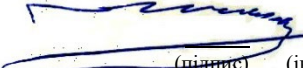


НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ імені ІГОРЯ
СІКОРСЬКОГО»
ФАКУЛЬТЕТ ЕЛЕКТРОНІКИ
КАФЕДРА АКУСТИЧНИХ ТА МУЛЬТИМЕДІЙНИХ СИСТЕМ

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри


Найда С.А.
(підпис) (ініціали, прізвище)

«14» 06 2023р.

Дипломна робота

на здобуття ступеня бакалавра

зі спеціальності (спеціалізації) 171 «Електроніка»

на тему: Пристрій акустичного спостереження автомобільного руху

Виконав: студент 4 курсу, групи ДГ – 91

Топоровський Олексій Миколайович



Керівник доцент кафедри АМЕС, доц., к.ф – м.н., Козерук С.О.



Консультант _____
(назва розділу) (посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ініціали)

(підпис)

Рецензент Професор кафедри ЕІ, доц., д.т.н., Прокопенко Ю.В
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ініціали)



(підпис)

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

Студент



(підпис)

Київ – 2023

4. Зміст (дипломної роботи) пояснювальної записки (перелік завдань, які потрібно розробити) Аналіз актуальності пристрою. Аналітичний огляд джерел інформації та існуючих рішень. Встановлення акустичних

характеристик об'єкту спостереження. Створення моделі пристрою акустичного спостереження.

5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо) презентація в Power Point.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 17.04 .23

Календарний план

№з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний огляд джерел інформації	17.04 – 23.04	Виконав
2	Встановлення акустичних характеристик транспорту	24.04 – 07.05	Виконав
3	Дослідження систем спостереження	08.05 – 14.05	Виконав
4	Встановлення вихідних даних на розробку	15.05 – 23.05	Виконав
5	Написання висновку до Розділу 1	23.05 – 24.05	Виконав
6	Розробка пристрою	25.05 – 28.05	Виконав
7	Проведення моделювання	29.05 – 05.06	Виконав
8	Написання висновку	06.06 – 07.06	Виконав
9	Оформлення роботи	08.06 – 09.06	Виконав

Студент


 (підпис)

Топоровський О.М.

(ініціали, прізвище)

Керівник проекту (роботи)


 (підпис)

Козерук С.О.

(ініціали, прізвище)

Анотація

Робота викладена на 58 сторінках, вона містить 23 ілюстрації та 7 таблиць.

Об'єктом дослідження є засоби акустичного спостереження автомобільного руху, їх особливості, використання в сучасних технологіях моніторингу та можливості для подальшого вдосконалення та впровадження.

Мета роботи полягає в проведенні аналізу пристроїв акустичного спостереження автомобільного руху, визначенні їх потенціалу та обмежень, а також розробці нового пристрою акустичного спостереження, здатного працювати ефективно в різних умовах і обставинах.

Практичне значення роботи високе, оскільки результати дослідження можуть бути використані для покращення систем моніторингу автомобільного руху, зокрема, в урбанізованих зонах, де контроль за трафіком є надзвичайно важливим. Розроблений пристрій може знайти застосування в системах дорожньої безпеки, регулювання трафіку, а також в наукових дослідженнях, пов'язаних з аналізом автомобільного руху.

Ключові слова: *автомобільний рух, акустичне спостереження, кореляційний приймач*

Abstracts

The work is presented on 58 pages, it contains 23 illustrations and 7 tables.

The object of research is the processes of acoustic monitoring of road traffic, their features, use in modern monitoring technologies and opportunities for further improvement and implementation.

The purpose of the work is to conduct a detailed analysis of acoustic traffic monitoring devices, determine their potential and limitations, and develop a new acoustic monitoring device capable of operating effectively in various conditions and circumstances.

The practical significance of this work is high, as the results of the study can be used to improve traffic monitoring systems, in particular, in urban areas where traffic control is extremely important. The developed device can be used in road safety systems, traffic control, as well as in scientific research related to traffic analysis.

Keywords: *traffic, acoustic surveillance, correlation direction finder*

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ПРОБЛЕМИ.....	10
1.1 Акустичні характеристики випромінювання автомобілів	10
1.2 Акустичні системи спостереження за автомобільним рухом	17
1.3 Особливості розповсюдження звуку в повітрі на дорозі	29
1.4 Вихідні дані для розробки системи акустичного спостереження	34
Висновки до розділу 1	37
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА ПРИСТРОЮ АКУСТИЧНОГО СПОСТЕРЕЖЕННЯ ЗА АВТОМОБІЛЬНИМ РУХОМ	40
2.1 Вибір методу спостереження.....	40
2.2 Розробка алгоритму локалізації.....	43
2.3 Оцінка дальності виявлення	46
2.4 Розробка імітаційної моделі	48
2.5 Тестування моделі.....	52
Висновки до розділу 2	54
ВИСНОВКИ.....	56
СПИСОК ВИКОРСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	57

СПИСОК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

АІС – акустичні інформаційні системи

АХ – акустичні хвилі

ВКФ – взаємно кореляційна функція

ДС – діаграма спрямованості

ІМ – імітаційна модель

ІЧ – інфрачервоний

КП – кореляційний приймач

КПХ – кут приходу хвилі

НТЗ – наземний транспортний засіб

НЧ – низькочастотний

САС – система акустичного спостереження

СЗ – сигнал / завада

ССС – сейсмічна система спостереження

СФ – сигнальна функція

ВСТУП

Останнім часом набуває популярності технологія пасивного спостереження за автомобільним рухом. Такі пристрої дозволяють непомітно відстежувати автомобільний потік на дорогах, переміщення автомобілів в межах міської інфраструктури та виявляти нештатні ситуації на автостоянках. До цих засобів належать оптичні, інфрачервоні, магнітні, радіолокаційні та акустичні сенсори. Всі вони мають свої переваги та недоліки. Тому системи спостереження зазвичай ґрунтуються на комбінації різних типів пристроїв. Основна перевага пасивних систем - відсутність видимих відмінностей. Пристрій акустичного спостереження є важливим елементом такої системи. Цей пристрій може використовуватися окремо для відстеження та локалізації автомобілів і акустичних процесів, пов'язаних із їх рухом. Він має велику дальність виявлення і може працювати в умовах поганої видимості за різних погодних умов.

Цей пристрій може бути використаний у сфері автомобільного транспорту, дорожньою поліцією для підтримки порядку на дорогах, різними державними структурами з метою забезпечення безпеки та контролю за дорожнім рухом. Тому дана технологія є актуальною і має великий потенціал для подальшого впровадження.

Актуальність проблеми

В епоху швидкого розвитку технологій та інтенсивного росту міського транспортного руху, моніторинг автомобільного потоку стає все більш важливим і актуальним завданням. Виробники авто і спеціалісти в області дорожнього руху все активніше впроваджують сучасні технології, такі як акустичне спостереження, для контролю і аналізу автомобільного руху.

Пристрої акустичного спостереження можуть використовуватися для виявлення різних параметрів автомобільного руху, таких як швидкість, інтенсивність трафіку, тип транспортного засобу, а навіть для ідентифікації окремих моделей автомобілів. Ці пристрої можуть стати незамінними для дорожньої поліції, місцевої влади, науковців, а також для розробки систем управління трафіком.

Однак, не дивлячись на очевидні переваги акустичного спостереження, багато аспектів цієї технології ще потребують додаткового дослідження та розробки. Впровадження таких систем вимагає значних ресурсів, спеціалізованих знань та координації зусиль. Саме тому розробка та впровадження ефективних систем акустичного спостереження автомобільного руху є актуальною проблемою, вирішення якої вимагає всестороннього дослідження.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ПРОБЛЕМИ

1.1 Акустичні характеристики випромінювання автомобілів

Забезпечення безпеки дорожнього руху є пріоритетним завданням для різних сфер суспільного життя, від місцевих урядів до глобальних технологічних компаній. Станом на сьогодні, завдяки стрімкому розвитку технологій, маємо можливість контролювати автомобільний рух, використовуючи різноманітні методи і пристрої. Однією з таких є акустичний контроль, в основі якого лежить аналіз акустичних сигналів, що генеруються автомобілями під час їхнього руху [1].

Технічні засоби спостереження автомобільного руху можуть використовувати різні методи та сенсори для отримання інформації про автомобілі. Одним з таких методів є використання акустичного спостереження, яке базується на аналізі звукових характеристик автомобілів.

Акустичні характеристики випромінювання автомобілів можуть включати рівень випромінювання і діапазон частот. Рівень випромінювання визначається силою звукового сигналу, що випромінюється автомобілем. Цей рівень може бути виміряний в децибелах (дБ) і залежить від відстані до джерела звуку та потужності звукового сигналу. Рівень випромінювання автомобілів може суттєво варіюватися залежно від типу автомобіля, швидкості руху, стану двигуна та інших факторів.

Діапазон частот випромінювання автомобілів визначає діапазон частот, які використовуються в звуковому сигналі. Зазвичай автомобільні двигуни та випускні системи генерують широкий спектр звукових частот, які можуть включати низькі (наприклад, десятки герц) і високі (наприклад, кілька

кілогерц) частоти. Точний діапазон частот може залежати від типу двигуна, режиму роботи та інших факторів.

Важливо відзначити, що акустичні характеристики випромінювання автомобілів можуть різнитися в залежності від моделі, року випуску та індивідуальних характеристик кожного конкретного автомобіля.

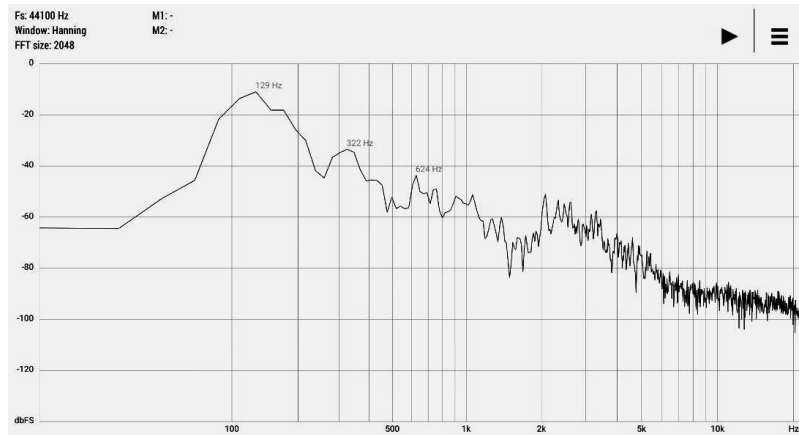


Рис.1.1. Спектри акустичних сигналів Mercedes-AMG G 63
Як видно з спектру дане авто має характерний спектр його піки
130 Гц , 320Гц , 630 Гц

