


НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Факультет електроніки
Кафедра акустичних та мультимедійних електронних систем

«На правах рукопису»

УДК 004.934.2.

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

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


“07 ” _____ 12 _____ 2020 р.


Магістерська дисертація

зі спеціальності: 171 – Електроніка
(код та назва напряму підготовки або спеціальності)

на тему: Оцінка розбірливості мови в приміщенні методом слухових кореляційних характеристик

Виконав (-ла): студент (-ка) 2 курсу, групи ДГ-91мп
(шифр групи)


Деркач Наталія Миколаївна
(прізвище, ім'я, по батькові)  (підпис)

Науковий керівник доцент кафедри АМЕС Луньова С.А. 
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

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

Рецензент к.ф.-м.н., директор ТОВ «Фонтек-С» Сенченко І.В. 
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент 
(підпис)

Київ – 2020 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

Факультет (інститут) Факультет Електроніки
(повна назва)


Кафедра Акустичних та мультимедійних електронних систем
(повна назва)

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою

Спеціальність 171 – Електроніка
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

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

« 07 » 12 2020 р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

Деркач Наталії Миколаївні

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації Оцінка розбірливості мови в приміщенні методом слухових кореляційних характеристик

Науковий керівник дисертації доцент кафедри АМЕС Луньова Світлана Андріївна

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

затверджені наказом по університету від «05» листопада 2020 р. №3241-с

2. Строк подання студентом дисертації 7.12.2020 р.

3. Об'єкт дослідження Спосіб оцінки розбірливості мови шляхом розрахунку функцій міжвушної кореляції на слухацьких місцях в залі

4. Предмет дослідження Дані вимірювань бінауральних сигналів в залі, дані суб'єктивних та об'єктивних оцінок розбірливості мови в залі, засоби розрахунку коефіцієнтів міжвушної кореляції

5. Перелік завдань, які потрібно розробити: Розробити план дисертації. Провести пошук необхідної літератури. Обґрунтувати обраний предмет дослідження. Провести дослідження на тему існуючих методів оцінювання розбірливості мови. Розрахувати коефіцієнти кореляції в обраних точках досліджуваного приміщення. Провести аналіз розрахованих значень та порівняти з експериментальними даними.

6. Консультанти розділів дисертації:


Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1.			
2.			
3.			
4.			

7. Дата видачі завдання 1.10.2019 р. _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів дисертації	Примітка
1.	Розробити план дисертації.	01.10.2019 - 01.12.2019	виконано
2.	Провести пошук необхідної літератури	01.12.19 - 30.04.20	виконано
3.	Обґрунтувати обраний предмет дослідження	01.05.20 - 01.07.20	виконано
4.	Провести дослідження на тему існуючих методів оцінювання розбірливості мови	01.07.20 - 01.10.20	виконано
5.	Розрахувати коефіцієнти кореляції в обраних точках досліджуваного приміщення	01.10.2020 - 04.11.2020	виконано
6.	Провести аналіз розрахованих значень та порівняти з експериментальними даними	05.11.2020 - 22.11.2020	виконано
7.	Оформлення пояснювальної записки та презентації	23.11.2020 - 14.12.2020	виконано

Студент




(підпис)

Деркач Н. М.

(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації



(підпис)

Луцьова С.А.

(ініціали, прізвище)

РЕФЕРАТ

Деркач Н.М. Оцінка розбірливості мови в приміщенні методом слухових кореляційних характеристик: магістерська дис.: 171 Електроніка. Київ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. 89 с.

Ключові слова: розбірливість мови, методи оцінки розбірливості мови, коефіцієнт кореляції, локалізація джерела звуку, стереозвучання, міжвушна кореляція сигналів.

Актуальність. Актуальність роботи полягає в нагальній потребі апріорної оцінки розбірливості мови в приміщеннях мовного призначення, особливо на етапі проектування. При цьому перевагу мають об'єктивні методи оцінки без задіяння слухачів.

В роботі пропонується новий об'єктивний метод оцінки розбірливості мови в приміщенні за допомогою коефіцієнтів міжвушної функції кореляції на слухацьких місцях. Розрахунок коефіцієнтів кореляції бінауральної пари сигналів пропонується виконувати на основі вимірювань за допомогою штучної голови (для уже існуючих залів), а також шляхом розрахунків вже на етапі проектування приміщень.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи була розробка алгоритму апріорної оцінки розбірливості мови в залі шляхом визначення коефіцієнтів кореляції бінауральної пари сигналів на слухацьких місцях. Оцінка проводиться на основі розрахунків кореляційних функцій прямокутного та пілоподібного відеоімпульсів в контрольних точках приміщення. Перевірка достовірності результатів здійснюється порівнянням розрахункових даних з даними вимірювань кореляційних функцій імпульсного та мовного сигналів, отриманих за допомогою штучної голови, а також результатів складових артикуляційних випробувань, проведених в залі.

Об'єкт дослідження – спосіб оцінки розбірливості мови шляхом розрахунку функцій міжвушної кореляції на слухацьких місцях в залі.

Предмет дослідження – дані вимірювань бінауральних сигналів в залі, дані суб'єктивних та об'єктивних оцінок розбірливості мови в залі, засоби розрахунку коефіцієнтів міжвушної кореляції.

Методи досліджень. Для досягнення поставлених в магістерській роботі завдань, використано методи теорії графів, методи імітаційного моделювання.

Наукова новизна одержаних результатів роботи полягає у наступному: запропоновано спосіб оцінки розбірливості мови в приміщенні шляхом розрахунків коефіцієнтів міжвушної кореляції.

Практична цінність. Практична цінність роботи визначається створенням алгоритму оцінки розбірливості мови в залі на основі вимірювань функції міжвушної кореляції мовного сигналу або розрахунку цих функцій для пилоподібного імпульсу. Для цього створена шкала відповідності значень відсотків артикуляції і коефіцієнтів кореляції бінауральної пари сигналів на слухацьких місцях.

Публікації:

Derkach, N. M. Otsinka rozbirlivosti movi za koefitsientom mizhvushnoyi korelyatsiyi movnogo signalu / Derkach N. M., Vdovenko M. V., Lunova S. A. // Elektronna ta Akustichna Inzheneriya : naukovo-tehnichniy zhurnal. – 2019. – Т. 2, № 1. – С. 50–54. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/33475>

Derkach N, Morozko P, Lunyova S, "The Possibilities Of Using Horn Combination For The Outer Ear Modelling" *SSRG International Journal of Applied Physics* 6.2 (2019): 22-27

Derkach N, Vdovenko M, Lunyova S., "Objective Method of Speech Intelligibility With the Artificial Head" *SSRG International Journal of Electronics and Communication Engineering* 7.1 (2020): Volume 7 Issue –1 Jan 2020 p.15-19

ABSTRACT

The urgency of the work lies in the urgent need for a priori assessment of language intelligibility in language premises, especially at the design stage. At the same time, objective assessment methods without the involvement of listeners are preferred.

The paper proposes a new objective method for assessing the intelligibility of speech in the room using the coefficients of the inter-ear correlation function in the listening position. The calculation of the correlation coefficients of the binaural pair of signals is proposed to be performed on the basis of measurements using an artificial head (for existing halls), as well as by calculations already at the design stage of the premises.

The purpose and objectives of the study. The aim of the work was to develop an algorithm for a priori assessment of speech intelligibility in the hall by determining the correlation coefficients of the binaural pair of signals at the listening positions. The assessment is performed on the basis of calculations of correlation functions of rectangular and pulverulent video pulses in control points of the room. Verification of the results is carried out by comparing the calculated data with the measurements of the correlation functions of the pulse and speech signals obtained with the help of an artificial head, as well as the results of the component articulation tests conducted in the hall.

The object of research is a method of assessing speech intelligibility by calculating the functions of inter-ear correlation in the listening places in the hall.

The subject of the research is data of measurements of binaural signals in the hall, data of subjective and objective assessments of speech intelligibility in the hall, means of calculation of inter-ear correlation coefficients.

Research methods. To achieve the objectives set in the master's thesis, the methods of graph theory, methods of simulation are used.

The scientific novelty of the obtained results is as follows: a method for assessing the legibility of speech indoors by calculating the coefficients of inter-ear correlation.

The practical value of the work is determined by the creation of an algorithm for assessing the intelligibility of speech in the hall on the basis of measurements of the inter-ear correlation function of the speech signal or the calculation of these functions for the pulse pulse. To do this, a scale of correspondence between the values of the percentage of articulation and the correlation coefficients of the binaural pair of signals at the listening sites.

