вищої освіти другий (магістерський)

Дослідження методів подавлення шуму у побутових умовах

(тема)

Виконав:

студент 2 курсу, групи СТМм-22-2

Богдан ТАРАНЕНКО

(прізвище, ініціали)

Спеціальність 171 Електроніка

(код і повна назва спеціальності)

Тип програми освітньо-професійна

Освітня програма системи, технології

і комп'ютерні засоби мультимедіа

(повна назва освітньої програми)

Керівник доцент Юрій ЛИКОВ

(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри

(підпис)

Володимир КАРТАШОВ

(прізвище, ініціали)

2024 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Інформаційних радіо технологій і технічного захисту інформації

Кафедра Медіаінженерії та інформаційних радіоелектронних систем

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Спеціальність 171 Електроніка

(код і повна назва)

Тип програми освітньо-професійна

Освітня програма Системи, технології і комп'ютерні засоби мультимедіа

(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____

(підпис)

«___» _____ 2024

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові Тараненко Богдану Сергійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Дослідження методів подавлення шуму у побутових умовах

затверджена наказом по університету від " 20 " 11 2023 р. № 1371 Ст _____

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 08.01.2024 р.

3. Вихідні дані до роботи 1. Приміщення Харківського державного цирку та його основні параметри
2. Існуюча система звукопідсилення 3. Програмне забезпечення для моделювання акустичних умов -
Ease 4.3. 4. Запропонувати систему звукопідсилення для створення оптимальних акустичних умов в
приміщенні типу амфітеатр 5. Провести моделювання та аналіз основних характеристик звукового
поля (електроакустичний розрахунок)

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі _____

1. Вступ; 2. Дія шуму на організм людини; 3. Шумоподавлення; 4. Аналіз методів цифрової
обробки цифрових сигналів і методів активного шумоподавлення; 5. Алгоритм цифрової
фільтрації сигналів; 6. Навушники з шумоподавленням; 7. Активне шумоподавлення у
автомобілях; 8. Вимірювання та аналіз спектрів звукових сигналів; 9. Висновки

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням обов'язкових креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних
ілюстрацій 1. Мета та задачі дипломної роботи (1 аркуш А4) 2. Дія шуму на організм людини (1 аркуш
А4) 3. Методи шумоподавлення (1 аркуш А4) 4. Алгоритми активного шумоподавлення (1 аркуш А4)
5. Навушники з різним типом шумоподавлення (1 аркуш А4) 6. Функціональна схема системи
активного шумоподавлення в автомобілі (1 аркуш А4) 7. Вимірювання спектрів звукових сигналів (1
аркуш А4) 8. Локації проведення експериментів (1 аркуш А4) 9. Прилад активного шумоподавлення
MUZO (1 аркуш А4) 10. Будова пристрою MUZO (1 аркуш А4) 11. Методика експерименту (1 аркуш

A4) 12. Вихідні дані, отримані з Adobe Audition CC (1 аркуш А4) 13. Значення фільтра А на відповідній частоті (1 аркуш А4) 14. Результати експериментів у графічному вигляді (1 аркуш А4) 15.Результат переходу від разів до дБ (1 аркуш А4) 16. Висновки

-

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Вибір і обґрунтування теми, постановка проблем	01.09.23–13.09.23	
2	Аналітичний огляд джерел, вибір методики досліджень	14.09.23–27.09.23	
3	Проведення експерименту	27.09.23–25.10.23	
4	Обробка та аналіз результатів експерименту	26.10.23–10.11.23	
	Підготовка і виконання пояснювальної записки	11.11.23–25.11.23	
5	Перевірка керівником	26.11.23–02.12.23	
6	Перевірка на академічний плагіат	03.12.23	
7	Перевірка завідувачем кафедри, рецензування	04.12.23–07.12.23	

Дата видачі завдання _____ 20.12.2023 р. _____

Студент _____  _____ Богдан ТАРАНЕНКО _____

Керівник роботи _____ (підпис) _____ Юрій ЛИКОВ _____

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка кваліфікаційної роботи має: 75 с., 54 рис., 8 табл., 21 джерел, 3 додатки.

ШУМ, ШУМОПОДАВЛЕННЯ, НАВУШНИКИ, СИСТЕМА АКТИВНОГО ШУМОПОДАВЛЕННЯ, СИСТЕМА ПАСИВНОГО ШУМОПОДАВЛЕННЯ.

Об'єкт дослідження – шум навколишнього середовища.

Предмет дослідження – система шумоподавлення.

Мета роботи – дослідити ступіть шумоподавлення за рахунок існуючого на ринку пристрою з активною системою шумоподавлення для створення особистої зони комфорту.

Методи дослідження: використання аналітичних методів, включаючи огляд літератури та аналіз існуючих систем шумоподавлення в побутових умовах, методи проведення експериментальних досліджень та методів обробки результатів вимірювань фізичних величин.

В роботі наведений теоретичний огляд типу шумів, його вплив на здоров'я людини, на створення несприятливих умов для людини у побутових ситуаціях. Проведений аналіз методів цифрової обробки цифрових сигналів і методів активного шумоподавлення, розглянутий пристрій з системою активного шумоподавлення MUZO, запропонована методика проведення вимірювань рівня шуму на різноманітних локаціях, проаналізовані отриманні результати.

ABSTRACT

Explanatory note of the qualifying paper has: 75 p., 54 pic., 8 tables, 21 sources, 3 supplements.

NOISE, NOISE CANCELLATION, HEADPHONES, ACTIVE NOISE CANCELLATION SYSTEM, PASSIVE NOISE CANCELLATION SYSTEM.

The object of research is environmental noise.

The subject of research is a noise suppression system.

The purpose of the work is to investigate the steps of noise reduction at the expense of an existing device on the market with an active noise reduction system to create a personal comfort zone.

Research methods: use of analytical methods, including literature review and analysis of existing noise reduction systems in domestic conditions, methods of conducting experimental studies and methods of processing results of measurements of physical quantities.

The paper provides a theoretical overview of the type of noise, its impact on human health, and the creation of unfavorable conditions for humans in everyday situations. An analysis of the methods of digital processing of digital signals and methods of active noise reduction was carried out, a device with a MUZO active noise reduction system was considered, a method of measuring the noise level at various locations was proposed, and the obtained results were analyzed.

ЗМІСТ

Перелік умовних скорочень	7
Вступ.....	8
1 Теоретичні основи.....	9
1.1 Актуальність проблеми	9
1.2 Дія на організм людини.....	10
1.3 Шумоподавлення.....	15
1.4 Аналіз методів цифрової обробки цифрових сигналів і методів активного шумоподавлення.....	18
1.5 Алгоритми цифрової фільтрації сигналів.....	22
1.6 Навушники з шумоподавленням	33
1.7 Активне шумоподавлення у автомобілях.....	38
2 Вимірювання спектрів звукових сигналів	41
2.1 Опис експериментальної установки.....	41
2.2 Характеристика локацій проведення експериментів	41
2.3 Характеристики технічних та програмних засобів.....	43
2.4 Методика експерименту	51
2.5 Результати вимірювань.....	54
3 Аналіз результатів експериментів	64
Висновки	73
Список джерел інформації	74
Додатки.....	76
Додаток А	77
Додаток Б.....	88
Додаток В	104

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

- ANC – active noise control – активний контроль шуму;
АЧХ – амплітудно – частотна характеристика;
ІПХ – імпульсно – перехідна характеристика;
ПФ – перетворення Фур’є;
ШПФ – швидке перетворення Фур’є;
ЗПФ – зворотне перетворення Фур’є;
РПФ – рекурентний метод дискретного перетворення Фур’є;
ПК – персональний комп’ютер;
ЕУ – експериментальна установка;
ЕОМ – електронна обчислювальна машина;
ЗВС – звуковідтворююча система;
ГГ – головка гучномовця;
САШ – система активного шумоподавлення;
ЗЗС – звукозаписуюча система;
СТ – стіл;
Т – стілець;
Ш – шафа;
Д – двері;
В – вікно;
НЧ – низькі частоти;
СЧ – середні частоти;
ВЧ – високі частоти.

ВСТУП

Шкідливий та небезпечний вплив шуму на організм людини встановлено з повною достовірністю. Ступінь такого впливу, переважно, залежить від рівня та характеру шуму, форми та тривалості впливу, а також індивідуальних особливостей людини. Численні дослідження підтвердили той факт, що шум належить до загальнофізіологічних подразників, які за певних обставин можуть впливати на більшість органів та систем організму людини. Так, за даними медиків дія шуму може спричинити нервові, серцево-судинні захворювання, виразкову хворобу, порушення обмінних процесів та функціонування органів слуху тощо. Особливо велику шкоду шум завдає дітям, літнім людям і хворим. Тому питання шумоподавлення дуже важливе у наш час.

У першому розділі дипломної роботи будуть розглянуті основні питання, які стосуються шуму, та його вплив на людину, а також поняття, які стосуються активного та пасивного шумоподавлення. Буде проведений аналіз методів цифрової обробки цифрових сигналів і методів активного шумоподавлення. Будуть розглянуті алгоритми цифрової фільтрації сигналів. Також будуть розглянуті навушники з шумоподавленням, та активне шумоподавлення у автомобілях.

У другому розділі дипломної роботи буде описано експериментальну установку для проведення аналізу спектрів звукових сигналів та обчислення величини амплітуди коливань. Буде запропонована методика експерименту і розглянуті характеристики технічних та програмних засобів для його проведення, а також будуть наведені результати вимірювань.

У третьому розділі дипломної роботи будуть проаналізовані спектри звукових сигналів та величини амплітуд коливань, які будуть отриманні в результаті експерименту.

1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ

1.1 Актуальність проблеми

Шумове забруднення довкілля є актуальною проблемою сьогодення. Тепер жертвами шуму стає не лише виробничий персонал, що працює з шумними машинами чи обслуговує шумні виробничі процеси, як це було декілька десятків років назад, але, мабуть, і кожен мешканець міста. Щорічно рівень шуму зростає і в будинках, і на вулиці, і на виробництві. Так, у сучасних великих містах за останнє десятиліття шумове забруднення зросло в 10-15 разів.

Вчені вже давно дослідили, що шум спричиняє глухоту, призводить до порушень сну, виникнення виразкової хвороби, серцево-судинних, нервових й інших захворювань. Особливо велику шкоду шум завдає дітям, літнім людям і хворим.

Сучасна акустична наука може запропонувати вельми ефективні засоби боротьби з шумом. Інженери-акустики, застосовуючи заходи та засоби колективного захисту, в одних випадках знижують надмірний шум у джерелі його виникнення, в інших – застосовують методи зниження шуму на шляху його поширення. Якщо неможливо боротися з самим шумом, успішно застосовують індивідуальні засоби захисту людини – ендауральні (внутрішнього типу) та екстрауральні (внутрішнього типу): протишумові навушники, шоломи, вушні заглушки (вкладки) тощо.

Проблема боротьби з шумом настільки гостро постала останнім часом у першу чергу в зв'язку з надзвичайною інтенсивністю транспортного руху. Вулицю центральної частини міста можна розглядати як вузький коридор, всередині якого відбувається багаторазове перевипромінювання звукової енергії [1-3]. Проблема зниження шумового забруднення довкілля є багатогалузевою, у вирішенні якої беруть участь спеціалісти широкого спектру: конструктори, лікарі-гігієністи, будівельники, архітектори, містобудівники, економісти тощо.

1.2 Дія на організм людини

1.2.1 Поняття шуму

Шум – це хаотична сукупність різних за силою і частотою звуків, що заважають сприйняттю корисних сигналів і негативно впливають на людину. Фізична сутність звуку – це механічні коливання пружного середовища (повітря, рідини). Під час звукових коливань утворюються області зниженого і підвищеного тиску, що діють на слуховий аналізатор (мембрану вуха).

Основними фізичними характеристиками звуку є:

- частота f (Гц);
- звуковий тиск P (Па);
- звукова потужність (Вт) тощо.

Швидкість поширення звукових хвиль в атмосфері при 20°C складає 344 м/с.

Чинними нормативами передбачається гранично допустимий рівень звуку – 85 дБ. Рівень звукового тиску на частотах 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 Гц не повинен перевищувати відповідно 99, 92, 86, 83, 80, 78,76, 74 дБ.

Органи слуху людини сприймають звукові коливання в інтервалі частот від 16 до 20000 Гц. Але деякі із звуків не сприймаються органами слуху людини [4,7,9]:

- коливання з частотою нижче 16 Гц – інфразвуки;
- з частотою вище 20 000 Гц – ультразвуки.

Мінімальна інтенсивність звуку, яку людина відчуває, називається порогом чутливості. У різних людей він різний, і тому умовно за поріг чутливості приймають звуковий тиск, який дорівнює $2 \cdot 10^{-5}$ Н/м² (ньютон на метр квадратний) при стандартній частоті 1000 Гц.

При цій частоті поріг чутливості $I_0 = 10^{-12}$ Вт/м², а відповідний йому тиск $P = 2 \cdot 10^{-5}$ Па. Максимальна інтенсивність звуку, при якій вухо починає відчувати болючі відчуття, називається порогом болісного відчуття, рівним 10^2 Вт/м², а відповідний йому звуковий тиск $P = 2 \cdot 10^2$ Па.

Зміни інтенсивності звуку і звукового тиску, що чує людина, величезні і складають відповідно 10^{14} і 10^7 разів, тому оперувати такими великими числами

незручно. Таким чином, для оцінки шуму прийнято вимірювати його інтенсивність і звуковий тиск не абсолютними фізичними величинами, а логарифмами відношень цих розмірів до умовного нульового рівня, що відповідає порогові чутливості стандартного тону, частотою 1000 Гц. Ці логарифми відношень називають рівнями інтенсивності і звукового тиску, виражені в белах (Б). Одиниця виміру “бел” названа іменем винахідника телефону А. Белла (1847 – 1922). Оскільки орган слуху людини спроможний розрізнити зміни рівня інтенсивності звуку на 0,1 Б, то для практичного використання більш зручнішою є одиниця в 10 разів менше – децибел (дБ) [14].

1.2.2 Вплив шуму на людину

Дратівливий шум неприродного походження, порушує життєдіяльність живих організмів, в тому числі людини. Дратівливі шуми існують і в природі, однак вважати забрудненням їх невірно, оскільки живі організми адаптувалися до них в процесі еволюції.

На даний момент головним джерелом шумового забруднення в міському середовищі є транспортні засоби - автомобілі, залізничні потяги і літаки.

У містах рівень шумового забруднення в житлових районах може бути сильно збільшений за рахунок неправильного міського планування, іншими важливими джерелами шумового забруднення в містах є промислові підприємства, будівельні та ремонтні роботи, автомобільна сигналізація, собачий гавкіт, галасливі люди і т.д.

За даними численних досліджень більше половини населення України проживає в районах, де рівень шуму складає 55 – 70 дБ [10-14].

Не варто недооцінювати шкоду шумового забруднення. Шум може викликати дратівливість і агресію, артеріальну гіпертензію (підвищення артеріального тиску), тиннітус (шум у вухах), втрату слуху. При надмірному рівні шум впливає на орган слуху, центральну нервову систему і серцево-судинну систему. За даними вчених зміни в нервовій системі в 2/3 випадків починаються до того, як почнеться зниження слуху. Шум впливає на обмін речовин, пригнічує

окислювальні процеси, сприяє розвитку гіпертонічної хвороби. Найбільше роздратування викликає шум в діапазоні частот від 3000 до 5000 Гц.

Хронічна схильність шуму на рівні більше 90 дБ може привести до втрати слуху.

При шумі на рівні понад 110 дБ у людини виникає звукове сп'яніння, за суб'єктивними відчуттями аналогічне алкогольному або наркотичному.

При шумі на рівні 145 дБ у людини відбувається розрив барабанних перетинок.

Жінки менш стійкі до сильного шуму, ніж чоловіки. Крім того, сприйнятливність до шуму залежить також від віку, стану здоров'я, оточуючих умов і т.д.

Дискомфорт викликає не тільки шумове забруднення, але і повна відсутність шуму. Більш того, звуки певної сили підвищують працездатність і стимулюють процес мислення (особливо процес рахунку) і, навпаки, при повній відсутності шумів людина втрачає працездатність і перебуває у стресовому стані. Найбільш комфортними для людського вуха є природні шуми: шелест листя, дзюрчання води, спів птахів. Індустріальні шуми будь-якої потужності не сприяють поліпшенню самопочуття. Шум від автомобільного транспорту здатний викликати головні болі.

Нижче приведена порівняльна характеристика гучності звуку з можливим його джерелом (таблиця 1.1).

Таблиця 1.1 – Співвідношення гучності звуку та можливого джерела

Децибел, дБА	Характеристика	Джерела звуку
0	Нічого не чути	
5	Майже не чути	
10	Майже не чути	Тихий шелест листя
15	Ледь чути	Шелест листя
20	Ледь чути	Шепіт людини (на відстані 1 метр).
25	Тихо	Шепіт людини (1м)
30	Тихо	Шепіт, цокання настінного годинника. Допустимий максимум за нормами для житлових приміщень вночі, з 23 до 7 год. (сний 23-03-2003 «захист від шуму»).

Продовження таблиці 1.1

35	Досить чутно	Приглушений розмова
40	Досить чутно	Звичайна мова. Норма для житлових приміщень днем, з 7 до 23 год.
45	Досить чутно	Звичайна розмова
50	Чітко чути	Розмова, друкарська машинка
55	Чітко чути	Верхня норма для офісних приміщень класу А (за європейськими нормами)
60	Шумно	Норма для контор
65	Шумно	Голосна розмова (1м)
70	Шумно	Голосні розмови (1м)
75	Шумно	Крик, сміх (1м)
80	Дуже шумно	Крик, мотоцикл з глушником, шум пирососа (з великою потужністю двигуна – 2 кіловатта).
85	Дуже шумно	Гучний крик, мотоцикл з глушником,
90	Дуже шумно	Гучні крики, вантажний залізничний вагон (в 7 метрах)
95	Дуже шумно	Вагон метро (в 7 метрах зовні або всередині вагона)
100	Вкрай шумно	Оркестр, вагон метро (переривчасто), гуркіт грому, вереск працюючої бензопили Максимально допустимий звуковий тиск для навушників плеєра (за європейськими нормами)
105	Вкрай шумно	В літаку (до 80-х років ХХ століття)
110	Вкрай шумно	Гвинтокрил
115	Вкрай шумно	Піскоструминний апарат (1м)
120	Майже нестерпно	Відбійний молоток (1м)
125	Майже нестерпно	
130	Больовий поріг	Літак на старті
135	Контузія	
140	Контузія	Звук злітаючого реактивного літака
145	Контузія	Старт ракети
150	Контузія	
155	Контузія	
160	Шок, травми	Ударна хвиля від надзвукового літака
При рівнях звуку понад 160 децибел – можливий розрив барабаних перетинок і легких, більше 200 - смерть (шумова зброя)		

На рисунку 1.1 наведені різні рівні шуму та їх еквіваленти.

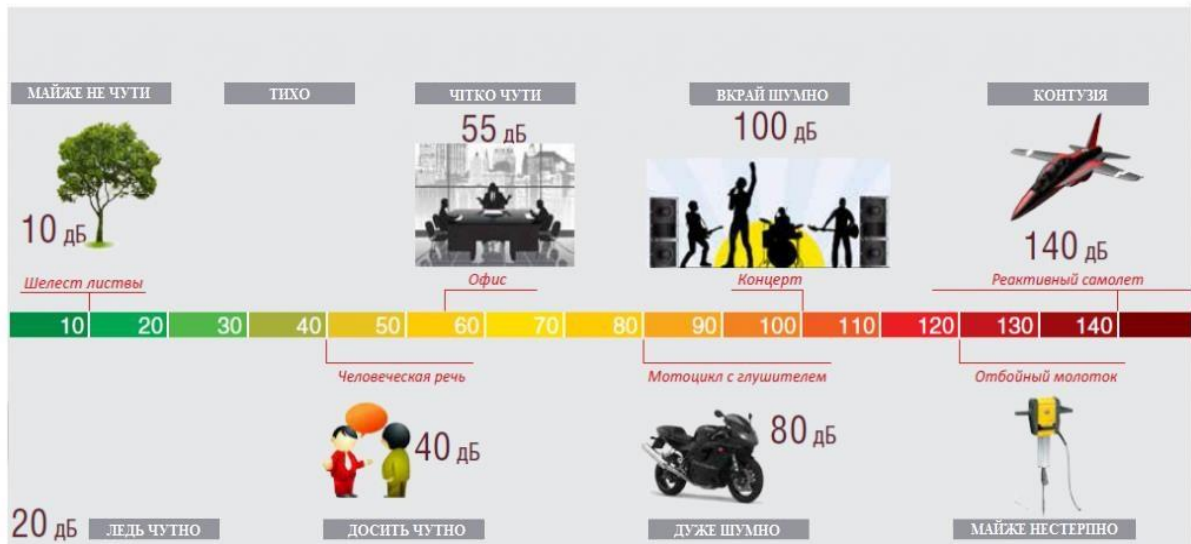


Рисунок 1.1 – Рівні шуму та їх еквіваленти [2,3]

Як довели дослідження вчених, звук, якого не чути, також може шкідливо вплинути на здоров'я людини. Так, інфразвуки особливо впливають на психічну сферу людини: уражають усі види інтелектуальної діяльності; погіршують настрій; іноді з'являється відчуття розгубленості, тривоги, переляку, страху, а при високій інтенсивності – почуття слабкості, як після сильного нервового потрясіння.