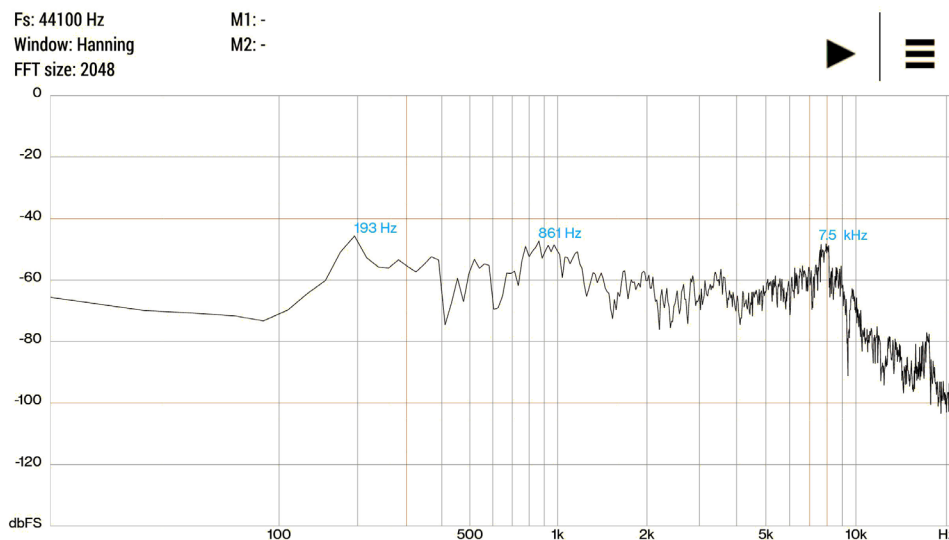


Рис. 1.2 Спектри акустичних сигналів mazda 6

Авто має характерний спектр в частотах 193 Гц - 850Гц – 7500 Гц

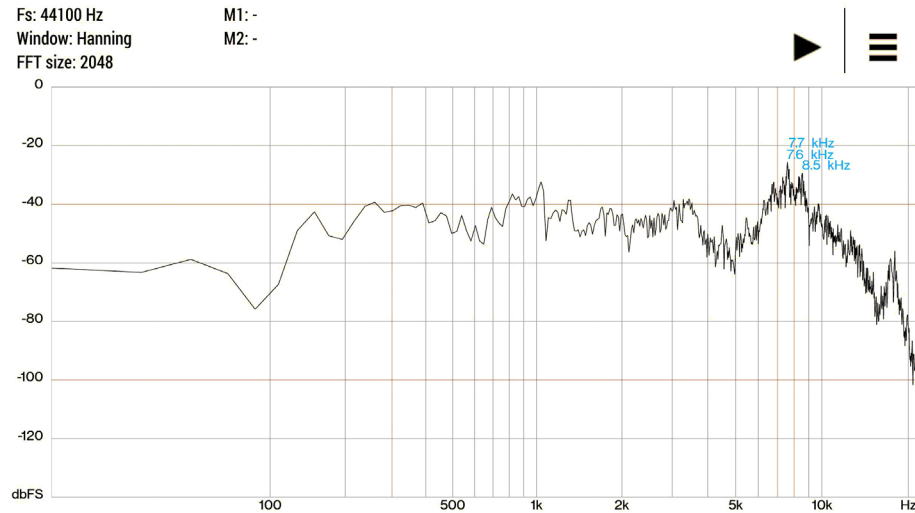


Рис. 1.3 Спектри акустичних сигналів skoda fabia

Авто має характерний спектр в частотах

1000 Гц - 7500 Гц - 8500 Гц

Спектри вантажівок

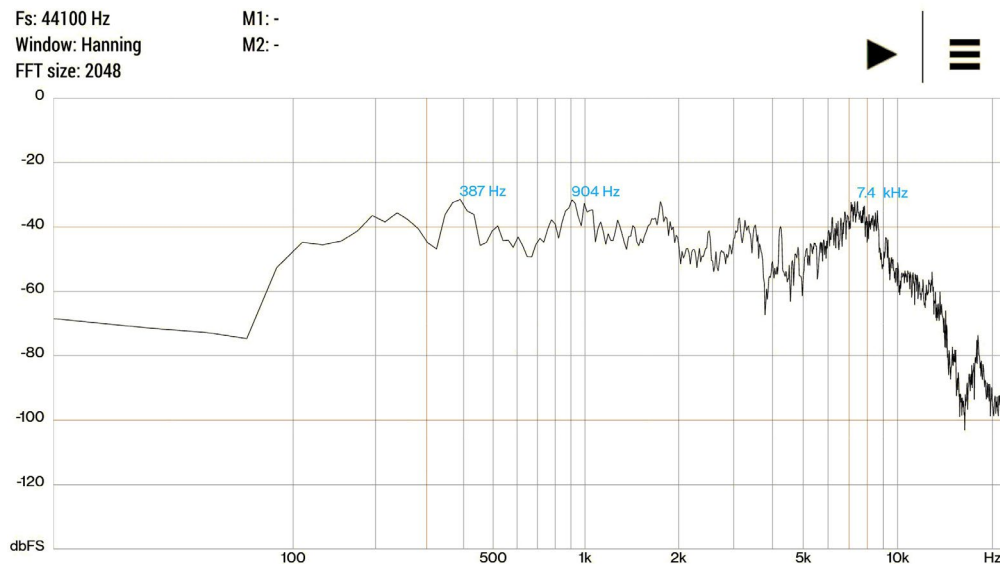


Рис. 1.4 Спектри акустичних сигналів man f90

Вантажівка має характерний спектр в частотах

390 Гц - 900 Гц - 7500 Гц

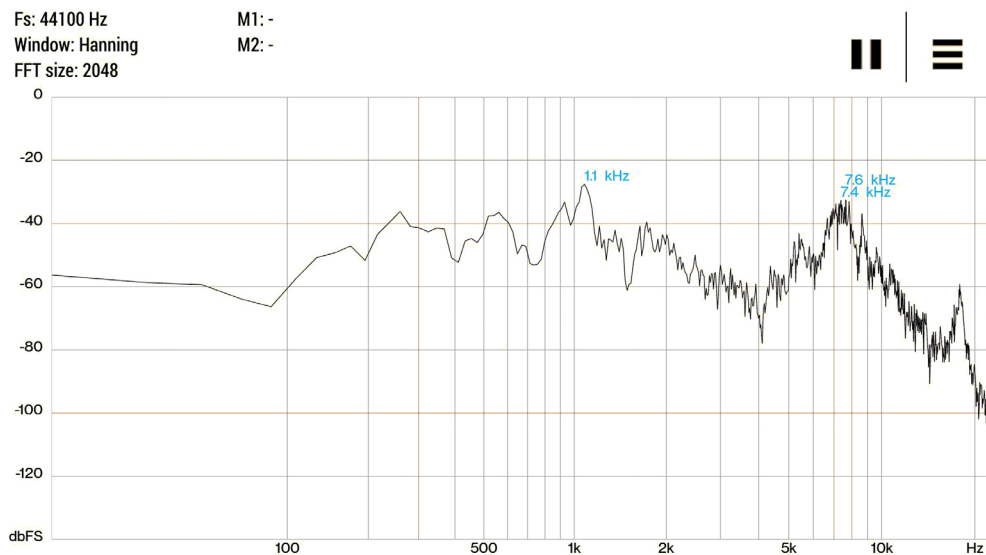


Рис. 1.5 Спектри акустичних сигналів scania r

Виражені домінанти частот: 1100 Гц - 7500 Гц

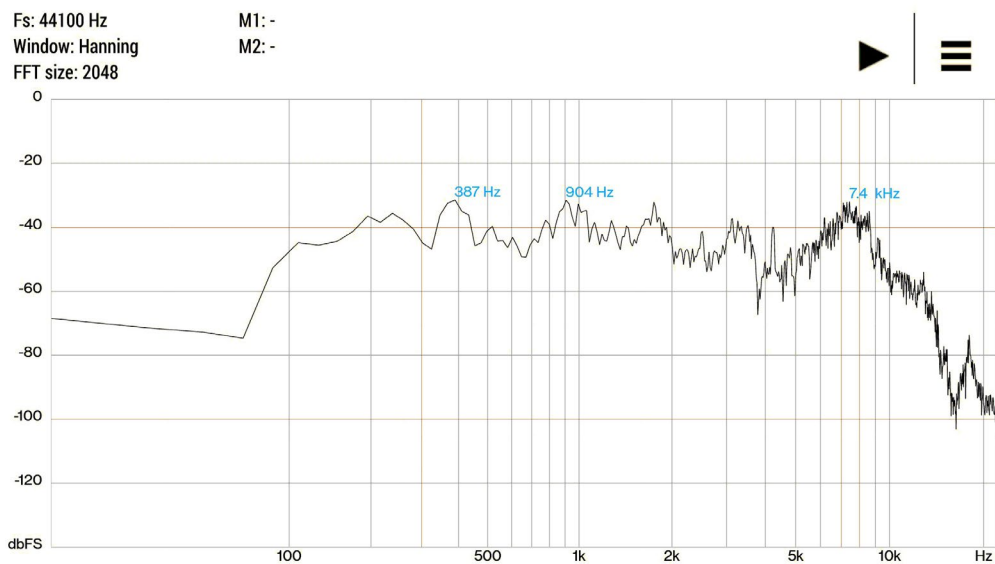


Рис. 1.6 Спектри акустичних сигналів volvo fh520

Виражені домінанти частот:

390 Гц - 900 Гц - 7500 Гц

Тепер розглянемо мототранспорт:

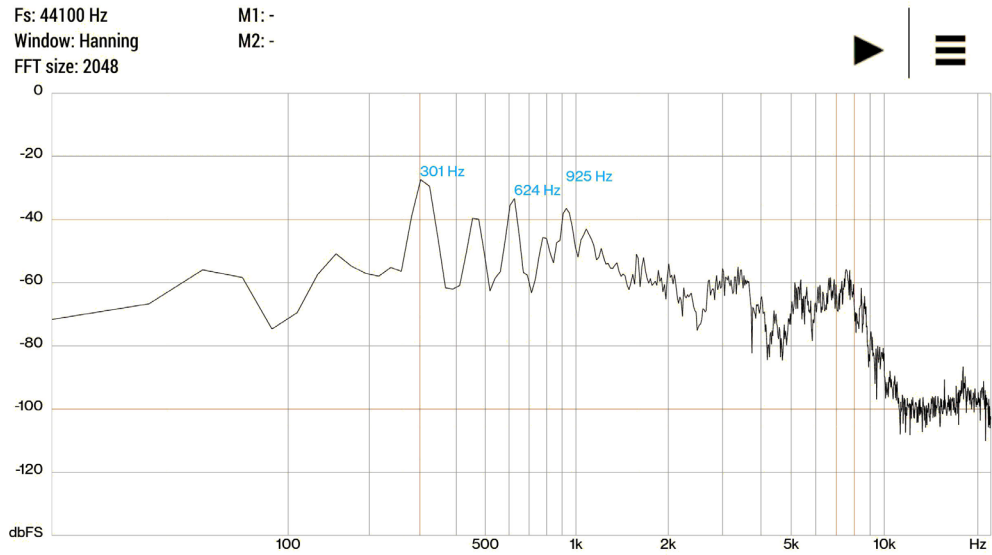


Рис. 1.7 Спектри акустичних сигналів уамаһа r1m Виражені домінанти частот: 320 Гц - 560 Гц - 880 Гц

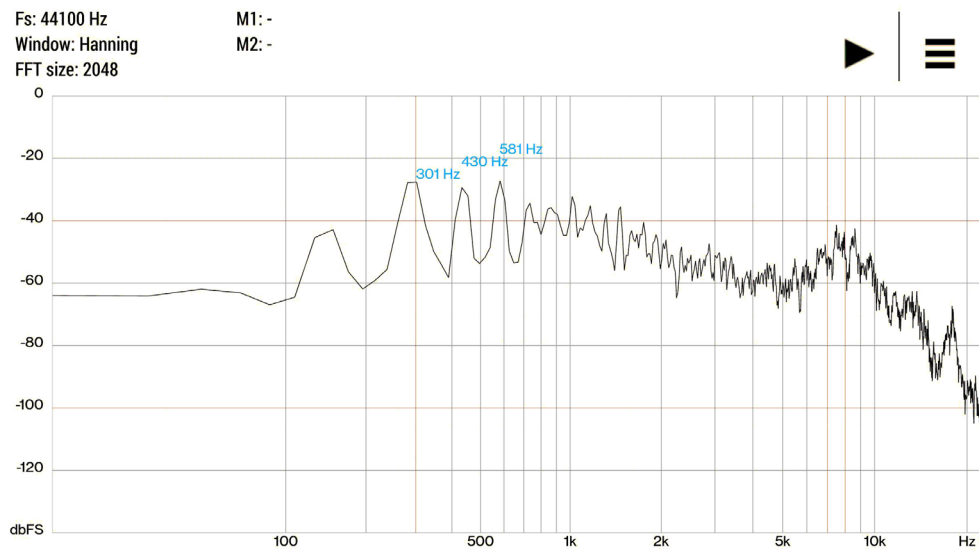


Рис. 1.8 Спектри акустичних сигналів suzuki gsxr1000

Виражені домінанти частот: 301 Гц - 430 Гц - 580 Гц

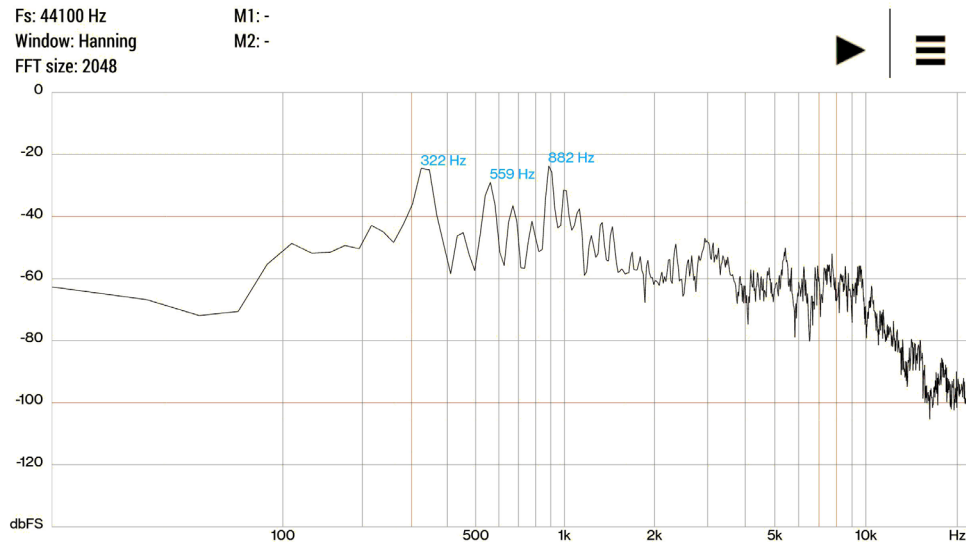


Рис. 1.9 Спектри акустичних сигналів kawasaki ninja zx10r

Виражені доміанти частот:

301 Гц - 620 Гц - 925 Гц

Те, що поєднує всі вказані транспортні засоби (автомобілі, вантажівки, мотоцикли), це їхнє звукове випромінювання, яке є результатом роботи двигуна, випускної системи та інших компонентів. Кожен транспортний засіб має свій унікальний звуковий слід, який можна ідентифікувати за доміантними частотами, вказаними в аналізі.