Зміст

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ	10
ВСТУП.....	11
РОЗДІЛ 1. ПРОСТОРОВА ЗВУКОВА ПАНОРАМА.....	12
1.1. Ознака якості стереофонічного звучання.....	12
1.2. Локалізація джерел звуку в просторі.....	13
1.3. Моделі механізму локалізації уявних звукових образів	18
1.4. Локалізація уявного джерела звуку за умови двоканального стереовідтворення.....	28
РОЗДІЛ 2. ПРОСТОРОВІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗВУКУ.....	30
2.1. Просторові спотворення звукової панорами.....	30
2.2. Сприйняття ревербераційних сигналів при стереофонічному звучанні	31
РОЗДІЛ 3. ОЦІНКА РОЗБІРЛИВОСТІ МОВИ ЗА КОЕФІЦІЄНТОМ МІЖВУШНОЇ КОРЕЛЯЦІЇ МОВНОГО СИГНАЛУ	39
РОЗДІЛ 4. РОЗРАХУНОК РОЗБІРЛИВОСТІ МОВИ В ЗАЛІ КОРЕЛЯЦІЙНИМ СПОСОБОМ.....	48
4.1 Аналітичний метод розрахунку коефіцієнта міжвушної кореляції	48
4.2 Розрахунок коефіцієнтів міжвушної кореляції для прямокутного імпульсу	50
4.3 Розрахунок коефіцієнтів міжвушної кореляції для пилоподібного імпульсу	53
4.4. Врахування впливу ревербераційного звуку	57
Висновки до розділу 4:.....	59
РОЗДІЛ 5. РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ	60
5.1. Опис ідеї проекту	60
5.2. Технологічний аудит ідеї проекту	62
5.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту	62

5.4. Розроблення ринкової стратегії проекту	68
5.5. Розроблення маркетингової програми стартап-проекту	70
ВИСНОВКИ	74
Використана література	76
ДОДАТОК А	79
ДОДАТОК В	85

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

АС – акустична система

УДЗ – уявне джерело звуку

Γ_1 – гучномовець 1

Γ_2 – гучномовець 2

M_1 – мікрофон 1

M_2 – мікрофон 2

L – ліве вухо/канал

R – праве вухо/канал

ВСТУП

Актуальність роботи полягає в нагальній потребі апріорної оцінки розбірливості мови в приміщеннях мовного призначення, особливо на етапі проектування. При цьому перевагу мають об'єктивні методи оцінки без задіяння слухачів. [1]

В роботі запропонований і розвивається новий об'єктивний метод оцінки розбірливості мови в залі за допомогою коефіцієнтів міжвушної функції кореляції на слухацьких місцях. Розрахунок коефіцієнтів кореляції бінауральної пари сигналів пропонується виконувати як на основі вимірювань за допомогою штучної голови (для уже існуючих залів), так і шляхом розрахунків вже на етапі проектування.

Мета роботи – розробити алгоритм апріорної оцінки розбірливості мови в залі шляхом визначення коефіцієнтів кореляції бінауральної пари сигналів на слухацьких місцях. Оцінка проводиться на основі розрахунків кореляційних функцій прямокутного та пилоподібного відеоімпульсів в контрольних точках приміщення. Перевірка достовірності результатів здійснюється порівнянням розрахункових даних з даними вимірювань кореляційних функцій імпульсного та мовного сигналів, отриманих за допомогою штучної голови, а також результатів складових артикуляційних випробувань, проведених в залі. [2]

Практична цінність роботи визначається створенням алгоритму оцінки розбірливості мови в залі на основі вимірювань функції міжвушної кореляції мовного сигналу або розрахунку цих функцій для пилоподібного імпульсу. Для цього створена шкала відповідності значень відсотків артикуляції і коефіцієнтів кореляції бінауральної пари сигналів на слухацьких місцях.

РОЗДІЛ 1. ПРОСТОРОВА ЗВУКОВА ПАНОРАМА

1.1. Ознака якості стереофонічного звучання

Сукупність відчуттів (ознак якості), що відрізняють стереофонічне звучання від монофонічного, виявляється проведенням відповідних експертиз та експериментів. Слухачеві надають можливість провести аналіз декількох уривків мовних програм різних жанрів. Один з цих уривків є стереофонічним, інший - монофонічним. Послідовність уривків в парі слухачеві, який бере участь в експертизі, невідомий і змінюється рандомно. [3]

Експертиза складається з двох частин: в першій частині експертизи слухачеві пропонується описати кожен з уривків за допомогою власного набору термінів, у другій частині експертизи він повинен оцінити ступінь відмінності звучань в парі в балах і надати перевагу одному з них. Досвід проведення цих експертиз виявив наступну психофізичну закономірність. Кількість відчуттів під час аналізу уривків зовсім невелика. Кваліфіковані експерти (музиканти, звукорежисери, звичайні слухачі з музичним слухом) виділяють два-три відчуття.[3],[4]

Слухачі без професійних навичок, як правило, виділяють один - два відчуття. З цієї причини, при проведенні експертиз, особлива увага має приділятися вибору звукового матеріалу. У тестовій програмі повинні бути уривки, різноманітні за жанром, тембром звучання, складом виконавців. Фрагменти програм повинні бути відібрані фахівцем-звукорежисером, що має багатий досвід запису стереофонограм, аби надати можливість слухачам описати всі основні ознаки, що відрізняють стереофонічне звучання від монофонічного.

Ознаками якості, що характеризують стереофонічне звучання, є:

-просторове враження, тобто розміщення компонентів стереофонічної панорами по фронту вздовж лінії, що з'єднує гучномовці, а також в глибину, причому розташування джерел звуку в цій області простору можуть бути чітко локалізовані;

-**прозорість звучання**, завдяки чому легко виділяються і роздільно сприймаються інструменти або їх групи на тлі ансамблю;

-**правильність** передачі тембрів інструментів і голосів, **природність** тембру інструменту;

-передача **«басових» звуків оркестру** без зайвої «гулкості», яка властива для монофонічного звучання;

-краще, ніж при монофонічній передачі, **сприйняття «акустичної атмосфери»** первинного приміщення. [4],[5]

Дуже важливою особливістю стереозвучання являється можливість впливу на слухача спрямованістю звукової хвилі, що дозволяє підкреслити конфліктність різних тем, їх об'єднання, зіставлення, протиставлення.

Кваліфіковані експерти, аналізуючи пропоновані звукові уривки, найбільше уваги приділяють таким ознаками якості, як «прозорість звучання» і «природність і багатство тембрів інструментів і голосів». Кваліфіковані експерти при прослуховуванні кожної пари уривків в середньому виділяють, дві, три ознаки якості.

Слухачі без професійного досвіду частіше звертають увагу на такі ознаки якості, як: «ширина звукової панорами», «об'ємність звучання», «кращий тембр звучання». Значно менше уваги приділяють таким факторам, як: «прозорість звучання» і «чистота звучання».[6]

Зміна ширини звукової панорами і об'ємності звучання найбільш помітна на уривках симфонічної музики, хору, великого камерного оркестру, при звучанні органу; відмінність в передачі тембрів звучання інструментів найчастіше помічається експертами на уривках симфонічної, вокальної музики, камерного оркестру. [5]

1.2. Локалізація джерел звуку в просторі

Напрямок приходу звукових сигналів людина здатна розрізнити завдяки можливості сприймати звук двома вухами. Саме цю здатність слухової системи

людського організму називають - бінауральний ефект. Процес розпізнавання напрямку приходу звуків досить складний. [5] Механізм цього явища вивчають протягом тривалого часу. Проте і на сьогодні велика кількість питань залишаються відкритими.

Вуха людини знаходяться на відстані - по ширині голови. Якщо джерело розташувати напроти слухача, то сигнал, що приходить до слухача, приходить в обидва вуха одночасно. Мозок тлумачить це як розташування джерела сигналу або позаду, або попереду, але ні в якому разі не збоку. Коли сигнал приходить від джерела, в деякій мірі зміщеного відносно центру голови слухача, то звук приходить в одне вухо раніше, ніж в друге. В такому випадку мозок інтерпретує це як прихід звукового сигналу зліва чи справа і навіть приблизно зможе визначити кут приходу. [7] Саме чисельна різниця в часі приходу сигналу на ліве і праве вухо, складова від 0 до 1 мс, зміщує уявне джерело звуку (УДЗ) в бік того вуха, яке сприймає сигнал раніше.