Навіть слабкі звуки, інфразвуки можуть істотно впливати на людину, особливо якщо вони носять тривалий характер. На думку вчених, саме інфразвуки, які нечутно проникають крізь самі товсті стіни, викликається багато нервових захворювань жителів великих міст.

Ультразвуки, що займають помітне місце в гамі виробничих шумів, також небезпечні. Механізми їх дії на живі організми вкрай різноманітні. Особливо сильно до їх негативного впливу схильні клітини нервової системи.

Шум підступний, його шкідливий вплив на організм відбувається незримо, непомітно. Організм людини проти шуму практично беззахисний. Лікарі говорять про шумову хворобу як про наслідок впливу шуму із переважними поразками слуху і нервової системи.

Зменшення рівня шуму покращує самопочуття людини і підвищує продуктивність праці. З шумом необхідно боротися як на виробництві, так і в побуті.

1.3 Шумоподавлення

1.3.1 Поняття шумоподавлення

Шумоподавлення – це процес усунення або зниження рівня сторонніх шумів в корисних сигналах з метою підвищення якості звуку.

Існує два метода шумоподавлення:

- активний;
- пасивний.

1.3.2 Пасивне шумоподавлення

Пасивне шумоподавлення працює за рахунок поглинання і відбиття звуку матеріалами і конструкцією системи шумоподавлення.

Пасивні методи полягають в установці пасивних перешкод на шляху проходження звукової хвилі, такі як: вирощування дерев, поруч з дорогою, установка вікон з шумоподавленням, оббивка стін звукопоглинальними матеріалами і т.п. Такі методи можуть бути досить ефективними в деяких випадках, наприклад коли джерело шуму і людина знаходиться в різних акустичних середовищах – шум з вулиці добре не чути за допомогою пластикових вікон [6,7,12].

Для боротьби з шумом в житлових і виробничих приміщеннях проводяться такі медичні і пасивні методи шумоподавлення:

1) усунення причини шуму:

- заміна шумлячого обладнання на більш сучасне нешумляче обладнання;
- заміна окремих механізмів.

2) ізоляція джерела шуму від навколишнього середовища:

- застосування глушників;
- застосування екранів;

– застосування звукопоглинальних матеріалів при будівництві та ремонті приміщення.

3) огорожа шумлячих виробництв зонами зелених насаджень.

4) застосування раціонального планування приміщень.

5) використання дистанційного управління при експлуатації шумлячого обладнання та машин.

б) використання засобів автоматички для управління і контролю технологічними виробничими процесами.

7) використання індивідуальних засобів захисту:

– беруші;

– навушники;

– ватні тампони.

8) проведення періодичних медичних оглядів з проходженням аудіометри.

9) дотримання режиму праці і відпочинку.

10) проведення профілактичних заходів, спрямованих на відновлення здоров'я.

До недавнього часу для зменшення шуму застосовувалися тільки пасивні засоби. Щоб ефективно гасити шум на низьких частотах, ці засоби повинні були бути масивними і мати великі габарити, які можна порівняти з довжиною хвилі (наприклад, на частоті 200 Гц довжина хвилі – 170 см), що не завжди можна здійснити на практиці.

Через це вчені зайнялися ретельним пошуком іншого рішення проблеми шумоподавлення, в результаті якого було винайдено активне шумоподавлення.

1.3.3 Активне шумоподавлення [4,5]

Активне шумоподавлення (ANC – Active Noise Control) – це спосіб усунути небажаний шум за допомогою накладення спеціально згенерованого звуку.

Такий спосіб боротьби з шумом при прослуховуванні музики дозволяє відмовитися від повної шумоізоляції або від надмірного підвищення гучності. Саме ці два способи раніше активно застосовувалися для подавлення зайвих звуків.

Перші патенти в цій області почали з'являтися ще в 30-х роках ХХ століття,

але до реального застосування справа дійшла лише через півстоліття. Технологія активного шумоподавлення спочатку використовувалася в авіаційній і оборонній промисловості. Лише кілька років тому вона потрапила на споживчий ринок.

Працює активне шумоподавлення наступним чином. Система захоплює шум, який потрібно подавити, через зовнішній мікрофон і видає звукову хвилю з тією ж амплітудою, але дзеркально відображеною фазою вихідного звуку. Хвиля шуму і згенерованого звуку змішуються і пригнічують один одного. Принцип роботи активного шумоподавлення наведено на рисунку 1.2.

При активному подавленні шуму вводиться додаткове джерело звуку для збудження акустичного поля, яке в результаті інтерференції з полем первинного акустичного шуму знижує його величину в заданій полосі частот. Початковий шум приймається мікрофоном, його вихідна напруга посилюється і передається в контролер, який виробляє напругу для збудження компенсуючого шумового поля. Компенсує шумове поле, збуджене гучномовцем, інтерферує з початковим і, в результаті, відбувається істотне зниження шуму.

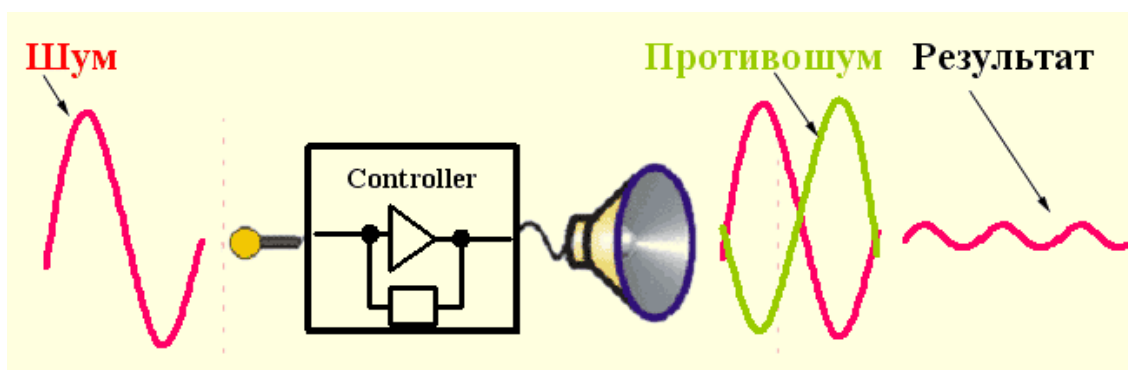


Рисунок 1.2 – Принцип роботи ANC [4]

Активні методи працюють за схемою: вимір шуму (неприємного звуку), обробка, видача на систему відтворення, в результаті чого шум складається з інвертованим шумом і відбувається його подавлення. Залежно від характеристик шуму, його інтенсивності, розташування джерел шумоподавлення, відсоток подавлення шуму, при такому підході змінюється.

Активні системи шумоподавлення головним чином характеризуються мобільністю, налаштуванням, простотою установки, в порівнянні з пасивними системами.

Перевага активних систем також полягає в тому, що вони здатні подавляти шум в тому ж середовищі, в якому знаходиться людина, наприклад, подавити шум працюючого поруч системного блоку. Тому актуальність побудови і використання таких систем з часом зростає.

В даний час активне подавлення шуму застосовується [13,14]:

- в активних навушниках – для індивідуального захисту,
- для подавлення шуму в повітроводах систем вентиляції та кондиціонування;
- в вихлопних трубах автомобілів;
- для створення зони тиші при працюючих машинах і механізмах, що випромінюють шум з дискретним спектром (компресори, енергетичні установки, двигуна літального засобу і т.п.).

1.4 Аналіз методів цифрової обробки цифрових сигналів і методів активного шумоподавлення

Сьогодні в кожному комп'ютері є звукова карта, за допомогою якої звук вводиться в комп'ютер і виводиться з нього.

Кожна звукова карта складається з двох основних компонентів: АЦП (аналогово-цифровий перетворювач) і ЦАП (цифро-аналоговий перетворювач).

За допомогою АЦП, звукові сигнали, що знімаються мікрофоном або іншим пристроєм, оцифровуються і представляються у вигляді дискретних відліків, які потім можуть бути порашовані та оброблені.

ЦАП необхідний для зворотного перетворення. Дискретні відліки, які надходять на звукову карту, перетворюються в аналоговий сигнал, який потім надходить на підсилювачі і на динаміки. Також крім основних компонентів звукова

карта містять допоміжні пристрої, що дають можливість розробнику користуватися нею в повному обсязі.

Згідно теореми Котельникова частота дискретизації повинна бути обрана вдвічі більше максимальної частоти спектру сигналу, тоді аналоговий сигнал, який має обмежений спектр, може бути відновлений однозначно і без втрати даних (дискретних відліків).

$$f_{\text{дискр}} > 2 \cdot F_{\text{max}},$$

де F_{max} – максимальна частота спектру.

Після отримання послідовності відліків відбувається їх обробка. Для обробки застосовується перетворення Фур'є, за допомогою якого можна отримати спектр сигналу, який в подальшому піддається обробці.

Головним критерієм при активному подавленні звуку є час обробки сигналу, тобто сигнал (отримані відліки) повинні бути обробленими до приходу наступних відліків. Загальна схема обробки (подавлення звуку) виконується за схемою, показаною на рисунку 1.3.

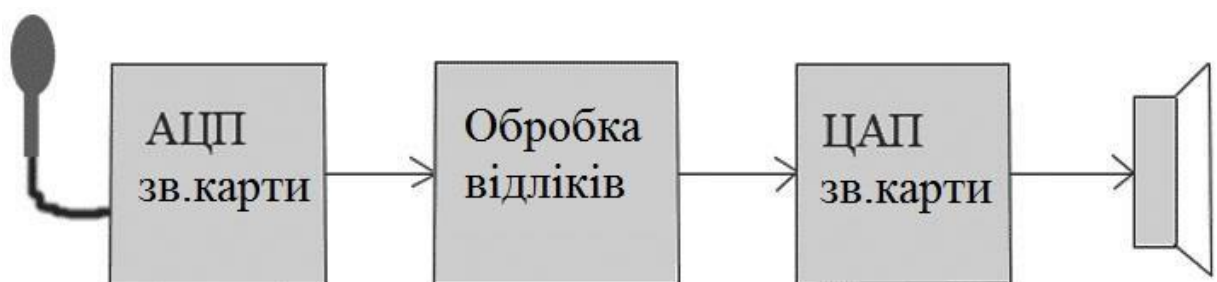


Рисунок 1.3 – Загальна схема подавлення звуку [8]

1.4.1 Приклади алгоритмів активного шумоподавлення

Розглянемо наступні алгоритми активного шумоподавлення:

- алгоритм інвертування амплітуди звукового сигналу;
- адаптивний алгоритм.

До найшвидшого алгоритму можна віднести алгоритм інвертування амплітуди звукового сигналу – цей алгоритм не вимагає ресурсномістких перетворень Фур'є (прямого та зворотного), а також операцій з окремими частотами. Такий же принцип використовується в багатьох акустичних системах, але тільки не для подавлення, а для посилення звуку. Тобто це алгоритм, в якому робиться акцент на забезпеченні точного збігу звукових хвиль, коректуванні фази різних частот. До позитивних сторін алгоритму відноситься його швидкість, недоліком цієї схеми є труднощі здійснення коригування сигналу подавлення, що звужує коло застосування цього сигналу.

Краще подавлення шуму можна зробити на основі адаптивних алгоритмів. У цих алгоритмах підстроювання параметрів сигналу подавлення здійснюється в залежності від результату зниження рівня шуму. Продовжимо розглядати два алгоритми: підстроювання фази частот і корекція їх амплітуди.

У першому алгоритмі робиться акцент на забезпеченні точного збігу звукових хвиль, коректуючи фазу різних частот. Для прискорення алгоритму застосовується фільтрація по частотах (відбувається аналіз не всіх частот, а тільки тих, амплітуда яких вище заданої, при цьому амплітуда інших частот просто інвертується).

Другий алгоритм ґрунтується на тому, що людина чує різні частоти з різною інтенсивністю, тому обробка буде йти на всіх рівнях частот. Криві рівної гучності наведені на рисунку 1.4.

Цей метод дозволяє змінювати фазу окремої частоти, затримуючи її в часі, що дозволяє зробити більш точні накладення сигналів і відповідно збільшити рівень подавлення шуму.

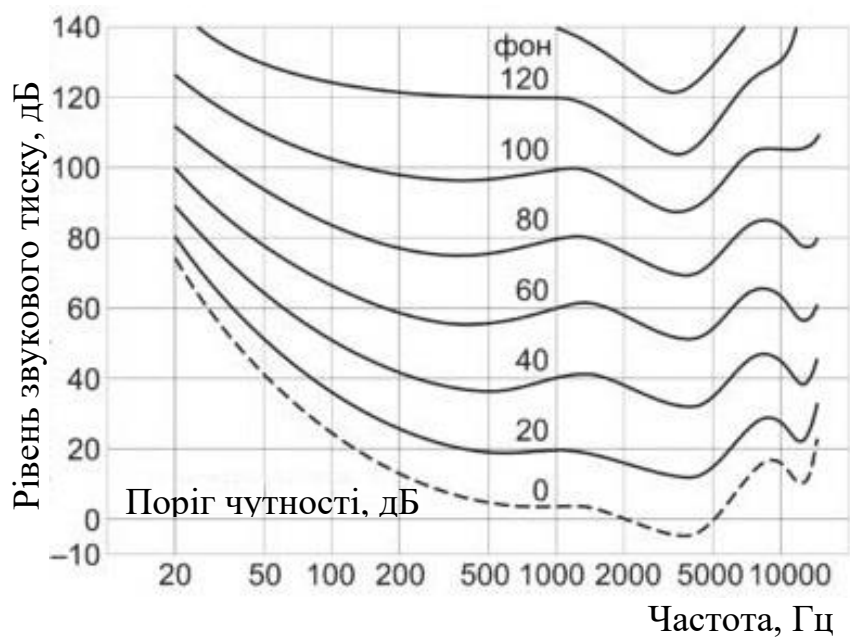


Рисунок 1.4 – Криві рівної гучності [2,14]

Ґрунтуючись на цій властивості слуху людини, частоти, що виділяються з шуму подавляються з різними ваговими коефіцієнтами. Приклад обробки неперіодичного сигналу наведено на рисунку 1.5

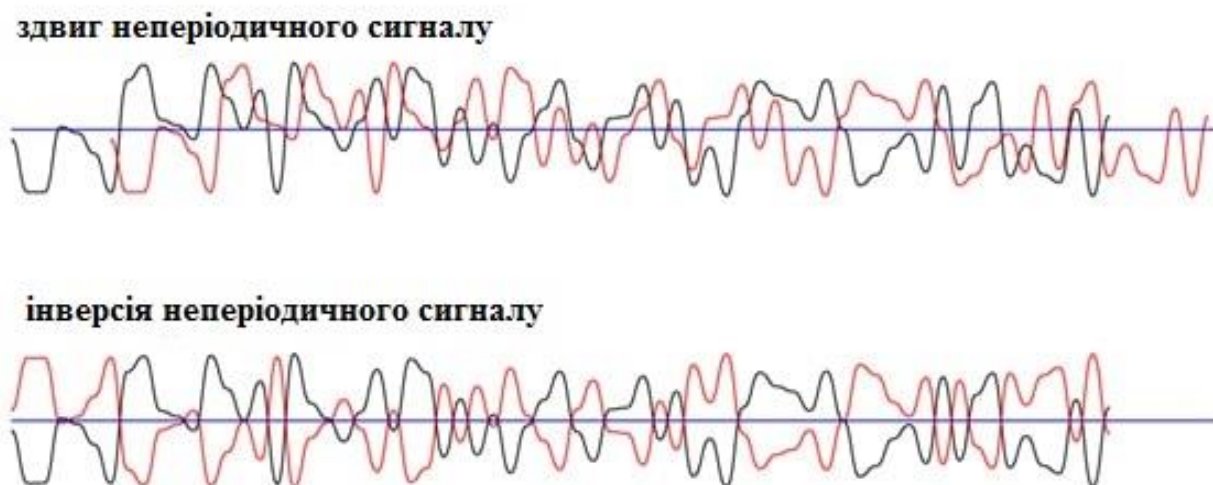


Рисунок 1.5 – Приклад обробки неперіодичного сигналу [11]

1.5 Алгоритми цифрової фільтрації сигналів

1.5.1 Нерекурсивна (пасивна або стаціонарна) фільтрація сигналів

Одним з основних методів подавлення перешкод і шумів є фільтрація реєстрованих даних. Під фільтрацією розуміється будь-яке перетворення сигналів, при якому у вхідній послідовності даних цілеспрямовано змінюються певні співвідношення (динамічні або частотні) між різними компонентами цих даних.

Основним інструментом фільтрації є спектральний (частотний) аналіз. Так як спектральний склад сигналів – тонка внутрішня структура даних, яка несе сигнал, практично прихована в динамічному представленні в множині даних, то сутність фільтрації полягає саме в направленій зміні частотного складу сигналу з метою подавлення шумової компоненти. Для виконання цих умов ставиться завдання реалізації оптимальних фільтрів, які, в залежності від свого конкретного призначення, дозволяють досить надійно проводити виявлення сигналу, найкращим чином виділяти сигнал на тлі перешкод або в максимальному ступені подавлення перешкоди без істотного викривлення сигналу.

У традиційних методах фільтрації, інформація витягується з вхідних сигналів лінійними системами з постійними параметрами алгоритмів перетворення – нерекурсивними фільтрами [12,14]. На вхід такої системи (фільтра) подають сигнал $x(t)$, а на виході отримують перетворений сигнал $y(t)$. Відомо, що зв'язок відгуку і впливу лінійної системи описується інтегралом згортки:

$$y(t) = \int_{-\infty}^{\infty} h(\tau)x(t - \tau)d\tau, \quad (1.1)$$

де $h(t)$ – імпульсна перехідна характеристика (ПХ) лінійної системи.

Застосовуючи перетворення Фур'є (ПФ) до співвідношення (1.1), отримуємо вираз для операції фільтрації вхідного сигналу $x(t)$:

$$y(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} H(\omega)X(\omega)\exp(j\omega t)d\omega, \quad (1.2)$$

де ω – кутова частота.

Рівняння дискретної фільтрації (згортки двох функцій) сигналів може бути отримано безпосередньо з інтегрального рівняння згортки (1.1) при заміні операції інтегрування підсумовуванням миттєвих значень функцій з кроком Δt :

$$y(k\Delta t) = \Delta t \sum_n h(n\Delta t)x(k\Delta t - \Delta t), \quad (1.3)$$

Техніка виконання фільтрації не відрізняється від техніки виконання звичайної дискретної згортки двох масивів даних – згортки в речовій області масиву даних $x(k)$ з функцією фільтра $h(n)$ (масивом коефіцієнтів фільтра), де k і n – нумерація числових значень масиву даних і числових значень коефіцієнтів фільтра, $k = 0, 1, 2, \dots, K$, $n = 0, 1, 2, \dots, N$, $K \geq N$. Для математичного опису поряд з формулами (2), (3) застосовується також символічний запис фільтрації

$$y(k) = h(n)x(k - n).$$

Система фільтрації вважається стаціонарною, якщо її алгоритм перетворення в межах заданої точності не залежить від вхідного і вихідного сигналів і не змінюється в часі.

1.5.2 Рекурсивна (параметрична) фільтрація сигналів

У практичних вимірюваннях зазвичай доводиться мати справу з сигналами, які залежать від певних параметрів, фізичних процесів або об'єктів. Значення цих сигналів заздалегідь невідомі, так і як це буде визначено за даними інформаційних

сигналів. Шуми і перешкоди, які їх супроводжують, хаотично змінюються в часі, але, як правило, статистично незалежні від них як за своїми значеннями, так і по зміні у часі. У цьому випадку використання системи фільтрації з постійними параметрами не вирішує завдання ефективного шумоподавлення [9,10].

Для фільтрації такого типу сигналів потрібно виконати наступні завдання:

- виявлення шумів і перешкод в реальному сигналі;
- оцінку їх параметрів (зазвичай визначення спектру);
- виділення інформаційної частини сигналу (очищення сигналу від шумів і перешкод).

Ці завдання досить успішно вирішують адаптивні системи зі змінними параметрами алгоритмів перетворення (рекурсивна фільтрація). У таких системах виробляється оцінювання параметрів вхідних і вихідних сигналів, за результатами порівняння яких здійснюється підстроювання алгоритму перетворення (перехідної характеристики фільтра) таким чином, щоб забезпечити максимальне подавлення перешкод і шумів в реальному сигналі. У найпростішому випадку такий пристрій містить програмований фільтр обробки даних і блок перетворення, який на підставі певної програми аналізу вхідних і вихідних даних виробляє сигнал для управління параметрами цього фільтра. Як правило, такі пристрої фільтрації виконуються тільки для вузькоцільового функціонального призначення під певні типи сигналів, а їх внутрішня структура і алгоритм перетворення практично повністю регламентуються функціональним призначенням і певним мінімальним обсягом вихідної апріорної інформації про характер вхідних даних і їх інформаційних параметрів.