Однак, кожен транспортний засіб також має свої відмінності в звуковому випромінюванні. Це залежить від багатьох факторів, таких як конструкція двигуна, тип випускної системи, дизайн транспортного засобу та його функціональне призначення. Наприклад, автомобілі Mercedes-AMG G 63, Mazda 6 і Skoda Fabia [Рис. 1.1-1,3] мають різні доміантні частоти, що відображає їхні індивідуальні особливості. Те ж саме стосується вантажівок, де MAN F90, Scania R і Volvo FH520 мають різні доміантні частоти.

Крім того, мотоцикли, такі як Yamaha R1M, Suzuki GSXR1000 і Kawasaki Ninja ZX10R, [Рис. 1.6-1.9] також відрізняються в своєму звуковому випромінюванні, вказуючи на їхні унікальні характеристики.

Всі транспортні засоби мають загальну особливість - звукове випромінювання, кожен з них відрізняється своїми характеристиками звукового сигналу, що дозволяє визначити їхню марку, модель або тип на основі аналізу домінантних частот.

Аналіз спектрів звукових характеристик вантажівок виявляє характерний пік приблизно в 7,5 кГц. Ця особливість може мати кілька можливих пояснень:

Характерний пік в 7,5 кГц [Рис. 1.4-1,6] може бути пов'язаний з випускною системою вантажівок. Це можуть бути випускні гази або інші компоненти, що створюють звукові коливання в цьому діапазоні частот.

Деякі компоненти двигуна вантажівок можуть генерувати звукові коливання в діапазоні 7,5 кГц. [Рис. 1.4-1,6] .

Різні моделі вантажівок можуть мати свої особливості звукового випромінювання, пов'язані з конструкцією, матеріалами та іншими факторами. Характерний пік в 7,5 кГц може бути характерним саме для цієї [Рис. 1.4-1,6] моделі вантажівки.

Ці особливості спектрів звукових характеристик вантажівок можна використовувати для акустичного спостереження автомобільного руху, зокрема:

Порівняння характерних піків частот вантажівок з іншими транспортними засобами може допомогти відрізнити їх на дорозі. Наприклад, якщо спостерігається пік приблизно в 7,5 кГц, це може служити індикатором наявності або наближення вантажівки.

Аналіз спектрів звукових характеристик вантажівок може допомогти класифікувати їх за типом, розміром або моделлю. Різні моделі вантажівок можуть мати відмінні характеристики спектрів, що дає можливість визначати конкретну модель за її звуковим сигнатурою.

Особливості спектрів звукових характеристик вантажівок можуть бути використані для більш точного та ефективного акустичного спостереження автомобільного руху.

Акустичний контроль дозволяє використовувати звукові характеристики автомобілів для визначення різноманітних параметрів. По інтенсивності шуму двигуна можна зробити висновок про швидкість автомобіля: гучніший шум зазвичай відповідає вищій швидкості руху [2]. Аналізувати також можна звук гальм, який може свідчити про те, що автомобіль гальмує або навіть про надзвичайну ситуацію на дорозі [3].

Важливим аспектом є те, що різні моделі автомобілів виробляють різні звукові сигнали. Це дає можливість не тільки визначити присутність автомобіля, але і, за допомогою складного аналізу звукового спектру, визначити тип автомобіля, його марку або навіть модель [3]. Пристрої, розроблені для цього, зазвичай використовують алгоритми машинного навчання для розпізнавання певних характеристик в акустичних сигналах, що отримані від автомобілів.

Також варто враховувати, що на звукові сигнали, які генеруються автомобілями, можуть впливати різні зовнішні фактори, такі як оточуючий шум, атмосферні умови або характеристики дорожнього покриття. У зв'язку з цим, важливим є вивчення впливу цих факторів на акустичні сигнали і розробка методів компенсації цих впливів для підвищення точності акустичного контролю автомобільного руху [4].

1.2 Акустичні системи спостереження за автомобільним рухом

Досліджуючи наукові статті можна розглянути наступні:

IDMT-Traffic: An Open Benchmark Dataset for Acoustic Traffic Monitoring Research[5] – ця стаття представляє новий відкритий набір даних для

дослідження акустичного спостереження за трафіком, що містить 2,5 години стереоаудіозаписів 4718 подій проїзду автомобілів. Вона також надає детальний огляд недавніх алгоритмів акустичного спостереження за трафіком.

Документ описує два експерименти, проведені для оцінки акустичного моніторингу трафіку за допомогою набору даних IDMT-Traffic.

Експеримент 1 - Класифікація типу транспортного засобу. Цей експеримент розглядає сценарій класифікації на чотири класи, включаючи три типи транспортних засобів (автомобілі, вантажівки та мотоцикли) та клас без транспортних засобів, який включає патчі спектрограм без проїжджаючих транспортних засобів. Для перших трьох класів патчі центруються навколо анотованих часів проїзду. Патчі без транспортних засобів випадково вибиралися між анотованими проїздами транспортних засобів у аудіозаписах набору даних IDMT-Traffic.

Експеримент 2 - Оцінка напрямку руху. У цьому експерименті оцінюється продуктивність архітектури MobileNetMini на особливостях перехресної кореляції для виявлення напрямку руху. Тут вони включають патчі з різних типів транспортних засобів для класів "зліва направо" та "справа наліво" та додають патчі без транспортних засобів як третій клас для моделювання завдання виявлення.

Ще одна стаття Spatial Deep Deconvolution U-Net for Traffic Analyses with Distributed Acoustic Sensing[6] - ця розглядає використання Розподіленого Акустичного Сенсору (DAS), який перетворює міські оптоволоконні кабелі в масштабну мережу датчиків навантаження, для аналізу трафіку. Авторами пропонується новий підхід до аналізу трафіку за допомогою Розподіленого Акустичного Сенсору (DAS). Розроблено нову модель глибокого навчання, яка називається Spatial Deep Deconvolution U-Net (SDDU-Net), для аналізу даних, отриманих від DAS. Ця модель використовує

просторову деконволюцію для відновлення високочастотних сигналів, які були втрачені під час процесу відбору.

SDDU-Net було протестовано на реальних даних і показало високу точність в розпізнаванні різних типів транспортних засобів, включаючи автомобілі, вантажівки та мотоцикли. Використання DAS для аналізу трафіку може бути ефективним рішенням для моніторингу трафіку в реальному часі на великих масштабах, оскільки воно використовує існуючу інфраструктуру оптоволоконних кабелів. Однак, є деякі обмеження, такі як необхідність великої кількості даних для тренування моделі і виклики, пов'язані з обробкою великих об'ємів даних. У майбутньому, автори планують вдосконалити модель SDDU-Net, включаючи використання більш складних архітектур глибокого навчання, а також розширення її застосування до інших областей, таких як моніторинг стану доріг і виявлення аварій.

Improved Vehicle Sub-type Classification for Acoustic Traffic Monitoring [7] - ця стаття розглядає завдання акустичної класифікації підтипів автомобілів, де акустичні сигнали класифікуються на 4 класи: автомобіль, вантажівка, мотоцикл та без автомобіля. Вони використовували глибокі нейронні мережі (DNN) для класифікації, і результати показали, що цей підхід є ефективним. Вони також виявили, що використання аугментації даних може поліпшити результати класифікації.

Turning Traffic Monitoring Cameras into Intelligent Sensors for Traffic Density Estimation [8] - ця стаття пропонує рамки для оцінки щільності трафіку за допомогою некаліброваних камер спостереження за трафіком. Вони використовують методи машинного навчання для аналізу зображень з камер і оцінки щільності трафіку. Цей підхід показав обіцяючі результати в

експериментах, але потребує подальшого вдосконалення і тестування на різних типах доріг і при різних умовах освітлення.

Adaptive Load-Aware Sampling for Network Monitoring on Multicore Commodity Hardware[0] - В цій статті представлено новий адаптивний алгоритм вибірки для моніторингу мережі на багатоядерному апаратному забезпеченні. Алгоритм адаптується до навантаження мережі і вибирає максимальну кількість пакетів, які система DPI може обробити. Експерименти показали, що цей підхід може забезпечити високу продуктивність і точність моніторингу мережі.

Щодо ринку технологій для спостереження за автомобільним рухом є багато виробників та постачальників. Ось декілька з них:

FLIR Systems – ця компанія виробляє термальні камери, які можуть виявляти теплові сигнатури автомобілів, незалежно від умов освітлення або погоди.

Sensys Networks – виробляє бездротові датчики, які вбудовуються в дорожнє покриття для виявлення присутності та швидкості автомобілів.

Kapsch TrafficCom – пропонує рішення для електронного збору плати за проїзд, управління трафіком, безпеки, комерційного транспорту та міського транспорту.

Аналіз фізичних принципів і відомих інженерних рішень.

Радари використовуються для виявлення та відстеження об'єктів на дорозі. Вони працюють за принципом відбиття радіохвиль від об'єктів. Радари можуть визначати швидкість, напрямок та відстань до автомобілів.

Відеокамери встановлюються над дорогами для зйомки трафіку. За допомогою алгоритмів комп'ютерного зору та машинного навчання

зображення аналізуються для виявлення автомобілів, визначення їх типу, швидкості, напрямку руху тощо.

Індуктивні петлі – це провідники, закопані під поверхнею дороги, які створюють магнітне поле. Коли автомобіль проїжджає над петлею, він змінює це магнітне поле, що дозволяє виявити наявність автомобіля.

Акустичні сенсори використовують звукові хвилі для виявлення автомобілів. Вони можуть визначати швидкість та напрямок руху автомобіля за зміною частоти звуку (ефект Доплера).

Використання лазерних сканерів (LIDAR) – використовує імпульси лазерного світла для визначення відстані до об'єкта або поверхні. Це дозволяє створювати детальні 3D-моделі дорожнього середовища та виявляти автомобілі.

Використання технології RFID: RFID-мітки можуть бути встановлені на автомобілях, а RFID-читачі - біля доріг. Коли автомобіль проїжджає повз читач, мітка передає унікальні

Сучасні системи контролю та моніторингу автомобільного руху переживають епоху глобальних змін, навігаційні технології та технології відстеження стрімко розвиваються. Це сприяє виникненню нових механізмів та алгоритмів, які забезпечують високу точність визначення положення транспортних засобів, їх швидкості та напрямку руху. У свою чергу, такі технології можуть використовуватися для створення ефективних систем моніторингу трафіку, які спроможні автоматично виявляти та реагувати на різні аномалії або неправильні дії водіїв [10].

