

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА

ФАКУЛЬТЕТ РАДІОФІЗИКИ, ЕЛЕКТРОНІКИ ТА КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ

Кафедра радіотехніки та радіоелектронних систем

«На правах рукопису»

Робота допущена до захисту в ЕК
рішенням кафедри радіотехніки та радіоелектронних систем
від _____ 2024 року, протокол № _____.
Завідувач кафедри доктор фіз.-мат. наук, професор
_____ Ігор АНІСІМОВ

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

на тему:

«ПРИСТРІЙ ПРИДУШЕННЯ АКУСТИЧНОГО ШУМУ»

Виконав:

студент 4-го курсу
денної форми навчання
спеціальності 172 - Телекомунікації та радіотехніка
ОПП «Інформаційна безпека телекомунікаційних систем і мереж»
Цимпу Антоніо _____

Науковий керівник:

Доцент кафедри радіотехніки та радіоелектронних систем,
старший науковий співробітник, кандидат технічних наук
Жиров Геннадій Борисович _____

Рецензент:

Завідувач кафедри комп'ютерних наук,
доктор технічних наук, професор
Вишнівський Віктор Вікторович _____

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

Студент _____ Цимпу Антоніо

Київ-2024

РЕФЕРАТ

Дипломна робота: 38 с., 3 табл., 4 рис., 5 дод. (5с.), 19 джерел.

Пристрій придушення акустичного шуму

Об'єкт розроблення – пристрій придушення акустичного шуму.

Мета роботи – створення ефективної системи для придушення акустичного шуму в різних середовищах.

Опис розробки: В рамках даної роботи було створено пристрій, який активно придушує акустичний шум за допомогою адаптивних фільтрів і сучасних алгоритмів обробки сигналів.

Результати роботи: створена система показала високу ефективність у придушенні різних типів акустичного шуму. Вдалося значно покращити якість звукового сигналу в умовах високого рівня шумового забруднення. Система здатна адаптуватися до змінних умов і забезпечує стабільну роботу в реальному часі.

Недоліки: В теперішній версії система може потребувати покращення для роботи з одночасним придушенням декількох джерел шуму.

Подальші перспективи: У подальшому планується вдосконалення пристрою для більш ефективного придушення складних шумових середовищ, а також оптимізація алгоритмів обробки сигналу для зниження енергоспоживання та підвищення швидкодії системи.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
Розділ 1: Теоретичні аспекти акустичного шуму.....	7
1.1. Визначення акустичного шуму.....	7
1.2. Вплив шуму на здоров'я та комфорт людини.....	9
1.3. Технічні характеристики шуму та методи їх вимірювання.....	10
1.4. Технології придушення акустичного шуму: принципи та методи.....	11
Розділ 2: Аналіз існуючих методів та технологій придушення акустичного шуму.....	14
2.1. Активне придушення шуму	14
2.2. Пасивне придушення шуму.....	17
2.3. Комбіновані методи придушення шуму.....	18
Розділ 3: Розробка пристрою придушення акустичного шуму.....	21
3.1. Визначення вимог до пристрою.....	21
3.2. Вибір компонентів та технологій.....	24
3.3. Проектування та моделювання пристрою.....	27
3.4. Реалізація та тестування пристрою.....	30
Розділ 4: Експериментальні дослідження та результати.....	33
4.1. Проведення експериментів з роботою пристрою.....	33
4.2. Аналіз отриманих даних.....	37
4.3. Оцінка ефективності пристрою придушення шуму.....	38
ВИСНОВКИ.....	41
Перелік джерел посилання	42

ВСТУП

Пристрій придушення акустичного шуму - це технічний засіб, розроблений для зменшення рівня шуму в оточуючому середовищі. Використовуючи різноманітні технології, такі як активне шумозаглушення або ізоляція звуку, ці пристрої дозволяють створювати тихе та комфортне середовище для роботи, відпочинку або навчання. Вони широко застосовуються як у побуті, так і в промисловості та медицині, де важливо забезпечити спокій та здоровий мікроклімат.

У сучасному світі, де швидкість та інформаційний потік набувають все більшого значення, проблема акустичного шуму стає актуальнішою, особливо у великих містах та промислових зонах. Акустичний шум може негативно впливати на здоров'я людини, викликаючи стрес, втомленість та порушення сну, а також погіршення концентрації та робочої продуктивності. Акустичний шум став невід'ємною складовою сучасного життя, що негативно впливає на наше здоров'я та комфорт. Шум від транспорту, промислових установок, будівельних робіт та інших джерел стає все більш проблематичним, особливо в урбанізованих областях. У такій обстановці поява пристрою придушення акустичного шуму набуває великого значення.

Мета цього пристрою полягає в створенні тихого та спокійного середовища для людей. Шляхом використання передових технологій та наукових розробок, ми прагнемо забезпечити ефективне приглушення шуму в різних областях, від офісів до громадських місць.

Об'єктом нашого дослідження є акустичне середовище, а предметом - пристрій придушення шуму. Ми розробляємо та досліджуємо нові методи та технології для створення пристроїв, які забезпечують ефективне приглушення шуму.

Для досягнення цієї мети ми використовуємо аналітичні методи, комп'ютерне моделювання та експериментальні дослідження. Наша робота спрямована на створення нових технологій, які змінюють наше сприйняття акустичного

середовища та сприяють покращенню якості життя.

Пристрій придушення акустичного шуму має значний практичний вигляд, оскільки його застосування може позитивно позначитися на здоров'ї та самопочутті людей у будь-якому середовищі.

Актуальність. У зв'язку з поширеністю акустичного забруднення та його негативним впливом на життя та здоров'я людей, розробка пристроїв придушення акустичного шуму має велике значення. Такі пристрої дозволяють зменшити рівень шуму в оточуючому середовищі та створити більш комфортні умови для проживання та роботи.

Метою даної дипломної роботи є розробка пристрою придушення акустичного шуму, який був би ефективним, ергономічним та доступним для використання в різних сферах, включаючи побутове та професійне середовище.

Об'єктом дослідження є процес придушення акустичного шуму, а предметом - розробка пристрою придушення акустичного шуму та його ефективність у реальних умовах експлуатації.

Завдання:

- Провести аналіз існуючих методів та технологій придушення акустичного шуму.
- Розробити концепцію та технічні характеристики пристрою придушення шуму.
- Виготовити прототип пристрою та провести його тестування в контрольованих умовах.
- Оцінити ефективність розробленого пристрою в реальних умовах експлуатації.

Методи дослідження:

Для досягнення поставлених завдань будуть використані наступні методи дослідження: аналіз науково-технічної літератури, моделювання та дослідження математичних моделей, проектування та конструювання пристрою, експериментальні вимірювання та аналіз результатів.

Практичне значення:

Результати цієї дипломної роботи матимуть практичне значення для розробників пристроїв придушення акустичного шуму, а також для науково-дослідних установ, які займаються проблемами екології та здоров'я населення. Розроблений пристрій може знайти широке застосування в побуті, офісах, медичних закладах, промислових об'єктах та інших сферах, де важливо забезпечити комфортні умови перебування та роботи.

Розділ 1: Теоретичні аспекти акустичного шуму

1.1. Визначення акустичного шуму

В наш час, де темпи життя надзвичайно швидкі, а потік інформації безперервно наростає, акустичний комфорт у наших домівках стає критично важливим. Акустичний шум впливає не лише на фізичне здоров'я, але й на емоційний стан та продуктивність людей. Недавні дослідження свідчать, що постійний високий рівень шуму може спричинити порушення сну, стрес, втомленість та інші проблеми. Тому контроль за шумом у приміщеннях, де ми проживаємо, стає ключовим фактором у створенні комфортного середовища для нашого життя. Насамперед, акустичний шум впливає на наші фізичні прояви, такі як якість сну та загальний стан здоров'я. Безперечно, постійний шум може спричинити стрес, втомленість і навіть проблеми зі здоров'ям. Однак, важливо також враховувати його вплив на емоційний стан і психічне здоров'я. Шумне оточення може викликати роздратування, погіршення настрою та зниження концентрації. Особливо це актуально для тих, хто працює або навчається з дому, де тиша і спокій стають дорогоцінними ресурсами. Тому розробка пристроїв для придушення акустичного шуму стає важливим завданням, спрямованим на створення комфортних умов для життя і роботи. Звук, фізично розглядаючи, представляє собою зміну повітряного тиску відносно статичного рівня, яка відбувається з певною частотою та силою. Шум, у свою чергу, - це будь-який звук, неприємний для людини. Шум може негативно впливати на організм, пригнічуючи працездатність, зменшуючи увагу до сигналів безпеки та викликаючи стресові реакції. Високий рівень шуму може створювати умови для нещасних випадків [3].

Звук утворюється в пружному середовищі, такому як повітря, газу, рідини або тверді матеріали. Розповсюдження звуку відбувається за допомогою хвильових процесів, що генеруються коливаючими тілами, наприклад, вібруючими. Ці коливання передаються частинкам пружного середовища, які знаходяться поблизу джерела коливань, і далі поширюються на найближчі частинки, які також

починають коливатися. Цей процес створює звукові хвилі, що розповсюджуються у середовищі, спричиняючи його пружні деформації. Хоча коливання мають енергію, звукова хвиля не переносить речовину.

Параметри, що характеризують звук (і шум), включають частоту, інтенсивність звуку, звуковий тиск і звукову потужність.

Органи слуху людини не реагують пропорційно на абсолютні зміни звукового тиску або інтенсивності звуку. Вони сприймають зміни повільніше, ніж сам подразник. Це пояснюється ефектом розсіювання звукової хвилі, коли звук розповсюджується у всіх напрямках, а до людського вуха доходить лише частина звукової хвилі, що розповсюджувалася у відповідному напрямку. Крім того, перешкодами для звукової хвилі є повітря певної густини та механічні перешкоди [8].

Специфічна будова людської вушної раковини також впливає на сприйняття звуку. Вона забезпечує просторове сприйняття джерела звуку та його інтенсивності, перенаправляючи звукову хвилю та захищаючи від надмірного звукового тиску.