Таким чином мозок визначає напрямок приходу звуку в смузі частот від 300 Гц до 1 кГц. Для частот вище 1 кГц напрямок приходу звуку визначається шляхом аналізу гучності звуку. Через те, що звукові хвилі з частотою вище 1 кГц швидко згасають у повітряному просторі. [8] Таким чином інтенсивність звукових хвиль, що доходять до лівого і правого вух слухача досить суттєво відрізняються. Це дозволяє мозку визначати напрямок приходу сигналу за різницею амплітуд. Джерело звуку знаходиться з боку того вуха, в якому він чути краще. Додатковим фактором у визначенні напрямку приходу звуку є здатність людини повернути голову в бік джерела звуку, щоб перевірити вірність своїх відчуттів.[7]

Така здатність людини визначати напрямок приходу звуку по різниці в часі приходу сигналу в ліве та праве вухо, а також шляхом аналізу гучності сигналу використовується в стереофонії. [8]

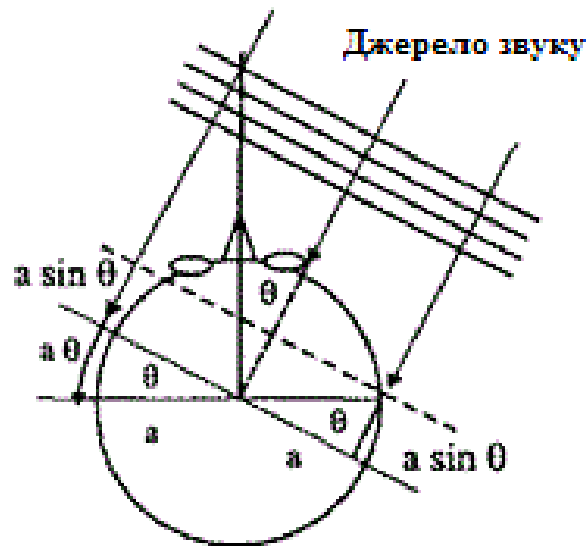


Рис.1.1 Різниця ходу звукових променів від джерела до лівого та правого вух

Між двома фізичними джерелами звуку можна створити відчуття наявності уявного джерела звуку. Людині буде здаватися, що звук лунає з одного джерела, а не двох. До того ж уявне джерело можна "рухати" в будь-яку точку на лінії, що з'єднує два фізичних джерела. Для цього необхідно відтворити один аудіозапис через обидва фізичних джерела, але зробити це з деякою часовою затримкою в одному з них і певною різницею в гучності. Якщо правильно скористатися таким ефектом, можна за допомогою двоканальної системи звуковідтворення донести до слухача майже таку ж картину звучання, яку він відчув би сам, особисто будучи присутнім, наприклад, в концертному залі. Такий двоканальний запис називають стереофонічним, а одноканальний запис - монофонічним. [9]

Насправді, щоб якісно донести до слухача реалістичну просторову картину звучання звичайного стереофонічного запису не завжди може бути достатньо. Основною причиною є те, що стереосигнал, який приходить від двох фізичних джерел звуку до слухача, визначає розташування уявних джерел звуку лише в тій площині, в якій розташовані реальні фізичні джерела. Тому "оточити слухача звуком" при цьому досить складно. Також об'ємне звучання неможливо забезпечити квадрофонічною (чотирьохканальною) системою,

коли два джерела звуку розташовані перед слухачем і два позаду. В цілому за допомогою багатоканального запису вдається лише донести до слухача той звук, яким він був "почутий" звукоприймаючою апаратурою (мікрофонами). [7]

Щоб відтворити якоюсь мірою реалістичне та об'ємне звучання необхідно застосовувати, як правило, інші підходи. В основі таких підходів лежать дещо складніші прийоми, які більш-менш моделюють особливості слухової системи людського організму. При цьому велика увага приділяється особливостям та ефектам передачі звуку в просторі та приміщенні.

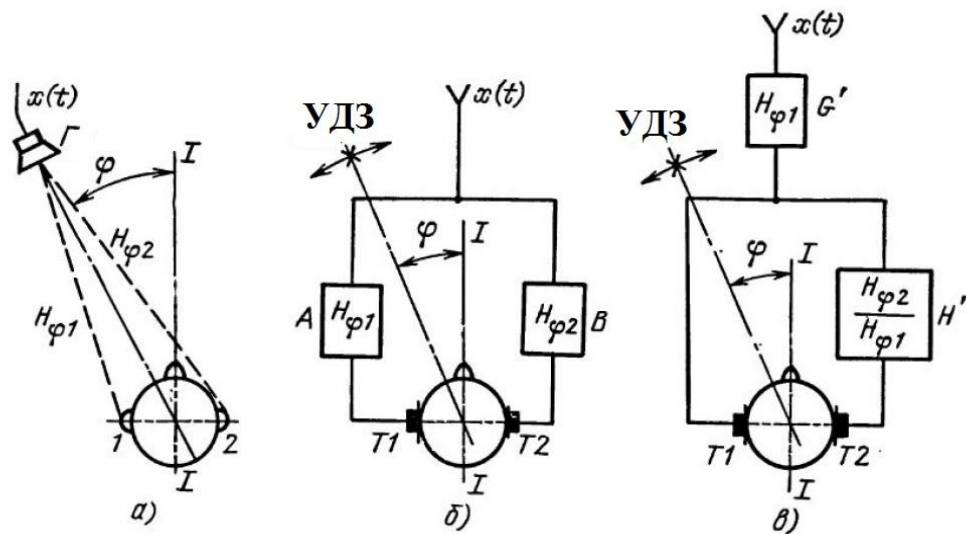


Рис.1.2 Кодування місцезрешування реального джерела звуку у просторі: а) бінауральна пара сигналів; б) еквівалентна схема, що пояснює механізм просторового кодування сигналу джерела; в) бінауральний регулятор напрямлення (УДЗ – уявне джерело звуку, $H_{\phi 1}, H_{\phi 2}$ – коефіцієнти передачі)

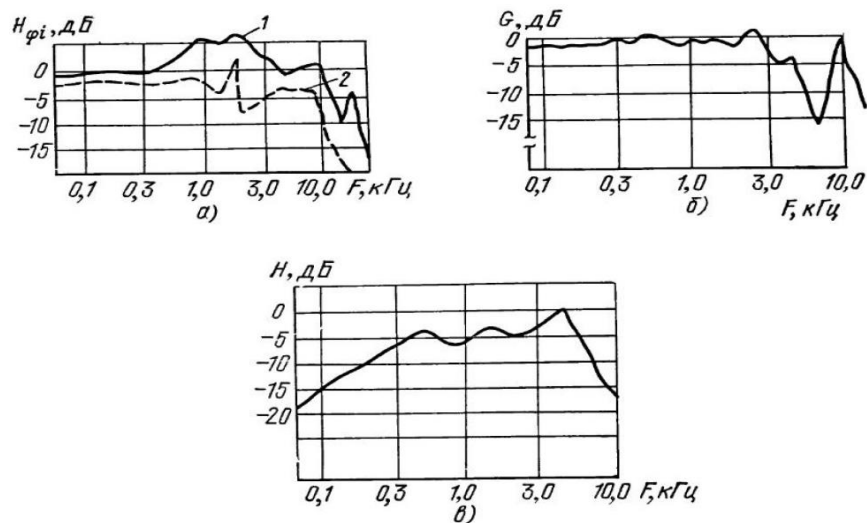


Рис.1.3 Зміна модуля коефіцієнта передачі просторових фільтрів від частоти при кодуванні сигналу джерела звуку і відтворення отриманої бінауральної пари сигналів: а). телефонами б). гучномовцями G; в). гучномовцями H

За допомогою відтворення бінауральної пари сигналів через телефони стимулюється у слухача відчуття розміщення джерела в позиції Г. Проте це джерело вже буде уявним.

За допомогою електричної схеми, що показана на рис. 1.2(б), можна забезпечити локалізацію УДЗ у будь-якому напрямленні азимутальної площини. Для цього потрібно змінити параметри просторових фільтрів у відповідності з розміщенням джерела звуку відносно голови слухача. Сукупність просторових фільтрів $\{H_{\phi 1}\}_i$ та $\{H_{\phi 2}\}_i$ це найпростіший регулятор направлення бінауральної системи передачі звукових сигналів. [10]

Щоб забезпечити локалізацію УДЗ у межах усієї азимутальної площини при двоканальній стереофонії та відтворенні за допомогою гучномовців, необхідно використати два просторових фільтри, але з коефіцієнтами передачі G та H :

$$G = \frac{H_{\phi 1} H_{11} - H_{\phi 2} H_{21}}{H_{11}^2 - H_{12} H_{21}} \quad H = \frac{H_{\phi 2} H_{22} - H_{\phi 1} H_{12}}{H_{\phi 1} H_{11} - H_{\phi 2} H_{22}} \quad (1.1)$$

Та включити їх так, як це зображено на рис. 1.4б. Вид функцій G та H показані на рис. 1.3 б та в. Передаточна функція H має мінімум на частоті 8кГц, а модуль коефіцієнта G має максимум в діапазоні частот від 300 до 5000...7000Гц. При стерео відтворенні на азимутальне положення УДЗ помітно впливає діапазон частот 300...8000Гц.