Головним детектором звукового випромінювання є мікрофон, який перетворює енергію звукових хвиль на електричні імпульси



Рис. 1.10 Вимірювач шуму UNI-T UT352

Характеристики:

- Дисплей РК дисплей з аналоговою гістограмою, 53 × 41 мм,
- Діапазон звуку:
 - 30~80 дБ,
 - 50~100 дБ,
 - 60~110 дБ,
 - 80~130 дБ,
- Похибка вимірювання звуку $\pm 1,5$ дБ,
- Діапазон частоти від 31,5 Гц до 8000 Гц,
- живлення 4 батареї, 1,5 В ААА,
- Габарити, мм 273 × 70 × 39,
- Вага 330 г.

Приклади технологічних рішень:

TMS-Net — це доплерівський датчик для збору даних про трафік на одній смузі (або двох смугах у протилежних напрямках). Він передає в режимі реального часу швидкість і довжину кожного транспортного засобу на розрахункову станцію.

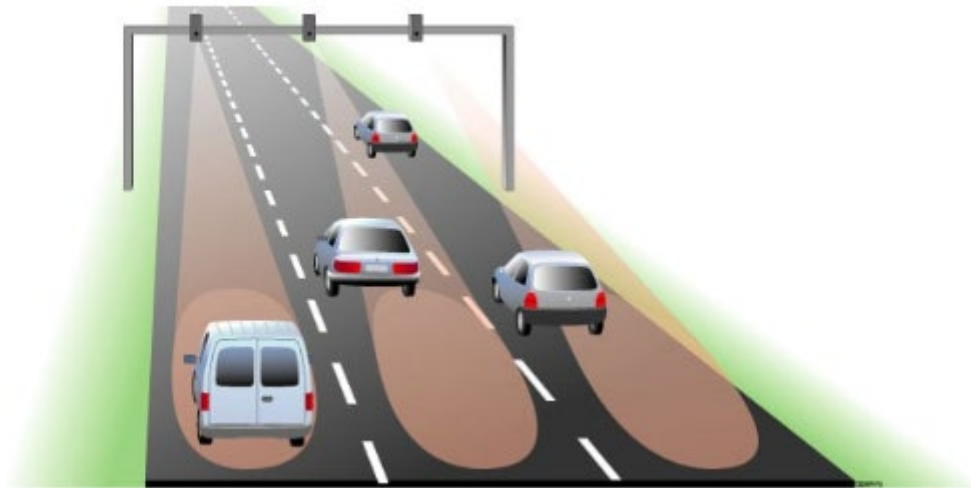


Рис. 1.11 Доплерівський датчик для збору даних

Над землею: ненав'язливий і простий у встановленні на порталах або на узбіччі дороги



Зв'язок RS-232 або RS-485

Дані передаються в режимі реального часу на вимірювальну станцію або систему зберігання

Вимірює від 15 км/год

Компактний та непомітний

Таблиця 1.3.1 Технічні особливості

Частота К-діапазон: 24,125 ГГц	Частота К-діапазон: 24,125 ГГц
Виявлені швидкості від 15 до 250 км/год	Виявлені швидкості від 15 до 250 км/год
Рівень захисту IP65	Рівень захисту IP65
Джерело живлення 10-60 В постійного струму	Джерело живлення 10-60 В постійного струму

Потужність < 1 ВА	Потужність < 1 ВА
Потужність передачі < 5 мВт	Потужність передачі < 5 мВт
Робоча температура від – 40°C до +75°C	Робоча температура від – 40°C до +75°C
Розмір блоку Д 180 х Ш 90 х 220 мм (без кріплення)	Розмір блоку Д 180 х Ш 90 х 220 мм (без кріплення)
Точність (у разі встановлення відповідно до інструкцій виробника) швидкість : 98 %	Точність (у разі встановлення відповідно до інструкцій виробника) швидкість : 98 %
кількість: 98 %	кількість: 98 %

Дослідження транспортного моделювання з використанням портативних лічильників руху MetroCount від RoadPod[®] VT



Рис.1.13 Портативні лічильники руху MetroCount від RoadPod[®] VT [11]

Під час Міжнародної конференції з транспортної інженерії в Белграді минулого року Університет Пітешті представив доповідь про роль даних про дорожній рух у калібруванні математичних моделей у сфері транспортного моделювання. З огляду на широкий спектр факторів, що впливають на попит на транспортні мережі, точні дані про дорожній рух відіграють важливу роль в оцінці тенденцій використання доріг. Дослідники використовували портативні лічильники трафіку MetroCount, щоб базувати свій аналіз на точних реальних умовах дорожнього руху.

Технічні характеристики:

Датчики: Подвійні пневматичні труби

Пам'ять: До 4 мільйонів значень

Час роботи від батареї: До 4 років безперервного використання

Батарея: 6V 18Ah, 4 шт. лужних батарейок типу D

Робочі умови: Від -20°C до 70°C та до 95% вологості

Корпус: Нержавіючий металевий корпус та водонепроникний внутрішній корпус

Розміри: 350мм x 124мм x 95мм

Загальна вага: 4.13кг або 9.12фунтів

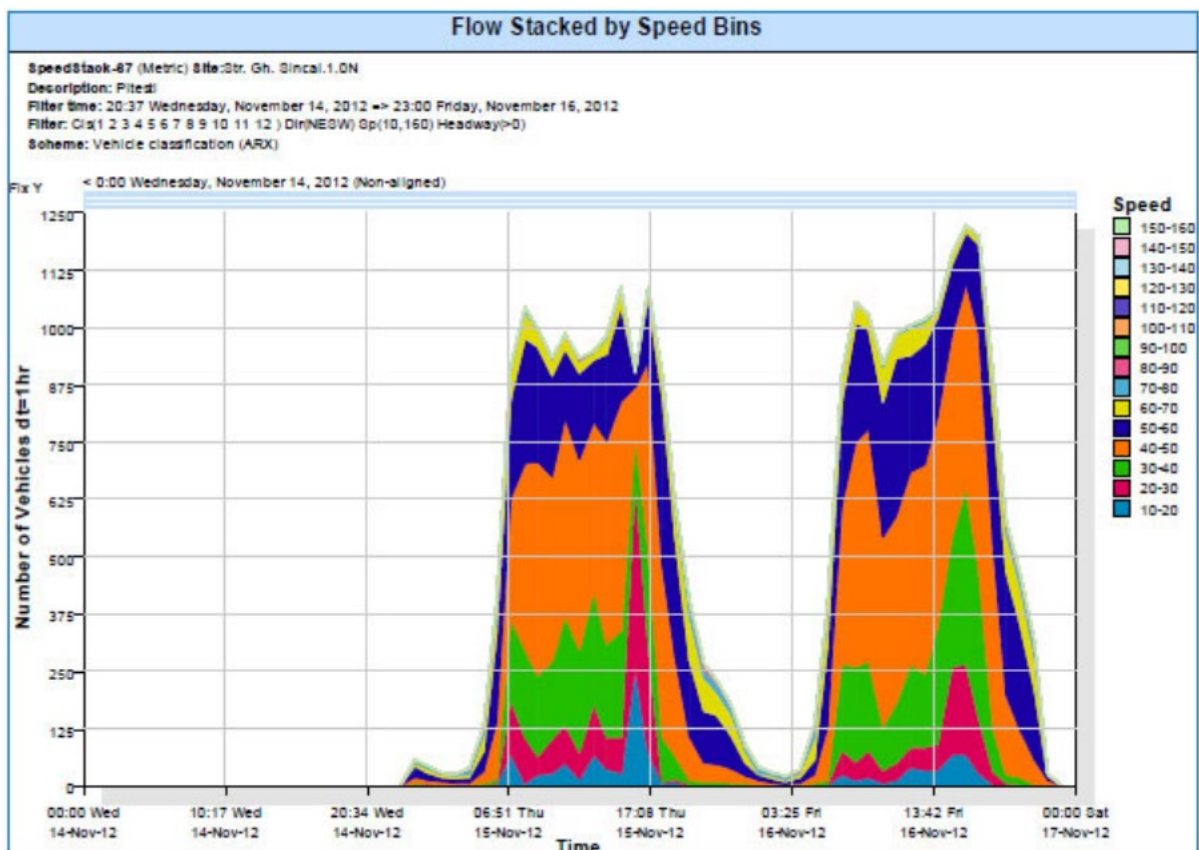


Рис.1.14 [11]

У дослідженні використовувався ряд розширених функцій програмного забезпечення MTE MetroCount, як-от звіт «потік, складений за швидкістю»,

зображений вище. Автори звітів високо оцінили глибину системи MetroCount для детального аналізу трафіку.

Таблиця 1.1 [11]

Лічильник	Модель	мобільний	Виправлено	використання
 RoadPod® VT	VT5900	✓		
 RoadPod® VT4	VT4 5904	✓		
 RidePod® BT	BT5926	✓		
 RoadPod® PhaseT	MC5712	✓		
 RoadPod® VP	VP5910		✓	
 RidePod® BP	BP5920		✓	
 RoadPod® VL	VL5805 VL5810		✓	
 MC Piezo Test	MC5740		✓	

Ще на ринку присутні:

Sensys Networks спеціалізується на розробці та виробництві бездротових сенсорних мереж для моніторингу трафіку. Вони пропонують рішення на

основі різних технологій, включаючи акустичне спостереження, для збору даних про автомобільний рух.

FLIR Systems є виробником продуктів для транспортного моніторингу, включаючи рішення для акустичного спостереження. Вони пропонують різні моделі датчиків та систем, які можуть вимірювати рух, швидкість та інші параметри автомобілів.

Сучасні тенденції у засобах контролю автомобільного руху, включають наступні напрямки:

1. Використання сенсорів із застосуванням технологій машинного зору, радарів, акустики та інших датчиків для збору даних про рух транспорту.
2. Розробка та впровадження систем автоматичного розпізнавання номерних знаків для контролю транспортного потоку та забезпечення безпеки.
3. Використання аналітики даних та штучного інтелекту для обробки та аналізу інформації про транспортний потік з метою оптимізації руху, виявлення проблемних ділянок і прогнозування тенденцій.
4. Розвиток технологій зв'язку та інформаційних систем для взаємодії між транспортними засобами, дорогами та інфраструктурою, що дозволяє покращити ефективність управління рухом.
5. Впровадження електромобілів та розвиток інфраструктури для їх зарядки з метою зменшення викидів шкідливих речовин та поліпшення екологічної стійкості транспорту.

З іншого боку, використання акустичних сенсорів для спостереження за автомобільним рухом відкриває нові можливості в області інтелектуальних транспортних систем. Акустичні сенсори можуть детектувати звукові сигнали, вироблені автомобілями, та аналізувати їх для отримання цінної

інформації про стан руху, для визначення швидкості або виявлення аварійних ситуацій. Такі системи можуть бути вкрай корисними у міських умовах, де вони можуть допомагати в управлінні трафіком і покращенні безпеки дорожнього руху [12].

1.3 Особливості розповсюдження звуку в повітрі на дорозі

Особливості розповсюдження звуку в повітрі на дорозі залежать від ряду факторів, включаючи температуру, вологість, інтенсивність дорожнього руху та швидкість вітру.

Швидкість звуку в повітрі збільшується при збільшенні температури. Це відбувається тому, що молекули повітря рухаються швидше при вищих температурах, що прискорює передачу звукових хвиль.

Звук розповсюджується швидше в вологому повітрі, ніж в сухому, оскільки водяні молекули зменшують масу середньої молекули повітря, що дозволяє звуковим хвилям рухатися швидше.

Інтенсивність дорожнього руху може впливати на якість розповсюдження звуку. Велика кількість автомобілів може створювати шум, який перешкоджає розповсюдженню звуку.

Вітер може впливати на напрямок розповсюдження звуку. Звук може розповсюджуватися швидше в напрямку вітру і повільніше проти вітру.

Ці фактори взаємодіють один з одним, що робить розповсюдження звуку в повітрі на дорозі складним процесом. Для точного моделювання цього процесу можуть знадобитися додаткові дані та більш детальні розрахунки.

У повітрі на дорозі розповсюдження звуку супроводжується різними фізичними явищами, такими як рефракція, дифракція та поглинання.

Особливості цих процесів впливають на поширення звукових хвиль і мають значний вплив на сприйняття звуку людиною.