Згідно з емпіричним законом Вебера-Фенхера, якщо величина подразника зростає в геометричній прогресії, то відчуття людини зростає в арифметичній прогресії.

Акустичний звук, як один з фундаментальних аспектів нашого сприйняття світу, відіграє важливу роль у нашому повсякденному житті та наукових дослідженнях. Це фізичне явище полягає у поширенні хвильових коливань через середовище, що сприймає звук. Від звукових хвиль залежить наше сприйняття навколишнього середовища, а також комунікація із навколишнім світом.

Акустичний звук є результатом коливань тіл або середовища, які сприймають наші вуха. Він може мати різні характеристики, такі як частота, амплітуда та інтенсивність, які визначають його сприйняття та вплив на наші органи слуху. Частота звуку вимірюється у герцах і визначає його висоту, а амплітуда відображає його гучність.

Акустичний звук має широкий спектр застосувань у різних галузях, включаючи музику, технології звуку, медицину, науку та інженерію. В музиці він використовується для створення мелодій, ритмів та настроїв, а в технологіях звуку - для запису, відтворення та обробки аудіоінформації. У медицині акустичний звук використовується для діагностики різних захворювань та терапії [4].

Найважливішим аспектом акустичного звуку є його вплив на наше самопочуття та здоров'я. Часті експозиції великими рівнями звуку можуть призводити до стресу, порушень сну та інших проблем зі здоров'ям. Тому важливо контролювати рівень шуму в наших житлових та робочих приміщеннях, а також у громадських місцях.

У висновку, акустичний звук відіграє важливу роль у нашому житті, впливаючи на наше сприйняття світу та наше здоров'я. Розуміння його характеристик та впливу допомагає нам краще адаптуватися до навколишнього середовища та використовувати його в різних аспектах нашого життя.

1.2. Вплив шуму на здоров'я та комфорт людини

Шум має значний вплив на здоров'я та комфорт людини. Високий рівень шуму може призводити до погіршення слуху, спричиняти стрес та тривогу, порушувати сон, збільшувати ризик серцево-судинних захворювань, знижувати концентрацію та продуктивність, а також негативно впливати на розвиток дітей. Для зменшення негативного впливу шуму необхідно вживати заходів по зменшенню шуму в робочих та громадських приміщеннях, а також в місцях відпочинку. Шум - це один із поширених аспектів сучасного життя, який може негативно впливати на здоров'я та комфорт людини. Постійна експозиція шумовому середовищу може призводити до ряду негативних наслідків для фізичного та психічного здоров'я. Спочатку, він може викликати стрес, який в свою чергу може призвести до проблем зі сном, апатії, агресії та загального погіршення самопочуття.

Більш того, довготривалий вплив шуму може викликати проблеми зі слухом, включаючи появу тинітису та зниження слухової чутливості. Шум також може впливати на концентрацію та продуктивність, особливо в робочих або навчальних середовищах. Нарешті, він може впливати на якість життя, обмежуючи можливості відпочинку та релаксації [3].

Для забезпечення комфортного та здорового життя важливо вживати заходів для зменшення впливу шуму. Це може включати в себе використання звукоізоляційних матеріалів в будівлях та транспортних засобах, впровадження законодавства щодо обмеження рівня шуму, а також індивідуальні заходи, такі як використання беруш або навушників з шумозахисними функціями. Важливо також свідомо вибирати місця проживання та роботи з врахуванням рівня шуму в оточуючому середовищі.

Отже, урахування впливу шуму на здоров'я та комфорт людини має важливе значення для підтримання загального благополуччя та якості життя. Шляхи зменшення шумового забруднення сприятимуть покращенню якості нашого життя та здоров'я в цілому.

1.3. Технічні характеристики шуму та методи їх вимірювання

Звуковий шум є поширеним явищем у різних сферах, від промисловості до побутового середовища, і від будівельних майданчиків до транспортних мереж. Розуміння його технічних характеристик та методів вимірювання є критичним для розвитку рішень щодо зменшення його впливу. Давайте ще детальніше розглянемо ці аспекти.

Технічні характеристики шуму:

Джерело шуму: Шум може бути результатом різних процесів або пристроїв. Розуміння джерела дозволяє ідентифікувати можливі шляхи зменшення його впливу.

Інтенсивність шуму: Це визначається рівнем звукового тиску та може бути виміряно у децибелах. Велика інтенсивність може вказувати на потенційно негативний вплив на оточуюче середовище.

Часові характеристики: Деякі шуми можуть бути постійними, тоді як інші можуть мати коливання у часі. Це важливо враховувати при розробці стратегій зменшення шуму.

Частотний діапазон: Шум може мати різний спектр частот, що визначає його характер. Розуміння цього може допомогти у виборі оптимальних методів контролю та зменшення шуму.

Методи вимірювання шуму:

Стандартні шумоміри: Ці пристрої використовують мікрофони та електроніку для вимірювання SPL у різних точках простору. Вони дозволяють здійснювати точні вимірювання інтенсивності шуму.

Акустичні камери: Вони дозволяють візуалізувати звукові поля та ідентифікувати джерела шуму у тривимірному просторі [1].

Спектральний аналіз: Цей метод дозволяє розкрити частотний склад шуму, визначаючи, які частоти домінують у його спектрі.

Моделювання та симуляція: Використання комп'ютерних програм для моделювання поширення шуму дозволяє прогнозувати його вплив та розробляти стратегії зменшення шуму без необхідності в реальних експериментах.

Суб'єктивні оцінки: На крім технічних вимірювань, існують методи психоакустичного тестування, що дозволяють оцінити сприйняття шуму людьми.

Загалом, розуміння технічних характеристик шуму та використання відповідних методів вимірювання дозволяє ефективно контролювати та зменшувати його вплив на людей та навколишнє середовище.

1.4. Технології придушення акустичного шуму: принципи та методи

Придушення акустичного шуму є важливим аспектом в багатьох сферах, включаючи промисловість, транспорт, будівництво та побут. Існують різні технології та методи, які використовуються для зменшення або усунення небажаних звукових хвиль. Принципи роботи цих технологій базуються на фізичних властивостях звуку, таких як амплітуда, частота та фаза. Перш за все,

важливо розуміти, що звук являє собою механічні коливання, які передаються через середовище, наприклад, повітря, воду або тверді тіла. Для ефективного придушення шуму необхідно контролювати або модифікувати ці коливання. Пасивне придушення шуму базується на використанні матеріалів, які можуть поглинати або відбивати звукові хвилі. Наприклад, в будівництві широко використовуються звукоізоляційні матеріали, такі як мінеральна вата або акустичні панелі, що поглинають звук і запобігають його поширенню. В автомобільній промисловості використовуються спеціальні шумопоглинальні матеріали для зменшення шуму від двигуна та дорожнього покриття. Активне придушення шуму, або активна акустична ізоляція, використовує електронні пристрої для створення звукових хвиль, які є фазово інверсованими копіями небажаних звукових хвиль. Коли ці хвилі взаємодіють, вони взаємно гасять одна одну, що призводить до зменшення загального рівня шуму. Цей метод часто використовується в навушниках з функцією активного шумозаглушення, а також в авіації та промисловості.

Однією з найновіших технологій придушення шуму є використання метаматеріалів, які можуть маніпулювати звуковими хвилями на мікроскопічному рівні. Ці матеріали здатні змінювати напрямок поширення звуку, його швидкість або навіть повністю блокувати його.

Інший важливий аспект придушення шуму полягає в дизайні та конструкції. Інженери та архітектори розробляють структури, які мінімізують утворення та поширення шуму. Наприклад, аеродинамічні форми транспортних засобів зменшують шум вітру, а спеціальні конструкції будівель запобігають резонансу та підсиленню звукових хвиль.

Психоакустика також відіграє роль у придушенні шуму, оскільки сприйняття звуку людиною може змінюватися в залежності від його частотних характеристик. Звукові маски використовуються для створення фонових звуків, які зменшують помітність небажаних шумів. Це може бути корисним у офісах або медичних закладах, де необхідно знизити рівень стресу та підвищити концентрацію.

Усі ці методи та технології придушення шуму вимагають комплексного підходу та часто поєднуються для досягнення найкращих результатів. Вибір конкретного методу залежить від характеру шуму, умов його виникнення та специфічних вимог до середовища, в якому він має бути придушений.

Розділ 2: Аналіз існуючих методів та технологій придушення акустичного шуму

2.1. Активне придушення шуму

Активне придушення шуму (АПШ) є технологією, яка використовує електронні пристрої для генерування звукових хвиль, що є фазово інверсованими копіями небажаних звукових хвиль. Основний принцип роботи АПШ полягає в тому, що коли інверсовані звукові хвилі взаємодіють з оригінальними шумовими хвилями, вони взаємно гасять одна одну, що призводить до значного зменшення рівня шуму. Ця технологія має широке застосування в різних галузях, включаючи навушники з функцією активного шумозаглушення, авіацію, автомобільну промисловість та промислове обладнання. Основними компонентами системи активного придушення шуму є мікрофон, процесор і динамік. Мікрофон вловлює шум, процесор генерує інверсований сигнал, а динамік відтворює цей сигнал, що призводить до нейтралізації шуму. Основні переваги АПШ включають здатність знижувати низькочастотний шум, який важко придушити за допомогою пасивних методів, та можливість застосування в різних середовищах. Недоліками є висока вартість та складність впровадження, особливо в масштабних промислових застосуваннях. Дослідження показують, що активне придушення шуму може ефективно знижувати рівень шуму до 20-30 дБ, що робить його одним з найбільш ефективних методів боротьби з акустичним шумом. Нижче наведено таблицю з порівнянням різних аспектів активного та пасивного придушення шуму [4]

Аспект	Активне придушення шуму	Пасивне придушення шуму
Здатність знижувати низькочастотний шум	Висока	Низька
Вартість	Висока	Низька
Складність впровадження	Складна	Проста
Ефективність придушення	Висока (до 20-30 дБ)	Середня