1.5.3 Ефективне шумоподавлення сигналів в режимі реального часу

У реальних фізичних вимірюваннях параметри реєстрованого сигналу, як правило, невідомі (відомий тільки часовий інтервал його появи), а для отримання необхідної точності вимірювання потрібно подавляти в інформаційному сигналі поточне (миттєве) значення шумової компоненти. З цієї причини адаптивні системи вже не в змозі вирішити завдання ефективною фільтрації сигналів в режимі реального часу. Крім того, використовуваний в програмованих фільтрах алгоритм

ШПФ (швидке перетворення Фур'є) для обробки даних має «скачковий» режим вибірки дискретного сигналу (тобто спочатку виконується накопичення вибірки даних довжиною N , а потім обчислення спектральних коефіцієнтів), що еквівалентно методу перетворення з проріджуванням по часі. Тому тут неминучі значні частотні викривлення спектра, які пов'язані з ефектом Гіббса (розриви функцій на кордонах вибірки даних) і ефектом накладення спектральних характеристик в частотній області (проріджування за часом), в зв'язку з чим невисока точність вимірювання.

Для виконання ефективного шумоподавлення сигналів в режимі реального часу алгоритм рекурсивного (активного) фільтра повинен мати:

- високу швидкодію і динамічний, з максимальним перекриттям інтервалів вибірки даних, алгоритм перетворення, що гарантує мінімальні частотні викривлення одержуваних спектральних оцінок;

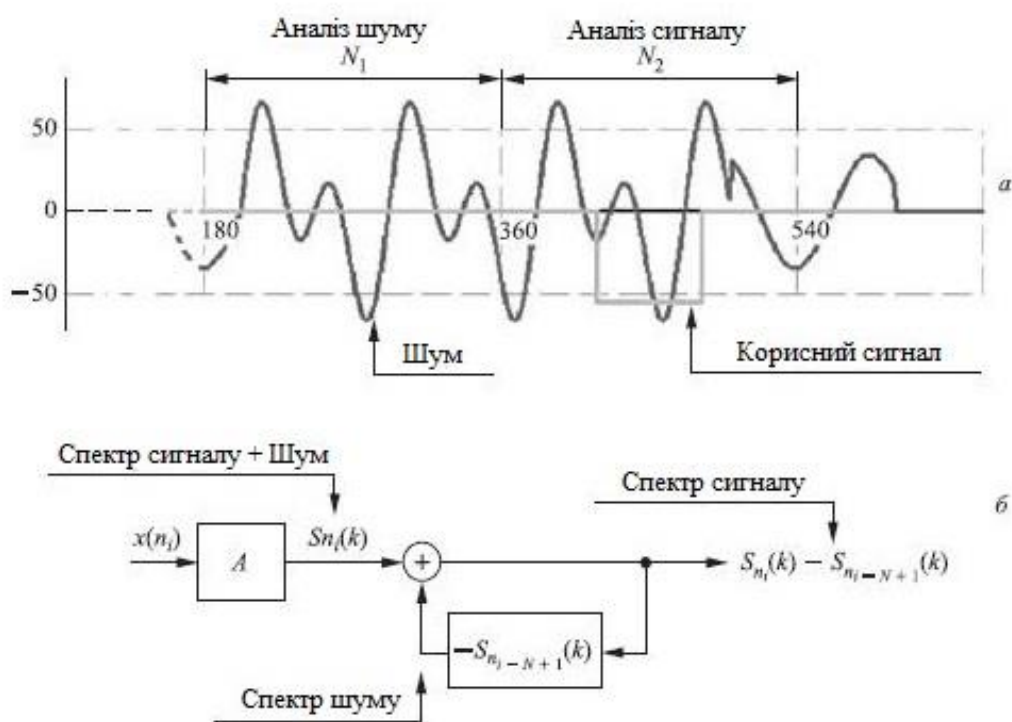
- обчислення оцінки поточного (миттєвого) значення спектра шумової компоненти до моменту появи корисного сигналу (тобто до початку вимірювальної процедури);

- компенсацію значення шумової компоненти безпосередньо в режимі вимірювання реального сигналу з метою виділення тільки корисної складової.

Отже, в алгоритмі перетворення активного фільтра необхідно перед вимірювальним інтервалом отримати спектральну оцінку існуючих шумів і перешкод в поточний момент часу і потім, в режимі вимірювання реального сигналу, використовувати отримані параметри для компенсації шумовий компоненти.

На рисунці 1.6 представлені тимчасова діаграма (рис.1.6 а) і блок-схема реалізації алгоритму активної фільтрації (рис.1.6 б). У цьому алгоритмі на вибірці дискретного сигналу N_1 виконується обчислення параметрів поточного (миттєвого) спектра шуму і перешкод $S_{n_1-N+1}(k)$, які потім на вимірювальній вибірці N_2 «віднімаються» з параметрів спектра $S_n(k)$, обчисленого для реального сигналу, що містить корисну і шумову компоненти, тобто виконується «очистка» сигналу

від шумів і перешкод. Таким чином, на виході активного фільтра буде присутня тільки спектральна складова сигналу корисної компоненти. Потім, використовуючи зворотне перетворення Фур'є (ЗПФ), можна відновити дискретний (динамічний) сигнал цієї корисної складової. Однак в більшості практичних застосувань цифрової обробки сигналів (наприклад, оцінка числових параметрів сигналів, розкладання сигналів на елементарні складові для порівняння властивостей різних сигналів, в тому числі з певними кількісними оцінками, і т. п.) виконання операції ЗПФ не потрібно. Це пов'язано з тим, що повний частотний спектр сигналу по точності математичного уявлення тотожний динамічній формі опису сигналу.



а) тимчасова діаграма роботи алгоритму; б) функціональна блок-схема алгоритму фільтрації

Рисунок 1.6 – Реалізація алгоритму активної фільтрації [6]

Для реалізації динамічного (безперервного) спектрального вимірювання в алгоритмі активної фільтрації використовується рекурентний метод дискретного перетворення Фур'є (РПФ), в якому поточна спектральна оцінка вираховується на основі вже вчисленого значення на попередній виборці дискретного сигналу,

тобто рекуррентно [7, 12, 16]. У цьому методі, на кожному дискретному значенні сигналу $x(n_i)$ для кожної гармоніки k вираховується перетворення Фур'є виду:

$$S_n(k) = \sum_{i=0}^{N-1} x(n_i)W^{ki}, \quad (1.4)$$

де $k = 0, 1, 2, \dots, N/2$, $W = e^{-j2\pi/N}$.

Функція W^{ki} – періодична, з періодом рівним N для всіх $k, i = \pm 1, \pm 2, \dots$, а сама вибірка зміщується по цифровій послідовності $x(n)$ з кроком, рівним інтервалу вибірки ΔT . Так як обчислення спектральної оцінки (1.4) виконується рекуррентно, то наступна оцінка $S_{n+1}(k)$ на $x(n_{i+1})$ дискретному значенні вхідної часовій послідовності $x(n)$ буде:

$$S_{n+1}(k) = S_n(k) + [x(n_i + 1) - x(n_{i-N+1})]W^{-k(N-1)}, \quad (1.5)$$

де $x(n_i + 1)$ та $x(n_{i-N+1})$ – дискретні значення сигналів, що входить і виходить з вибірки тривалістю N відповідно,

k – поточне значення частоти, на якій проводиться вимірювання спектра.

Аналогічним чином визначаються рекуррентні вирази перетворення Фур'є для всього діапазону частот $k = 0, 1, \dots, N - 1$.

Використовуваний метод рекуррентного спектрального перетворення об'єднує в собі алгоритми ДПФ і вагової обробки даних, що аналізуються, тобто враховує «минуле» процесу при обчисленні спектра, реалізує режим спектрального вимірювання з максимальним перекриттям інтервалів вибірок дискретного сигналу, що гарантує мінімальні частотні викривлення. Крім того, обчислення алгоритму РПФ на $k = N/2$ частотах вимагає тільки $N/2$ комплексних множень, що в $\log_2 N$ разів менше, ніж в алгоритмі швидкого перетворення Фур'є (ШПФ). Це дозволило реалізувати спектральний вимір нестационарних сигналів в режимі

реального часу на великій довжині вибірки даних, тобто з дуже високим частотним дозволом.

Для реалізації режиму активного шумоподавлення на базі алгоритму РПФ проводиться обчислення поточних спектральних оцінок шумів і перешкод на кожному дискретному значенні вхідного сигналу $x(n_i)$, тобто обчислюються поточні миттєві спектральні оцінки $S_{n_i-N+1}(k)$ на інтервалі вибірки $\{n_i - N + 1 \div n_i\}$ (до моменту появи корисного сигналу). Потім на вимірювальному інтервалі проводиться обчислення спектральних оцінок реального сигналу, що містить в собі корисну і шумову компоненти, і одночасно рекурсивно проводиться очищення сигналу від шумів і перешкод з використанням для цього вже обчислених параметрів шуму – імпульсно - переходної характеристики фільтру (ПХ фільтру), тобто проводиться рекуррентне перетворення наступного виду:

$$S_{n+1}(k) = S_n(k)S_{n-N+1}(k) = S_n(k) - S_{n-N+1}(k) + \Delta F \times W^{-k(N-1)}, \quad (1.6)$$

де $S_{n-N+1}(k)$ – вычислений поточний параметр спектра шуму, тобто ПХ фільтру.

На рисунку 1.7 показана функціональна схема реалізації алгоритму активного рекурсивного фільтру на основі РПФ.

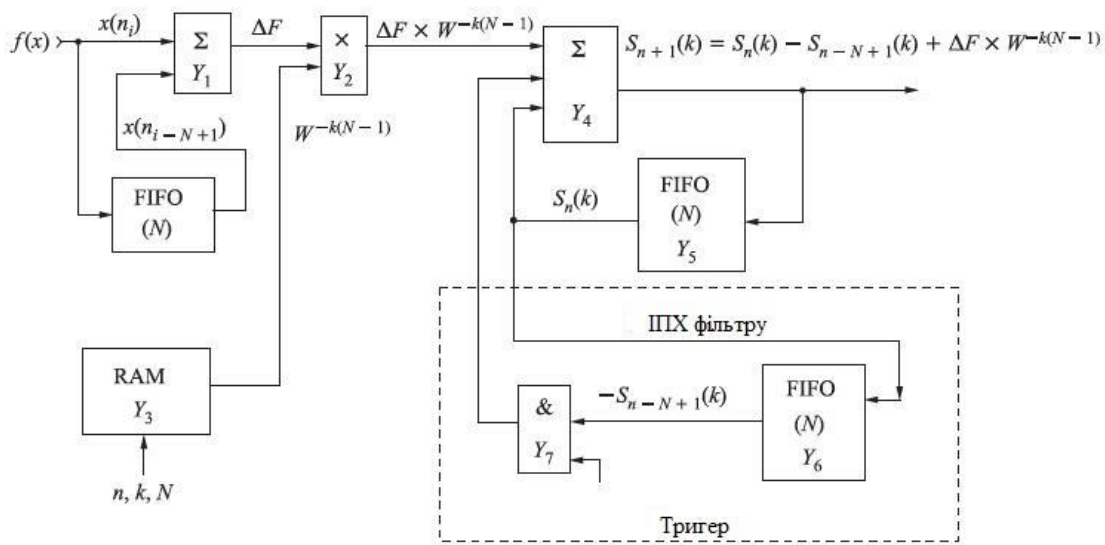


Рисунок 1.7 – Функціональна схема реалізації алгоритму активної фільтрації на основі РПФ [7]

Алгоритм працює наступним чином. Реєстрований аналоговий сигнал $x(t)$ на аналого-цифровому перетворювачі перетворюється в дискретну тимчасову послідовність $x(n)$, яка надходить на вхід арифметичного модуля Y_1 . У цьому модулі обчислюється різниця сигналів:

$$\Delta F = [x(n_{i-N+1}) - x(n_i)],$$

де $x(n_i)$ – дискретне значення сигналу $x(n_{i-N+1})$, що входить у вибірку N при зміщенні тимчасового вікна на один відлік;

$x(n_{i-N+1})$ – значення сигналу, що виходить з вибірки.

В арифметичному модулі Y_2 вичисляється добуток:

$$\Delta F \times W^{-k(N-1)},$$

де коефіцієнти перетворення $W^{-k(N-1)}$ вже попередньо обчислені і вибираються з модуля Y_3 за поточними значеннями параметрів n і k .

Потім в модулі Y_4 з використанням значення $S_n(k)$, отриманому на попередній вибірці і тому, що зберігається в модулі пам'яті Y_5 , обчислюється нова поточна спектральна оцінка:

$$S_{n+1}(k) = S_n(k) + \Delta F \cdot W^{-k(N-1)}.$$

Параметри цієї оцінки також заносяться в модуль пам'яті Y_5 і будуть використані при обчисленні спектра при зміщенні тимчасового вікна на один відлік з початком в точці $x(n_{i+2})$. Аналогічно вираховується спектр на всьому діапазоні аналізованих частот $0 \leq k \leq N - 1$. Таким чином, на вихід пристрою надходить поточна миттєва спектральна оцінка реєстрованого аналогового сигналу $x(t)$.

Для організації активної фільтрації параметри спектральних оцінок $S_n(k)$ заносяться в зсувний регістр Y_6 , глибина якого дорівнює довжині вибірки дискретного сигналу N , і використовуються як функції імпульсного відгуку рекурсивного фільтра (ППХ), за значеннями яких здійснюється підстроювання алгоритму перетворення, тобто проводиться спрямована зміна частотного складу сигналу з метою подавлення шумової компоненти. При надходженні сигналу «Тригер» (початок вимірювальної вибірки) на модулі Y_4 виконується згортка в частотній області поточного спектрального значення реального сигналу, що містить корисну і шумову компоненти, і спектра шумової компоненти, обчисленої на попередній вибірці, тобто обчислюється спектр корисного сигналу:

$$S_{\text{сигнал}}(k) = S_{\text{сигнал+шум}}(k)S_{\text{шум}}(k).$$

Так як частотні характеристики рекурсивних фільтрів завжди являються комплексними, замінимо у виразі (1.6) функцію експоненти $W = e^{-j2\pi/N}$ на косинусну та синусну складову, отримаємо:

$$S_{n+1}(k) = S_n(k) - S_{n-N+1}(k) + \Delta F \times \left[\cos\left(\frac{2\pi k(n_{i+1})}{N}\right) - j \sin\left(\frac{2\pi k(n_{i+1})}{N}\right) \right], \quad (1.7)$$

де $\Delta F = [x(n_i + 1) - x(n_{i-N+1})]$.

Тоді вирази для дійсної та мнімої частин алгоритму перетворення мають наступний вигляд:

$$\begin{cases} \operatorname{Re}[S_{n+1}(k)] = \operatorname{Re}[S_n(k)] - \operatorname{Re}[S_{n-N+1}(k)] + B_{k,n+1}, \\ \operatorname{Im}[S_{n+1}(k)] = \operatorname{Im}[S_n(k)] - \operatorname{Im}[S_{n-N+1}(k)] - C_{k,n+1}, \end{cases} \quad (1.8)$$

де $\operatorname{Re}[\dots]$ и $\operatorname{Im}[\dots]$ – дійсні та уявні частини перетворення,

$B_{k,n+1} = \Delta f \cos(2\pi k(n_{i+1}/N))$ та $C_{k,n+1} = \Delta f \sin(2\pi k(n_{i+1}/N))$ – тригонометричні коефіцієнти для усіх $k, n=0, 1, 2, \dots, N-1$.

Вираз для амплітудно-енергетичного спектру має вигляд:

$$p_{n+1}(k) = \sqrt{\operatorname{Re}^2[S_{n+1}(k)] + \operatorname{Im}^2[S_{n+1}(k)]}.$$

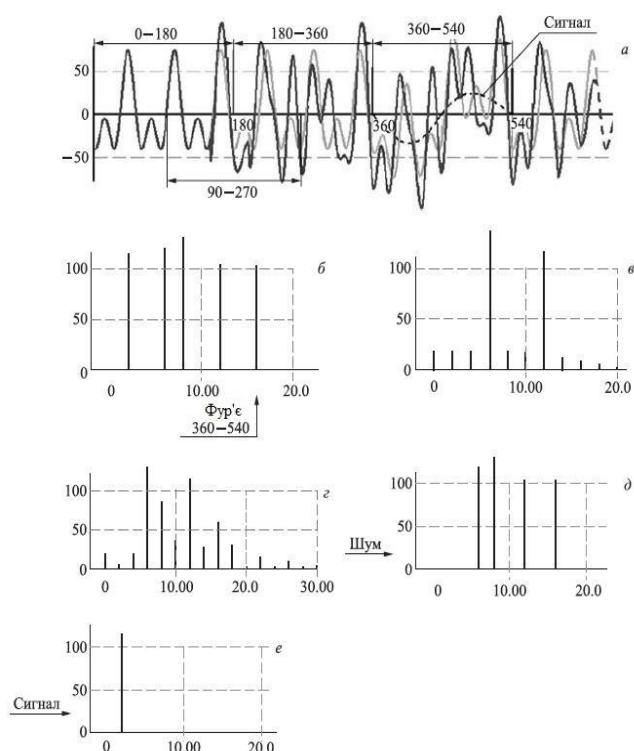
Для аналізу роботи режиму активної фільтрації розроблена спеціальна програма, що імітує роботу даного алгоритму. На рисунку 1.8 представлені тимчасові діаграми її роботи в різні інтервали часу.

Аналізований інформаційний сигнал (рисунок 1.8,а) містить в собі корисну складову (для простоти візуалізації це один період синусоїди, в зв'язку з чим в спектральній області буде тільки одна гармоніка) і значну шумову компоненту. Спектральний Фур'є-аналіз цього сигналу на вимірювальній вибірці (рисунок 1.8,а) в інтервалі від 360 до 540 дає п'ять гармонійних складових (рисунок 1.8,б). Це говорить про те, що в складі спектра аналізованого сигналу крім основної корисної складової присутні гармонійні складові шуму або перешкод. На рисунках 1.8,в-е представлені діаграми роботи алгоритму активного шумоподавлення в різні моменти часу. На рисунку 1.8,в, показана поточна спектральна оцінка $S_{n+1}(k)$, отримана на інтервалі вибірки від 0 до 180, яка містить дві гармоніки шуму (0)

компоненти, присутні в даний момент в інформаційному сигналі. На рисунку 1.8,д представлений спектральний склад всієї шумової компоненти аналізованого сигналу. На вимірному інтервалі вибірки від 360 до 540 виконується згортка поточних спектральних параметрів шуму (рисунок 1.8,д) і інформаційного реального сигналу в частотній області. В результаті цієї операції здійснюється «очищення» сигналу від шуму. Спектр корисного сигналу, «очищений» від супутніх перешкод, показаний на рисунку 1.8,е.

Отримані результати підтвердили високу ефективність роботи алгоритму активного шумоподавлення.

Таким чином, активний алгоритм фільтрації виконує ефективне подавлення шумових складових, присутніх в інформаційному сигналі, що дозволяє реалізувати прецизійний вимір фізичних сигналів в режимі реального часу.



а) тимчасова діаграма реєстрованого сигналу, що містить корисний (гармонійний) сигнал і шумову компоненту; б) спектральне перетворення Фур'є реєстрованого сигналу; в-д) спектральні оцінки, обчислені в різні моменти часу; е) спектр корисного сигналу, «почищений» від шуму

Рисунок 1.8 – Тимчасові діаграми роботи алгоритму активної фільтрації [8]

1.6 Наушники з шумоподавленням

Наушники з шумоподавленням звичайно рекомендують використовувати під час довгих поїздок. Також їх використовують під час шумної роботи та для спокійного перебування в приміщеннях з поганою шумоізоляцією та з зайвими шумами ззовні (рисунок 1.9).

1.6.1 Наушники з пасивним шумоподавленням

У разі використання навушників закритого типу, які притуляються до вуха досить щільно, можна вже отримати непоганий рівень ізоляції від шумів.



Рисунок 1.9 – Приклади будівельних засобів пасивного шумоподавлення [20]

У випадку з внутрішньоканальними навушниками, поліпшити шумоізоляцію допоможуть насадки з піноматеріала. Але не всі, а тільки спеціальні, більш щільні, з підвищеною ізоляцією шумів.

Серед силіконових насадок не можна не згадати двох- і трьох-контурні «ялинки». Але не варто забувати, що вони підійдуть не всім по фізіологічним, а іноді і по психологічним причинам. Щоб отримати ефект від ялинок, потрібно вставити їх досить глибоко в слуховий прохід; силіконові пелюстки при цьому повинні створити всередині як мінімум два контури шумоізоляції.



Рисунок 1.10 – Приклади силіконових насадок на навушники [20]

Силіконові насадки (рисунок 1.10) класичної форми з заповненням внутрішнього простору піною або гелем також можуть бути дуже ефективними. Гелеві – більш щільні і пружні, однак вони викликають дискомфорт при тривалому носінні, якщо розмір хоча б трохи не підходить (рисунок 1.11).