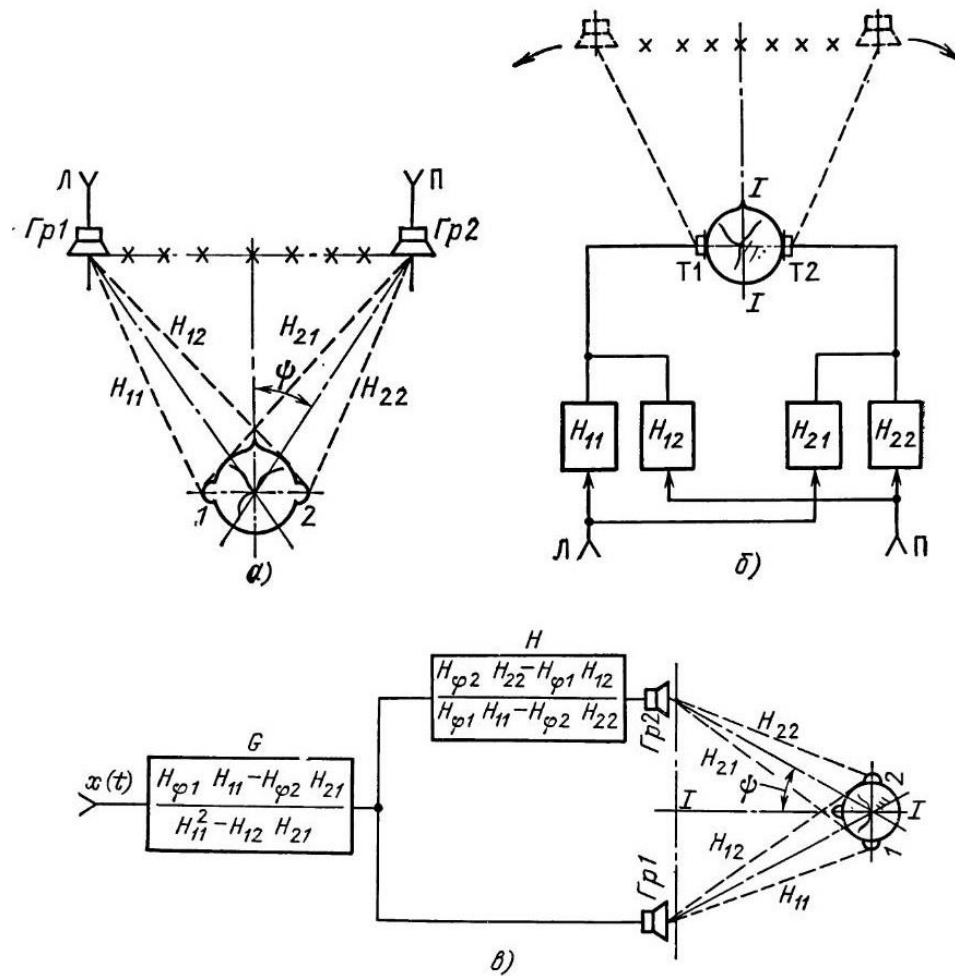


Рис. 1.4 Передача просторової відомостей в бінауральній системі за умови відтворенні сигналів Л та П за допомогою гучномовців:

- а) до виникнення H_{11} , H_{12} , H_{21} , H_{22} ;
- б) електричний аналог з двома гучномовцями;
- в) бінауральний регулятор напрямку

1.3 Моделі механізму локалізації уявних звукових образів

У загальному випадку уявне джерело звуку в суб'єктивному слуховому просторі не співпадає з положенням реальних джерел. В таких випадках значну перевагу мають кореляційні та асоціативні моделі просторового слуху.

Кореляційні моделі тісно пов'язані з нейрофізичними показниками. Вони трактують факт утворення уявного джерела звуку за умови стереовідтворення звукової інформації. [12]

Однією з найбільш відомих та аналітично строгою є кореляційна модель Чарі-Сайєрса.

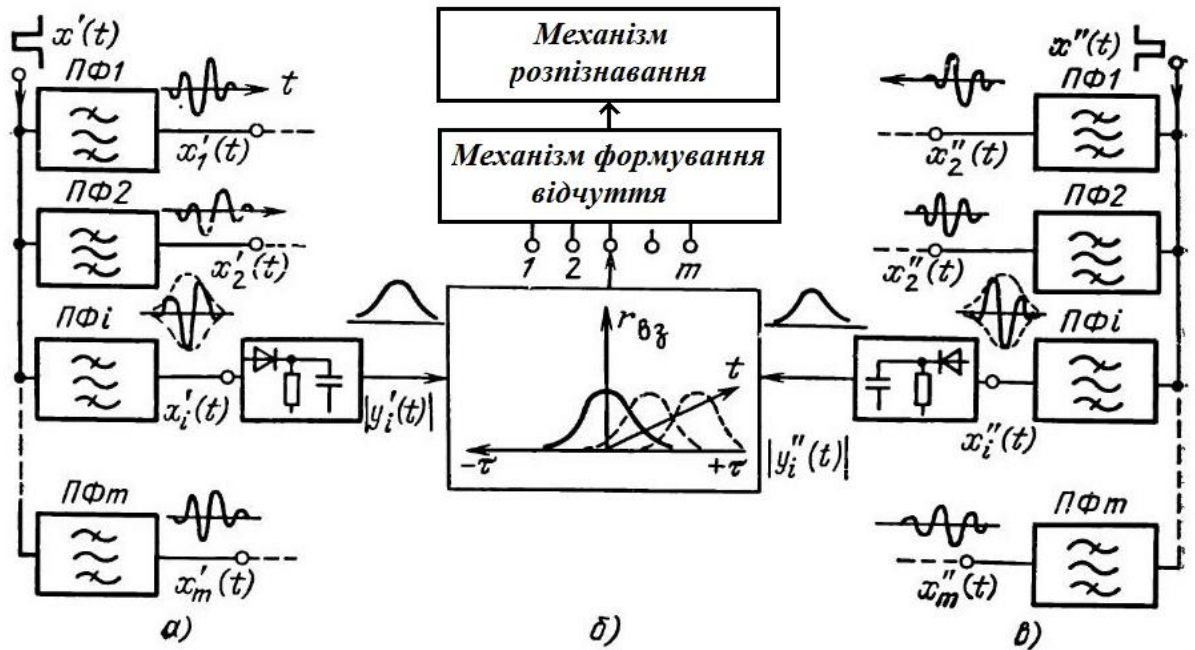


Рис.1.5 Структурна схема кореляційної моделі просторового слуху:

- а) ліве вухо;
 б) центральна нервова система;
 в) праве вухо

За допомогою гребінки фільтрів вхідні сигнали розділяються на смуги відносно ширини (критичні смуги слуху). Для окремих пар смугових сигналів $x'_1(t), x'_1''(t); x'_2(t), x'_2''(t), \dots, x'_m(t), x'_m''(t)$ визначати функції взаємної кореляції.

Всі опрацьовані таким способом пари смугових сигналів потім вводяться в блок розпізнання, який визначає якому саме, зі всіх збережених у слуховій пам'яті людини образів, відповідає сукупність отриманих взаємно кореляційних функцій. [8]

Розташування максимуму взаємної кореляційної функції пов'язаний з боковим зміщенням джерела звуку. Ступінь когерентності бінауральних сигналів - максимальне значення та ширина.

Якщо ж величини коефіцієнта кореляції сигналів, сприйнятих від різних джерел, перевищують деякий пороговий рівень, то в такому випадку можливе злиття збуджень та утворення УДЗ. [9]

Пояснюючи процес утворення УДЗ при введенні ΔL і $\Delta \tau$, модель не дозволяє розрахувати його розташування на лінії бази. Проте, існують деякі припущення, які дозволяються подолати таке упущення:

-за допомогою ослаблення інтенсивності сигналів, що запізнюються, можна отримати еквіваленту різницю рівнів з тимчасового зрушення, яке було утворено в результаті латерального процесу гальмування;

-в суб'єктивному слуховому просторі положення максимуму функції взаємної кореляції бінауральних сигналів збігається з напрямком на джерело звуку;

-величина $\Delta \tau$ є визначною оцінкою тимчасового зсуву сигналів, при цьому функція взаємної кореляції сигналів досягає свого максимального значення; в результаті такого процесу тимчасового «сканування» зрушення вхідних сигналів компенсується в слуховій системі, коли функція взаємної кореляції досягає свого максимуму;

-максимальне значення функції взаємної кореляції пов'язане з рівнем і значенням $\Delta \tau_0$ бінауральних сигналів; [14]

- значення $\Delta \tau$, необхідні для обчислення функції взаємної кореляції, змінюються в точній відповідності з поворотом голови («сканування по азимуту»);

Покажемо, що введення таких уточнень достатньо для оцінки азимута УДЗ при двоканальному відтворенні звуку.