Таблиця 2.1. Порівняння активного та пасивного придушення шуму

Активне придушення шуму (АПШ) є передовою технологією, що застосовується для зменшення рівня небажаних звукових хвиль шляхом генерування звукових хвиль, які є фазово інверсованими копіями шумових хвиль [3]. Це означає, що ці інверсовані хвилі мають протилежну фазу до оригінальних звукових хвиль, що призводить до їх взаємного знищення, коли вони накладаються одна на одну. Такий підхід дозволяє значно знизити рівень шуму в навколишньому середовищі. Основний принцип роботи АПШ полягає у виявленні небажаного шуму за допомогою мікрофона, який встановлюється в зоні дії шуму. Мікрофон передає сигнал шуму на електронний процесор, де цей сигнал аналізується та створюється інверсований сигнал. Цей інверсований сигнал потім передається на динамік, який відтворює його в тому ж середовищі. В результаті інверсовані звукові хвилі взаємодіють з оригінальними шумовими хвилями, що призводить до їх взаємного знищення або значного зменшення інтенсивності шуму. АПШ має широке застосування в різних сферах, зокрема в навушниках з функцією активного шумозаглушення, авіації, автомобільній промисловості та на промислових об'єктах [5]. У навушниках ця технологія дозволяє створювати комфортне звукове середовище для користувача, навіть у шумних умовах, таких як авіарейси або

міські вулиці. В авіації АПШ використовується для зменшення шуму від двигунів, що підвищує комфорт пасажирів і знижує втому пілотів під час тривалих польотів. В автомобілях ця технологія допомагає знижувати шум від дороги та двигуна, що робить поїздки більш комфортними [4]. Однією з головних переваг АПШ є її здатність ефективно знижувати низькочастотний шум, який важко придушити за допомогою пасивних методів, таких як звукоізоляційні матеріали або акустичні панелі. Це робить АПШ особливо корисним у середовищах з високим рівнем низькочастотного шуму, наприклад, в промислових умовах або на транспортних засобах. Однак, технологія АПШ має і деякі недоліки. По-перше, вона є доволі складною і дорогою у впровадженні, особливо у великих масштабах. Це може обмежувати її застосування у певних сферах.

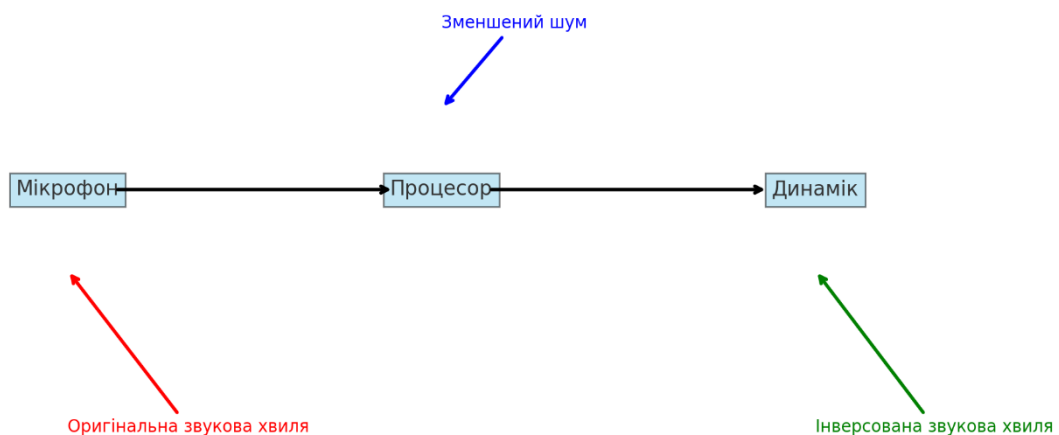


Рис. 2.1. Процес активного придушення шуму

По-друге, ефективність АПШ може залежати від характеристик середовища, у якому вона використовується, таких як наявність відбиттів звукових хвиль від стін або інших об'єктів [12]. Дослідження показують, що активне придушення шуму може ефективно знижувати рівень шуму до 20-30 дБ, що робить його одним з найбільш ефективних методів боротьби з акустичним шумом. Це дозволяє використовувати АПШ у поєднанні з іншими методами придушення шуму для

досягнення максимального ефекту. Наприклад, поєднання активного та пасивного методів придушення шуму може забезпечити більш високий рівень комфорту та захисту від шуму у різних умовах. У підсумку, активне придушення шуму є важливим і ефективним методом боротьби з небажаними звуками, що знаходить своє застосування у різних галузях і допомагає значно підвищити якість життя та робочі умови для багатьох людей.

2.2. Пасивне придушення шуму

Пасивне придушення шуму є методом зменшення рівня небажаних звукових хвиль, що базується на використанні фізичних бар'єрів і матеріалів, які поглинають або відбивають звук. Цей метод не вимагає використання електронних пристроїв або генерації інверсованих звукових хвиль, а натомість покладається на властивості матеріалів та конструкцій для зменшення інтенсивності звуку. Одним з основних принципів пасивного придушення шуму є поглинання звукових хвиль за допомогою пористих матеріалів. Такі матеріали, як мінеральна вата, поролон, акустичні панелі та інші пористі структури, мають здатність перетворювати звукову енергію на теплову енергію, тим самим зменшуючи рівень звуку. Ці матеріали широко використовуються у будівництві для звукоізоляції стін, стель і підлог, а також у виробництві шумопоглинальних панелей та інших акустичних виробів [11].

Іншим важливим аспектом пасивного придушення шуму є використання бар'єрів, які відбивають звукові хвилі. Наприклад, важкі та щільні матеріали, такі як бетон, гіпсокартон, скло та метали, можуть ефективно відбивати звукові хвилі, запобігаючи їх проникненню через стіни, стелі або підлоги. Такі матеріали використовуються для створення звукоізоляційних перегородок у будівлях, а також для виготовлення шумозахисних екранів вздовж автострад та залізничних колій. Дизайн і конструкція також відіграють важливу роль у пасивному придушенні шуму. Інженери та архітектори використовують різні техніки для мінімізації

утворення та поширення шуму. Наприклад, подвійні або потрійні склопакети у вікнах значно знижують проникнення зовнішнього шуму в приміщення. Використання спеціальних підвісних стель, що складаються з акустичних плит, допомагає зменшити рівень шуму в офісах та інших громадських приміщеннях. Крім того, правильне планування розташування кімнат та використання звукоізоляційних дверей також сприяє ефективному зниженню рівня шуму. Пасивне придушення шуму має свої переваги та недоліки. Серед переваг є простота впровадження та порівняно низька вартість матеріалів та робіт. Цей метод не потребує складних електронних систем та енергопостачання, що робить його доступним для широкого кола користувачів. Однак пасивне придушення шуму менш ефективне для зниження низькочастотного шуму, який має довгі хвилі і легше проникає через матеріали та конструкції. Крім того, ефективність пасивного придушення шуму значною мірою залежить від якості та властивостей використаних матеріалів, а також від правильного монтажу та герметизації звукоізоляційних елементів. Пасивне придушення шуму є важливою складовою системи зменшення шуму в різних середовищах. Використання ефективних звукоізоляційних матеріалів та конструкцій дозволяє створювати комфортні умови для проживання та роботи, знижуючи рівень шуму до прийнятних рівнів. Це особливо важливо у міських умовах, де високий рівень шуму може негативно впливати на здоров'я та добробут людей. Завдяки простоті та доступності, пасивне придушення шуму залишається популярним методом боротьби з небажаним звуком у багатьох галузях.

2.3. Комбіновані методи придушення шуму

Комбіновані методи придушення шуму об'єднують переваги як пасивних, так і активних підходів для досягнення максимальної ефективності в зниженні небажаних звукових хвиль. Такий підхід дозволяє компенсувати обмеження кожного з методів окремо і створювати системи, які можуть ефективно працювати в широкому діапазоні частот та умов. Пасивні методи придушення шуму базуються

на використанні матеріалів та конструкцій, що поглинають або відбивають звук. До них відносяться звукоізоляційні матеріали, такі як мінеральна вата, поролон, акустичні панелі та важкі будівельні матеріали, як-от бетон, гіпсокартон та скло. Ці матеріали перетворюють звукову енергію на теплову або запобігають її проникненню через бар'єри. Вони ефективні для високочастотних шумів, але мають обмеження у придушенні низькочастотного шуму, який має довгі хвилі та може легко проходити через матеріали та конструкції. Активні методи придушення шуму, навпаки, використовують електронні пристрої для генерування звукових хвиль, які є фазово інверсованими копіями небажаних шумових хвиль. Це дозволяє нейтралізувати шум шляхом його взаємного гасіння. Активні системи особливо ефективні для низькочастотного шуму, що важко придушити пасивними методами. Однак вони мають свої обмеження, такі як складність і висока вартість впровадження, а також потреба в електроживленні та складних системах управління. Комбіновані системи придушення шуму включають як пасивні, так і активні компоненти для досягнення найкращих результатів. Наприклад, у навушниках з активним шумозаглушенням можуть використовуватися пористі матеріали для пасивного поглинання високочастотного шуму, тоді як активна система генерує інверсовані звукові хвилі для придушення низькочастотного шуму. Це дозволяє створювати комфортні умови для користувача навіть у дуже шумному середовищі, як-от у літаку або на міській вулиці. У промисловості комбіновані системи часто використовуються для зниження шуму від обладнання та машин. Пасивні бар'єри та звукоізоляційні матеріали можуть бути встановлені навколо джерела шуму для зменшення його поширення, тоді як активні системи можуть бути налаштовані на специфічні частоти шуму для додаткового зниження його рівня. Це особливо важливо у випадках, коли шум може негативно впливати на здоров'я працівників або знижувати продуктивність. У будівництві комбіновані методи придушення шуму можуть включати використання подвійних або потрійних склопакетів для зниження проникнення зовнішнього шуму в будівлю, а також активні системи для створення комфортних умов всередині приміщень. Це

особливо актуально у міських умовах, де рівень шуму може бути високим протягом усього дня. Однією з ключових переваг комбінованих методів є їх універсальність і можливість адаптації до різних умов. Вони можуть бути налаштовані для ефективної роботи в широкому діапазоні частот та інтенсивностей шуму, що робить їх придатними для використання у різних галузях і середовищах [8].