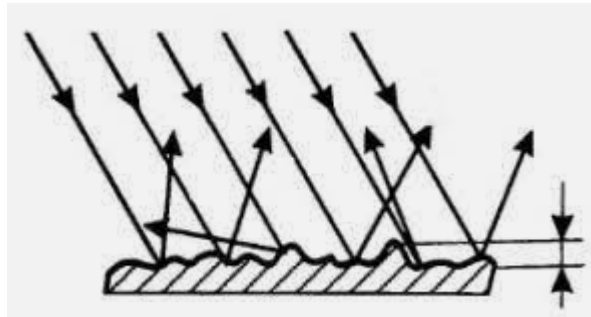


Рис. 1.15 Рефракція

Рефракція - відбувається тоді, коли звукова хвиля змінює свій напрямок при переході з одного середовища в інше через зміну швидкості звуку. На дорозі звук може зазнавати рефракції при зустрічі з поверхнею дороги, стінами будівель або іншими перешкодами. Це може спричиняти відхилення звуку від прямолінійного поширення і призводити до його відбиття або збокуватості.

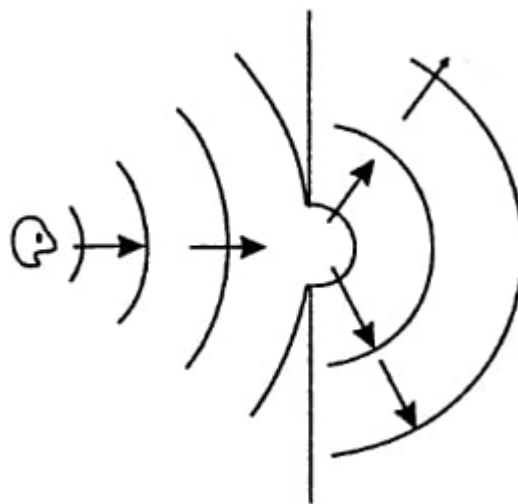


Рис. 1.16 Дифракція

Дифракція — є явищем поширення звукових хвиль навколо перешкоди або через вузький проміжок. На дорозі, коли звук зустрічає перешкоду, таку як автомобіль, дерево або будь-який інший об'єкт, він

може обходити цю перешкоду, "пригинаючись" навколо неї. Це пояснює, чому звук може бути чутним навіть за кутом або за поворотом дороги.



Рис. 1.17 Поглинання

Поглинання - звуку відбувається через втрату енергії звукових хвиль при їх поширенні. Різні матеріали та поверхні можуть поглинати звукову енергію в різних ступенях. На дорозі, наприклад, асфальт, бетон або інші гладкі поверхні можуть відбивати більшу частину звуку, тоді як трава, дерева або інші абсорбуючі матеріали можуть поглинати частину звуку.

Дослідження особливостей звукових хвиль у повітрі на автомобільних дорогах відіграє важливу роль у розумінні проблем шуму та його впливу на навколишнє середовище. Згідно з [13], звукові хвилі, що поширюються в повітрі, можуть бути виміряні та проаналізовані за допомогою акустичних датчиків та мережевих систем. Дослідження, проведені у [1], показують, що мережі акустичних датчиків можуть бути ефективним

інструментом для моніторингу шуму на автомобільних дорогах у режимі реального часу.

Звук як фізичне явище є коливальним рухом, що поширюється у пружному середовищі (газоподібному, рідинному або твердому). Звук, а отже й шум, характеризується наступними параметрами: швидкістю поширення (c) у метрах на секунду; частотою (f) у герцах; звуковим тиском (p) у паскалях; інтенсивністю (I) у ватах на квадратний метр.

Швидкість поширення звуку залежить від характеристик середовища, у якому він розповсюджується. У газоподібних середовищах швидкість звуку (c) обчислюється за формулою:

$$c = \sqrt{\frac{\chi P}{\rho}}, \quad (1.1)$$

де χ - показник адіабати ($\chi = 1,44$), P - тиск газу, ρ - його густина.

При нормальних атмосферних умовах ($T = 293 \text{ К}$ і $P = 1034 \text{ гПа}$) швидкість звуку в повітрі становить $c = 344 \text{ м/с}$.

Частота звуку визначається кількістю коливань пружного середовища за одиницю часу і вимірюється в герцах (1 Гц означає одне коливання за секунду). Залежно від частоти, звукові (акустичні) коливання поділяються на три діапазони: інфразвуковий з частотою менше 20 Гц, звуковий (сприймається органом слуху людини) від 20 до 20 000 Гц, ультразвуковий - понад 20 000 Гц. У свою чергу, звуковий діапазон зазвичай поділяють на низькочастотний - до 400 Гц, середньочастотний - 400-1000 Гц і високочастотний - понад 1000 Гц.

Рівні сили звуку (шуму) від деяких джерел, що його генерують

Таблиця 1.2 [14]

Джерело звуку (шуму)	Рівень звуку (шуму), дБ	Джерело звуку (шуму)	Рівень звуку (шуму), дБ
Шелестіння листя	10	Шум при роботі верстатів-автоматів	80
Тікання кишенькового годинника на відстані 1 м	20	Гучний крик на відстані 1 м	90
Шепіт на відстані 1 м	30	Концерт рок-ансамблю	100—110
Шепіт на відстані 0,3 м	40	Відбійний молоток	110
Спокійна розмова на відстані 1 м	50	Літак на старті	120
Шум автомобіля	60	Ракета на старті	120
Вуличний шум міста	70		

У приміщеннях, в яких знаходяться кілька джерел шуму, загальний його рівень визначається за формулами (1.2) та (1.3).

Якщо в приміщенні знаходиться n однакових джерел з рівнем шуму кожного дБ, то сумарний рівень дБ у рівновіддаленій від джерел точці приміщення становитиме:

$$L_1 = L + 10 \lg n \text{ дБ, (1.2)}$$

Значення Дб від кількості джерел наведені нижче.

Значення добавки до сили шуму одного джерела в залежності від кількості однакових джерел шуму Таблиця 1.2 [14]

Кількість джерел шуму, n	1	2	3	4	5	6	8	10	20	30	40
Значення добавки $10 \lg n$, дБ	0	3	5	6	7	8	9	10	13	15	16

При одночасній дії двох різних джерел з рівнями сили шуму L_1 та L_2 сумарний рівень становить:

$$L_1 = L_1 + \Delta L \text{ дБ, (1.3)}$$

Таблиця 1.3 [14] Значення добавки при дії двох різних джерел шуму

Різниця рівнів сили шуму $L_1 - L_2$, дБ	0	1	2	3	4	5	6	9
Значення добавки ΔL , дБ	3,0	2,5	2,0	1,8	1,5	1,2	1,0	0,5

При більшому ніж 2 числі джерел шуму підсумовування за формулою (1.4.3) здійснюється послідовно від найбільшого до найменшого. Якщо різниця рівнів сили шуму двох джерел є більшою, ніж 6-8 дБ, то рівнем сили шуму меншого з них можна знехтувати.

1.4 Вихідні дані для розробки системи акустичного спостереження

В підпункті 1.1 отримано параметри акустичного випромінювання різних видів транспорту.

Для розробки системи для акустичного спостереження автомобільного руху потрібно використовувати наступні вихідні дані:

1. Частотні домінанти спектрів різних типів автомобілів:

- Mercedes-AMG G 63: 130 Гц - 320 Гц - 630 Гц
- Mazda 6: 193 Гц - 850 Гц - 7500 Гц
- Skoda Fabia: 1000 Гц - 7500 Гц - 8500 Гц

2. Частотні домінанти спектрів різних вантажівок:

- MAN F90: 390 Гц - 900 Гц - 7500 Гц
- Scania R: 1100 Гц - 7500 Гц
- Volvo FH520: 390 Гц - 900 Гц - 7500 Гц

3. Частотні домінанти спектрів різних мотоциклів:

- Yamaha R1M: 320 Гц - 560 Гц - 880 Гц
- Suzuki GSXR1000: 301 Гц - 430 Гц - 580 Гц
- Kawasaki Ninja ZX10R: 301 Гц - 620 Гц - 925 Гц

Ці дані можна використовувати як основу для розробки алгоритмів акустичного спостереження автомобільного руху. Вони дають інформацію про характерні спектри різних типів транспортних засобів, яку можна використовувати для ідентифікації автомобілів або визначення їхнього руху на основі акустичних сигналів.

Низькочастотний звук (піки в низькочастотному діапазоні, наприклад, 130 Гц) мають більшу дальність поширення і можуть бути зафіксовані на більшій відстані. Це особливо стосується автомобілів з потужними двигунами, як Mercedes-AMG G 63. Низькочастотний звук може мати глибший і багатший звуковий спектр, який сприяє його відчутній присутності.

Високочастотний шум (піки в високочастотному діапазоні, наприклад, 7500 Гц) можуть бути більш поглинуті перешкодами, такими як будівлі, дерева або інші структури. Це може пояснювати, чому високочастотний шум менш помітний на відстані. Для автомобілів, таких як Mazda 6 або Skoda Fabia, ці піки вказують на високочастотні компоненти звуку, які можуть бути менш помітними на великих відстанях або в шумних середовищах.

Фізичні особливості автомобілів, вантажівок і мотоциклів можуть впливати на їхні звукові характеристики. Наприклад, вантажівки, як MAN F90 і Volvo FH520, можуть мати подібні низькочастотні піки, що пов'язано з їхнім великим розміром і використанням потужних двигунів. Мотоцикли, з іншого боку, такі як Yamaha R1M, Suzuki GSXR1000 і Kawasaki Ninja ZX10R, можуть мати вищі піки в середньочастотному діапазоні, що може бути пов'язано з їхніми специфічними конструкціями двигуна і вихлопної системи. Тому за рахунок сильно виражених низьких і середніх частот мотоцикли чути досить далеко.

На основі наданих даних про частотні спектри різних типів транспортних засобів, включаючи легкові автомобілі, вантажівки і мотоцикли, рекомендований діапазон частот для акустичного моніторингу автомобільного руху може бути наступним:

1. Смуга частот випромінювання НТЗ

Як вже зазначили, ця смуга може бути в межах (50–8000) Гц. Це дозволить пристрою виявляти широкий спектр звуків, що випромінюються різними типами транспортних засобів.

2. Рівень випромінювання НТЗ

Цей показник залежить від конкретного середовища використання пристрою. Для густонаселених міських зон рівень може бути вищим, наприклад, 90 дБ. Для менш шумних сільських або прибережних зон рівень може бути нижчим, наприклад, 70 дБ.

3. Рівень завад у районі спостереження

Цей показник також залежить від середовища використання. В міських зонах рівень завад може бути вищим, наприклад, 60 дБ. В сільській місцевості рівень завад може бути нижчим, наприклад, 30 дБ.

4. Дальність виявлення

Для цивільних пристроїв дальність виявлення може бути меншою, ніж для військових. Наприклад, дальність виявлення може бути в межах 100-500 метрів, в залежності від конкретних вимог до пристрою.

5. Точність виявлення

Цивільні пристрої можуть вимагати високої точності виявлення, особливо для застосувань, таких як моніторинг трафіку або безпеки

дорожнього руху. Точність виявлення може бути виміряна як відсоток правильно класифікованих транспортних засобів.

Висновки до розділу 1

За допомогою наукової літератури були вивчені технології та методи, що застосовуються для вимірювання акустичних характеристик автомобілів. Це включало дослідження різних аспектів, таких як акустичний випромінювач, реєстрація звуку, обробка сигналів та аналіз даних. Відомості з патентів дали інформацію про нові технологічні розробки та винаходи, які стосуються вимірювання акустичних параметрів автомобілів.

На основі проведених розрахунків спектра для різних типів транспорту, аналізу характерних піків та літературного огляду на тему акустичного моніторингу, а також оцінки технологічних рішень компаній, які пропонують системи акустичного моніторингу, ми можемо зробити наступні висновки:

Характерні піки спектра для різних видів транспорту, зокрема легкових автомобілів, вантажівок і мотоциклів, можуть бути ідентифіковані і використовуються для розробки системи акустичного моніторингу автомобільного руху.

Літературний обзор показав, що акустичний моніторинг є актуальною темою досліджень, і внесок різних авторів у розвиток цієї галузі значний. Використання акустичних даних може допомогти в розумінні трафіку, аналізі шумового середовища та покращенні управління дорожнім рухом.

Різні компанії пропонують технологічні рішення для акустичного моніторингу, такі як датчики шуму, доплерівські датчики і портативні

лічильники руху. Оцінка цих технологій дозволяє вибрати оптимальний пристрій для системи акустичного моніторингу автомобільного руху.

Розробка системи для акустичного спостереження автомобільного руху може базуватися на розрахунках спектрів різних типів транспорту, аналізі характерних піків, врахуванні вимог до точності та технічних можливостях пристроїв.