Якщо c – швидкість звуку, то сигнали, що випромінює гучномовець $\Gamma 1$, сприймаються лівим 1 та правим 2 вухами слухачів через часові проміжки:

$$\tau_{11} = \frac{l_{11}}{c} \quad \tau_{22} = \frac{l_{22}}{c} \quad (1.2)$$

а сигнали, які розповсюджуються від $\Gamma 2$ досягають слухової системи слухача з затримками:

$$\Delta \tau + \tau_{21} = \Delta \tau + \frac{l_{21}}{c} \quad \Delta \tau + \tau_{22} = \Delta \tau + \frac{l_{22}}{c} \quad (1.3)$$

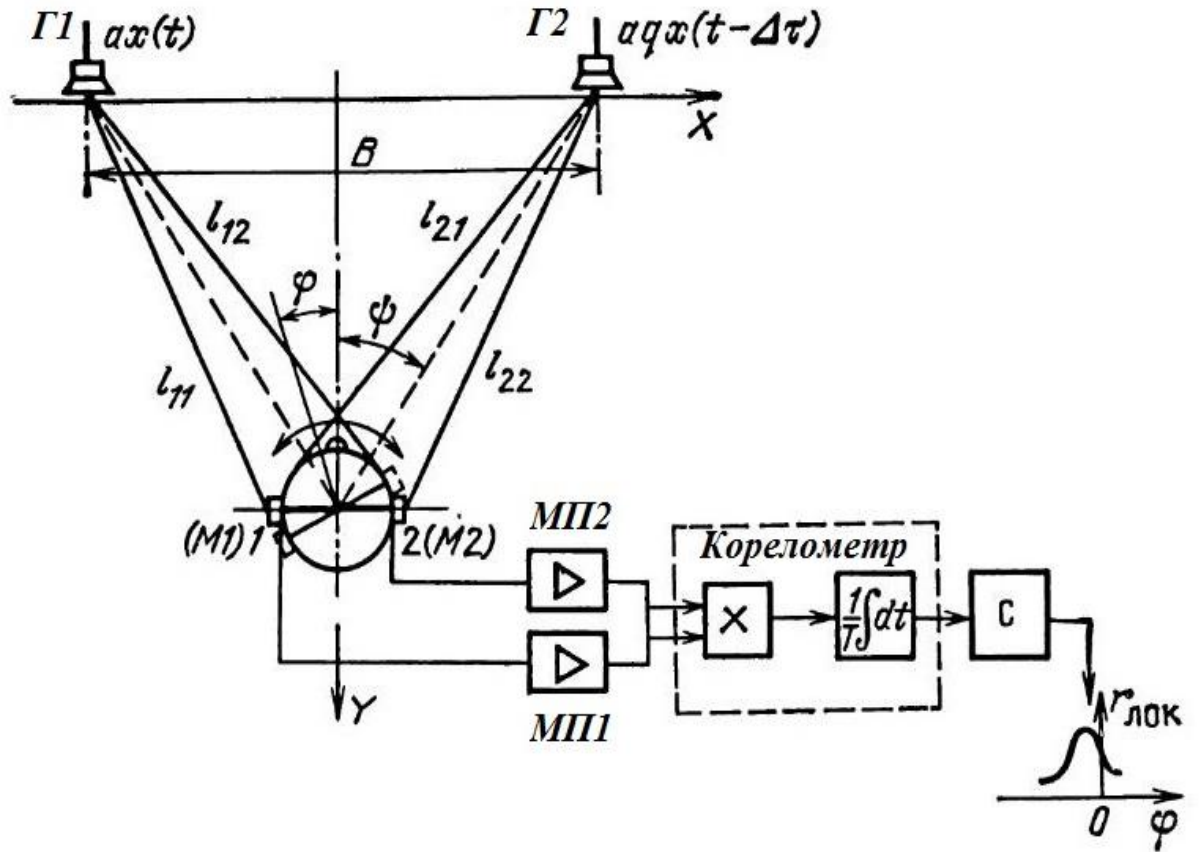


Рис. 1.6 До визначення функції локації

Сумарний сигнал, що сприймається лівим вухом 1, не враховуючи втрат у повітрі та дифракції хвилі в межах голови слухача),

$$y_1(t) = ax(t - \tau_{11}) + aqx(t - \Delta\tau - \tau_{21}) \quad (1.4)$$

правим вухом 2

$$y_2(t) = ax(t - \tau_{12}) + aqx(t - \Delta\tau - \tau_{22}) \quad (1.5)$$

Функція взаємної кореляції сигналів $y_1(t)$, $y_2(t)$ визначається наступним виразом:

$$r_{вз} = y_1(t)y_2(t) = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} y_1(t)y_2(t)dt \quad (1.6)$$

Підставляючи в (1.6) вирази 1.4) та (1.5), враховуючи, що інтеграл суми дорівнює сумі інтегралів, проводимо заміну $t - \tau_{11} = t_1$;

$$t - \tau_{21} - \Delta\tau = t_2; \quad t = t_1 + \tau_{11}; \quad t = t_2 + \tau_{21} + \Delta\tau$$

та вводимо позначення:

$$\begin{aligned}\Delta\tau_{12,11} &= \tau_{12} - \tau_{11}, & \Delta\tau_{21,12} &= \tau_{21} - \tau_{12}, \\ \Delta\tau_{11,22} &= \tau_{11} - \tau_{22}, & \Delta\tau_{21,22} &= \tau_{21} - \tau_{22}\end{aligned}\quad (1.7)$$

остаточно знаходимо:

$$\begin{aligned}r_{вз} &= a^2 x(t_1)x[t_1 - (\tau_{12} - \tau_{11})] + \\ &+ a^2 qx(t_1)x[t_1 - (\tau_{12} - \tau_{22} - \Delta\tau)] + \\ &+ a^2 qx[t_2 - (\tau_{21} - \tau_{12} - \Delta\tau)]x(t_2) + a^2 q^2 x(t_2)x[t_2 - (\tau_{21} - \tau_{22})] = \\ &= r_1(\Delta\tau_{12,11}) + r_2(\Delta\tau_{11,22} - \Delta\tau) + \\ &+ r_3(\Delta\tau_{21,12} + \Delta\tau) + r_4(\Delta\tau_{21,22}) = r_{лок}\end{aligned}\quad (1.8)$$

З (1.8) слідує, що функція взаємної кореляції сигналів $y_1(t), y_2(t)$ дорівнює сумі чотирьох кореляційних функцій. Перший доданок $r_1(\Delta\tau_{12,11})$ представляє функцію, що характеризує вплив сигналів лівого Г1 гучномовця на ліве 1 та праве 2 вухо людини, четвертий доданок $r_4(\Delta\tau_{21,22})$ – те саме, але правого гучномовця Г2. Другий доданок $r_2(\Delta\tau_{11,22} - \Delta\tau)$ – результат впливу сигналу гучномовця Г1 на ліве вухо 1, а сигналу Г2 – на праве вухо слухача; третій доданок $r_3(\Delta\tau_{21,12} + \Delta\tau)$ – результат перехресного впливу сигналів Г1 та Г2 відповідно на праве та ліве вуха слухача. [15]

Функція взаємної кореляції сигналів $y_1(t), y_2(t)$ може бути змінена за допомогою кореляційного пеленгатора (рис.1.6). Він має досить складну будову: штучну голову з мікрофонами M_1 та M_2 , мікрофонні підсилювачі МП₁ та МП₂, перемножувач сигналів X, інтегратор $\frac{1}{T} \int dt$ та самописець С, який дозволяє фіксувати вимірні значення на діаграмній стрічці.