Взагалі, в питанні ізоляції зовнішніх шумів правильний підбір насадок внутрішньоканальних навушників грає ключову роль. Крім того, що надмірно великі і маленькі головні телефони не будуть триматися у вухах, потрібно якомога точніше підбирати їх розмір і форму.



Рисунок 1.11 – Приклади гелевих насадок на навушники [20]

Розмір, форма і матеріал насадок безпосередньо впливають на ступінь подавлення шумів.

Нагородою буде не тільки тиша і комфорт при тривалому носінні, але ще і чистіший звук з поліпшенням глибини і насиченості басового діапазону. А найголовніше – чим ефективніше насадки, тим менше приводів збільшувати гучність плеєра, музика і так буде добре чути.

Великі навушники закритого типу з накладними або охоплюючим (рисунок 1.12) вуха амбушюрами мають високу ступінь пасивної ізоляції від зовнішнього шуму. Розібратися, які з них можуть зробити це краще за інших, досить просто. По-перше, вони повинні бути закритого типу, а по-друге: м'якими, як у Sennheiser Momentum; дуже м'якими, як у Bose Quietcomfort; пишними, з високотехнологічним пінним наповнювачем, що реагує на тепло, як у накладних моделей Philips Fidelio.



Рисунок 1.12 – Приклад навушників закритого типу з охоплюючими вуха амбушюрами

Пінні м'які амбушюри і закрита конструкція – це вже хороше пасивне шумоподавлення.

Будь-який варіант підійде. І у всіх випадках кращий матеріал обробки амбушюр – максимально м'яка шкіра, а краща форма – овальна. Такі навушники навіть без активного шумоподавлення досить ефективно усувають зовнішні шуми.

1.6.2 Навушники з активним шумоподавленням

Принцип роботи внутрішньоканальних навушників.

На навушнику розташовується мікрофон, який реєструє шуми, що потрапляють ззовні, і додає їх до відтвореного аудіо сигналу в протилежній фазі. Накладення зовнішнього шуму на його перевернуту версію дають в сумі тишу. А музика при цьому залишається майже недоторканою.

Маленькі затички з шумоподавленням добре працюють на середніх і високих частотах.

Внутрішньоканальні (рисунок 1.13) навушники з шумоподавленням – досить рідкісна річ, але все ж вони існують. Можливою причиною їх непопулярності є блок з батареєю і процесором, що обробляють звук. Він досить великий, важкий, виглядає і важить як MP3 плеєр. Однак такі навушники можуть бути дуже ефективні, особливо при правильно обраних насадках. А основна їхня перевага – в них можна спати, наприклад, в літаку або автобусі: немає ні оголов'я, ні великих чашок, що заважають зручно прилягти.



Рисунок 1.13 – Приклад внутрішньоканальних навушників

Принцип роботи накладних навушників (рисунок 1.14).

На відміну від внутрішньоканальних, мікрофон у них може бути встановлений не тільки зовні, але і всередині чашок. Зовнішній мікрофон більш ефективний на високих і середніх частотах, а мікрофон всередині має більше можливостей в плані подавлення низькочастотних шумів, але втрачає ефективність з підвищенням частоти. Іншими словами, навушники для літака і метро повинні мати мікрофон всередині чашок. А щоб захиститися від настирливого телевізора або балакучих колег по офісу – краще вибрати накладні навушники з мікрофоном, що встановлений зовні або внутрішньоканальні «шумодави».

Добре організований шумодав має два мікрофони: один всередині чашки навушника, а інший зовні.

Найдосконаліші і, відповідно, найдорожчі навушники мають мікрофони зовні і всередині. Іноді таких мікрофонів буває навіть кілька, і якщо виробник ніде не схибив, ефект виходить приголомшливий. Майже як в безеховій камері.



Рисунок 1.14 – Приклад накладних навушників

Деякі виробники, наприклад, вбудовують функцію, що дозволяє чути навколишні звуки, не знімаючи навушників. Зовнішні мікрофони починають працювати в зворотному режимі, тобто передавати в навушники всі зовнішні звуки, і наприклад, стане можливим поговорити з людиною не знімаючи навушників, або включити звук, щоб почути оголошення, яке звучить в літаку.

Виробники навушників класу Hi-Fi перетворюють навушники з шумоподавленням в активну модель. Вбудований підсилювач з живленням у них вже є, залишилося зробити його якісним, а систему подавлення шумів – вимикаємою. В результаті буде отримана ще й функція активних навушників, які будуть однаково легко узгоджуватися з будь-яким смартфоном або плеєром, оскільки не будуть залежати від потужності вбудованого в них підсилювача. Такі моделі зробили Polk Audio, PSB і деякі інші виробники.

Недоліки активного шумоподавлення в навушниках.

По-перше, тільки самі високотехнологічні і дорогі навушники здатні створити щось схоже на повну тишу. Більшість систем шумоподавлення ефективні лише в частині чутного діапазону частот. Наприклад, в літаку не чутно гул, але цілком можна розібрати мову співрозмовника, не знімаючи навушників, або, навпаки, голос буде ледь помітний, але верхньо і низькочастотні шуми потривожать слух.

По-друге, досить часто самі навушники шумлять. Схема шумоподавлення по суті є підсилювачем, який може генерувати високочастотний шум від ледь помітного в дорогих моделях, до добре чутного шипіння в моделях простіше.

По-третє, зміна характеру звучання. Більшість навушників з шумоподавленням мають кнопку вимикання і здатні працювати в пасивному режимі. Так ось, навушники з включеним і вимкненим шумоподавлення – це дві абсолютно різні за характером звучання моделі. Хтось побачить у цьому плюс, типу два в одному, кого-то це буде дратувати. Сіла батарейка, і замість витонченого легкого звуку буде отримано басовиту бубнілку.

По-четверте, це живлення. Всі навушники з активним шумоподавленням працюють або на акумуляторах, або на батарейках. Навіть якщо використовувати мобільний акумулятор, який здатний зарядити будь-який гаджет на висоті 10000 метрів над землею, рекомендують моделі зі змінними батарейками (зазвичай мова йде про стандартні «пальчикові» типу AA або AAA). Зарядка вбудованого акумулятора вимагає часу, а батарейки можна просто замінити і продовжити користуватися навушниками.

1.7 Активне шумоподавлення у автомобілях

Найважливішим компонентом роботи автомобіля є процес займання суміші палива і повітря в циліндрах двигуна внутрішнього згорання. Двигуни внутрішнього згорання з'явилися досить давно, і весь цей час інженери працювали над системою подавлення низькочастотних шумів, що виникають при роботі машини. Технології енергозбереження дозволили створити більш екологічно чисті

і економічні автомобілі, але проблема шуму в кабіні все ще залишилася. Зменшення кількості циліндрів з більш ефективними і більш екологічно чистими двигунами знижує частоту і підвищує ймовірність більш інтенсивної і дратівливої їзди для пасажирів.

В даний час системи і пристрої активного шумоподавлення стрімко впроваджують в автомобільну промисловість. Передумовою для цього є розвиток в сфері мікроелектроніки і прагнення людства досягти максимального комфорту за кермом.

Технологія активного контролю шуму (ANC) використовує аудіо систему автомобіля для зменшення небажаного шуму, створюваного двигуном. Щоб зменшити цей шум, інженери використовують активне акустичне управління або ANC для генерації сигналів шумоподавлення, які відтворюються на динаміках в кабіні автомобіля.

Першопрохідцем у застосуванні цього пристрою під час автомобілебудування стала компанія Toyota, яка впровадила дану технологію в автомобілі бізнес-класу в 2007-2009 роках. Автомобілі з даною системою успішно показали себе на ринку.

Функціональна схема системи активного шумоподавлення для автомобілів зображена на рисунку 1.15.

Як показано на схемі, непотрібні шуми збираються встановленими на даху автомобіля мікрофонами, а так само знімаються показники оборотів двигуна. Отриманий від мікрофонів сигнал надходить в інвентор, і, потім на підсилювач з подальшим виведенням сигналу на динаміки аудіо системи автомобіля. Інвертувати вхідний сигнал можливо за допомогою цифрових сигнальних процесорів або ж з використанням тільки аналогових компонентів перетворення сигналу – вибір залежить від поставлених завдань. Живлення всієї системи забезпечує акумулятор автомобільний 12 В.

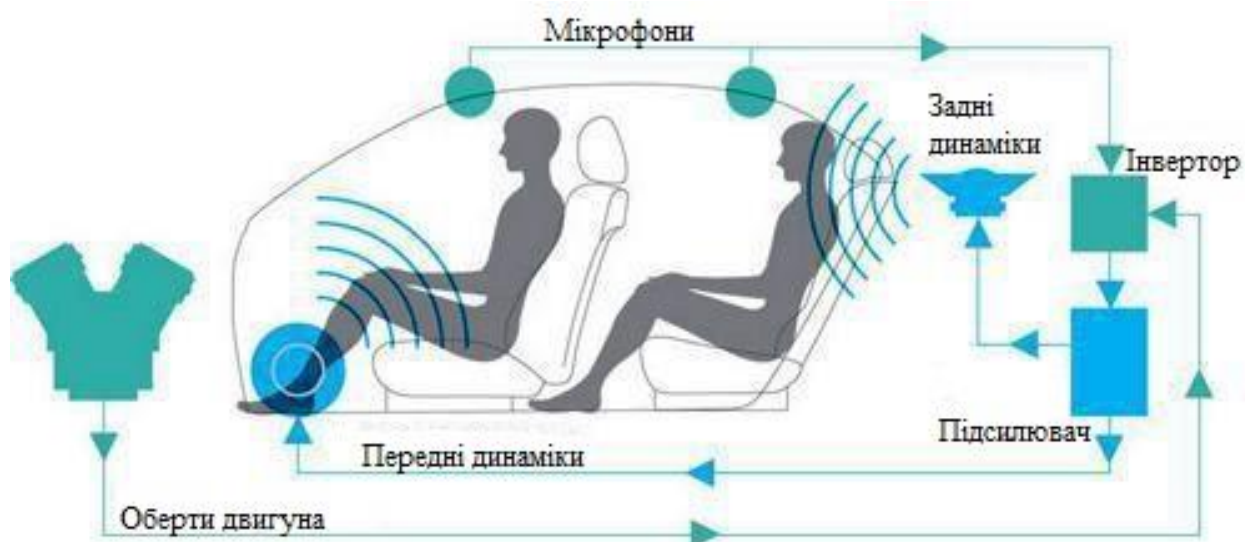


Рисунок 1.15 – Функціональна схема системи активного шумоподавлення в автомобілі [9]

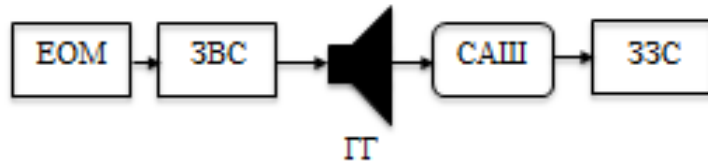
2 ВИМІРЮВАННЯ СПЕКТРІВ ЗВУКОВИХ СИГНАЛІВ

2.1 Опис експериментальної установки

Експеримент проводився у трьох локаціях:

- житлове приміщення;
- ресторан;
- вулиця.

Схема експериментальної установки (ЕУ) наведена на рисунку 2.1.



ЕОМ – електронна обчислювальна машина; ЗВС – звуковідтворююча система;
 ГГ – головка гучномовця; САШ – система активного шумоподавлення; ЗЗС – звукозаписуюча система

Рисунок 2.1 – Схема експериментальної установки

2.2 Характеристика локацій проведення експериментів

2.2.1 Житлове приміщення

Перша локація в якій проводився експеримент – це житлове приміщення, а точніше це кімната, об’ємом 150 м^3 , з наступними характеристиками:

- довжина $A = 10 \text{ м}$;
- ширина $B = 5 \text{ м}$;
- висота $H = 3 \text{ м}$.

Додатково у кімнаті були:

- дерев’яний стіл (СТ), $1 \text{ м} \times 1,5 \text{ м}$;
- дерев’яний стілець (Т), $0,5 \text{ м} \times 0,5 \text{ м}$;

- дерев'яна шафа (Ш), 1 м × 3 м;
- дерев'яні двері (Д), 1 м × 2,5 м;
- пластикове трьохкамерне вікно (В), 1,5 м × 2,5 м.

План кімнати наведено на рисунку 2.2.

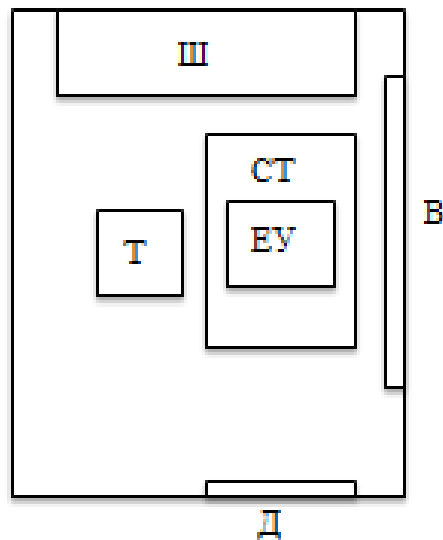


Рисунок 2.2 – План кімнати

2.2.2 Ресторан

Друга локація в якій проводився експеримент – це ресторан, а точніше двух поверхове приміщення з об'ємом $3 \cdot 10^5 \text{ м}^3$, який розраховано на 100 столів по 4 людини, з наступними характеристиками:

- довжина $A = 300 \text{ м}$;
- ширина $B = 200 \text{ м}$;
- висота $H = 5 \text{ м}$.

2.2.3 Вулиця

Третя локація в якій проводився експеримент – це паркова зона біля житлового будинку. План місцевості приведено на рисунку 2.3.

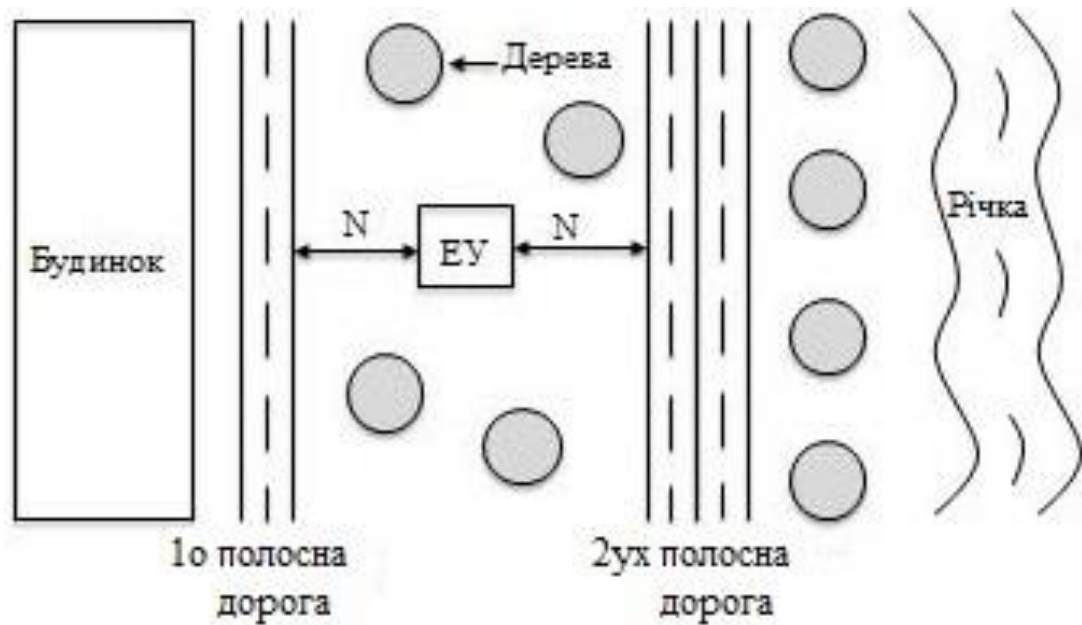


Рисунок 2.3 – План місцевості

Особливості розташування ЕУ на даній локації.

ЕУ розташована на пластмасовому кейсі, який йшов в комплекті з САШ, який у свою чергу служить підставкою під систему.

ЕУ було розташовано біля дерев, з однаковою відстанню N до доріг з двох сторін, $N = 25$ м.

Вимірювання проводилися, у той час коли шум від автомобільних доріг не перевищував 70дБ.

Поруч з дорогою висаджена лісо-смуга, з іншого боку якої, протікає річка, шириною приблизно 700м.

2.3 Характеристики технічних та програмних засобів

2.3.1 Характеристики системи активного шумоподавлення

Раніше нікому невідома компанія з Сан-Франциско Celestial Tribe розробила багатофункціональний пристрій для подавлення шуму і створення особистої зони комфорту. Цей прилад, який блокує сторонні шуми, поглинає зовнішні вібрації і

створює приватну зону для спілкування кільком людям називається «Пузир тиші» MUZO (рисунок 2.4).

Це пристрій активного подавлення шуму, що працює за принципом акустичних шумоподавляючих навушників. Суть цього принципу полягає в тому, що пристрій визначає частоти сторонніх шумів і в протифазі генерує ці ж шуми на тих же частотах. В результаті шуми зникають і настає тиша. Незважаючи на те, що цей принцип відомий давно, застосовувати його для шумоізоляції приміщень нікому досі не приходило в голову.



Рисунок 2.4 – Прилад активного шумоподавлення MUZO [20]

Прилад, схожий на компактну звукову колонку, прикріплюють до плоскої поверхні і використовує її в якості резонатора (мембрани).

Даний пристрій працює у трьох режимах:

- “Секретному” – має синій колір підсвітки;
- “Сну” – має зелений колір підсвітки;
- “Таємної розмови” – має білий колір підсвітки.

Під час використання першого режиму, синього, при включенні, пристрій створює звуки і противовібрації, які блокують сторонні шуми і небажані вібрації, який і називається “пузирем” тиші. Принцип роботи даного режиму наведено на рисунку 2.5.

Особливістю другого режиму, зеленого, є те, що, крім блокування сторонніх шумів, сам пристрій здатний відтворювати звуки, заспокійливі власника і допомагають «солодкому» засипанню. Оскільки повна тиша підійде не для всіх користувачів.

Третій режим – режим таємної приватної розмови. У таємному, або приватному режимі пристрій працює так само, як у випадку «пузиря тиші», додаючи при цьому специфічні звуки, що маскують голоси тих, хто потрапив в поле дії приладу.

Пристрій управляється як безпосередньо, так і за допомогою смартфона. При цьому можна змінювати гучність відтворюваних пристроєм звуків, що дає можливість швидкого налаштування MUZO під будь-яку ситуацію.

Цей компактний девайс може допомогти втомленим від міського шуму людям створювати свій «особистий простір» в будь-якому місці і насолоджуватися такою бажаною тишею.

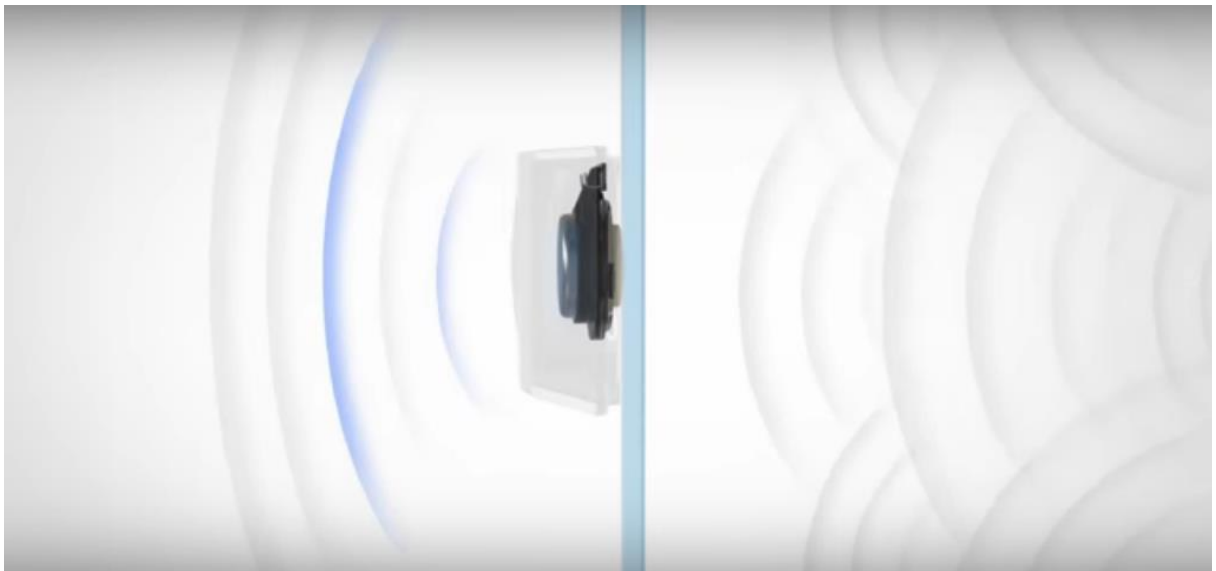


Рисунок 2.5 – Принцип роботи секретного або синього режиму пристрою MUZO

Будова та основні характеристики MUZO наведені на рисунку 2.6 та у таблиці 2.1 відповідно.