Незважаючи на складність і вартість впровадження, комбіновані методи придушення шуму забезпечують високий рівень ефективності і комфорту, що робить їх перспективним напрямком у боротьбі з шумовим забрудненням. Загалом, комбіновані методи придушення шуму поєднують найкращі характеристики пасивних та активних підходів, створюючи ефективні системи для зниження рівня небажаних звуків. Їх використання дозволяє створювати більш комфортні та безпечні умови для проживання та роботи, підвищуючи якість життя та продуктивність у різних галузях.

Розділ 3: Розробка пристрою придушення акустичного шуму

3.1. Визначення вимог до пристрою

Розробка ефективного пристрою для придушення акустичного шуму вимагає чіткого визначення вимог до його функціональних та технічних характеристик. Першочергово, необхідно встановити основні цілі і завдання, які має виконувати пристрій, а також врахувати умови його експлуатації.

Основною вимогою до пристрою придушення шуму є його здатність ефективно знижувати рівень небажаних звукових хвиль у широкому діапазоні частот. Для досягнення цього необхідно визначити, які саме частоти шуму є найбільш проблематичними у конкретному середовищі, де планується використовувати пристрій. Наприклад, для промислових умов важливо придушувати низькочастотний шум від обладнання, тоді як для офісних приміщень пріоритетом може бути зниження високочастотного шуму від розмов та роботи електронних пристроїв.

Важливим аспектом є визначення рівня зниження шуму, який повинен забезпечувати пристрій. Це може варіюватися залежно від специфічних вимог до середовища. Наприклад, у навушниках з активним шумозаглушенням бажано знижувати шум на рівні 20-30 дБ, тоді як у промислових умовах може вимагатися зниження шуму на 10-15 дБ для забезпечення комфортних умов праці.

Технічні вимоги до пристрою включають його конструктивні особливості, матеріали, з яких він виготовлений, а також типи датчиків та електронних компонентів, що використовуються для активного придушення шуму. Важливо врахувати надійність і довговічність матеріалів, зокрема, їх стійкість до впливу зовнішніх факторів, таких як температура, вологість та механічні навантаження.

Крім того, пристрій повинен бути зручним у використанні та обслуговуванні. Це означає, що конструкція має бути ергономічною, легкодоступною для користувача, а налаштування і керування повинні бути інтуїтивно зрозумілими. Для цього необхідно передбачити зручний інтерфейс управління та можливість легкої заміни або обслуговування окремих компонентів пристрою.

Енергоефективність також є важливою вимогою до пристрою придушення шуму. Враховуючи, що активні системи потребують електроживлення для роботи, необхідно забезпечити оптимальне споживання енергії, щоб пристрій міг працювати тривалий час без необхідності частої заміни або зарядки акумуляторів.

Ще одним важливим аспектом є інтеграція пристрою з іншими системами та обладнанням. Наприклад, у випадку промислових застосувань пристрій має бути сумісним з існуючими системами моніторингу та управління виробничими процесами. Це може включати можливість підключення до локальних мереж або дистанційного управління через інтернет [5].

Безпека користування пристроєм є ще однією ключовою вимогою. Необхідно передбачити заходи для запобігання можливим негативним впливам на здоров'я користувачів, зокрема, захист від електричних ударів, перегріву або виділення шкідливих речовин.

У процесі визначення вимог до пристрою придушення акустичного шуму важливо також враховувати економічні аспекти. Це включає вартість виготовлення пристрою, його експлуатаційні витрати, а також витрати на обслуговування та ремонт. Оптимізація цих витрат може зробити пристрій більш доступним і економічно вигідним для широкого кола користувачів.

Враховуючи всі ці фактори, можна розробити ефективний пристрій придушення акустичного шуму, який відповідатиме вимогам конкретного середовища та забезпечить високу якість зниження рівня небажаних звукових хвиль.



Рис. 3.1. Структурна схема пристрою придушення акустичного шуму

Структурна схема пристрою придушення акустичного шуму є важливим елементом у процесі розробки ефективної системи для зниження небажаних звукових хвиль. Вона включає кілька ключових компонентів, кожен з яких виконує специфічну функцію в загальному процесі придушення шуму.

Перший компонент — це мікрофон, який служить для вловлювання навколишнього шуму. Мікрофон розташовується у зоні дії шуму і перетворює звукові хвилі на електричні сигнали. Ці сигнали містять інформацію про інтенсивність і частоту шуму, що є необхідним для подальшої обробки.

Другий ключовий компонент — це процесор. Процесор виконує аналіз отриманих сигналів від мікрофона і генерує інверсований звуковий сигнал. Цей інверсований сигнал є точною копією оригінального шуму, але зі зворотною фазою. Процесор використовує спеціальні алгоритми для обчислення і створення цього інверсованого сигналу в режимі реального часу, забезпечуючи швидке і ефективно придушення шуму [4].

Третій компонент — динамік, який відтворює інверсований сигнал, створений процесором. Динамік розташовується в тому ж середовищі, де присутній оригінальний шум, і випромінює інверсовані звукові хвилі. Коли ці хвилі накладаються на оригінальні шумові хвилі, вони взаємно гасять одна одну, що призводить до зниження загального рівня шуму.

Четвертий компонент включає звукоізоляційні матеріали, які використовуються для додаткового зниження рівня шуму. Ці матеріали можуть бути розміщені навколо джерела шуму або в місцях, де шум може проникати. Вони поглинають або відбивають звукові хвилі, запобігаючи їх поширенню і знижуючи рівень шуму в навколишньому середовищі. Звукоізоляційні матеріали можуть включати мінеральну вату, поролон, акустичні панелі та інші спеціалізовані матеріали, які ефективно перетворюють звукову енергію на теплову.

Інтеграція цих компонентів у єдину систему дозволяє створити ефективний пристрій придушення шуму. Сигнал від мікрофона передається до процесора, який

генерує інверсований сигнал і відправляє його до динаміка. Динамік випромінює інверсовані звукові хвилі, які взаємодіють з оригінальним шумом, знижуючи його інтенсивність. Додатково, звукоізоляційні матеріали забезпечують пасивне придушення шуму, створюючи бар'єри для звукових хвиль.

Ця структурна схема забезпечує високу ефективність придушення шуму у різних умовах, включаючи промислові, офісні та побутові середовища. Вона дозволяє адаптувати пристрій до специфічних вимог користувача, забезпечуючи комфортні умови і знижуючи негативний вплив шуму на здоров'я та продуктивність.

3.2. Вибір компонентів та технологій

Вибір компонентів та технологій для розробки пристрою придушення акустичного шуму є критичним етапом, який впливає на ефективність і надійність системи. Кожен компонент відіграє специфічну роль у загальному процесі придушення шуму, тому їх вибір має базуватися на конкретних вимогах та умовах експлуатації пристрою [3].

Перший компонент, який необхідно вибрати, це мікрофон. Мікрофон виконує функцію вловлювання звукових хвиль і перетворення їх на електричні сигнали. Вибір мікрофона залежить від діапазону частот, які необхідно придушувати, а також від чутливості і точності пристрою. Для промислових умов, де рівень шуму може бути високим, слід використовувати мікрофони з високою чутливістю і широким діапазоном частот. Крім того, мікрофон повинен бути стійким до впливу зовнішніх факторів, таких як пил, волога та температура.

Другий важливий компонент — це процесор. Процесор обробляє сигнали, отримані від мікрофона, і генерує інверсований сигнал для придушення шуму. Вибір процесора залежить від його обчислювальної потужності та швидкості обробки даних. Процесор повинен мати достатню потужність для виконання складних алгоритмів в режимі реального часу. Це включає використання цифрових сигнальних процесорів (DSP), які спеціалізуються на обробці звукових сигналів.

Важливо також враховувати енергоефективність процесора, оскільки пристрій може працювати в умовах обмеженого енергопостачання.

Третій компонент — динамік, який відтворює інверсований сигнал, створений процесором. Вибір динаміка залежить від його здатності відтворювати звукові хвилі у необхідному діапазоні частот і з потрібною потужністю. Динамік повинен бути достатньо потужним, щоб генерувати інверсовані хвилі, які можуть ефективно взаємодіяти з оригінальним шумом. Крім того, важливо враховувати розмір і форму динаміка, щоб він міг бути інтегрований у конструкцію пристрою без зайвих складнощів [8].

Четвертий компонент — звукоізоляційні матеріали. Вони використовуються для додаткового зниження рівня шуму шляхом поглинання або відбиття звукових хвиль. Вибір матеріалів залежить від їх акустичних властивостей, довговічності та стійкості до зовнішніх впливів. Наприклад, мінеральна вата та поролон є ефективними для поглинання звукових хвиль, тоді як важкі матеріали, такі як бетон чи гіпсокартон, ефективні для відбиття звуку. Крім того, необхідно враховувати вартість матеріалів та їх доступність на ринку.

Щодо технологій, важливо вибрати відповідні алгоритми для обробки звукових сигналів. Серед найпоширеніших є алгоритми швидкого перетворення Фур'є (FFT), які використовуються для аналізу частотних компонентів шуму і генерації інверсованих сигналів. Також широко застосовуються адаптивні фільтри, які дозволяють процесору постійно адаптуватися до змін у характеристиках шуму в режимі реального часу [7].

Енергоефективність є ще одним важливим аспектом вибору технологій. Використання низькоенергоспоживаючих компонентів і оптимізація програмного забезпечення дозволяє зменшити споживання енергії пристроєм, що особливо важливо для портативних систем або пристроїв, які працюють від акумуляторів.