При повороті штучної голови будуть змінюватися величини $l_{11}, l_{12}, l_{21}, l_{22}$, а, отже, і відповідні їм затримки $\Delta\tau_{21,11}; \Delta\tau_{11,22}; \Delta\tau_{21,12}; \Delta\tau_{21,22}$. Це викликає зміну функцій, складових $r_{вз}$. Втім функцію $r_1(\Delta\tau_{12,11})$, можна визначити і окремо від всієї суми (1.8), шляхом вимикання правого гучномовця Г2 з системи, а функцію $r_4(\Delta\tau_{21,22})$ – вимкнувши лівий гучномовець Г1. [16]

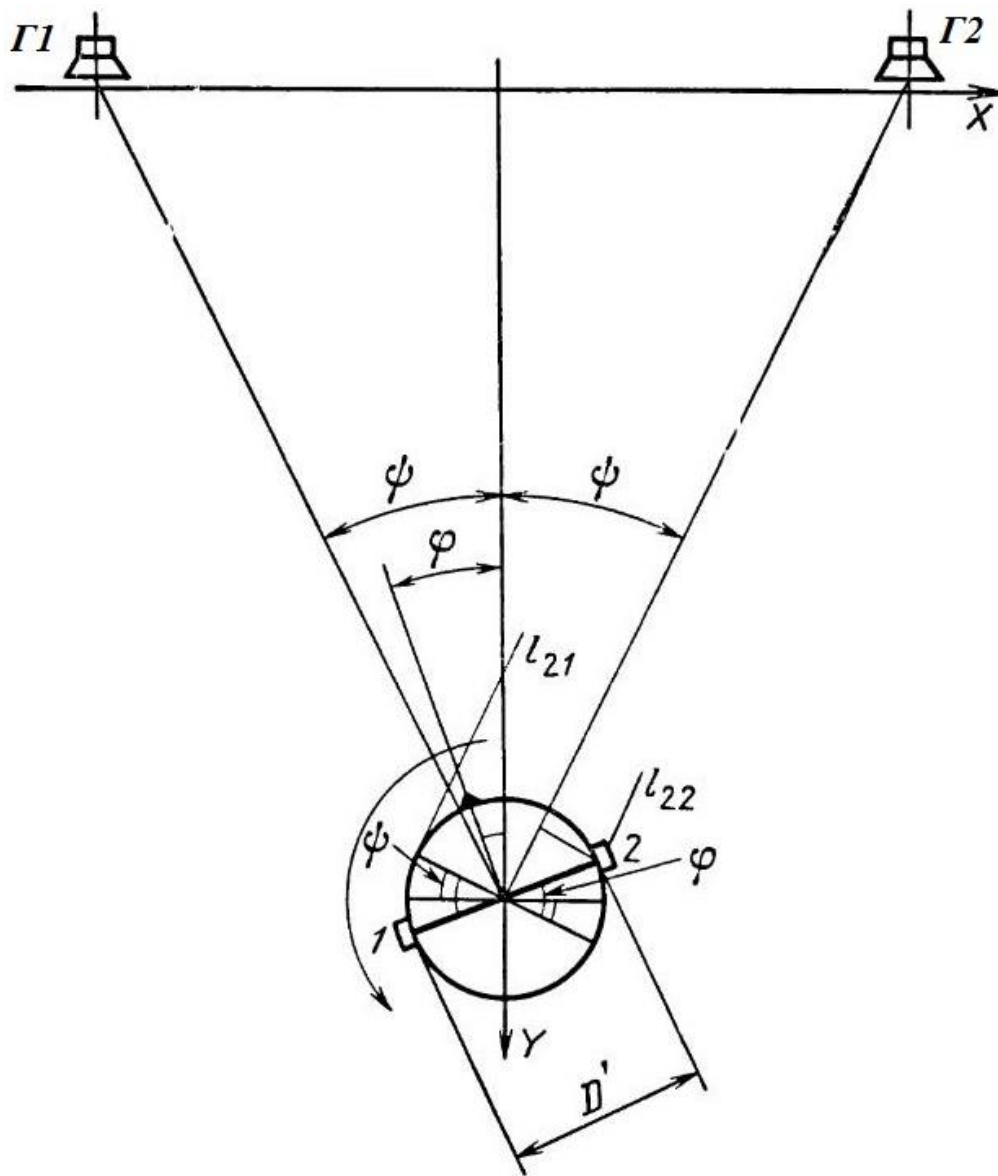


Рис. 1.7 До оцінки функцій часових зсувів сигналів гучномовців

При повороті штучної голови з'являються часові зсуви $\Delta\tau_{21,11}$; $\Delta\tau_{11,22}$; $\Delta\tau_{21,12}$; $\Delta\tau_{21,22}$. Значення цих зсувів можна знайти за допомогою геометричних побудов, суть яких пояснена на рис.1.7.

Щоб отримати більш прості формули штучна голова замінюється кулею та прийнято до уваги, що розмір бази мікрофонів $D' \ll B$. [10] Величини, що характеризують змінення величин $\Delta\tau_{21,11}$; $\Delta\tau_{11,22}$; $\Delta\tau_{21,12}$; $\Delta\tau_{21,22}$ від кута φ вхідного пристрою пеленгатора, представлені графічно на рис.1.8.

Для забезпечення максимального збігу теоретичних на експериментальних даних, діаметр кулі обрано 16,6см, оскільки саме такого розміру голова середньостатистичної людини. [16]

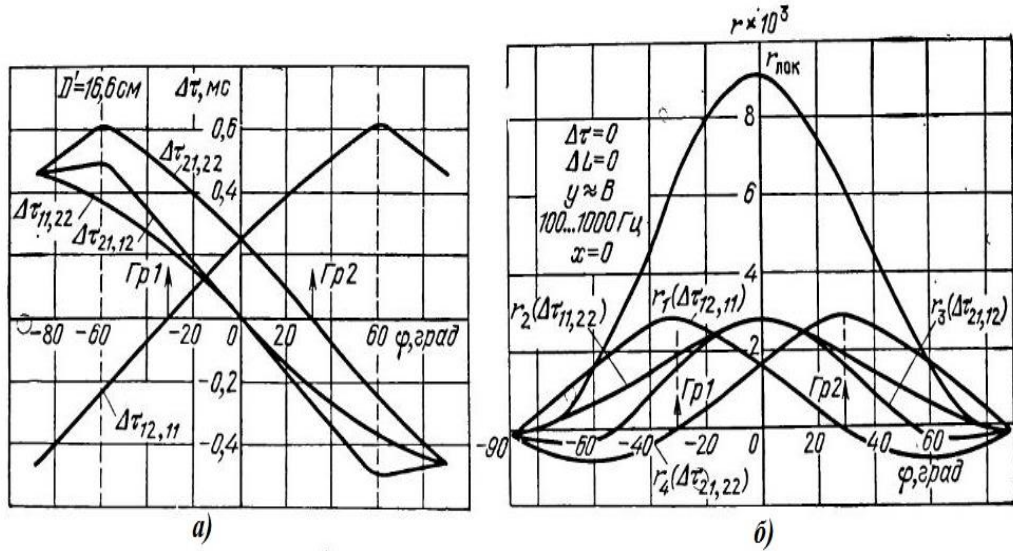


Рис.1.8

- а) залежність бінауральних часових зсувів від кута повороту штучної голови;
- б) функція локалізації та її складові при відтворенні тотожних сигналів

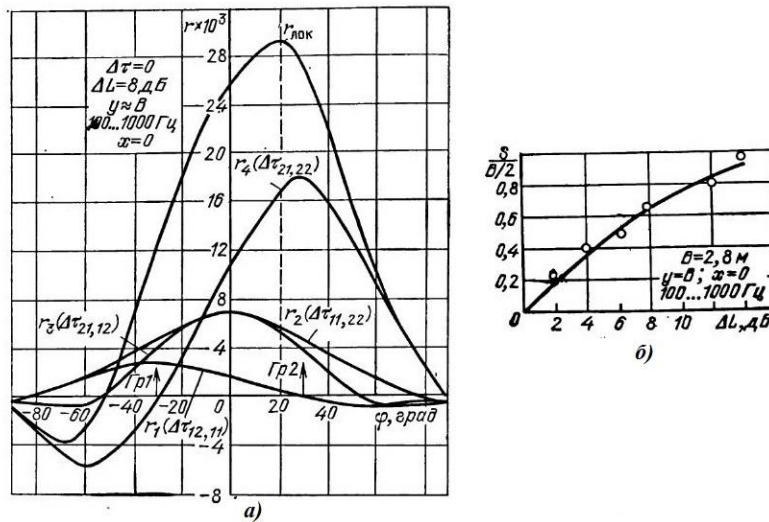


Рис. 1.9

- а) функція локалізації при стерефонії; б) теоретичні та експериментальні результати відносно зміщення УЗ під дією інтенсивної різниці