Акустичний моніторинг автомобільного руху є важливою галуззю досліджень, і використання акустичних даних може внести значний внесок у вивчення трафіку, покращення управління дорожнім рухом та оцінку шумового середовища.

Дослідження ринкових трендів дозволило визначити актуальні напрямки розвитку та застосування технічних приладів для контролю автомобільного руху. Були вивчені відгуки від виробників, споживачів та експертів, що дозволило зрозуміти, які функції та характеристики вимагаються на ринку.

В цілому, аналіз літератури, патентів та ринкових трендів підтвердив, що сучасні технічні прилади для контролю автомобільного руху значно покращили можливості вимірювання акустичних характеристик автомобілів. Це означає, що застосування таких приладів може забезпечити більш точні і надійні дані про автомобільний рух, що важливо для розробки пристрою акустичного спостереження автомобільного руху.

Сучасні засоби контролю автомобільного руху все частіше використовують бездротові технології для передачі даних між датчиками та системами збору і обробки інформації. Це дозволяє спростити установку та підтримку системи, зменшити складність провідних з'єднань і забезпечити більшу гнучкість в розміщенні датчиків.

Ще одна тенденція в сучасних засобах контролю автомобільного руху - це обробка сигналів в реальному часі. Завдяки швидкому розвитку обчислювальних технологій та алгоритмів обробки сигналів, системи можуть аналізувати та інтерпретувати дані майже миттєво. Це дає можливість оперативно реагувати на зміни у дорожніх умовах та виявляти потенційні небезпеки.

Засоби контролю автомобільного руху все більше використовують інтелектуальні алгоритми для аналізу та обробки отриманих даних. Це включає в себе використання штучного інтелекту, машинного навчання та аналізу даних для виявлення патернів, класифікації транспортних засобів, прогнозування руху та інших завдань. Застосування інтелектуальних алгоритмів дозволяє зробити систему контролю автомобільного руху більш автоматизованою та ефективною.

РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА ПРИСТРОЮ АКУСТИЧНОГО СПОСТЕРЕЖЕННЯ ЗА АВТОМОБІЛЬНИМ РУХОМ

2.1 Вибір методу спостереження

Після аналізу шумових характеристик наземних транспортних засобів (НТЗ) та ознайомлення з сучасними методами спостереження, було прийнято рішення про використання пасивних акустичних методів спостереження.

Пеленгація - це процес визначення кутових координат об'єкта, а саме азимуту і кута місця. Азимут - це двогранний кут між напрямком на північ та напрямком на об'єкт у напрямку годинникової стрілки. Кут місця - це кут між напрямком, що проходить через об'єкт, та лінією горизонту.

У сферичній системі координат, коли точка спостереження розташована в центрі, положення об'єкта визначається двома кутами. Для отримання азимутального кута або азимуту об'єкта необхідно зробити відлік в горизонтальній площині від напрямку на північний полюс. В залежності від знаку, кут місця може називатися кутом підвищення (для аеронавтичних об'єктів) або кутом заглиблення (для підводних об'єктів). Методи визначення кутових координат для обох цих кутів у акустичних інформаційних системах (АІС) є однаковими. Визначення кутових координат в АІС виконується з використанням характеристик спрямованості приймачів акустичних хвиль - акустичних антен.

Пасивне акустичне спостереження включає пошук джерел шуму та визначення їх кутових координат. Розглянемо найпоширеніші.

Амплітудний метод, відомий також як метод максимуму прийнятого сигналу. Напрямок пеленгу до об'єкта спостереження визначається шляхом повороту діаграми спрямованості (ДС) приймальної антени в площині пеленгації. ДС приймача цього методу має лише одну пелюстку.

Переваги методу:

- Простота визначення кутових координат;
- Максимум сигнальної функції (СФ) відповідає куту пеленгації;
- Максимальне значення відношення сигнал / завада (СЗ) також відповідає куту пеленгації.

Недоліки методу:

- Велика похибка вимірювання кута;
- Неможливість визначити відхилення об'єкту від осі діаграми спрямованості (ДС).

Амплітудний метод використовується в низькочастотному (НЧ) діапазоні хвиль для визначення азимута на гідролокаційних станціях далекого виявлення, де вимоги до точності вимірювання координат не є особливо жорсткими. Використання цього методу при вимірюванні кута місця в НЧ діапазоні хвиль може привести до значної похибки через рефракцію звукових променів. Для визначення азимута та кута місця амплітудний метод використовується на більш високих частотах. Гостра спрямованість антен в цьому діапазоні дозволяє значно збільшити точність вимірювання кутових координат.

Метод мінімуму прийнятого сигналу. Для визначення кутової координати за допомогою цього методу використовується акустичний приймач з ДС, яка має дві симетричні пелюстки. Вісь антени співпадає з віссю симетрії ДС і є лінією нульового прийому. Поворот ДС приймальної антени дозволяє визначити напрямок на об'єкт.

Теоретично, метод мінімуму має більшу точність в порівнянні з амплітудним методом, але внаслідок присутності шумових перешкод, сигнальна функція (СФ) не дорівнює нулю, через що напрям на об'єкт

спостереження знаходиться в діапазоні кутів. Це не дозволяє зробити точний відлік кута α_0 .

Одним з недоліків методу мінімуму є те, що під час суміщення лінії нульового прийому з об'єктом, сигнали від об'єкта зникають з екрану індикатора. Це є неприпустимим в значній кількості пристроїв, через що метод мінімуму майже не застосовується в локації.

Іншим методом є порівняння прийнятих сигналів. У цьому методі використовуються діаграми спрямованості (ДС) з двома пелюстками, які частково перекривають одна одну. Для визначення кутового положення об'єкту в даному методі порівнюють амплітуди сигналів. В локації широке застосування отримав окремий тип цього методу - рівносигнальний метод. СФ такої антени є симетричною відносно акустичної осі.

Для визначення пеленгу на об'єкт проводяться повороти ДС приймальної антени в площині пеленгації допоки сигнали, отримані з двох напрямків, не будуть однакової амплітуди. У такому випадку, кут α_0 визначається на прогині СФ. Враховуючи, що цей метод надає повну визначеність у напрямку відхилення об'єкта від лінії рівних сигналів, це полегшує завдання слідування за об'єктами. Він знайшов широке застосування в системах автоматичного слідування за рухомими об'єктами, включаючи автомобільний рух.

Фазовий метод вимірювання кутових координат. Цей метод базується на вимірюванні різниці фаз акустичних хвиль, які приймаються двома ідентичними кореляційними приймачами (КП), що розташовані на акустичній базі з протяжністю d . Акустична хвиля падає під кутом α до акустичної бази та досягає дальнього приймача, відносно до ближнього, із просторовим запізненням $\Delta r = d * \sin \alpha$. Кут приходу хвилі (КПХ) на об'єкт α визначається наступним чином:

$$\alpha = \arcsin \left(\frac{\arctg\left(\frac{u_D}{u_\Sigma^*}\right)}{\pi^* \frac{d}{\lambda}} \right). \quad (2.1)$$

Де u_D – різниця сигналів, а u_Σ – сума сигналів.

Цей метод вимагає абсолютної ідентичності амплітудних та частотних характеристик обох каналів і часто використовується в пристроях для автоматичного супроводу об'єктів.

Кореляційні методи обробки є найбільш поширеними в цій області. У поєднанні з методами визначення відстані та швидкості, методи пеленгації дозволяють визначити місце розташування об'єкту в чотиривимірному просторі. Це дуже важливо для ефективного моніторингу автомобільного руху, зокрема, в умовах високої транспортної навантаженості або слабкої видимості.

2.2 Розробка алгоритму локалізації

Під час проектування пристрою для акустичного спостереження автомобільного руху було вибрано кореляційний метод пеленгування шумових джерел випромінювання, який використовує систему з двох точкових приймачів.

Визначення координат об'єкта спостереження виконується на основі вимірюваних значень відносних часових затримок хвиль, які приймаються приймачами пристрою. Найпопулярніший метод визначення відносної часової затримки ґрунтується на зміщенні максимуму взаємної кореляційної функції (ВКФ).

Розглянемо модель локалізації джерела акустичного випромінювання, що використовує два приймачі. Акустична хвиля $x(t)$ поширюється від джерела збудження через два акустичні канали. На виході каналів

розташовані приймачі, які реєструють адитивну суміш $y(t)$ та $z(t)$ акустичного сигналу $x(t)$ та шуму $m(t)$, $n(t)$ (див. рис.2.1).

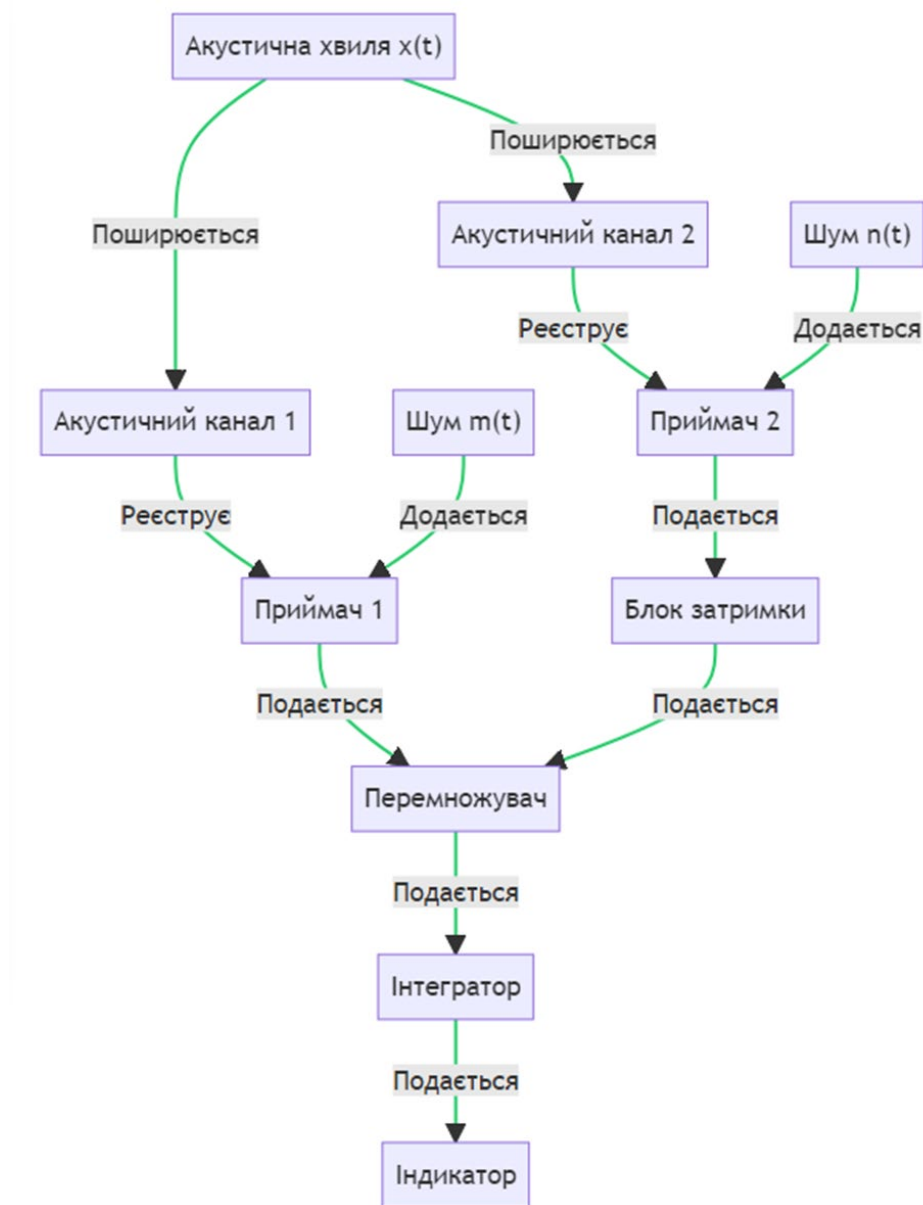


Рис. 2.1 Схема кореляційного пеленгатора

Приймачі 1,2 – ідентичні;

Electret Condenser Microphones (ECM): Ці мікрофони відомі своєю високою чутливістю та широким діапазоном частот. Вони також досить компактні, що робить їх ідеальними для використання в проекті.