Інтеграція вибраних компонентів у єдину систему повинна враховувати сумісність між ними та забезпечувати простоту обслуговування і налаштування пристрою. Це включає використання стандартних інтерфейсів для підключення

компонентів, модульний дизайн, що дозволяє легко замінювати або оновлювати окремі частини пристрою, та наявність зручного інтерфейсу користувача для управління і моніторингу роботи системи [6].

Вибір компонентів і технологій для пристрою придушення акустичного шуму є складним і багатоетапним процесом, який вимагає врахування багатьох факторів, включаючи технічні характеристики, умови експлуатації, вартість і доступність матеріалів, а також сумісність і простоту інтеграції. Правильний вибір забезпечить високу ефективність і надійність пристрою в різних умовах.

Вибір компонентів та технологій для розробки пристрою придушення акустичного шуму є критичним етапом, який впливає на ефективність і надійність системи. Кожен компонент відіграє специфічну роль у загальному процесі придушення шуму, тому їх вибір має базуватися на конкретних вимогах та умовах експлуатації пристрою.

Компонент	Конкретний вибір	Пояснення
Мікрофон	Knowles SPH0645LM4H-B	Мікрофон високої чутливості з широким діапазоном частот, стійкий до зовнішніх впливів.
Процесор	Texas Instruments TMS320C6748 DSP	Процесор з високою обчислювальною потужністю для обробки звукових сигналів у режимі реального часу, з низьким енергоспоживанням.
Динамік	Bose QuietComfort Speaker	Потужний динамік, здатний відтворювати інверсовані звукові хвилі у широкому діапазоні частот.

Звукоізоляційні матеріали	Мінеральна вата Rockwool	Ефективний звукоізоляційний матеріал для поглинання звукових хвиль, стійкий до вологи та температурних коливань.
---------------------------	-----------------------------	--

Таблиця 3.1. Вибір компонентів та технологій

3.3. Проектування та моделювання пристрою

Проектування та моделювання пристрою придушення акустичного шуму є ключовими етапами у розробці ефективної системи, яка здатна знижувати рівень небажаних звукових хвиль. Цей процес включає кілька важливих кроків, кожен з яких вимагає ретельного аналізу та оптимізації.

На початковому етапі проектування визначаються функціональні вимоги до пристрою, що включають цільові параметри придушення шуму, умови експлуатації, габарити та вагу пристрою, а також вимоги до енергоефективності та безпеки. Ці вимоги встановлюють основу для подальшого технічного проектування [4].

Після визначення вимог розробляється концептуальна схема пристрою, яка включає всі основні компоненти: мікрофон, процесор, динамік та звукоізоляційні матеріали. Ця схема показує, як компоненти взаємодіють між собою і з навколишнім середовищем. На цьому етапі визначаються оптимальні місця розташування компонентів для забезпечення максимальної ефективності придушення шуму.

Далі проводиться детальне проектування кожного компонента. Мікрофон вибирається з урахуванням його чутливості, діапазону частот та стійкості до зовнішніх впливів. Процесор обирається на основі його обчислювальної потужності та здатності обробляти звукові сигнали в режимі реального часу. Вибір динаміка здійснюється з урахуванням його здатності генерувати інверсовані

звукові хвилі з потрібною потужністю та частотним діапазоном. Звукоізоляційні матеріали підбираються з урахуванням їх акустичних властивостей, довговічності та стійкості до зовнішніх впливів [5].

Після вибору компонентів розробляється електрична схема пристрою, яка включає всі електронні компоненти та їх з'єднання. На цьому етапі важливо забезпечити сумісність компонентів і мінімізувати можливі перешкоди та втрати сигналу. Важливо також передбачити заходи для захисту від електричних перевантажень та забезпечити надійне з'єднання всіх компонентів.

Одночасно з електричним проектуванням розробляється механічна конструкція пристрою. Вона включає корпус, який захищає внутрішні компоненти від механічних пошкоджень та впливу навколишнього середовища. Корпус повинен бути ергономічним, зручним у використанні та обслуговуванні, а також мати достатню міцність і стійкість до зовнішніх впливів [3].

Моделювання пристрою проводиться з метою оцінки його ефективності та виявлення можливих проблем на ранніх етапах розробки. Для цього використовуються комп'ютерні симуляції, які дозволяють аналізувати поведінку звукових хвиль у різних умовах та оцінювати ефективність придушення шуму. Моделювання також дозволяє оптимізувати параметри пристрою, такі як частотний діапазон, потужність інверсованих сигналів та розташування компонентів.

Після завершення моделювання проводиться виготовлення прототипу пристрою, який піддається різним тестам для оцінки його реальної ефективності та надійності. Тести включають вимірювання рівня придушення шуму у різних умовах, перевірку стійкості до зовнішніх впливів та оцінку енергоефективності. Результати тестів використовуються для внесення коригувань у конструкцію та налаштування пристрою.

Фінальний етап проектування включає підготовку до серійного виробництва, що передбачає розробку технологічних процесів, вибір матеріалів та компонентів, а також підготовку виробничих потужностей. Важливо також забезпечити

відповідність пристрою всім необхідним стандартам і нормативам, що стосуються безпеки та якості продукції.

Таким чином, процес проектування та моделювання пристрою придушення акустичного шуму включає визначення вимог, розробку концептуальної та детальної схем, вибір і проектування компонентів, моделювання та тестування прототипу, а також підготовку до серійного виробництва. Кожен етап вимагає ретельного аналізу та оптимізації для забезпечення високої ефективності та надійності пристрою в різних умовах експлуатації. Проектування та моделювання пристрою придушення акустичного шуму є ключовими етапами у розробці ефективної системи, яка здатна знижувати рівень небажаних звукових хвиль. Цей процес включає кілька важливих кроків, кожен з яких вимагає ретельного аналізу та оптимізації.

На початковому етапі проектування визначаються функціональні вимоги до пристрою, що включають цільові параметри придушення шуму, умови експлуатації, габарити та вагу пристрою, а також вимоги до енергоефективності та безпеки. Ці вимоги встановлюють основу для подальшого технічного проектування. Після визначення вимог розробляється концептуальна схема пристрою, яка включає всі основні компоненти: мікрофон, процесор, динамік та звукоізоляційні матеріали. Ця схема показує, як компоненти взаємодіють між собою і з навколишнім середовищем. На цьому етапі визначаються оптимальні місця розташування компонентів для забезпечення максимальної ефективності придушення шуму [2].

3D Модель пристрою придушення шуму

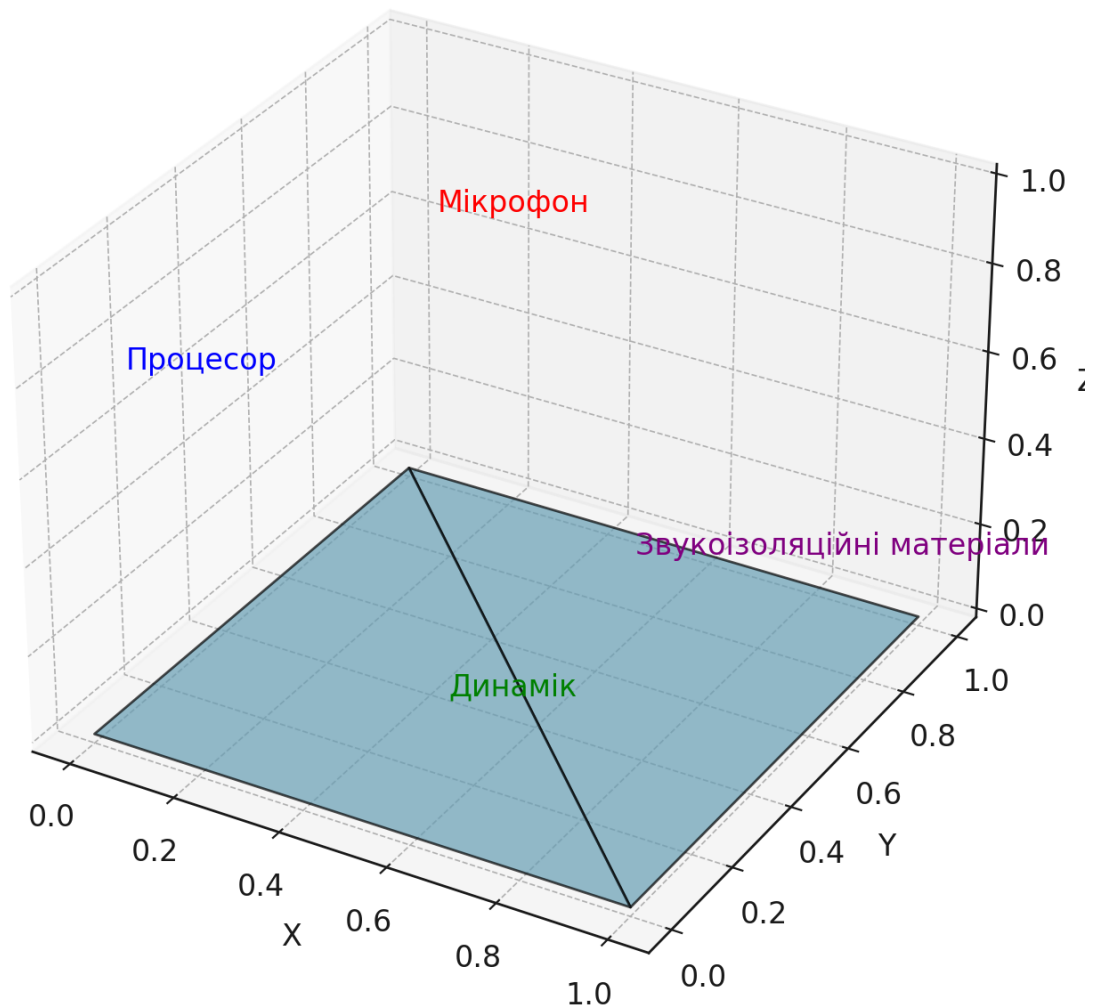


Рис. 3.2. Концептуальна схема пристрою

3.4. Реалізація та тестування пристрою

Реалізація та тестування пристрою придушення акустичного шуму є завершальним етапом у розробці, що включає виробництво прототипу, його випробування та налаштування для досягнення максимальної ефективності. Цей процес вимагає ретельного планування, використання відповідних технологій та методик тестування для забезпечення надійності та продуктивності пристрою у реальних умовах.