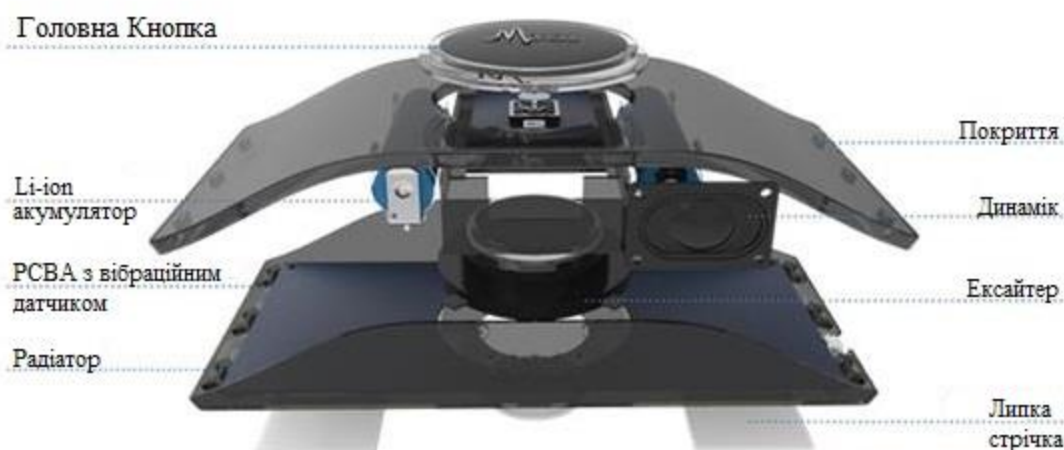


Рисунок 2.6 – Будова пристрою MUZO

Таблиця 2.1 – Основні характеристики пристрою MUZO

Датчик	Вібраційний
Аудіо	10 Вт мільярдний технологійний ексайтер (збудник)
Гучномовець	Високоякісний динамік
Підключення	Bluetooth LE
Живлення	Від Micro USB
Батарея	Перезаряджаєма Li-іон батарея
Довготривалість роботи	Приблизно 20 годин в стандартному режимі
Кольори	Чорний, сріблястий
Габарити	Довжина 165 мм; Ширина 75 мм; Висота 35 мм
Вага	350 г

2.3.2 Характеристики портативного цифрового аудіореєрера

Zoom H1, який зображений на рисунку 2.7, отримує стерео відображення з мікрофонів, які розташовані на панелі диктофона і конфігуруються в X/Y картинки. Завдяки тому, що обидва мікрофона розташовані на одній осі, вони знаходяться на рівній відстані від джерела звуку для ідеальної локалізації і відсутності зсуву фаз, в результаті чого виходить відмінна стерео запис з природною глибиною і точним відображенням.

Цей диктофон містить всі свої функції на панелі. Його дисплей з підсвічуванням відображає рівень запису, формат файлу, час, що минув, заряд батареї і час запису. Всі основні елементи управління розташовані на бічній стороні – велика кнопка запису, відтворення і пауза, маркер, перемотування вперед і назад, гучність і т.д.



Рисунок 2.7 – Портативний цифровий аудіорекордер Zoom H1

На задній панелі пристрою є одне відділення для батареї формату AA, НЧ фільтр, автоматичне налаштування рівня, перемикач формату запису та кріплення для ремня або шнурка-кліпу.

Аналогічним чином одна зі сторін диктофона містить 1/8-дюймовий лінійний стерео вхід, USB порт, вимикач живлення і перемикач hold.

Zoom H1 записує на microSD-карту. Завдяки високій швидкості порту USB 2.0, рекордер дозволяє досить швидко передавати звукові файли на комп'ютер. Також Zoom H1 включає в себе гучномовець.

Характеристики рекордеру Zoom H1 наведені у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Характеристики портативного аудіореєстратора Zoom H1

Доріжок запису одночасно	2
Відтворення доріжок	2
Функції	Фільтр обрізання нижніх частот, Авторегулювання рівня запису, Маркер
Формат запису і відтворення	WAV (16/24-біт); MP3 (48-320 кбіт/с)
A/D перетворення	24-біт 128-кратне ре-семплірування
D/A перетворення	24-біт 128-кратне ре-семплірування
Обробка сигналу	32 біт
Запис інформації	micro SD карти до 2 Гб micro SDHC карти 4-32 Гб
Вбудований мікрофон	Різнонаправлений конденсаторний XY 90°
Дисплей	127 сегментів, ЖК з під світлою
Вхідне підсилення	Від 0 до +39 дБ
Максимальне підсилення з цифровим затушенням	-28 дБ
Максимальний рівень звукового тиску	120 дБ SPL
Входи	Мікрофонний/лінійний вхід
Виходи	Навушники, Лінійний вихід
Вхідний опір	2 кОм
Вихідний опір навантаження	10 кОм і більше
Номінальний вихідний рівень	-10 дБм
USB-інтерфейс	Mini-B типу (USB 2.0), з підтримкою протокола Mass Storage Class
Живлення	1 АА батарея, адаптер AD-17

2.3.3 Характеристики звуковідтворюючої техніки

В якості звуковідтворюючої техніки для даного експерименту було взято смартфон iPhone 6 Plus. Основні характеристики даного пристрою приведені у таблиці 2.3. Оригінальний динамік iPhone 6 Plus (поліфонічний, нижній) відповідає за відтворення звуків без підключення навушників. Це може бути прослуховування музики, перегляд відеофайлів, звукове оформлення ігор, мелодія дзвінка і повідомлення, а також всілякі системні сигнали.

Таблиця 2.3 – Основні характеристики iPhone 6 Plus

Тип	Смартфон
Операційна система	iOS
Версія	8
Процесор	Apple A8
Частота	1400 МГц
Оперативна пам'ять	1024 МБ
Флеш-пам'ять	128000 МБ
Екран	
Діагональ	5.5 "
Розширення	1920 x 1080
Передача кольору	16 млн. кольорів
Цифрова камера	
Фотокамера	8 млн. пікс.
Живлення	
Час в режимі роботи	24 год
Час в режимі очікування	384 год
Габарити і вага	
Ширина	77.8 мм
Висота	158.1 мм
Глубина	7.1 мм
Вага	172 г
Динамік	
Вид	Поліфонічний
Розташування	Нижня частина корпусу смартфона (захищений металевією сіткою)
Призначення	Перетворення електромагнітних хвиль у звукові

2.3.4 Характеристики обчислювальної техніки

У якості ЕОМ під час проведення експеримента використовувався Apple MacBook Pro.

Apple MacBook Pro – ноутбук корпорації Apple. Позиціонується Apple як ноутбук для професійної діяльності. На даний момент лінійка представлена ноутбуками з діагоналлю екрана 13 і 15-дюймів.

Характеристики Apple MacBook Pro наведені на рисунку 2.8.



Рисунок 2.8 – Характеристики Apple MacBook Pro

2.3.5 Програмне забезпечення

Реєстрація звукових сигналів, проведення аналізу спектра звуку та обчислення величини амплітуди коливань проводилось у програмі Adobe Audition CC 2018.

Adobe Audition – професійний аудіоредактор для обробки аудіо і відеопродукції, що підтримує мультитрекове, недеструктивне та деструктивне редагування.

Можливості Adobe Audition CC 2018:

- мультитрекове мікшування необмеженої кількості стереотреків;
- підтримка багатоканального високоякісного 5.1 звуку;
- одночасний живий запис до 80 доріжок;
- підтримка запису audio CD;
- експорт та імпорт великої кількості форматів, зокрема MP3, WAV, WMA Professional, AIFF, SND, Ogg Vorbis, AVI, WMV і DV;

– більше 50 високоякісних аудіоефектів, інструментів для очистки звуку та майстерінгу;

– підтримка DX та VST плагінів.

Файли проектів мають розширення SES.

Стартове вікно програми Adobe Audition CC 2018 представлено на рисунку 2.9.



Рисунок 2.9 – Вікно запуску програми Adobe Audition CC 2018

2.4 Методика експерименту

Обробка отриманих MP3-файлів виконується в програмному аудіоредакторі Adobe Audition CC. Дане програмне забезпечення дозволяє виконувати аналіз спектру звуку та вимірювати величину амплітуди коливань.

Під час виконання експерименту аудіо запис, відповідний виміру завантажується в Adobe Audition CC у вікно Edit.

Для аналізу амплітудно-частотної характеристики (АЧХ) сигналу, активовано вікно аналізатора спектра.

Так як АЧХ сприйняття слуху людини не лінійна і є менш сприйнятливою до шумів на низьких частотах, в вимірювальній апаратурі застосовується коригування АЧХ отриманого сигналу фільтром типу А.

Коригування фільтра типу А, виконано за допомогою графічного еквайзера Adobe Audition CC, який активований з вікна Effects.

Встановлено значення коригування, що вносяться фільтром, для кожної зі смуги частот. Значення амплітуди для 10 смугового еквайзера вказані в таблиці 2.4. На рисунку 2.10 зазначено графічний еквайзер Adobe Audition з внесеними коректуваннями, відповідно до характеристики фільтра типу А.

Таблиця 2.4 – АЧХ фільтра типу А

Третьоктавна частота, Гц	АЧХ фільтра типу А, дБ
32	-39,4
63	-26,2
125	-16,1
250	-8,6
500	-3,2
1000	0
2000	1,2
4000	1
8000	-1,1
16000	-6,6



Рисунок 2.10 – Значення АЧХ фільтра типу А

Графічний еквалайзер імітує роботу фільтра типу А, необхідного для того, щоб отримати значення амплітуди сигналу в значеннях дБА. Після того, як були встановлені всі значення для кожної зі смуг частот, натиснута кнопка «Ок» і виділена область аудіо сигналу була оброблена, згідно з цим фільтром.

4) Далі були усереднені значення коливань АЧХ протягом всієї тривалості аудіо сигналу, за допомогою функції «Scan Selection». Adobe Audition CC виконав сканування виділеної області і встановив середньоквадратичне значення коливань АЧХ.

5) За допомогою функції «Copy all Graph data» були скопійовані отримані значення амплітуд на всіх частотах в буфер пам'яті комп'ютера.

6) Скопійовані в буфер пам'яті значення амплітуд сигналу на кожній з частот, були вставлені в текстовий редактор «Блокнот». У даній роботі були потрібні значення величин шуму на частотах 32, 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 Гц відповідно. Отримані результати відображені в дБА.

7) З огляду на той факт, що в аудіо редакторі амплітуда сигналу відображається в негативних значеннях щодо нуля дБ. Динамічний діапазон диктофона Zoom H1 дорівнює 120 дБ, що відповідає максимальному звуковому тиску звуку (0 дБ в аудіо редакторі), який він може фіксувати.

Величина звукового тиску розраховується за формулою:

$$P=120+dBA,$$

де P – величина звукового тиску,

dBA – негативні значення амплітуди сигналу в аудіо редакторі.

8) Для підрахунку середніх значень для кожного з сигналів використовується переведення децибел в рази і назад в децибелли.

Перехід до децибел:

$$n=10*\log_{10}(m) .$$

Перехід від децибел до разів:

$$m=10^{(n/10)},$$

де m – відношення в разях,

n – значення в децибелах.

Це необхідно, тому що шкала значень в децибелах не є лінійно залежною, і до неї не можна застосувати середньо-арифметичне усереднення значень.

9) З отриманих значень була отримана їх різниця, яка була проаналізована.

2.5 Результати вимірювань

В результаті проведення експерименту за допомогою цифрового аудіо рекордера були записані сигнали, які відтворювалися системою смартфона. В якості сигналу було обрано запис рожевого шуму. Сигнали були записані у трьох різних локаціях до включення і після включення прибору активного шумоподавлення. Оскільки даний прибор має два режими з шумоподвлненням (Білий та Синій), то вимірювання були проведені для двох цих режимів.

В результаті були отримані стерео-аудіо сигнали з розширенням MP3. Для подальшого аналізу отриманих сигналів вони були опрацьовані за допомогою програми Adobe Audition CS. А саме застосована А фільтрація. Далі наведено результати опрацювання аудіо записів для Білого режиму. Аналогічним образом опрацьовані результати для Синього режиму. Результати цього опрацювання наведені у Додатку А.

2.5.1 Результати опрацювання вимірювань для Білого режиму

Опрацювання сигналу отриманого на вулиці до включення прибору описано на рисунках 2.11 – 2.13.

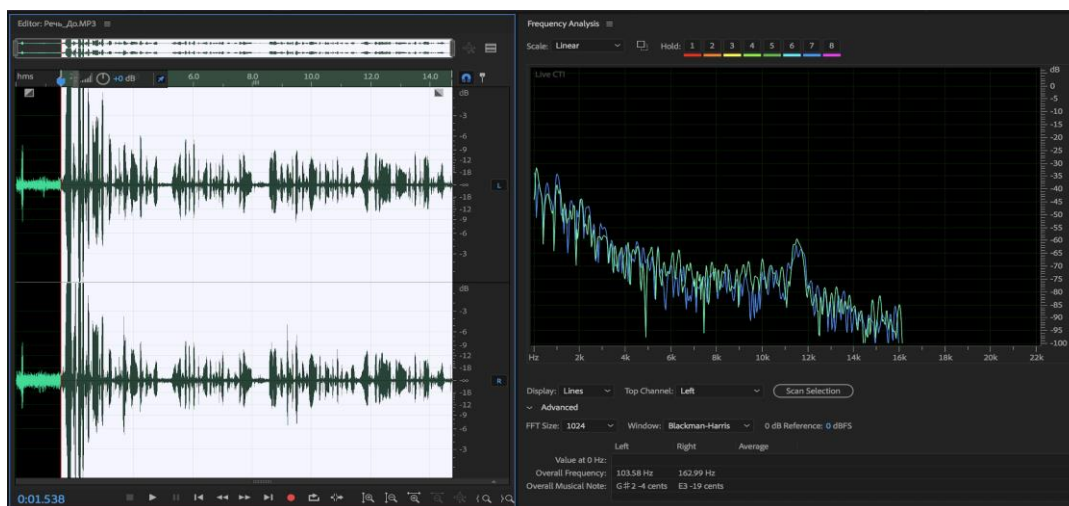


Рисунок 2.11 – АЧХ аудіо запису

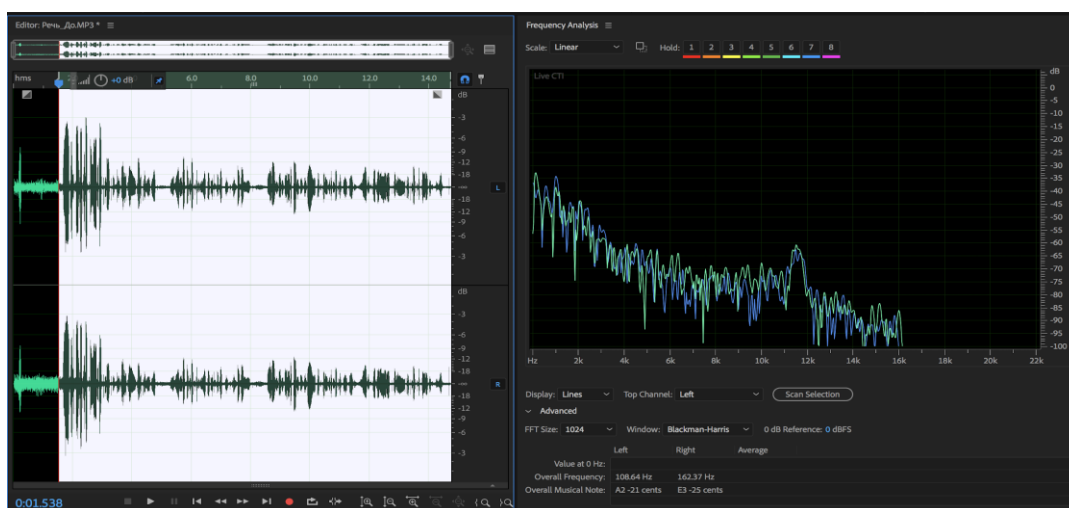


Рисунок 2.12 – АЧХ аудіо запису після застосування фільтра типу А

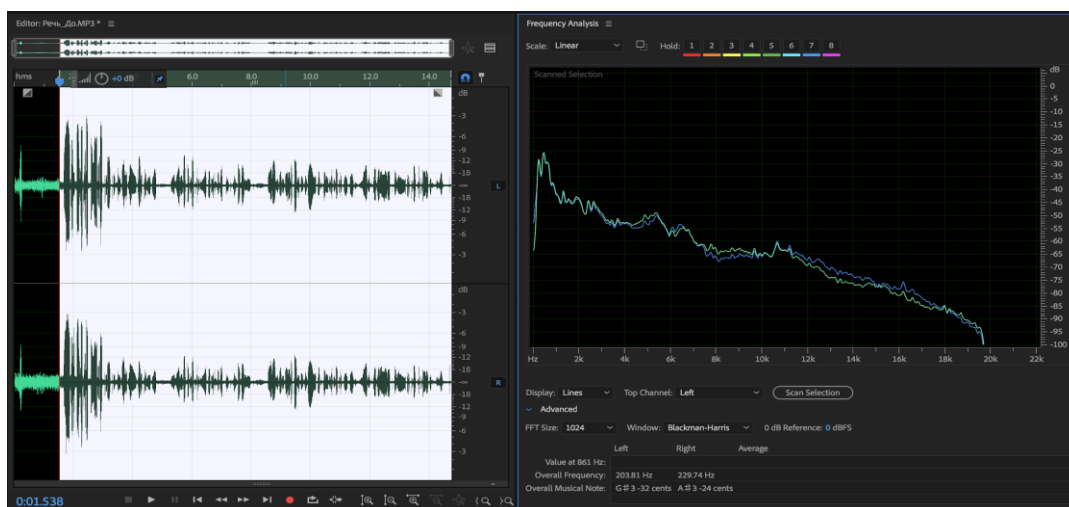


Рисунок 2.13 – Усереднення значень коливань АЧХ протягом виділеної ділянки часу

Опрацювання сигналу отриманого на вулиці після включення прибору описано на рисунках 2.14 – 2.16.

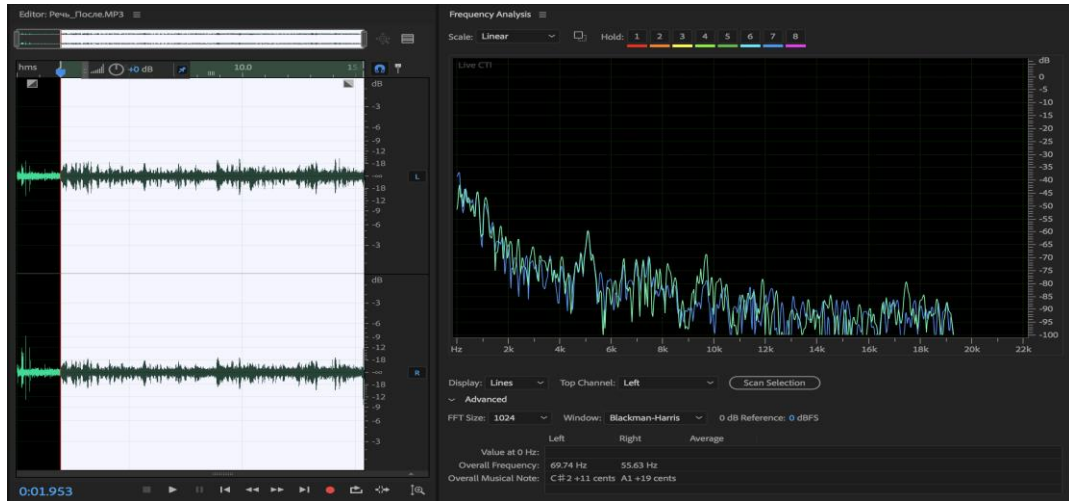


Рисунок 2.14 – АЧХ аудіо запису

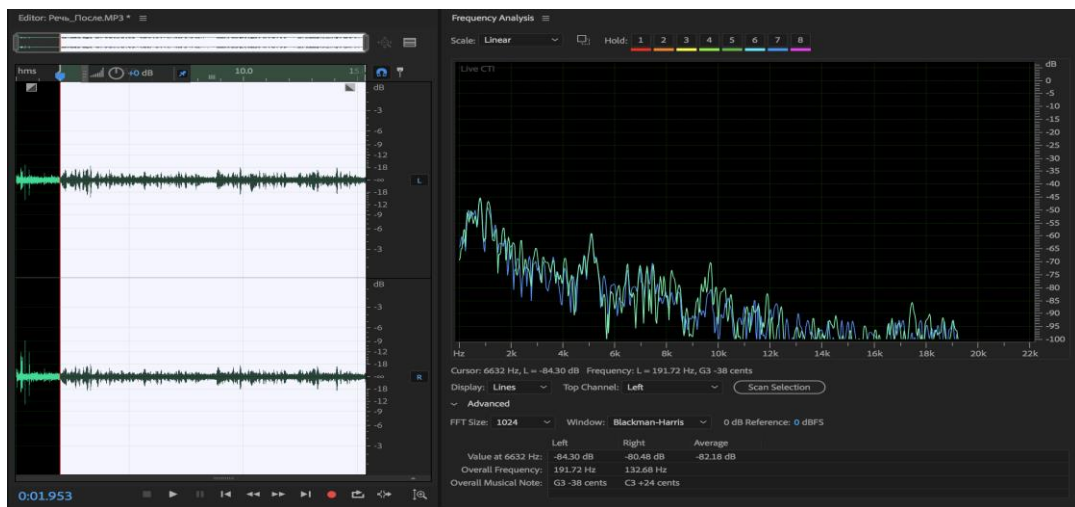


Рисунок 2.15 – АЧХ аудіо запису після застосування фільтра типу А

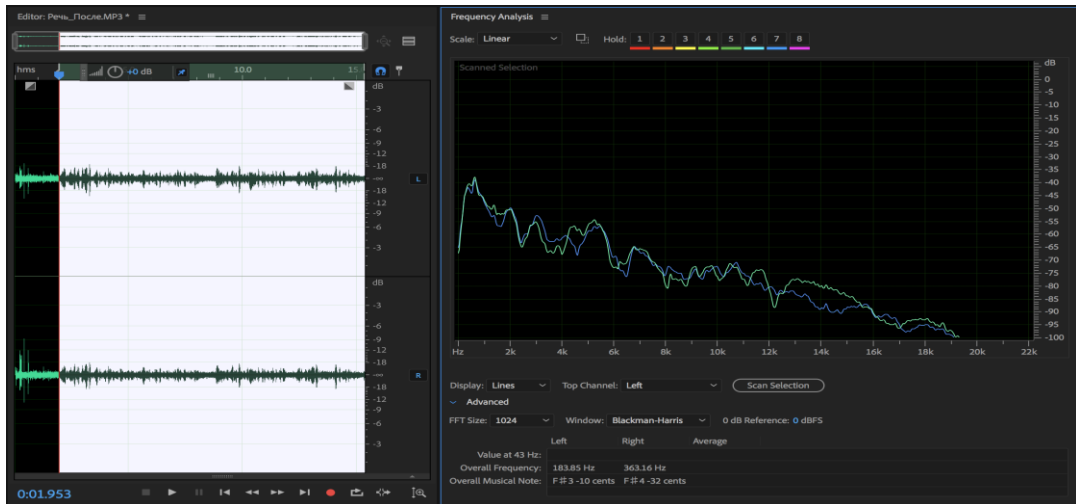


Рисунок 2.16 – Усреднення значень коливань АЧХ протягом виділеної ділянки часу

Опрацювання сигналу отриманого в ресторані до включення прибору описано на рисунках 2.17 – 2.19.