Акустичний сигнал та шум реєструються ідентичними приймачами (1) та (2) і подаються на перемножувач. У одному з каналів встановлено блок

затримки. Результат перемноження подається на інтегратор і далі на індикатор. Маніпулюючи часом затримки в блоку затримки, досягається максимальне значення вихідного сигналу – це значення кореляційної функції, яке контролюється індикатором. Відомою величиною затримки, можна розрахувати кутову координату за формулою:

$$\alpha = \arcsin\left(\frac{\tau \cdot c_0}{d}\right), \quad (2.2)$$

де τ - час затримки, c_0 - швидкість поширення звуку в повітрі (для сухого повітря при нормальних умовах це приблизно 343 м/с), d - відстань між приймачами, що використовується як база для визначення місцезнаходження джерела звуку.

Завади в цьому контексті є статистично незалежними і мають нормальний закон розподілу щільності ймовірності. Сигнали, які приймаються приймачами, представляють собою випадковий процес, записаний у вигляді функцій $y(t)$ та $z(t)$, які є сумою акустичного сигналу $x(t)$ та шуму $n(t)$ та $m(t)$ відповідно.

$$y(t) = x(t) + n(t), \quad (2.3)$$

$$z(t) = \alpha x(t - \tau_1) + m(t).$$

Для визначення часової затримки τ_1 використовується взаємна кореляційна функція (ВКФ) $R_{yz}(\tau)$ між прийнятими сигналами на певному часовому проміжку спостереження T . Ця функція включає кореляційну функцію вхідного сигналу з затримкою у часі та ВКФ завад, величина якої залежить від просторової кореляції між завадами.

$$R_{yz}(\tau) = \frac{1}{T} \int_0^T [x(t) + n(t)] * [\alpha x(t - \tau_1 + \tau) + m(t + \tau)] dt = \alpha R_{xx}(\tau - \tau_1) + R_{nm}(\tau); \quad (2.4)$$

$$R_{xx}(\tau - \tau_1) = \frac{1}{T} \int_0^T x(t) * x(t - \tau_1 + \tau) dt;$$

$$R_{nm}(\tau) = \frac{1}{T} \int_0^T n(t) * m(t + \tau) dt,$$

де $R_{xx}(\tau - \tau_1)$ – кореляційна функція вхідного сигналу с затримкою у часі на τ_1 ; $R_{nm}(\tau)$ – ВКФ завад, величина якої залежить від просторової кореляції між завадами.

Структурна схема реалізації цього алгоритму включає мікрофони, розташовані на певній відстані один від одного, під кутом до напрямку падіння акустичної хвилі. Поруч з мікрофонами діють акустичні завади, які вважаються стаціонарними ізотропними процесами з нульовим математичним очікуванням. Шумовий сигнал, випромінюваний джерелом шуму, розглядається як стаціонарний анізотропний процес з нульовим математичним очікуванням і дисперсією. Шумовий сигнал і завади статистично незалежні.

Цей пристрій для акустичного спостереження автомобільного руху використовує принципи акустичної локалізації, що базуються на вимірюванні відносних часових затримок акустичних сигналів. Це дозволяє визначити кутову координату джерела звуку, використовуючи відому величину затримки, швидкість поширення звуку в повітрі та відстань між приймачами, що використовується як база для визначення місцезнаходження джерела звуку.

2.3 Оцінка дальності виявлення

Для розрахунку теоретичної дальності виявлення акустичного сигналу використовуються такі параметри:

Електричні конденсаторні мікрофони (ЕСМ) відомі своєю високою чутливістю.

Рівень звукового тиску автомобіля або мотоцикла може варіюватися від 70 до 90 дБ на відстані 1 метра.

Звук поширюється в повітрі зі швидкістю близько 343 м/с при температурі 25 градусів Цельсія. Звук атенюється з відстанню, а також може відбиватися від поверхонь або поглинатися атмосферою.

В міському середовищі рівень фонового шуму може варіюватися від 50 до 80 дБ.

На дальність виявлення сильно впливає наявність перешкод.

Рівень звукової потужності джерела (дБ) визначають за формулою

$$L_0 = 10 \lg \frac{P}{P_0} \quad (2.5)$$

P_0 = граничне значення звукової потужності, що дорівнює 10^{-12} Вт.

Якщо оточити джерело шуму якоюсь замкнутою поверхнею S , то відповідно до закону збереження енергії для визначення звукової потужності джерела необхідно підсумувати добутки інтенсивності звуку у всіх точках цієї поверхні на площі елементарних майданчиків, розташованих перпендикулярно вектору I :

$$P = \int_S I \, dS \quad (2.6)$$

Враховуючи чутливість мікрофону, ми можемо використовувати формулу для розрахунку втрати інтенсивності звуку з відстанню:

$$L = L_0 - 20 \log_{10} \frac{d}{d_0} \quad (2.7)$$

де: L - рівень звукового тиску на відстані d від джерела,

L_0 - рівень звукового тиску на початковій відстані d_0 від джерела,

d - відстань від джерела звуку,

d_0 - початкова відстань від джерела звуку.

Якщо ми припустимо, що рівень шуму автомобіля або мотоцикла становить близько 80 дБ на відстані 1 метр від джерела, і ми хочемо знайти відстань, на якій рівень шуму знижується до рівня чутливості мікрофону (наприклад, 40 дБ), ми можемо вирішити це рівняння відносно d :

$$d = d_0 \cdot 10^{\frac{L_0 - L}{20}} \quad (2.8)$$

Якщо ми підставимо наші припущення в це рівняння, ми отримаємо:

$$d = 1\text{м} \cdot 10^{\frac{80\text{дБ}-40\text{дБ}}{20}} = 100 \text{ метрів}$$

Це означає, що при наших припущеннях мікрофон зможе виявити шум автомобіля або мотоцикла на відстані приблизно 100 метрів.

Але ефективно зчитувати спектр звуку з відстані не більше 20 метрів, так як високочастотний спектр добре поглинається перешкодами, і точна ідентифікація з великих відстаней малоймовірна.

2.4 Розробка імітаційної моделі

В контексті проектування системи акустичного спостереження автомобільного руху, основою для розробки став кореляційний метод пеленгування шумових джерел випромінювання. Цей метод використовує систему з двох точкових приймачів і базується на вимірюванні відносних часових затримок хвиль, які приймаються приймачами пристрою.

Для відтворення роботи такої системи було створено імітаційну модель кореляційного приймача в середовищі Matlab. Ця модель дозволяє провести модельний експеримент і побудувати сигнальну функцію, яка відображає залежність напруги на виході приймача від часової затримки прийнятих хвиль.

Симуляційна модель базується на схемі кореляційного пеленгатора і включає в себе два мікрофони приймача, які реєструють шумовий сигнал від навколишнього транспортного засобу (НТЗ) та завади. Шумовий сигнал надходить на обидва мікрофони, але для другого мікрофона враховується просторова затримка.

Сигнали з мікрофонів проходять через смугові фільтри, де відбувається фільтрування відповідно до діапазону пропускання, що відповідає смузі частот випромінювання НТЗ. Після фільтрування сигнал потрапляє до корелятора, який складається з перемножувачів та фільтра нижніх частот (ФНЧ).

Пристрій акустичного спостереження автомобільного руху включає в себе важливий компонент - блок обробки сигналу, який використовує фільтр нижніх частот (ФНЧ) для зменшення шуму та підсилення корисного сигналу. Після проходження через ФНЧ, сигнал направляється до блоку прийняття рішень (ППР-пристрій прийняття рішень).

В ППР відбувається порівняння сигналу з встановленим пороговим значенням. Цей процес визначає, чи перевищує сигнал порогове значення. Якщо сигнал перевищує порог, на виході ППР формується сигнал "1". В протилежному випадку, якщо сигнал не досягає порогового значення, на виході ППР формується сигнал "0".

Ці результати можна візуалізувати за допомогою віртуального осцилографа, який приймає дані з різних блоків схеми. Віртуальний осцилограф - це цифровий інструмент, який дозволяє візуально спостерігати за динамікою сигналів в реальному часі, що є незамінним для аналізу та діагностики високочастотних систем.

Цей процес є важливим етапом в акустичному спостереженні автомобільного руху, оскільки він дозволяє відрізнити корисний сигнал від

фонового шуму та визначити присутність автомобіля на основі акустичних характеристик.

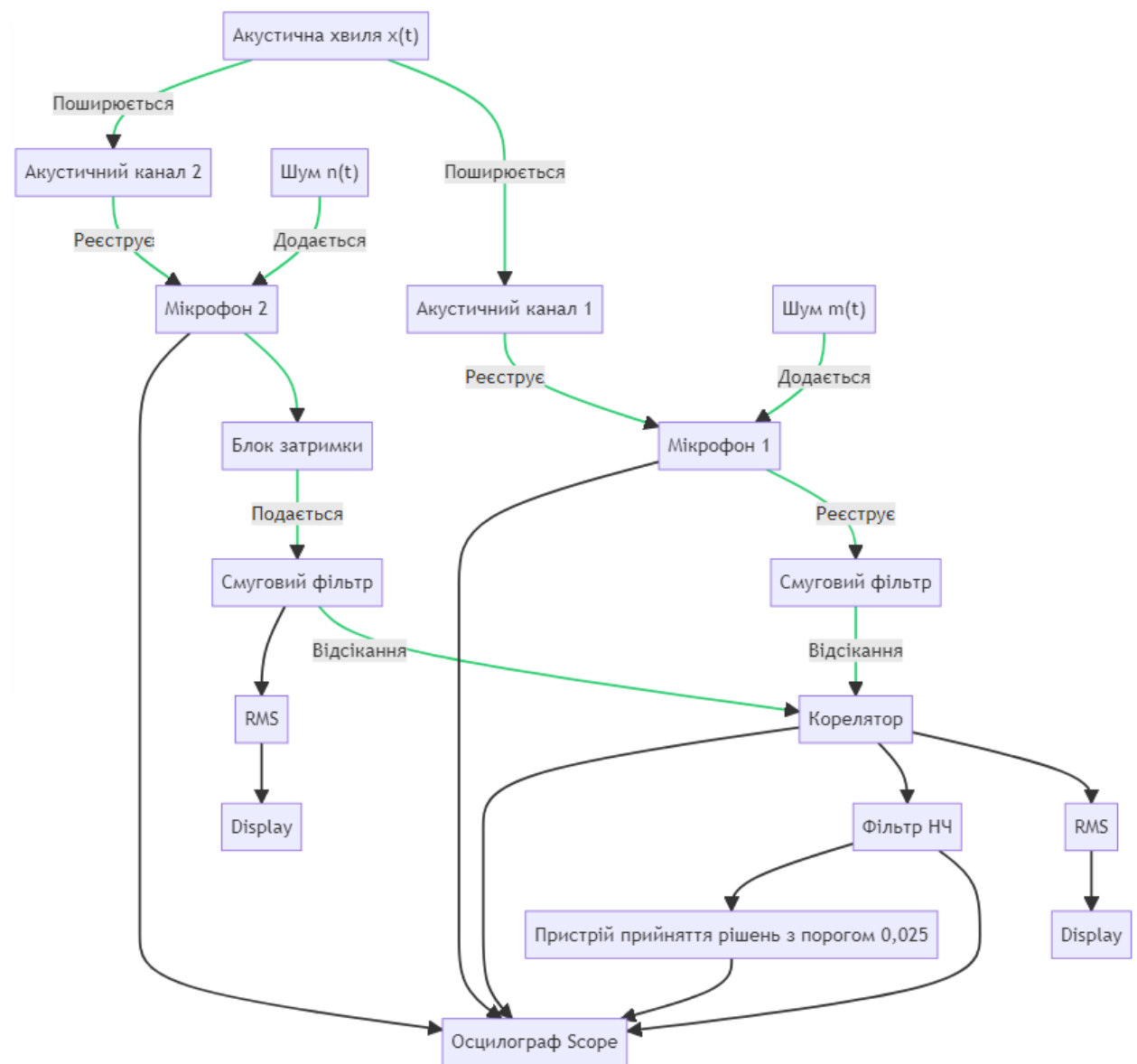


Рис. 2.2 Імітаційна модель (КП)

Пристрій для акустичного моніторингу автомобільного руху використовує принципи кореляційного аналізу для визначення напрямку приходу акустичних хвиль. Цей процес включає в себе моделювання напрямку приходу хвилі до акустичної бази, що здійснюється шляхом налаштування часу затримки в блоку "Просторова затримка".