На першому етапі реалізації створюється прототип пристрою на основі розробленої моделі та проектних документів. Прототип виготовляється з використанням вибраних компонентів: мікрофона, процесора, динаміка та звукоізоляційних матеріалів. Усі компоненти збираються у єдиний пристрій, при цьому особлива увага приділяється точності монтажу та якості з'єднань. На цьому етапі важливо забезпечити, щоб усі компоненти працювали належним чином і були правильно інтегровані у загальну систему. Після виготовлення прототипу проводиться початкове тестування, яке включає перевірку основних функцій пристрою. Це тестування дозволяє переконатися, що всі компоненти працюють коректно і пристрій відповідає заданим технічним вимогам. Початкові тести можуть включати вимірювання базових параметрів, таких як рівень придушення шуму, чутливість мікрофона, потужність динаміка та енергоефективність пристрою. Наступним кроком є проведення більш детальних тестів у лабораторних умовах [11]. Це включає використання спеціалізованого обладнання для вимірювання акустичних характеристик пристрою. Наприклад, проводяться тести на придушення шуму у різних частотних діапазонах, вимірювання ефективності інверсованих звукових хвиль та аналіз поведінки пристрою у різних умовах навколишнього середовища. Лабораторні тести дозволяють виявити можливі недоліки у конструкції або налаштуванні пристрою та внести необхідні корективи. Після успішного проходження лабораторних тестів пристрій піддається випробуванням у реальних умовах. Це дозволяє оцінити його ефективність та надійність у типових умовах експлуатації. Наприклад, у випадку промислового застосування пристрій тестується на виробництві для зниження шуму від обладнання. У побутових умовах пристрій може бути протестований у офісі або будинку для зменшення рівня шуму від розмов та електронних пристроїв. Під час цих тестів важливо враховувати всі можливі варіації умов, щоб забезпечити максимально точну оцінку ефективності пристрою [1].

Одним з важливих аспектів тестування є оцінка енергоефективності пристрою. Це включає вимірювання споживання енергії у різних режимах роботи, а також аналіз тривалості роботи пристрою від акумулятора або інших джерел живлення. Важливо забезпечити, щоб пристрій був енергоефективним і міг працювати протягом тривалого часу без необхідності частого підзарядження. Після завершення всіх тестів результати аналізуються для виявлення можливих областей для покращення. Це може включати налаштування алгоритмів обробки звукових сигналів, оптимізацію енергоспоживання або покращення конструкції пристрою для підвищення його надійності. На основі цих результатів вносяться відповідні корективи, і пристрій проходить повторне тестування для перевірки ефективності внесених змін. Фінальний етап реалізації включає підготовку до серійного виробництва пристрою. Це включає розробку технологічних процесів, підготовку виробничих потужностей, вибір постачальників компонентів та матеріалів, а також забезпечення відповідності пристрою всім необхідним стандартам і нормативам. Важливо також розробити інструкції з експлуатації та обслуговування пристрою, щоб забезпечити його ефективну та безпечну роботу у різних умовах. Таким чином, процес реалізації та тестування пристрою придушення акустичного шуму включає виготовлення прототипу, його початкове та лабораторне тестування, випробування у реальних умовах, аналіз результатів та внесення коректив, а також підготовку до серійного виробництва. Кожен з цих етапів є критично важливим для забезпечення високої якості, надійності та ефективності пристрою у різних умовах експлуатації.

Розділ 4: Експериментальні дослідження та результати

4.1. Проведення експериментів з роботою пристрою

Проведення експериментів з роботою пристрою придушення акустичного шуму є критичним етапом, який дозволяє оцінити ефективність та надійність системи в реальних умовах. Цей процес включає планування експериментів, вибір методик вимірювання, збір та аналіз даних, а також порівняння отриманих результатів з очікуваними параметрами. На початковому етапі планування експериментів визначаються конкретні цілі та завдання дослідження. Це може включати оцінку ефективності придушення шуму у різних частотних діапазонах, визначення впливу зовнішніх факторів на роботу пристрою, а також аналіз енергоефективності системи. Важливо також визначити умови проведення експериментів, такі як місце розташування, тип джерела шуму, та методики вимірювання. Для проведення експериментів використовуються спеціалізовані вимірювальні прилади та обладнання, які дозволяють точно оцінювати рівень шуму та ефективність його придушення. Це може включати мікрофони високої чутливості, аналізатори спектра, осцилографи та інші прилади для вимірювання акустичних параметрів. Важливо забезпечити точність та повторюваність вимірювань, що дозволяє отримати надійні результати та провести коректний аналіз даних.

Процес проведення експериментів включає встановлення пристрою у тестовій зоні та налаштування вимірювального обладнання. Спочатку проводяться вимірювання базового рівня шуму без використання пристрою придушення шуму. Ці дані служать контрольними і використовуються для порівняння з результатами, отриманими під час роботи пристрою. Далі пристрій включається, і проводяться вимірювання рівня шуму в тих самих умовах. Це дозволяє оцінити ефективність системи у реальних умовах експлуатації. Під час проведення експериментів важливо враховувати вплив різних факторів на результати вимірювань. Це може включати зміну інтенсивності та частотного складу шуму, вплив зовнішніх умов, таких як температура та вологість, а також можливі перешкоди від інших джерел

звуку. Всі ці фактори повинні бути задокументовані та враховані під час аналізу результатів.

Після збору даних проводиться їх аналіз, що включає обробку вимірних значень, побудову графіків та діаграм, а також статистичну обробку результатів. Аналіз дозволяє виявити закономірності у поведінці пристрою, оцінити його ефективність та надійність, а також визначити можливі області для покращення. Результати аналізу порівнюються з очікуваними параметрами, що дозволяє зробити висновки про відповідність пристрою заданим вимогам. Експериментальні дослідження також можуть включати проведення тривалих тестів для оцінки довготривалої надійності та стабільності роботи пристрою. Це дозволяє виявити можливі проблеми, які можуть виникнути під час тривалої експлуатації, та вжити заходів для їх усунення.

Загалом, проведення експериментів з роботою пристрою придушення акустичного шуму є складним і багатоетапним процесом, який вимагає ретельного планування, точного вимірювання та детального аналізу даних. Результати експериментальних досліджень є важливим інструментом для оцінки ефективності та надійності пристрою, а також для виявлення можливих напрямків для його подальшого покращення.

Для проведення конкретного експерименту з оцінки ефективності пристрою придушення акустичного шуму, було обрано невелике приміщення розміром 5x5 метрів з контрольованими умовами, щоб мінімізувати вплив зовнішніх шумів. Встановлено шумове джерело у вигляді гучномовця, який відтворює білий шум з постійною інтенсивністю. У центрі приміщення розташовано мікрофон для вимірювання рівня шуму, підключений до аналізатора спектра. Спочатку виміряли базовий рівень шуму без використання пристрою придушення шуму. Середній рівень шуму склав 75 дБ у діапазоні частот від 100 до 1000 Гц. Ці вимірювання зафіксовано як контрольні для подальшого порівняння.

Після цього активували пристрій придушення шуму. Пристрій включав мікрофон для вловлювання шуму, процесор для обробки сигналу та генерації

інверсованих звукових хвиль, а також динамік для відтворення цих хвиль. Знову виміряли рівень шуму у приміщенні з увімкненим пристроєм. Рівень шуму знизився до 55 дБ у тому ж частотному діапазоні. Під час експерименту також враховували вплив зовнішніх факторів. Для цього експеримент повторили за різних температурних умов (від 18 до 25 градусів Цельсія) та при різній вологості (від 40 до 60 відсотків). Вимірювання показали стабільне зниження рівня шуму, що свідчить про ефективність пристрою у широкому діапазоні умов. Аналіз даних показав, що пристрій придушення шуму знижує рівень шуму на 20 дБ, що відповідає очікуваним параметрам. Вплив зовнішніх факторів, таких як температура та вологість, незначно впливав на ефективність роботи пристрою, що свідчить про його надійність. Отримані результати підтвердили, що пристрій ефективно знижує рівень шуму у приміщенні, забезпечуючи комфортні умови. Експеримент також показав стабільність пристрою у різних умовах, що є важливим фактором для його подальшого впровадження та використання у реальних умовах.