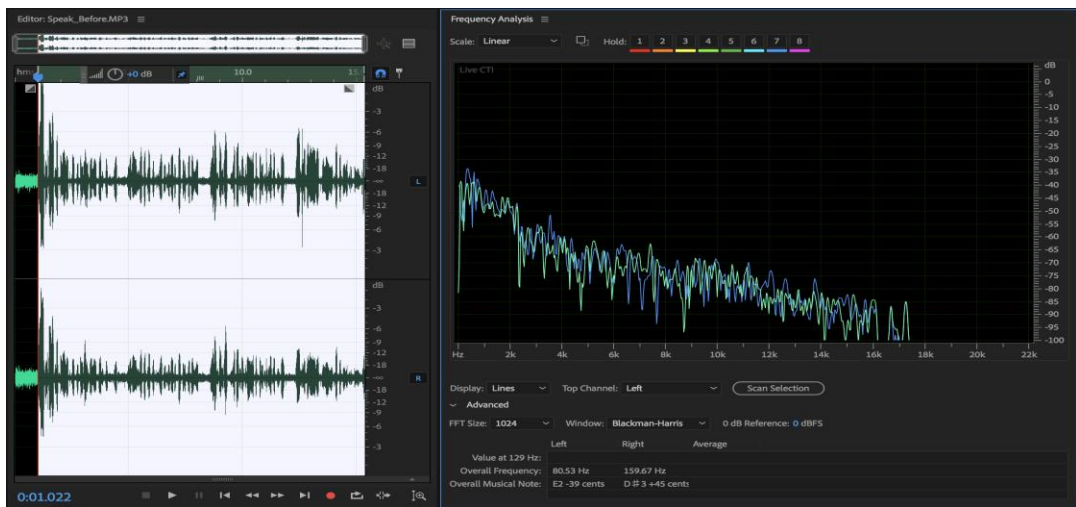


Рисунок 2.17 – АЧХ аудіо запису



Рисунок 2.18 – АЧХ аудіо запису після застосування фільтра типу А



Рисунок 2.19 – Усереднення значень коливань АЧХ протягом виділеної ділянки часу

Опрацювання сигналу отриманого в ресторані після включення прибору описано на рисунках 2.20 – 2.22.

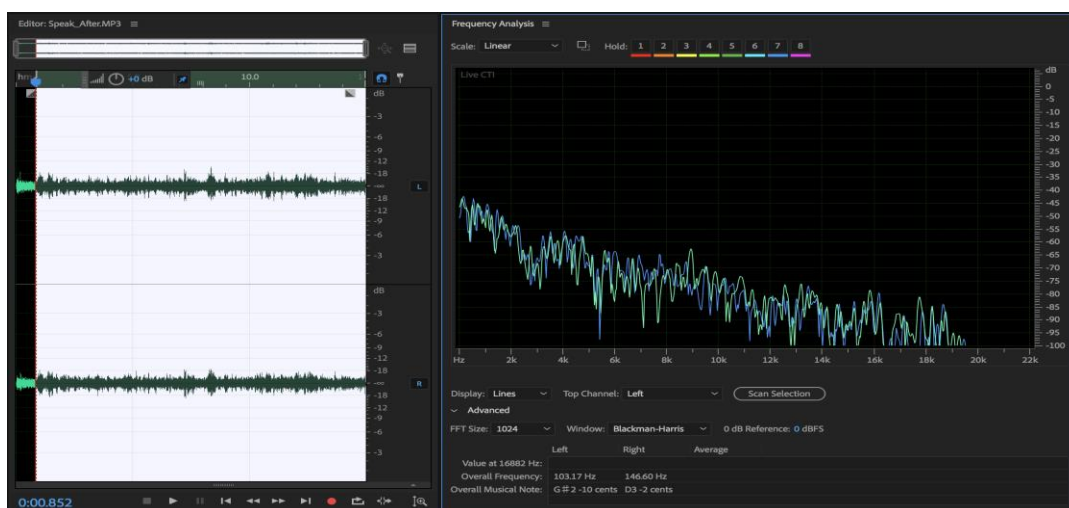


Рисунок 2.20 – АЧХ аудіо запису

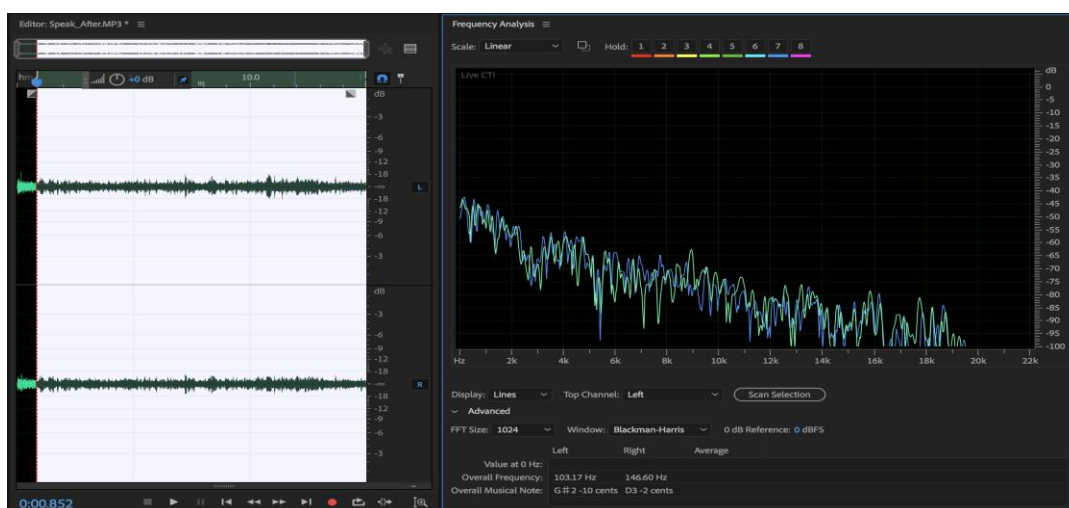


Рисунок 2.21 – АЧХ аудіо запису після застосування фільтра типу А

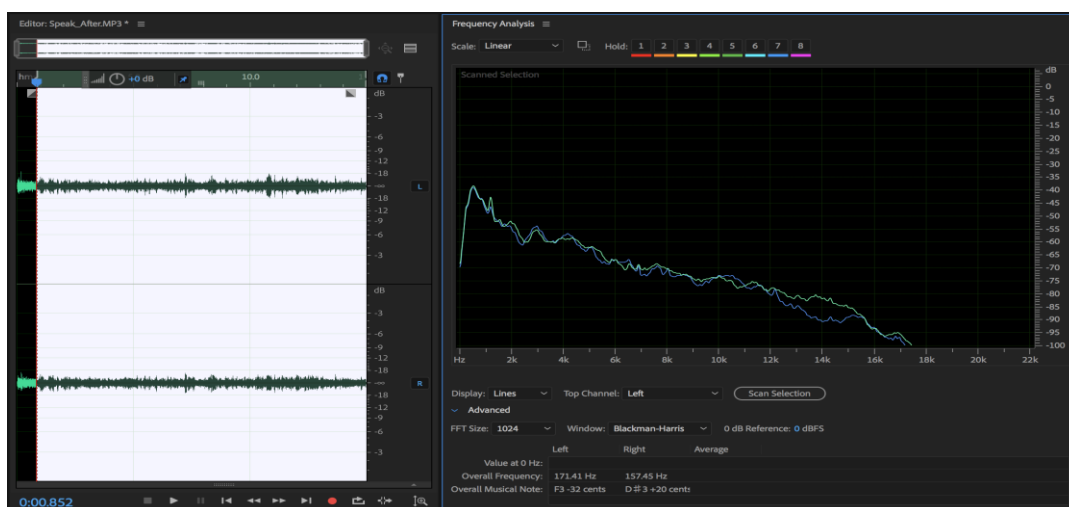


Рисунок 2.22 – Усереднення значень коливань АЧХ протягом виділеної ділянки часу

Опрацювання сигналу, отриманого в квартирі, до включення прибору описано на рисунках 2.23 – 2.25.

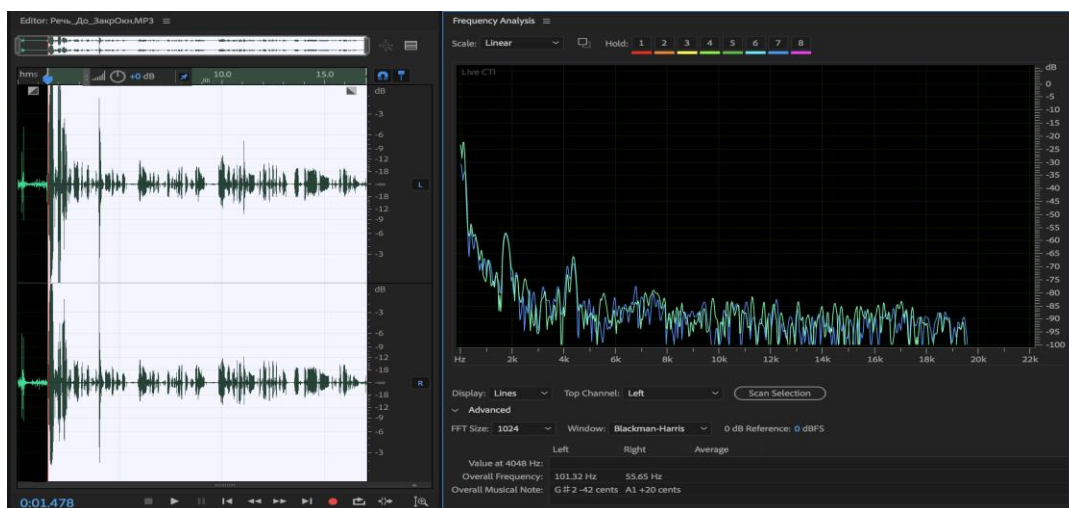


Рисунок 2.23 – АЧХ аудіо запису

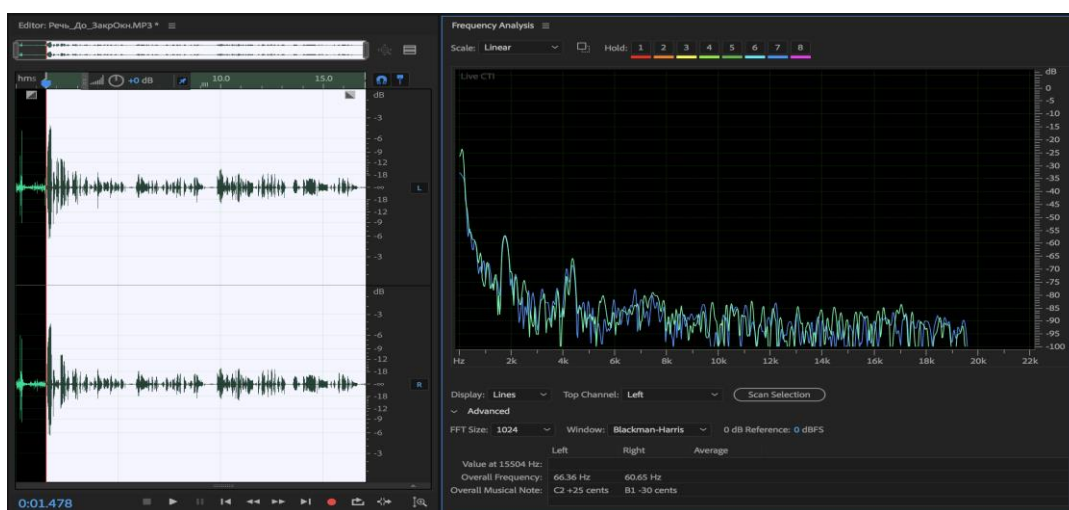


Рисунок 2.24 – АЧХ аудіо запису після застосування фільтра типу А

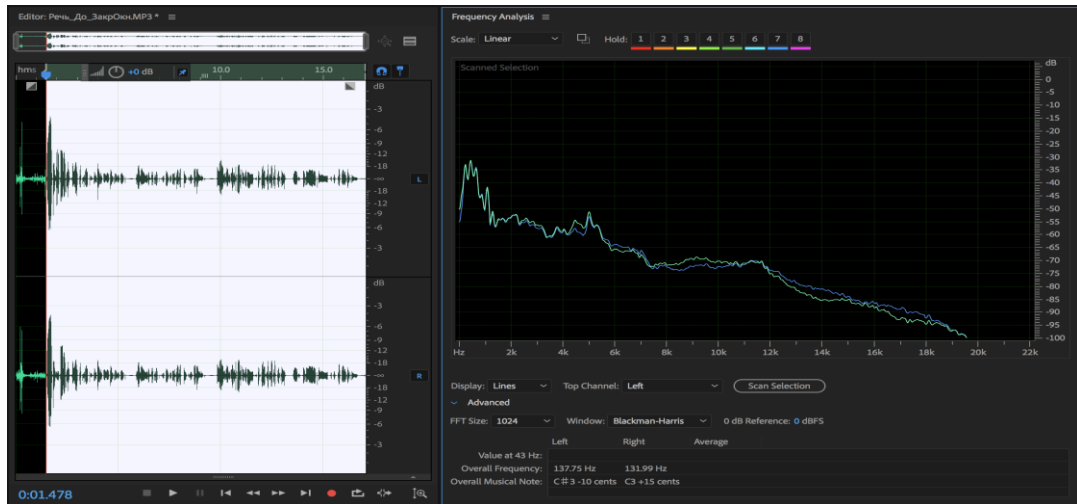


Рисунок 2.25 – Усереднення значень коливань АЧХ протягом виділеної ділянки часу

Опрацювання сигналу, отриманого в квартирі, після включення прибору, розташованого на кейсі, описано на рисунках 2.26 – 2.28.

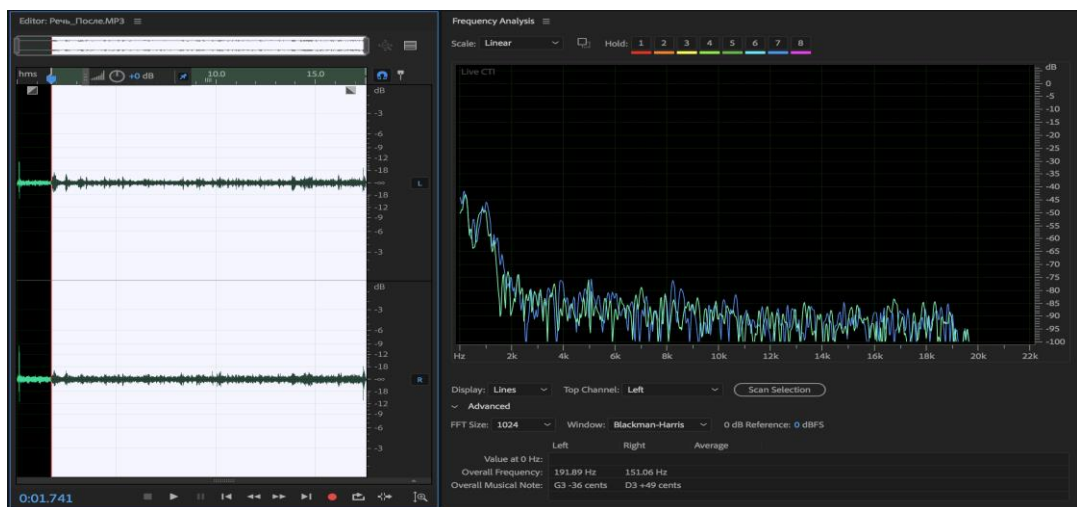


Рисунок 2.26 – АЧХ аудіо запису

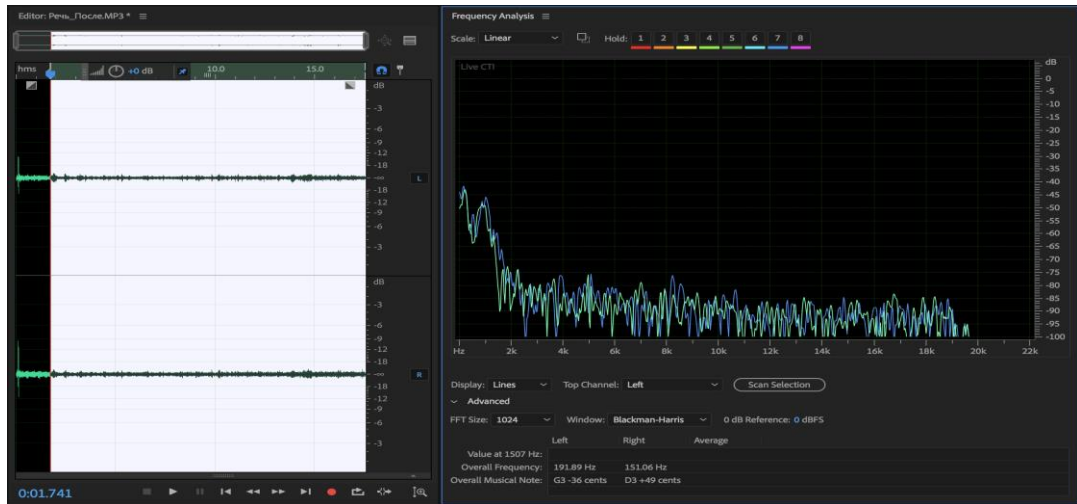


Рисунок 2.27 – АЧХ аудіо запису після застосування фільтра типу А

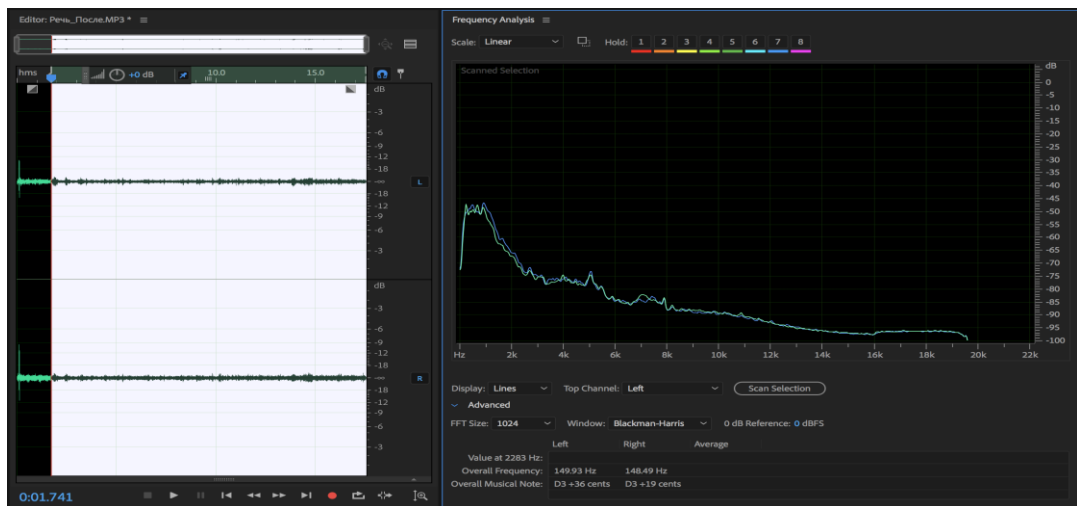


Рисунок 2.28 – Усереднення значень коливань АЧХ протягом виділеної ділянки часу

Опрацювання сигналу, отриманого в квартирі, після включення прибору, розташованого на вікні, описано на рисунках 2.29 – 2.31.