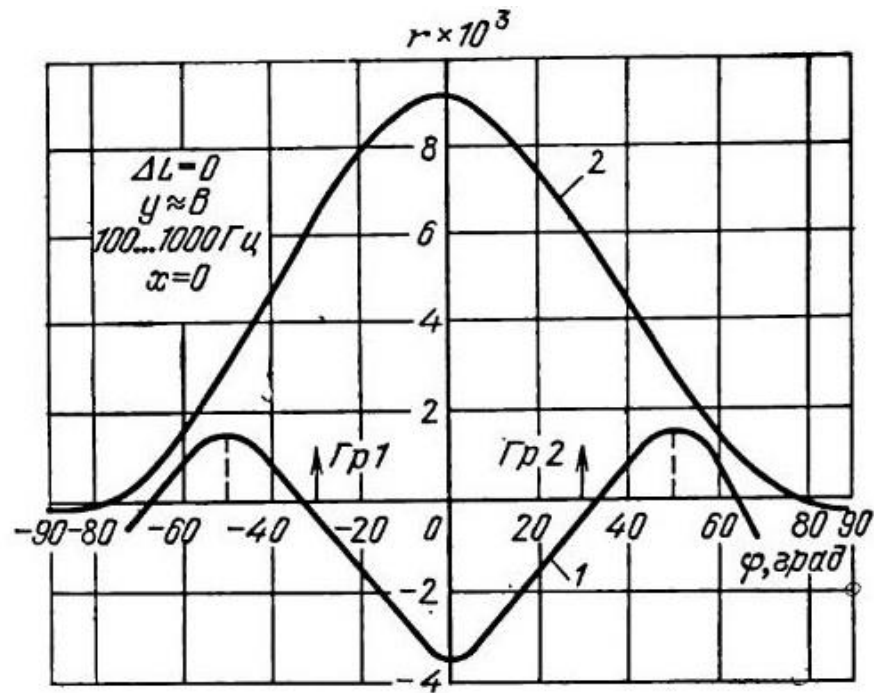


Рис. 1.10 Функція локалізації при синфазному (2) та протифазному (1) живленні гучномовців

Асоціативна модель зазвичай базується на двох окремих послідовних етапах опрацювання звукової інформації в слуховій системі слухача: асоціація місця реального джерела звуку в просторі, де знаходиться слухач, та асоціації форми, де можливе утворення УДЗ та проведення аналізу азимута уявного джерела. [18]

Звукова хвиля, яка випромінюється джерелом звуку (рис.1.11а) до лівого та правого входів слухового аналізатора, зазнає досить суттєвих змін. Зміни пов'язані з частотно-залежним затуханням звуку у повітрі з відстанню. Також істотний вплив викликаний саме формою голови слухача та вушних раковин, оскільки ці параметри є визначними в питаннях дифракційних явищ.

Всі ці зміни можна однозначно описати парою, яка формує матрицю D передаточних функцій лінійного ланцюжка, розташованого між джерелом звуку і лівим та правим входами слухової системи слухача.

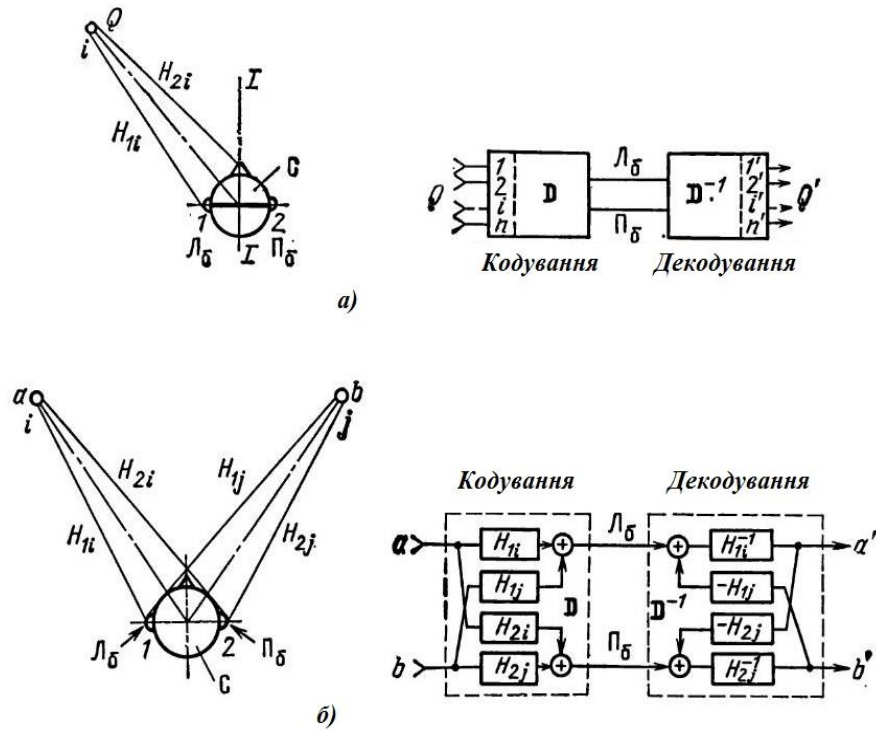


Рис.1.11 До просторового кодування та декодування одного (а) та двох (б) джерел

Матриця D точно визначає місце джерела звуку в просторі. Весь цей складний процес можливо представити як просторове кодування джерела звуку. В такому випадку бінауральна пара сигналів L_b і P_b , відповідна джерелу звуку, розташованому в точці i (рис.1.11),

$$L_b = H_{1i}Q; \quad P_b = H_{2i}Q \quad (1.9)$$

де Q -сигнал, що випромінює джерело звуку; H_{1i} H_{2i} - коефіцієнти передачі, які описують саме ті зміни, яких зазнає звукова хвиля, розповсюджуючись від місця E - знаходження джерела звуку - відповідно долівого 1 і правого 2 вуха слухової системи слухача.

За наявності двох дійсних джерел звуку, які випромінюють сигнали, результат їх просторового кодування можна представити у вигляді

$$L_b = H_{1i}a + H_{1j}b; \quad P_b = H_{2j}b + H_{2i}a \quad (1.10)$$

Тут $H_{1i}, H_{1j}, H_{2i}, H_{2j}$ - коефіцієнти передачі, які залежать від місця та описують зміни, яких зазнає звукова хвиля в процесі поширення від певного джерела звуку i і j відповідно до лівого 1 та правого 2 вуха слухача.

Просторове декодування являє собою поділ пар бінауральних сигналів за принципом місце розташування. Даний етап обробки інформації в слуховій системі є першим. Називають даний етап - асоціація місця. [16]

У пам'яті слуху для кожної сукупності місць $\{i, j\}$ створена інверсна матриця, в якій коефіцієнти передачі для кожного бінаурального сигналу протилежні відповідними коефіцієнтами матриці D . За допомогою такої матриці здійснюється поділ сигналів джерел звуку за принципом місця (рис. 1.11б). Для джерел звуку, розташованих в одному місці i (рис.1.11а), матриця декодування адаптивним шляхом приймає коефіцієнти передачі:

$$L_{\delta} * \frac{1}{H_{1i}} = Q \quad i \quad P_{\delta} * \frac{1}{H_{2i}} = Q \quad (1.11)$$

За наявності двох дійсних джерел звуку i і j коефіцієнти передачі інверсної матриці рівні:

$$\frac{H_{2j}L_{\delta} - H_{1j}P_{\delta}}{H_{1i}H_{2j} - H_{2i}H_{1j}} \quad i \quad \frac{H_{1i}P_{\delta} - H_{2i}L_{\delta}}{H_{1i}H_{2j} - H_{2i}H_{1j}} \quad (1.12)$$

Процес декодування являє собою наслідок асоціації ознак бінауральних пар сигналів джерел, що піддані кодуванню, та зразків, які вже зберігаються в слухової пам'яті.

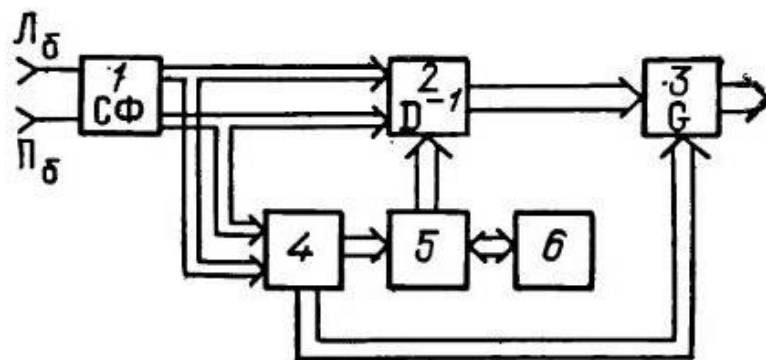


Рис. 1.12 Асоціативна модель просторового слуху

- 1 – система смугових фільтрів, які є тотожними по ширині частотним групами слуху;
- 2 – адаптивний фільтр, який описується матрицею
- 3 – етап асоціації форми;
- 4 – оцінка кореляції бінауральної пари сигналів;
- 5 – блок ідентифікації кореляційних зразків;
- 6 – слухова пам'ять

1.4. Локалізація уявного джерела звуку за умови двоканального стереовідтворення

Припустимо, що слухач знаходиться на осі симетрії системи відтворення, що складається з двох гучномовців Γ_1 і Γ_2 (рис. 1.13). Нехай сигнали, які випромінюють гучномовці, тотожні (не мають відмінностей за часом $T = 0$ і за рівнем $\Delta L = 0$ і отримані від одного джерела звуку - магнітофона). При сприйнятті звучання з обох гучномовців зливаються в єдиний звуковий образ, який здається слухачеві розташованим посередині бази гучномовців в точці 0. У процесі злиття звучань двох гучномовців утворюється уявне джерело звуку. [8]

Поява уявного джерела звуку можлива, якщо сигнали, що випромінюються Γ_1 і Γ_2 , статистично пов'язані (корельовані). Подібні процеси злиття характерні не тільки для бінаурального слуху, але і для інших органів чуття - зору, дотику [7]. При прослуховуванні сигналу, який розповсюджується з реального джерела звуку бінауральні сигнали завжди корельовані і, якщо слухач розташований обличчям до джерела звуку, тотожні.