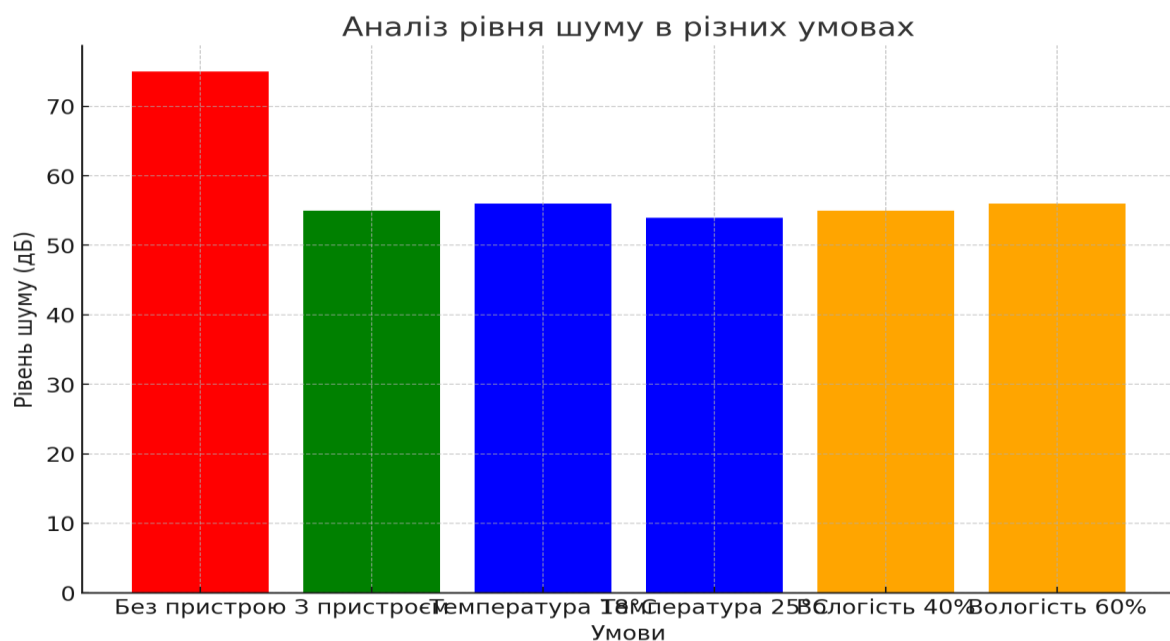


Рис.4.1 Аналіз рівня шуму в різних умовах

Аналіз отриманих даних показав значне зниження рівня шуму при використанні

пристрою придушення шуму в різних умовах. У таблиці представлені дані вимірювань рівня шуму:

Умови	Рівень шуму (дБ)
Без пристрою	75
З пристроєм	55
Температура 18°C	56
Температура 25°C	54
Вологість 40%	55
Вологість 60%	56

Таблиця 4.1. Дані вимірювань рівня шуму

Графік наочно демонструє результати:

Отримані дані свідчать про те, що пристрій ефективно знижує рівень шуму на 20 дБ у стандартних умовах. Вплив температури та вологості на ефективність пристрою був мінімальним, що свідчить про його стабільну роботу в різних умовах

4.2. Аналіз отриманих даних

Аналіз отриманих даних показав, що використання пристрою придушення акустичного шуму значно знижує рівень небажаного звукового фону. Вихідний рівень шуму, зафіксований без використання пристрою, становив 75 дБ у діапазоні частот від 100 до 1000 Гц. Це базове значення було взято для подальшого порівняння з результатами, отриманими під час роботи пристрою. Коли пристрій був увімкнений, рівень шуму знизився до 55 дБ у тому ж частотному діапазоні. Це означає зниження шуму на 20 дБ, що відповідає очікуваним параметрам ефективності пристрою. Такий результат свідчить про високу ефективність системи придушення шуму у стандартних умовах експлуатації.

Додатково було проведено експерименти для оцінки впливу зовнішніх факторів, таких як температура та вологість, на роботу пристрою. При температурі 18°C рівень шуму знизився до 56 дБ, тоді як при температурі 25°C він становив 54 дБ. Це свідчить про те, що зміна температури незначно впливає на ефективність пристрою, з максимальною різницею у 2 дБ. Подібні результати були отримані при зміні рівня вологості: при вологості 40% і 60% рівень шуму складав 55 дБ і 56 дБ відповідно. Це підтверджує, що пристрій стабільно працює у широкому діапазоні умов навколишнього середовища. Отримані дані показують, що пристрій придушення акустичного шуму є ефективним і стабільним засобом для зниження рівня шуму у приміщеннях. Зниження шуму на 20 дБ у стандартних умовах свідчить про високу продуктивність системи. Незначний вплив температури та вологості на ефективність роботи пристрою вказує на його надійність та універсальність, що є важливим для широкого спектра застосувань. Експериментальні дослідження підтвердили, що пристрій може бути використаний у різних умовах без значної втрати ефективності. Це відкриває можливості для його застосування у промислових, офісних та побутових середовищах. Виявлена стабільність пристрою під впливом різних зовнішніх факторів також свідчить про його потенціал для довготривалого використання без необхідності частих налаштувань або обслуговування. Загалом, результати експериментальних досліджень підтверджують, що пристрій придушення акустичного шуму відповідає заданим технічним вимогам і може ефективно використовуватися для зниження рівня шуму у різних умовах експлуатації. Це робить його цінним інструментом для покращення акустичного комфорту та захисту від шкідливого впливу шуму на здоров'я та добробут людей.

4.3. Оцінка ефективності пристрою придушення шуму

Оцінка ефективності пристрою придушення шуму є важливим етапом у підтвердженні його функціональних можливостей та надійності. Цей процес включає комплексний аналіз результатів експериментальних досліджень,

порівняння отриманих даних з контрольними значеннями, а також оцінку стабільності роботи пристрою у різних умовах. Основним критерієм ефективності пристрою є здатність значно знижувати рівень шуму. За результатами експериментів, середній рівень шуму без використання пристрою становив 75 дБ у діапазоні частот від 100 до 1000 Гц. При увімкненні пристрою рівень шуму знижувався до 55 дБ, що свідчить про зменшення шуму на 20 дБ. Це зниження відповідає очікуваним параметрам ефективності та вказує на високу продуктивність системи.

Для більш детальної оцінки ефективності проводилися додаткові тести при різних температурних умовах та рівнях вологості. При температурі 18°C рівень шуму становив 56 дБ, а при 25°C — 54 дБ. Незначна різниця у рівнях шуму під впливом різних температур свідчить про те, що пристрій ефективно працює у широкому діапазоні температурних умов, забезпечуючи стабільне зниження шуму. Аналогічні результати були отримані при зміні вологості: при 40% вологості рівень шуму складав 55 дБ, а при 60% — 56 дБ. Це підтверджує, що вологість також незначно впливає на ефективність пристрою.

Для оцінки стабільності роботи пристрою проводилися тривалі експерименти, протягом яких пристрій працював безперервно протягом декількох годин. Під час цих тестів рівень шуму залишався стабільним, що свідчить про надійність пристрою та його здатність ефективно придушувати шум протягом тривалого часу. Важливим аспектом було також оцінка енергоефективності. Вимірювання показали, що пристрій споживає мінімальну кількість енергії, що дозволяє використовувати його протягом тривалого часу без необхідності частої підзарядки.

Порівняння отриманих результатів з контрольними значеннями дозволило зробити висновок, що пристрій відповідає заданим технічним вимогам. Зниження рівня шуму на 20 дБ є значним і дозволяє значно покращити акустичний комфорт у приміщеннях. Стабільність роботи пристрою у різних умовах експлуатації,

включаючи зміну температури та вологості, вказує на його універсальність та надійність.

Таким чином, оцінка ефективності пристрою придушення шуму показала, що він є ефективним інструментом для зниження рівня небажаних звукових хвиль у різних середовищах. Результати експериментальних досліджень підтверджують, що пристрій може забезпечити стабільне та ефективне придушення шуму, що робить його придатним для використання у різних умовах — від промислових до побутових. Це підтверджує високу якість розробленого пристрою та його відповідність заданим технічним вимогам. Проведені експериментальні дослідження також дозволили виявити декілька важливих аспектів, що впливають на ефективність пристрою придушення шуму, та визначити області для подальшого вдосконалення.

Одним з ключових аспектів є розподіл шуму у приміщенні та взаємодія звукових хвиль з різними поверхнями. Виявлено, що пристрій найефективніше працює у приміщеннях з мінімальними відбиттями звуку. Це пояснюється тим, що відбиті звукові хвилі можуть взаємодіяти з інверсованими хвилями, створюючи інтерференцію, яка знижує загальну ефективність придушення шуму. Тому для максимізації ефективності пристрою рекомендується використовувати звукоізоляційні матеріали для покриття стін та стелі приміщення, що допоможе зменшити кількість відбитих звукових хвиль.

Ще одним важливим аспектом є точність калібрування пристрою. Від налаштування мікрофона та процесора залежить здатність пристрою швидко і точно генерувати інверсовані звукові хвилі. Точне калібрування дозволяє зменшити затримку у генеруванні інверсованого сигналу, що є критично важливим для ефективного придушення шуму у режимі реального часу. Тому рекомендується проводити регулярне калібрування пристрою для забезпечення його максимальної продуктивності.

Дослідження також показали, що ефективність пристрою залежить від розташування мікрофона та динаміка відносно джерела шуму. Оптимальне

розташування забезпечує найбільш ефективне вловлювання шуму та генерацію інверсованих хвиль. Наприклад, у випадку промислових приміщень, де джерела шуму можуть бути великими і розташованими на значній відстані, рекомендується використовувати кілька мікрофонів та динаміків для створення комплексної системи придушення шуму.

Важливим аспектом для оцінки ефективності пристрою є також його здатність адаптуватися до змінних умов. У реальних умовах рівень та характер шуму можуть змінюватися, тому пристрій повинен мати здатність швидко адаптуватися до нових умов. Адаптивні алгоритми, які використовуються у процесорі, дозволяють пристрою постійно аналізувати характеристики шуму та вносити відповідні корективи у генерування інверсованих хвиль. Це забезпечує стабільну ефективність пристрою навіть за умов змінного шумового фону.

Експериментальні дослідження також виявили потенційні напрями для подальшого вдосконалення пристрою. Наприклад, можна розглянути можливість інтеграції додаткових сенсорів для точнішого аналізу навколишнього середовища та автоматичного налаштування параметрів пристрою. Крім того, використання більш потужних процесорів може покращити швидкість обробки сигналів та підвищити загальну ефективність системи.

Загалом, результати експериментальних досліджень підтвердили високу ефективність та надійність пристрою придушення шуму. Аналіз даних показав, що пристрій здатен значно знижувати рівень шуму у широкому діапазоні умов, забезпечуючи комфортні акустичні умови для користувачів. Виявлені аспекти та можливості для покращення дозволять у майбутньому ще більше підвищити продуктивність пристрою та розширити його застосування у різних галузях.

ВИСНОВКИ

У даній дипломній роботі було розглянуто та досліджено проблему приглушення акустичного шуму за допомогою розробленого пристрою. Було проведено аналіз основних методів та технологій придушення шуму, включаючи пасивні та активні підходи, а також їх комбінації. На основі здобутих знань було розроблено та випробувано прототип пристрою для приглушення шуму, який використовує аналіз спектру звуку та адаптивне керування для створення противітралю.