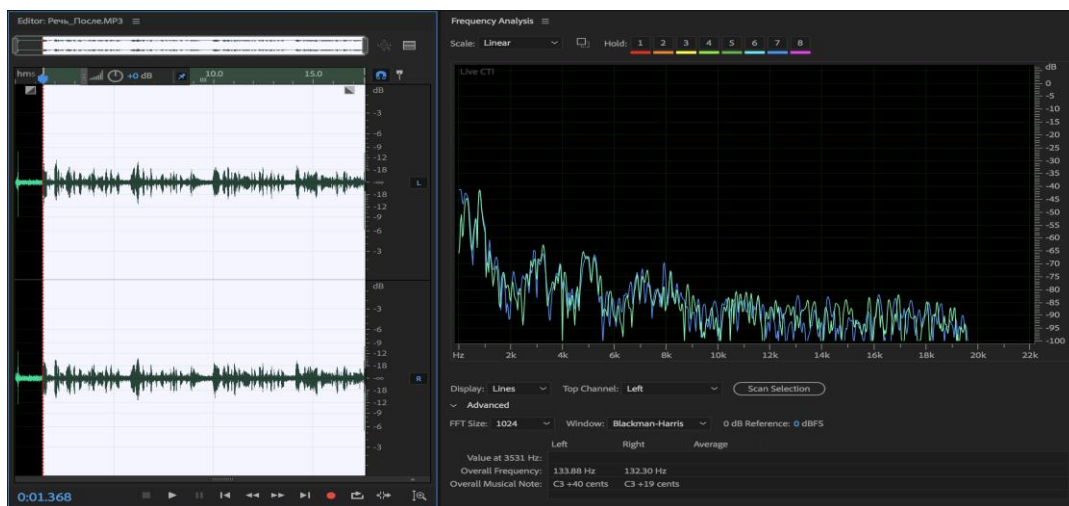


Рисунок 2.29 – АЧХ аудіо запису

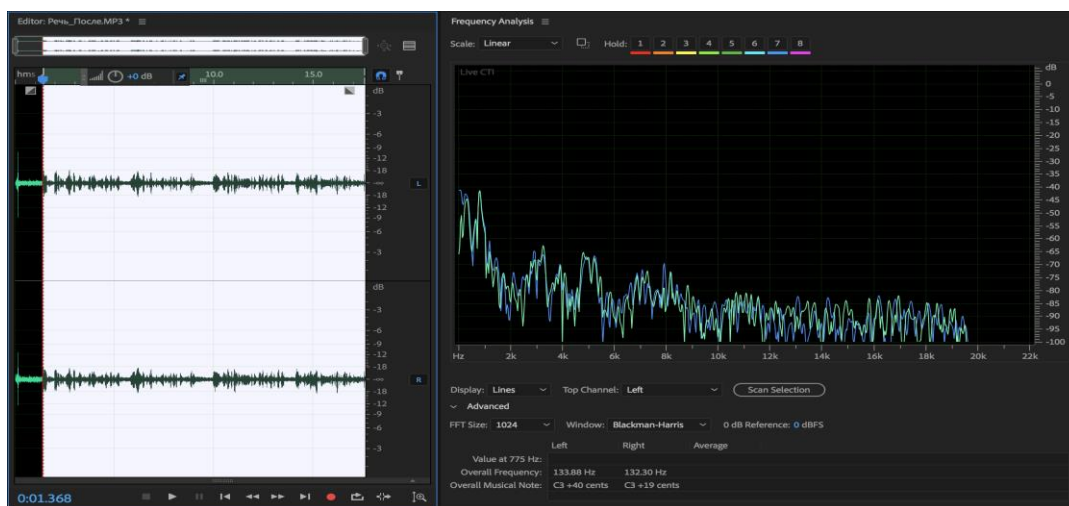


Рисунок 2.30 – АЧХ аудіо запису після застосування фільтра типу А

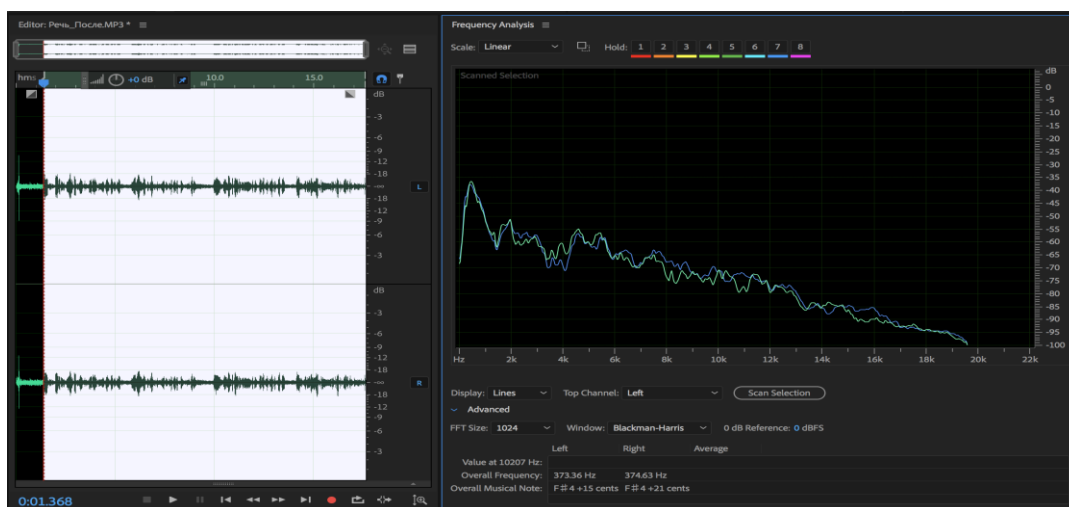


Рисунок 2.31 – Усереднення значень коливань АЧХ протягом виділеної ділянки часу

3 АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ЕКСПЕРИМЕНТІВ

Після відтворення рожевого шуму на звуковідтворювальній апаратурі та запису аудіо на цифровий аудіо рекордер, були отриманні MP3 файли, які були завантажені до Adobe Audition CC. Для цих файлів у програмі були отримані АЧХ, та амплітуди на певних частотах (Додаток А). Значення, які були завантажені до текстового редактора, представлені у таблиці 3.1. З приведеної таблиці видно що значення рівня шуму до і після включення прибору активного шумоподавлення відрізняються [21]. Тобто шумоподавлення відбувається.

Таблиця 3.1 – Вихідні дані, отримані з Adobe Audition CC

	Білий Режим										
	Вулиця			Ресторан			Квартира				
	До	Після	Δ	До	Після	Δ	До	На кейсі Після	Δ Кейс	На вікні Після	Δ Вікно
Гц	дБА										
32	-52,01	-61,17	9,16	-58,73	-64,45	5,72	-48,5	-63,52	15,02	-68,37	19,87
63	-47,71	-57,25	9,54	-55,32	-60,37	5,05	-45,59	-59,81	14,22	-59,98	14,39
125	-40,28	-53,93	13,65	-48,36	-56,13	7,77	-41,39	-53,48	12,09	-54,69	13,30
250	-30,33	-44,15	13,82	-34,09	-46,33	12,24	-36,08	-44,43	8,35	-49,81	13,73
500	-29,98	-42,52	12,54	-29,09	-38,91	9,82	-37,65	-38,75	1,10	-49,22	11,57
1000	-42,40	-48,67	6,27	-43,61	-48,67	5,06	-42,51	-53,35	10,84	-51,35	8,84
2000	-44,93	-50,63	5,70	-45,06	-54,78	9,72	-52,73	-56,33	3,60	-67,18	14,45
4000	-53,32	-64,07	10,75	-54,06	-58,53	4,47	-58,38	-66,13	7,75	-76,49	18,11
8000	-66,00	-76,91	10,91	-64,83	-70,77	5,94	-70,72	-72,73	2,01	-88,6	17,88

Продовження таблиці 3.1

	Синій Режим										
	Вулиця			Ресторан			Квартира				
	До	Після	Δ	До	Після	Δ	До	На кейсі Після	Δ Кейс	На вікні Після	Δ Вікно
Гц	дБА										
32	-51,25	-62,07	10,82	-58,65	-64,65	6	-48,09	-72,07	23,98	-64,5	16,41
63	-47,49	-55,69	8,2	-54,98	-61,09	6,11	-45,27	-67,46	22,19	-58,7	13,43
125	-40,24	-49,53	9,29	-48,4	-56,34	7,94	-41,11	-59,21	18,1	-54,4	13,29
250	-30,29	-41,39	11,1	-34,39	-43,77	9,38	-36	-51,36	15,36	-51,2	15,2
500	-29,94	-41,54	11,6	-29,11	-36,73	7,62	-37,63	-45,39	7,76	-50,59	12,96
1000	-42,44	-46,88	4,44	-43,59	-48,29	4,7	-42,49	-50,1	7,61	-49,38	6,89
2000	-44,91	-53,04	8,13	-45,03	-53,75	8,72	-42,49	-67,94	25,45	-67,44	24,95
4000	-53,28	-57,89	4,61	-54,03	-56,34	2,31	-58,36	-68,12	9,76	-75,28	16,92
8000	-65,94	-72,44	6,5	-64,8	-69,26	4,46	-72,72	-80,1	7,38	-87,93	15,21

Далі до аудіо файлів було застосовано фільтр типу А, який у свою чергу виконано за допомогою графічного 10 смугового еквайзера. З огляду на той факт, що в аудіо редакторі амплітуда сигналу відображається в негативних значеннях щодо нуля дБ, було проведено перерахунок звукового тиску.

Отримані значення фільтра А приведені у таблиці 3.2. Також у таблиці приведено значення різниці отриманих результатів, яка представлена символом Δ .

Таблиця 3.2 – Значення фільтра А на відповідній частоті

	Білий Режим										
	Вулиця			Ресторан			Квартира				
	До	Після	Δ	До	Після	Δ	До	На кейсі Після	Δ Кейс	На вікні Після	Δ Вікно
Гц	дБА										
32	67,99	58,83	9,16	61,27	55,55	5,72	71,50	56,48	15,02	51,63	19,87
63	72,29	62,75	9,54	64,68	59,63	5,05	74,41	60,19	14,22	60,02	14,39
125	79,72	66,07	13,65	71,64	63,87	7,77	78,61	66,52	12,09	65,31	13,30
250	89,67	75,85	13,82	85,91	73,67	12,24	83,92	75,57	8,35	70,19	13,73
500	90,02	77,48	12,54	90,91	81,09	9,82	82,35	81,25	1,10	70,78	11,57
1000	77,60	71,33	6,27	76,39	71,33	5,06	77,49	66,65	10,84	68,65	8,84
2000	75,07	69,37	5,70	74,94	65,22	9,72	67,27	63,67	3,60	52,82	14,45
4000	66,68	55,93	10,75	65,94	61,47	4,47	61,62	53,87	7,75	43,51	18,11
8000	54,00	43,09	10,91	55,17	49,23	5,94	49,28	47,27	2,01	31,40	17,88

	Синій Режим										
	Вулиця			Ресторан			Квартира				
	До	Після	Δ	До	Після	Δ	До	На кейсі Після	Δ Кейс	На вікні Після	Δ Вікно
Гц	дБА										
32	68,75	57,93	10,82	61,35	55,35	6,00	71,91	47,93	23,98	55,50	16,41
63	72,51	64,31	8,20	65,02	58,91	6,11	74,73	52,54	22,19	61,30	13,43
125	79,76	70,47	9,29	71,60	63,66	7,94	78,89	60,79	18,10	65,60	13,29
250	89,71	78,61	11,10	85,61	76,23	9,38	84,00	68,64	15,36	68,80	15,20
500	90,06	78,46	11,60	90,89	83,27	7,62	82,37	74,61	7,76	69,41	12,96
1000	77,56	73,12	4,44	76,41	71,71	4,70	77,51	69,90	7,61	70,62	6,89
2000	75,09	66,96	8,13	74,97	66,25	8,72	77,51	52,06	25,45	52,56	24,95
4000	66,72	62,11	4,61	65,97	63,66	2,31	61,64	51,88	9,76	44,72	16,92
8000	54,06	47,56	6,50	55,20	50,74	4,46	47,28	39,90	7,38	32,07	15,21

Для порівняльного аналізу отриманих значень були побудовані графіки обчислень для усіх умов проведення експериментів (рисунок 3.1-3.8).

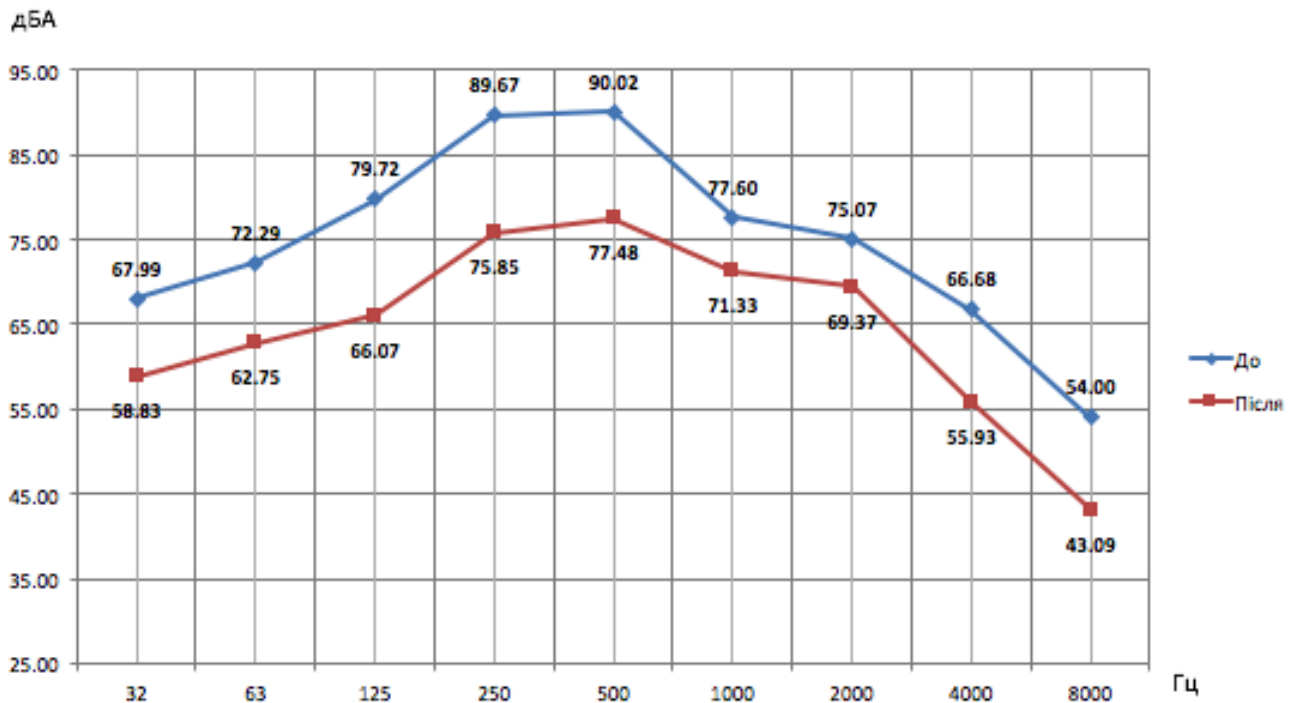


Рисунок 3.1 – Графік обчислень на вулиці до включення прибору та після для білого режиму

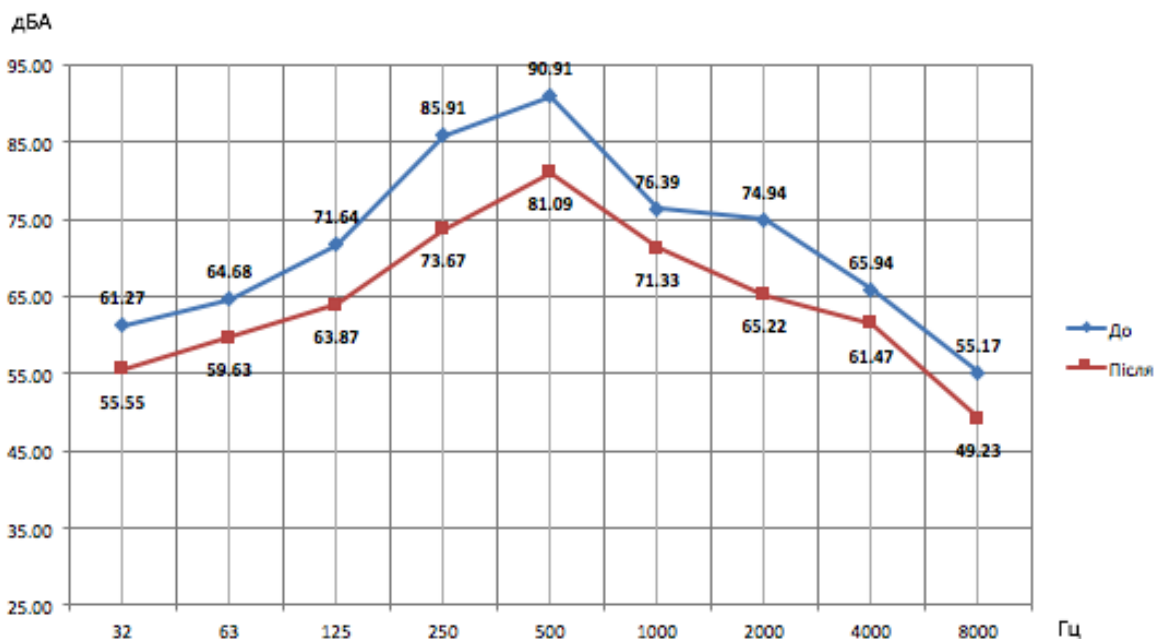


Рисунок 3.2 – Графік обчислень в ресторані до включення прибору та після для білого режиму

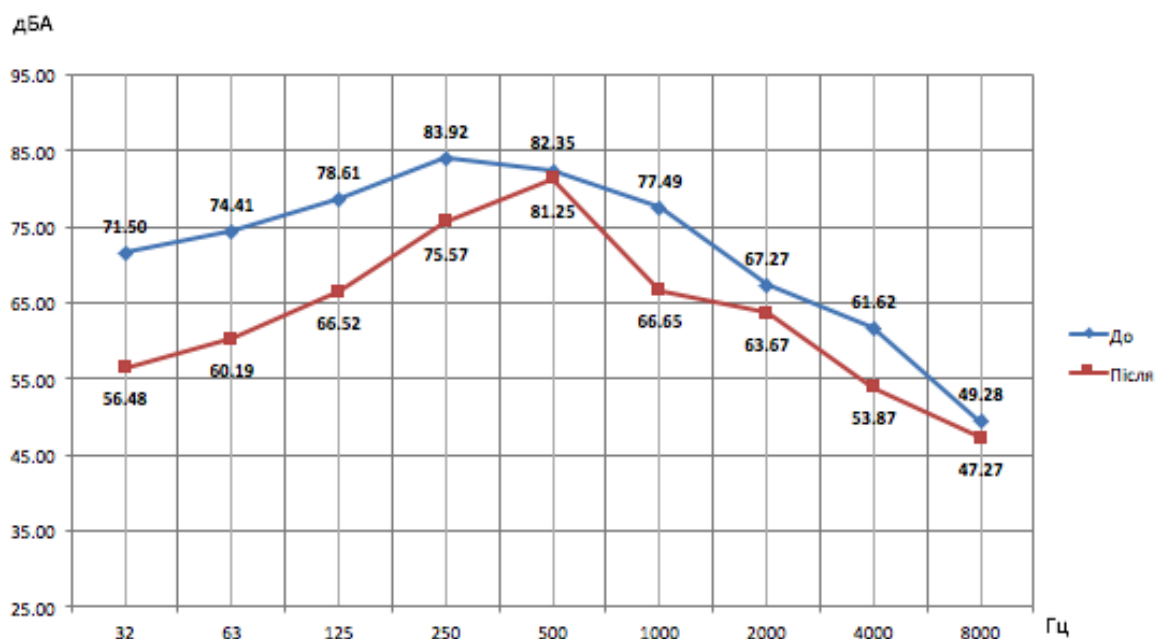


Рисунок 3.3 – Графік обчислень в квартирі до включення прибору на кейсі та після для білого режиму