Блок "Delay" відповідає за компенсацію просторової затримки, що дозволяє точніше визначити напрямок приходу акустичних хвиль. Вихідна

напруга, позначена як $u_{sn}(T)$, визначається за допомогою вольтметра "RMS". Максимальне значення, яке відображає вольтметр, відповідає нульовому значенню часу затримки $\tau_0 = 0$.

Кут приходу хвиль (КПХ), який є критичним параметром для визначення джерела акустичного сигналу, розраховується за виразом, що враховує значення часу затримки, швидкість поширення звуку в повітрі та відстань між приймачами. Цей процес демонструє використання кореляційного аналізу для визначення джерела акустичного сигналу в контексті автомобільного руху.

$$\alpha = \arccos \frac{\tau \cdot c_0}{d}; \quad (2.9)$$

Акустичний моніторинг автомобільного руху використовує спеціалізовані пристрої, які здатні аналізувати звукові хвилі, що генеруються автомобілями. Ці пристрої працюють в діапазоні частот від 50 до 8000 Гц, що включає в себе більшість звукових хвиль, що випромінюються автомобілями.

Основою для цих систем є пара приймачів, розташованих на відстані один від одного. Відстань між цими приймачами, відома як "база", може бути розрахована за формулою

$$d = \frac{c}{\Delta f}; \quad \Delta f = 8000 - 50 = 7950 \text{ Гц} \quad (2.10)$$

$$d = \frac{340}{7950} = 0.042 \text{ м.}$$

де c - швидкість звуку в повітрі (приблизно 340 м/с при стандартних умовах), а Δf - діапазон частот, який в даному випадку становить 7950 Гц (8000-50 Гц). За цією формулою, база для нашої системи становить приблизно 0.042 метра.

Для визначення відносної часової затримки між приймачами використовується блок "Просторова затримка". Інтервал кореляції τ_k шумового сигналу можна визначити за формулою

$$\tau_k = \frac{1}{2 \cdot \Delta f}; \quad (2.11)$$

що в нашому випадку дає значення приблизно $6.28 \cdot 10^{-5}$ секунди.

Ці розрахунки дозволяють використовувати систему для точного визначення місцезнаходження джерела звуку, що може бути корисним для моніторингу автомобільного руху, визначення швидкості автомобілів, а також для ідентифікації конкретних типів автомобілів на основі їх акустичного профілю.

2.5 Тестування моделі

Проведемо моделювання з кроком: $\Delta\tau = 6.28 \cdot 10^{-5}$ с, що дорівнює 1 відліку модельного часу. Графік функції $u_{sn}(T)$ для $\tau = 0 : 6 \cdot 10^{-5} : 10 \cdot 6 \cdot 10^{-4}$ та двох значень параметра $q_1 = 0.45, 1.0$ приведено на рис.2.5.1

The screenshot displays the 'Oscilloscope (Scope)' window with five vertically stacked plots. The x-axis for all plots is 'Time offset', ranging from 0 to 1. The y-axis scales vary for each plot: the top plot ranges from -4 to 4, the second from -2 to 2, the third from 0 to 4, the fourth from 0 to 0.4, and the bottom plot from 0 to 1. The top three plots show highly noisy signals, while the fourth and fifth plots show smoother, periodic waveforms.

Таблиця 2.1. Дані для побудови графіка сигнальної функції КП

[illegible]

1	0,2026	0,1867	0,1167	0,0448	0,0436	0,0752	0,0831	0,0456	0,0433	0,0385	0,0338
0,45	0,0415	0,041	0,0304	0,028	0,0225	0,0296	0,0199	0,0208	0,0211	0,0237	0,0151

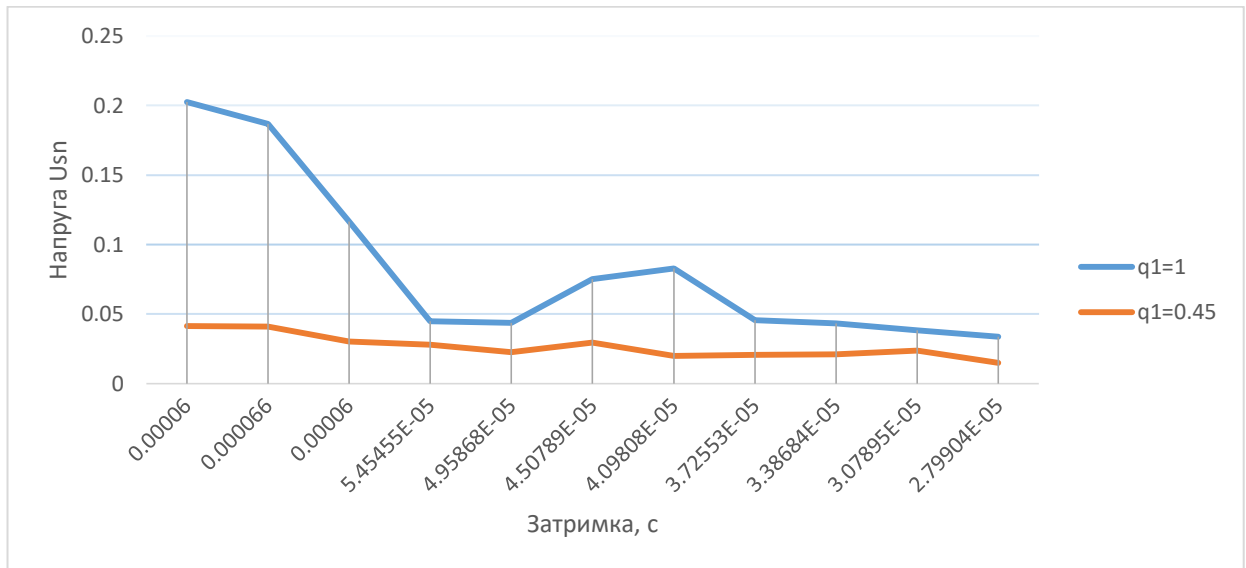


Рис.2.5 Графік СФ максимум якої визначає затримку

$\tau_0 = 0$ с, де синя лінія – $q1=1$, а помаранчева $q=0.45$.

Аналізуючи отримані результати (рис.2.5.3) можна зробити висновок, що для точного визначення часової затримки τ_0 , а в подальшому і кутової координати α по (2.4.1), треба мати відношення $\frac{C}{3} \geq 1$.

Висновки до розділу 2

В даному розділі проводиться детальний аналіз різноманітних методологій, що використовуються для акустичного моніторингу об'єктів, які генерують звукове випромінювання. В результаті цього аналізу, кореляційний метод спостереження було визначено як найбільш ефективний, особливо з огляду на його високу стійкість до різних видів завад.

Схема кореляційного пеленгатора (КП), яка була представлена, демонструє, як цей пристрій може функціонувати. Для перевірки

ефективності цього методу, було створено імітаційну модель КП в програмному середовищі Simulink.

В рамках модельного експерименту, були встановлені конкретні вхідні параметри для шумового сигналу, зокрема, смуга частот від 50 до 8000 Гц. Це діапазон, який включає в себе важливі частоти для акустичного спостереження автомобільного руху, починаючи від низьких частот, що відповідають шуму двигуна, і закінчуючи високими частотами, які можуть відображати шум від вітру або шум від руху шин по дорозі.

В результаті експерименту було встановлено, що кореляційний пеленгатор здатний виявляти і пеленгувати шумове джерело, за умови, що відношення сигнал/шум (C/Z) на вході КП дорівнює або перевищує 1. Це підтверджує високу ефективність кореляційного методу спостереження в умовах високого рівня шуму.

ВИСНОВКИ

Пристрій для акустичного моніторингу автомобільного руху відкриває нові можливості для нагляду за дорожнім трафіком, виявлення руху техніки вздовж державних кордонів та ідентифікації аномальних подій на обмежених територіях.

Основні характеристики шумового випромінювання від наземного транспортного засобу (НТЗ) включають діапазон частот випромінювання від 50 до 8000 Гц та рівень випромінювання, що досягає 80 дБ. Ці параметри відіграють важливу роль у процесі акустичного спостереження.

Після детального аналізу різних методів акустичного спостереження було вирішено використовувати кореляційний метод, оскільки він виявився найбільш стійким до різних видів завад. Схема кореляційного пеленгатора (КП) була розроблена та описана, що дозволило детально розібратися в його роботі.

Для перевірки роботи кореляційного пеленгатора була створена імітаційна модель у програмному середовищі Simulink. Модельний експеримент було проведено з заданими вхідними параметрами шумового сигналу, включаючи смугу частот від 50 до 8000 Гц. Результати експерименту підтвердили можливість виявлення та пеленгування шумового джерела при відношенні сигнал/шум на вході КП.

Таким чином, можливість виявлення та пеленгування НТЗ була успішно підтверджена, що дозволило виконати поставлене завдання.

СПИСОК ВИКОРСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Barbagli, B. Non Intrusive Traffic Monitoring System: A Case Study Based on Acoustic Sensors Network (Thesis). Università degli studi di Firenze. Dipartimento di elettronica e telecomunicazioni. 2011.
2. Alsina-Pagès, R.M., Bellucci, P., & Zambon, G. Smart Wireless Acoustic Sensor Network Design for Noise Monitoring in Smart Cities. MDPI - Multidisciplinary Digital Publishing Institute. 2021.
3. Kranig, J., Minge, E., Jones, C., United States. Federal Highway Administration, Minnesota Guidestar (Program), SRF Consulting Group, Inc. "Field Test of Monitoring of Urban Vehicle Operations Using Non-intrusive Technologies: Final Report." Federal Highway Administration, 1997.
4. Alsina-Pagès, R.M., Bellucci, P., & Zambon, G. Smart Wireless Acoustic Sensor Network Design for Noise Monitoring in Smart Cities. MDPI AG. 2021.
5. IDMT-Traffic: An Open Benchmark Dataset for Acoustic Traffic Monitoring Research URL: <http://arxiv.org/abs/2104.13620v1>
6. Spatial Deep Deconvolution U-Net for Traffic Analyses with Distributed Acoustic Sensing URL: <http://arxiv.org/abs/2212.03936v2>
7. Improved Vehicle Sub-type Classification for Acoustic Traffic Monitoring URL: <http://arxiv.org/abs/2302.02945v1>
8. Turning Traffic Monitoring Cameras into Intelligent Sensors for Traffic Density Estimation <http://arxiv.org/abs/2111.00941v1>
9. Adaptive Load-Aware Sampling for Network Monitoring on Multicore Commodity Hardware URL: <http://arxiv.org/abs/1604.02322v1>
10. Donnellan, B., Klein, C., Helfert, M., Gusikhin, O. Smart Cities, Green Technologies and Intelligent Transport Systems: 7th International Conference, SMARTGREENS, and 4th International Conference, VEHITS 2018, Funchal-Madeira, Portugal, March 16-18, 2018, Revised Selected

Papers. Communications in Computer and Information Science. Springer International Publishing. 2019.

11. RoadPod[®] VT URL: <https://metrocount.com/products/roadpod-vehicle-tube-classifier/>

14. Шум, ультразвук та інфразвук . URL: https://pidru4niki.com/1151022538292/bzhd/shum_ultrazvuk_infrazvuk

12. Garg, S., Aujla, G.S., Kaur, K., Shah, S.H.A. Intelligent Cyber-Physical Systems for Autonomous Transportation. Internet of Things. Springer International Publishing. 2022.

13. Abut, H., Hansen, J., Takeda, K. Advances for In-Vehicle and Mobile Systems: Challenges for International Standards. Springer US. 2010.

14. Дідковський В.С., Коржик О. В., Лейко О.Г. Шуми і вібрації : підручник. Київ : ТОВ «Імекс – ЛТД», 2010. №8. С. 46-47.

15. Козерук С.О. Акустичні інформаційні системи : посібник. Київ: КПП імені Ігоря Сікорського, 2018. С.24-34. URL: <https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/22800/1/AIS-18.pdf> (Дата звернення: 05.06.2023).

16. Митько В.Б., Евтютов А.П. и др. Гидроакустические средства связи и наблюдения. Ленинград : Судостроение, 1982. 200 с.

17. Физическая энциклопедия. Дифракция звука. URL: http://www.femto.com.ua/articles/part_1/1070.html (Дата звернення: 05.06.2023).