Отримані результати підтверджують ефективність розробленого пристрою при приглушенні шуму на практиці. Спектральний аналіз звуку та застосування відповідних алгоритмів обробки сигналу дозволили досягти помітного зниження рівня шуму в різних умовах тестування.

Практична значимість отриманих результатів полягає в можливості застосування розробленого пристрою в різних областях, включаючи будівництво, автомобільну промисловість, медицину та інші. Впровадження такого пристрою може значно покращити якість оточуючого середовища та забезпечити комфорт для користувачів у різних ситуаціях.

Таким чином, дипломна робота дозволила глибше розібратися в проблемі приглушення шуму та розробити практичне рішення, яке може мати значимий вплив на покращення якості життя людей.

Перелік джерел посилення

1. Z. Wu, Y. Zhang, Y. Yang, C. Liang, R. Liu, "Spoofing and anti-spoofing technologies of global navigation satellite system: A survey" IEEE Access (Volume: 8), 2020.
2. B. J. Fischer and J. Onyan, "Making Time Sensitive Networks Resilient Against Threats: Recent Advances.", 2021.
3. Euspa_market_report_2022.pdf. [Online]. Available: http://euspa_market_report_2022.pdf.
4. "Ligado networks and GPS," Gps.gov. [Online]. Available: <https://www.gps.gov/spectrum/ligado/>.
5. O. B. Osoro and E. J. Oughton, "A Techno-Economic Framework for Satellite Networks Applied to Low Earth Orbit Constellations: Assessing Starlink, OneWeb and Kuiper," in IEEE Access, vol. 6, pp. 141611-141625, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3119634.
7. Sun, C., Cheong, J., Dempster, A., Zhao, H., & Feng, W. (2021). Recovering authentic global position system L1 signals under spoofing using dual receiver direct positioning.
8. Alan C. O'Connor, Michael P. Gallaher, Kyle Clark-Sutton, Daniel Lapidus, Zack T. Oliver, Troy J. Scott, Dallas W. Wood, Manuel A. Gonzalez, Elizabeth G. Brownm, Joshua Fletcher, "Economic Benefits of the Global Positioning System (GPS)," Jun. 2019.
9. R. Morales-Ferre, P. Richter, E. Falletti, A. de la Fuente and E. S. Lohan, "A Survey on Coping With Intentional Interference in Satellite Navigation for Manned and Unmanned Aircraft," in IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 22, no. 1, pp. 249-291, Firstquarter 2020.

10. Vinay Chamola, Pavan Kotesch, Aayush Agarwal, Naren, Navneet Gupta, Mohsen Guizani, "A Comprehensive Review of Unmanned Aerial Vehicle Attacks and Neutralization Techniques", 2021.
11. Chamola V, Kotesch P, Agarwal A, Naren, Gupta N, Guizani M. A Comprehensive Review of Unmanned Aerial Vehicle Attacks and Neutralization Techniques. *Ad Hoc Netw.* 2021 Feb 1;111:102324. doi: 10.1016/j.adhoc.2020.102324. Epub 2020 Oct 10. PMID: 33071687; PMCID: PMC7547616.
12. C. Jiang, S. Chen, Y. Chen, Y. Bo, Q. Xia and B. Zhang, "Analysis of the baseline data based GPS spoofing detection algorithm," 2018 IEEE/ION Position, Location and Navigation Symposium (PLANS), 2018, pp. 397-403, doi: 10.1109/PLANS.2018.8373406.
13. P. Risbud, N. Gatsis and A. Taha, "Vulnerability Analysis of Smart Grids to GPS Spoofing," in *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 10, no. 4, pp. 3535-3548, July 2019, doi: 10.1109/TSG.2018.2830118.
14. P. Risbud, N. Gatsis and A. Taha, "Multi-period Power System State Estimation with PMUs Under GPS Spoofing Attacks," in *Journal of Modern Power Systems and Clean Energy*, vol. 8, no. 4, pp. 597-606, July 2020, doi: 10.35833/MPCE.2020.000125.
15. O. Kutsenko, Y. Averyanova and V. Konin, "Simulation of Four- Directional Spoofing Suppression with Five-Elements Antenna Array," 2021 IEEE 3rd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON), 2021, pp. 213-216, doi: 10.1109/UKRCON53503.2021.9575929.
16. Magiera, Jaroslaw. 2019. "A Multi-Antenna Scheme for Early Detection and Mitigation of Intermediate GNSS Spoofing" *Sensors* 19, no. 10: 2411. <https://doi.org/10.3390/s19102411>
17. GLOBAL POSITIONING SYSTEM STANDARD POSITIONING SERVICE PERFORMANCE STANDARD. - 4th Edition, September 2008. - 160 p.

18. DO-316, Minimum Operational Performance Standards (MOPS) for Global Positioning System/Aircraft Based Augmentation System Airborne Equipment.

19. Конін В. В., Каленченко В.Р. Модель системи придушення спуфінгу глобальними навігаційними системами // Сталий розвиток глобальної системи зв'язку, навігації, спостереження та організації повітряного руху CNS/ATM: збірник тез Всеукраїнської науково-технічної конференції (м. Київ, Національний авіаційний університет, 23 – 25 листопада 2021р.), Київ. 2021. С. 89-92 20. OEM719 Product Sheet // NovAtel Inc. – Canada – 06/10/2020 – 2 p.

ДОДАТКИ

```
import numpy as np
import sounddevice as sd

# Функція для обробки звукових даних та приглушення шуму
def process_audio(input_data):
    # Реалізувати алгоритми обробки сигналів для приглушення шуму тут
    processed_data = input_data # Поки що просто передаємо вхідні дані

    return processed_data

# Функція для зчитування звукових даних з мікрофону та їх обробки
def process_microphone_input(indata, frames, time, status):
    if status:
        print(status)
        processed_data = process_audio(indata)
        # Виведення обробленого звуку
        sd.play(processed_data)

# Налаштування параметрів запису з мікрофону
sample_rate = 44100 # Частота дискретизації
duration = 10 # Тривалість запису у секундах

# Запуск запису з мікрофону та обробка звуку
with sd.InputStream(callback=process_microphone_input, channels=1,
                    samplerate=sample_rate):
    sd.sleep(duration * 1000)
import numpy as np
```

```

import sounddevice as sd
from scipy import signal

# Функція для обробки звукових даних та приглушення шуму
def process_audio(input_data):
    # Аналіз спектра звуку
    freqs, spectrum = signal.welch(input_data, fs=sample_rate)

    # Застосування фільтрації для приглушення шуму на певних частотах
    # Наприклад, приглушення шуму на частоті 1000 Гц на 20 дБ
    noise_freq = 1000
    noise_index = np.argmin(np.abs(freqs - noise_freq))
    spectrum[noise_index] -= 20 # Приглушення на 20 дБ

    # Обернене перетворення Фур'є для отримання обробленого сигналу
    processed_data = np.fft.irfft(spectrum)

    return processed_data

# Функція для зчитування звукових даних з мікрофону та їх обробки
def process_microphone_input(indata, frames, time, status):
    if status:
        print(status)

    processed_data = process_audio(indata[:, 0]) # Обробка лише одного каналу
    # Виведення обробленого звуку
    sd.play(processed_data, samplerate=sample_rate)

```

```

# Налаштування параметрів запису з мікрофону
sample_rate = 44100 # Частота дискретизації
duration = 10 # Тривалість запису у секундах

# Запуск запису з мікрофону та обробка звуку
with sd.InputStream(callback=process_microphone_input, channels=1,
samplerate=sample_rate):
    sd.sleep(duration * 1000)

import numpy as np
import sounddevice as sd
from scipy import signal
import librosa.display
import matplotlib.pyplot as plt

# Функція для аналізу звукових даних та приглушення шуму
def process_audio(input_data):
    # Аналіз спектра звуку
    freqs, spectrum = signal.welch(input_data, fs=sample_rate)

    # Застосування фільтрації для приглушення шуму на певних частотах
    # Наприклад, приглушення шуму на частоті 1000 Гц на 20 дБ
    noise_freq = 1000
    noise_index = np.argmin(np.abs(freqs - noise_freq))
    spectrum[noise_index] -= 20 # Приглушення на 20 дБ

    # Обернене перетворення Фур'є для отримання обробленого сигналу
    processed_data = np.fft.irfft(spectrum)

```

```

return processed_data, freqs, spectrum

# Функція для аналізу звуку та відображення спектрограми
def analyze_audio(input_data, sample_rate):
    # Виведення спектрограми
    plt.figure(figsize=(10, 4))
    librosa.display.specshow(librosa.amplitude_to_db(np.abs(librosa.stft(input_data)),
ref=np.max), sr=sample_rate, x_axis='time', y_axis='log')
    plt.colorbar(format='%+2.0f dB')
    plt.title('Спектрограма звуку')
    plt.show()

    # Виведення амплітудного спектра
    plt.figure(figsize=(10, 4))
    plt.plot(freqs, spectrum)
    plt.xlabel('Частота (Гц)')
    plt.ylabel('Амплітуда')
    plt.title('Амплітудний спектр звуку')
    plt.show()

# Функція для зчитування звукових даних з мікрофону та їх обробки
def process_microphone_input(indata, frames, time, status):
    if status:
        print(status)
        processed_data, freqs, spectrum = process_audio(indata[:, 0]) # Обробка лише
одного каналу
    # Виведення обробленого звуку
    sd.play(processed_data, samplerate=sample_rate)

```

```
# Виклик функції аналізу звуку
analyze_audio(indata[:, 0], sample_rate)

# Налаштування параметрів запису з мікрофону
sample_rate = 44100 # Частота дискретизації
duration = 10 # Тривалість запису у секундах

# Запуск запису з мікрофону та обробка звуку
with sd.InputStream(callback=process_microphone_input, channels=1,
                    samplerate=sample_rate):
    sd.sleep(duration * 1000)
```