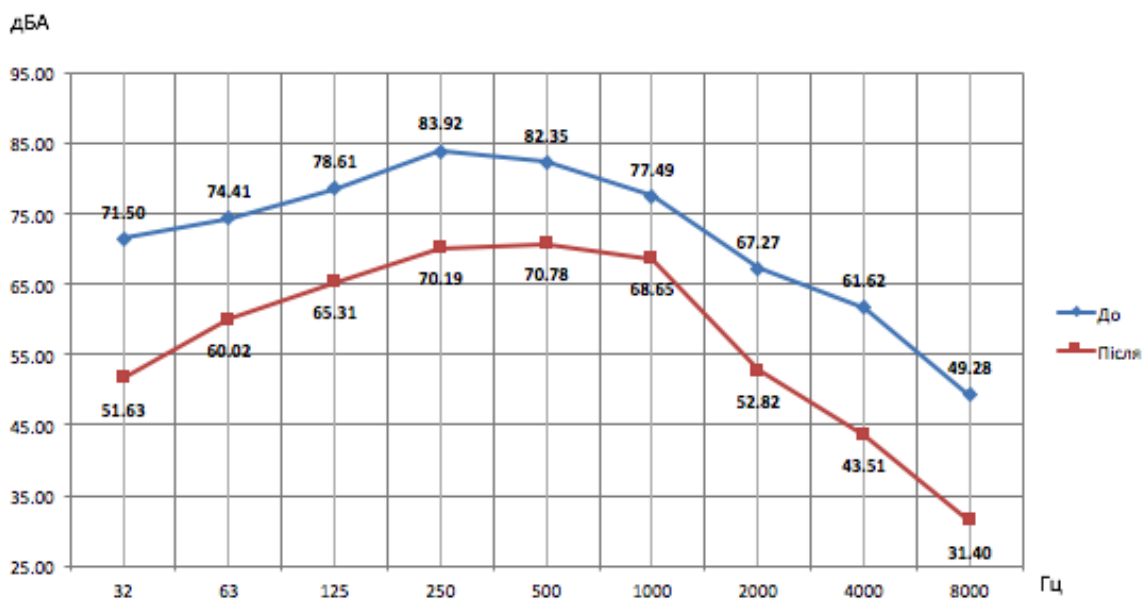


Рисунок 3.4 – Графік обчислень в квартирі до включення прибору на вікні та після для білого режиму

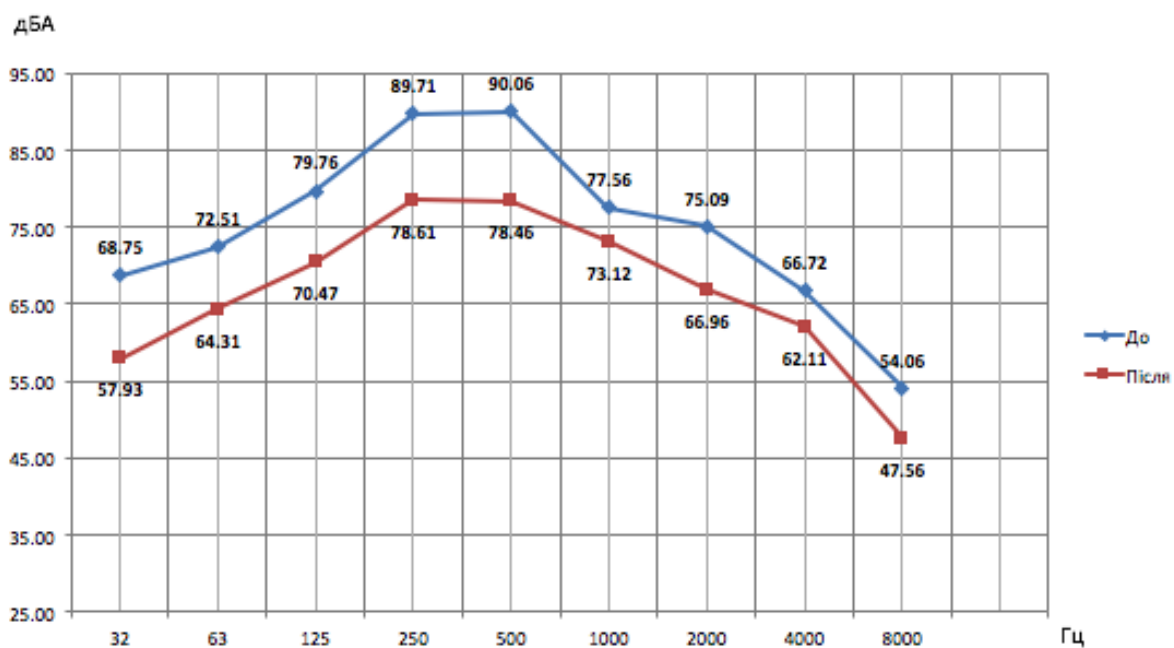


Рисунок 3.5 – Графік обчислень на вулиці до включення прибору та після для синього режиму

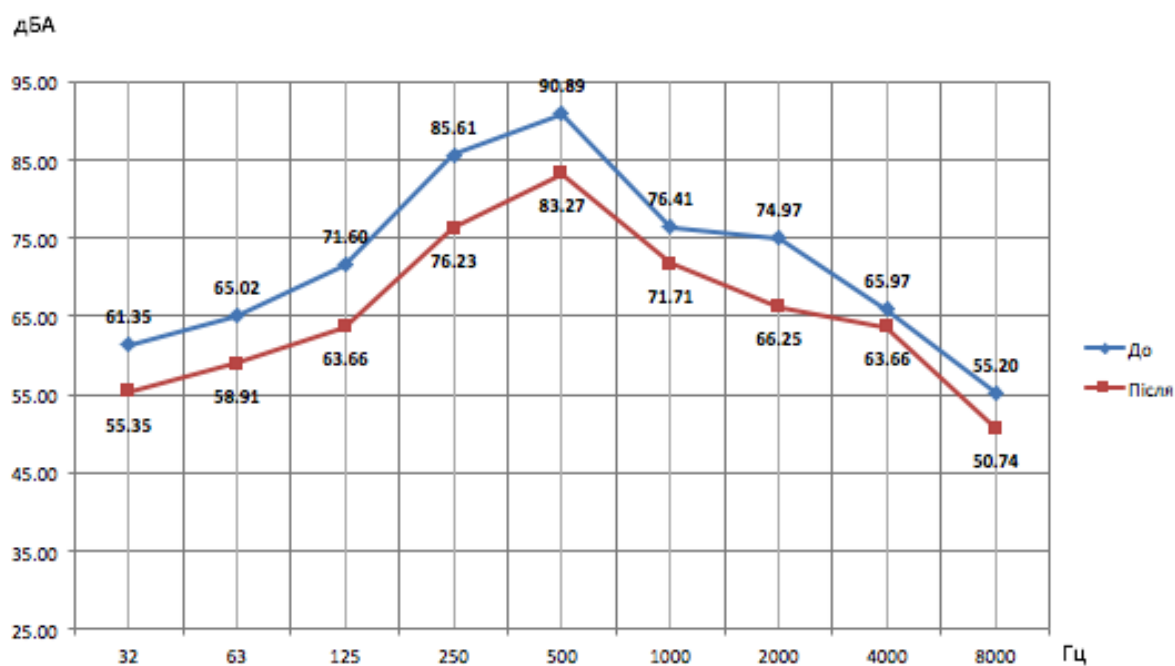


Рисунок 3.6 – Графік обчислень в ресторані до включення прибору та після для синього режиму

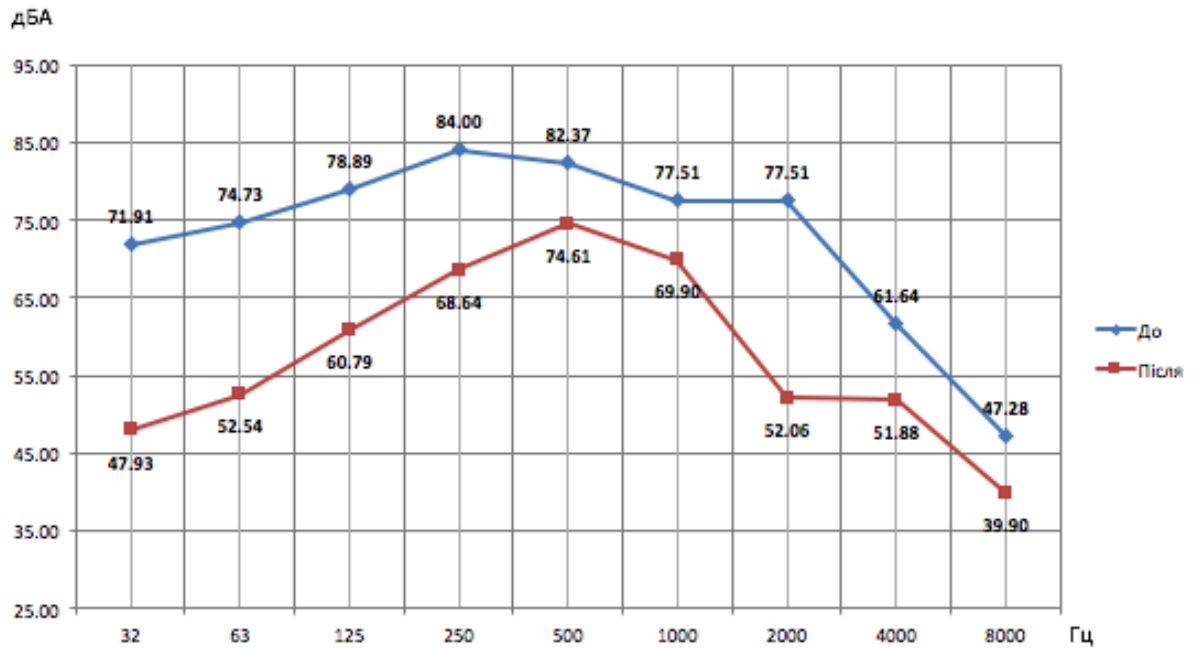


Рисунок 3.7 – Графік обчислень в квартирі до включення прибору на кейсі та після для синього режиму

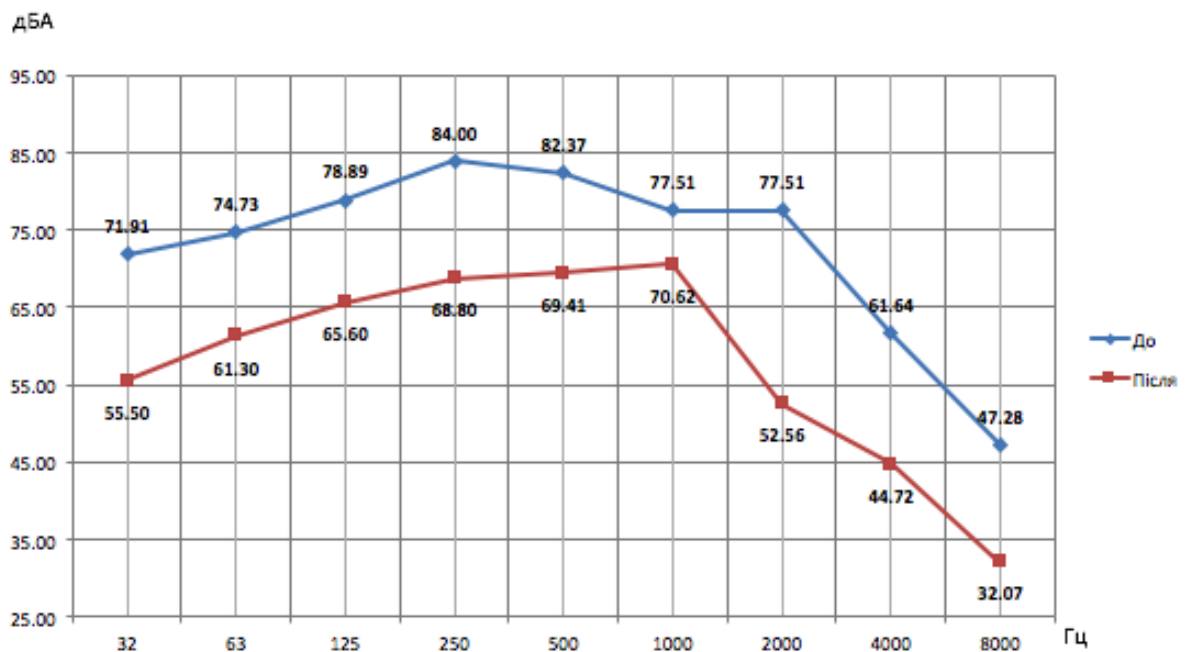


Рисунок 3.8 – Графік обчислень в квартирі до включення прибору на вікні та після для синього режиму

Нижче приведено списки частот, для двох режимів, на яких вдалося досягти кращого шумоподалення на різних локаціях.

Для Білого режиму:

- на вулиці на частоті 250 Гц (СЧ) на 13,82 дБ;
- в ресторані на частоті 250 Гц (СЧ) на 12,24 дБ;
- в квартирі з ЕУ на кейсі на частоті 32 Гц (НЧ) 15,02 дБ;
- в квартирі з ЕУ на вікні на частоті 32 Гц (НЧ) 19,87 дБ.

Для Синього режиму:

- на вулиці на частоті 500 Гц (СЧ) на 11,60 дБ;
- в ресторані на частоті 250 Гц (СЧ) на 9,38 дБ;
- в квартирі з ЕУ на кейсі на частоті 32 Гц (НЧ) 23,98 дБ;
- в квартирі з ЕУ на вікні на частоті 2000 Гц (ВЧ) 24,95 дБ.

Отже при Білому та Синьому режимі шумоподавлення краще тоді, коли ЕУ розташована в квартирі на вікні. На вулиці та в ресторані кращого шумоподавлення середніх частот вдалось досягти завдяки Білому режиму. А в квартирі низькі та високі частоти краще подавить Синій режим.

Для підрахунку середніх значень для кожного з сигналів було використано переведення децибел в рази і назад в децибели. Результати даних переведень наведені в таблицях 3.3 і 3.4 відповідно.

Таблиця 3.3 – Результат переходу від дБ до разів

	Білий Режим						
	Вулиця		Ресторан		Квартира		
	До	Після	До	Після	До	На кейсі Після	На вікні Після
Гц	дБА						
Ср. Сум Рази	238114211,43	13752567,57	191211963,67	19324548,95	66190167,01	20292869,88	3833834,67

	Синій Режим						
	Вулиця		Ресторан		Квартира		
	До	Після	До	Після	До	На кейсі Після	На вікні Після
Гц	дБА						
Ср. Сум Рази	240390944,26	20486421,06	187754690,78	31025260,59	73410993,82	5306250,89	3710682,17

Таблиця 3.4 – Результат переходу від разів до дБ

	Білий Режим										
	Вулиця			Ресторан			Квартира				
	До	Після	Δ	До	Після	Δ	До	На кейсі Після	Δ Кейс	На вікні Після	Δ Вікно
Гц	дБА										
Сум дБ	83,77	71,38	12,38	82,82	72,86	9,95	78,21	73,07	5,13	65,84	12,37

	Синій Режим										
	Вулиця			Ресторан			Квартира				
	До	Після	Δ	До	Після	Δ	До	На кейсі Після	Δ Кейс	На окне Після	Δ Вікно
Гц	дБА										
Сум дБ	83,81	73,11	10,69	82,74	74,92	7,82	78,66	67,25	11,41	65,69	12,96

Виходячи з усереднених значень після переходу можна зробити висновок, що шуми на вулиці та в ресторані система активного шумоподавлення краще подавить в Білому режимі, а в квартирі – в Синьому.

ВИСНОВКИ

Під час виконання дипломної роботи були дослідженні методи побутового шумоподавлення.

У першому розділі дипломної роботи були розглянуті основні питання, які сточуються шуму, та його вплив на людину, а також поняття, які стосуються активного та пасивного шумоподавлення. Було проведено аналіз методів цифрової обробки цифрових сигналів і методів активного шумоподавлення. Були розглянуті алгоритми цифрової фільтрації сигналів. Також були розглянуті навушники з шумоподавленням, та активне шумоподавлення у автомобілях.

У другому розділі дипломної роботи було описано експериментальну установку для проведення аналізу спектрів звукових сигналів та обчислення величини амплітуди коливань. Була проведена методика експерименту і розглянуті характеристики технічних та програмних засобів для його проведення, а також були наведені результати вимірювань.

У третьому розділі дипломної роботи були проаналізовані спектри звукових сигналів та величини амплітуд коливань, які були отриманні в результаті експерименту.

СПИСОК ДЖЕРЕЛ ІНФОРМАЦІЇ

1. Боротьба з шумом – Під ред. Е.Я.Юдина. – М.: Вид. літ. по будівництву, 1964. – с. 10.
2. Сергиенко А.Б. Цифрова обробка сигналів. – СПб.: Пітер, 2002.
3. Калашников В.А. Цифровий динамічний амплітудно-частотний аналізатор спектру. – ПТЕ. 2006. №6. с.5 – 7.
4. Yellott, John I. Jr., «Spectral Consequences of Photoreceptor Sampling in the Rhesus Retina.» Science.2002. – том 221, с. 382–385.
5. Інтернет-ресурс: <https://www.kickstarter.com/projects/1280803647/muzo-your-personal-zone-creator-with-noise-blockin>.
6. Дідковськйи В.С.,Акименко В.Я,Запорожець О.І., та ін.. Основи акустичної екології: Навчальний посібник. – Кіровоград: «Імекс ЛТД», 2002. - 520 с.
7. Дідковськйи В.С. та ін.. Практикум з технічної акустики: Навчальний посібник. – Київ: 2003.
8. Акустична техніка: навч. посіб.: / В.С. Дідковський, С.А. Луньова, О.В. Богданов. – К.: 2012. – 384 с.
9. Шум. Терміни та визначення: ДСТУ 2325–93. – [Чинний від 1995-01- 01]. – Київ: Держстанрт України, 1995. – 21 с. – (Національні стандарти України).
10. Державні санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку: ДСН 3.3.6.037–99. – [Чинні від 1999-12-01]. – Київ, 1999. – 47 с.
11. Захист від шуму. Основні вимоги до будівель та споруд: ДБН В.1.2–10–2008. – [Чинні від 2008-10-01]. – Київ, 2008. – 10 с.
12. Будинки і споруди. Проектування висотних і громадських будинків: ДБН В.2.2–24:2009. – [Чинні від 2009-08-10]. – Київ, 2009. –161 с.
13. ССБП. Охорона праці і промислова безпека у будівництві. Основні положення: ДБН А.3.2–2–2009. – [Чинні від 2012-05-01]. – Київ, 2009. – 94 с.
14. Гандзюк М.П. Основи охорони праці / М.П. Гадзюк, Є.П. Желібо, М.О. Халімовський. – Київ: Каравела, 2003. – 408 с.
15. Основи охорони праці/за ред. К.А. Ткачука і М.О. Халімовського. – Київ:

Основа, 2003. – 472 с.

16. Дослідження параметрів виробничого шуму і методів захисту: методичні вказівки до виконання лабораторної роботи / уклад.: О.Г. Вільсон, В.Т. Кравчук. – Київ: КНУБА, 2000. – 22 с.

17. Kartashov, V.M., Oleynikov V.N, Zubkov, O.V., Korytsev I.V., Babkin, S. I., Sheiko, S.A., Kolendovskaya, M.M. Spatial-temporal Processing of acoustic Signals of Unmanned Aerial Vehicles; Telecommunications and Radio Engineering, 2020. Vol. 79, Iss, 9, pp.769-780.

18. V.M. Semenets, V.M. Kartashov, V.I. Leonidov. Features of Acoustic Noise of Small Unmanned Aerial Vehicles // Telecommunications and Radio Engineering.- New York. - 2020.- Vol. 79, №11.- P. 985-995. DOI: 10.1615/TelecomRadEng.v79.i11.80 (стаття).

19. .Oleynikov V.N., Kartashov, V.M., Babkin, S. I., Zubkov, O.V., Korytsev I.V., Sheiko, S.A., Seleznov I.S. Structure and Parameter Unmanned Aerial Vehicles Sound Fields/ Telecommunications and Radio Engineering.- New York. - 2020.- Vol. 79, №17.- P.1539-1550. DOI: 10.1615/TelecomRadEng.v79.i17.50 (стаття).

20. Усик В.В., Лисиченко В. О. Засоби індивідуального захисту від шумового впливу. Труды VIII Міжнародній науково-технічній конференції "Інформаційні проблеми теорії акустичних, радіоелектронних і телекомунікаційних систем" IPST-2019".- Харків 2019.-с.17-21.

21. Усик В.В., Марчуков В. Ю., Пархомов А. О. Дослідження можливостей шумоподавлення з використанням багатофункціонального пристрою MUZO. Труды VIII Міжнародній науково-технічній конференції "Інформаційні проблеми теорії акустичних, радіоелектронних і телекомунікаційних систем" IPST-2019".- Харків 2019.-с.21-24.