Слухацький досвід, слухова пам'ять підказують і зворотній висновок: якщо бінауральні сигнали тотожні, то джерело звуку має знаходитися в медіанній площині. Додаткову інформацію про розташування джерела звуку (спереду, ззаду, зверху) орган слуху отримує, аналізуючи особливості спектра бінауральних сигналів. [16]

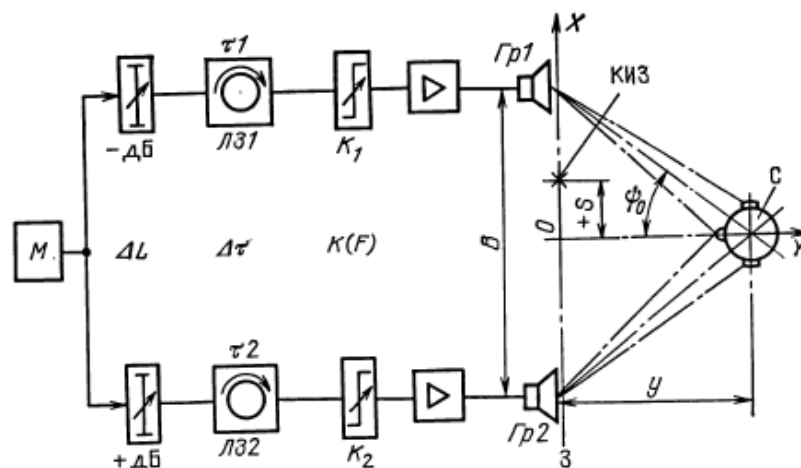


Рис. 1.13. Експериментальна установка для випромінювання азимутальної локації

Зі зниженням кореляції між каналними сигналами УДЗ локалізується все менш чітко, його протяжність по азимуту збільшується, і при зменшенні коефіцієнта кореляції $R(\Delta\tau)$ до 0,05 ... 0,15 настає «розрив» УДЗ на два дійсних джерела звуку, які локалізуються окремо один від одного. [18]

Положення УДЗ на лінії бази гучномовців залежить тільки від часу Δt_6 і інтенсивності ΔL_6 бінауральних сигналів. Такі відмінності можуть бути обумовлені властивостями сигналів з лівого і правого каналів (Δt , ΔL), та положенням слухача в просторі відносно гучномовців ($\Delta L_{x,y}$, $\Delta t_{x,y}$, де x і y - координати слухача (Рис. 1.13)).

Висновки до розділу 1:

1) між такими ознаками якості, як «ширина звукової панорами», «об'ємність звучання» і «прозорість звучання», існує дуже тісний кореляційний зв'язок, інакше кажучи, характерні властивості стереофонічного звучання - просторовість панорами і прозорість звучання є неподільними;

2) Ознаки якості мають відношення до двох протилежних процесів сприйняття: один (перший) - до етапу синтезу (об'єднання окремих компонентів складного звучання в єдиний звуковий образ), а другий - до етапу аналізу (поділу складного звучання на окремі його компоненти з метою виділення окремих інструментів і голосів).

РОЗДІЛ 2. ПРОСТОРОВІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗВУКУ

2.1. Просторові спотворення звукової панорами

В попередніх пунктах розглядалися особливості локалізації одиничних уявних джерел звуку. Однак все викладене справедливо і для декількох УДЗ за умови, що формують їх пари сигналів некорельовані між собою.

Сукупність уявних джерел звуку, що розрізняються по положенню в просторі, назвемо просторовою звуковою панорамою (або стереопанорамою). При її формуванні звукорежисер завжди займає місце на осі симетрії гучномовців. При цьому кожному УДЗ відповідають ті чи інші значення ΔL і Δt . випадку асиметричного розташування слухача щодо гучномовців G_1 і G_2 виникає додаткова різниця у часі $\Delta t_{x,y}$, а також інтенсивності $\Delta L_{x,y}$. Різниці цих показників зумовлені відмінністю відстаней до гучномовців і характеристиками спрямованості останніх. Поява $\Delta L_{x,y}$ і $\Delta t_{x,y}$, призводить до того, що панорама, яка сприймається слухачем, суттєво відрізняється від вихідної, тобто виникають просторові спотворення. [18]

Наочне уявлення про характер цих просторових спотворень дає рис. 2.1, б. По осі абсцис відкладені величини відносного зсуву $S/(B/2)$ кожного з п'яти мовних УДЗ, які є складовими стереопанорами, по осі ординат - величина бічного зсуву x слухача. Ці дані отримані для випадку неспрямованих гучномовців. Початкове положення КІЗ, відповідає симетричному положенню слухача ($x = 0$), зображено в лівій частині рис. 2.1, б.

Зображене на рис.2.1,б сімейство кривих $S/(B/2)=f(x)$ - просторові характеристики стереофонічної звуковідтворювальної системи. Якби в досліджуваній системі відтворення не існувало просторових спотворень, то відповідні їй просторові характеристики мали б вигляд прямих ліній, паралельних осі абсцис. З отриманих даних випливає, що найбільшого зміщення від свого початкового положення зазнають уявні джерела звуку, розташовані в середній частині панорами (джерела 2, 3, 4). При невеликих

значеннях x ($x < 0,4$ м) згадані вище УДЗ зміщуються майже пропорційно зміні x , тому їх взаємне розташування практично не змінюється. [18]

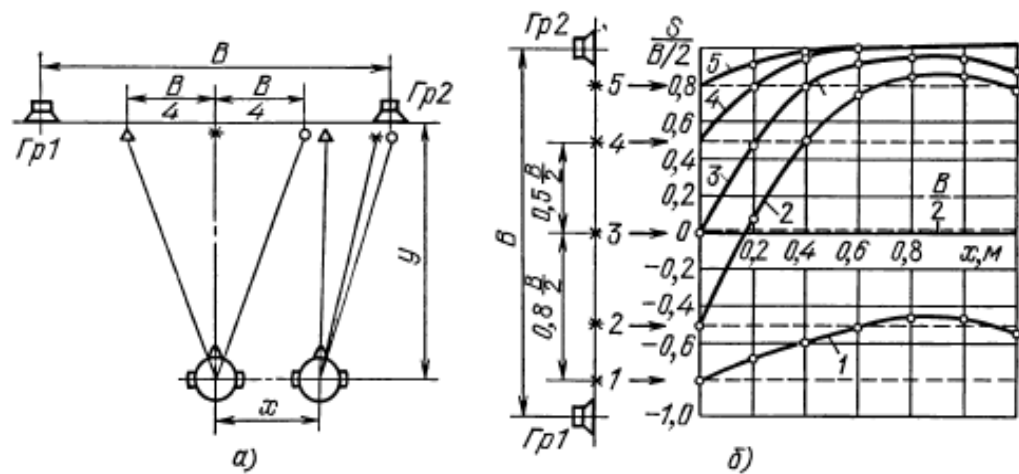


Рис. 2.1. Просторові спотворення стереопанорами при переміщенні слухача вздовж лінії бази: а) розташування слухача і уявних джерел, які утворюють стереопару б) вплив бокового (x) зміщення слухача ($B=1,8$ м; $y=1,5$ м)

Уявні джерела звуку, що знаходяться далі від центру бази (1 і 5), менш схильні до просторових спотворень внаслідок нелінійності залежностей $S/(B/2)=f(\Delta L, \Delta t)$, оскільки при формуванні цих джерел введені більші відмінності ΔL , або Δt ($\Delta L > 7$ дБ або $\Delta t > 0,8$ мс).

Просторові спотворення, які проявляються в зміні місця розташування УДЗ щодо свого первісного (задуманого звукорежисером) положення, досягають максимальних значень при $x = \pm B/2$, тобто коли слухач знаходиться навпроти одного з гучномовців. При цьому спостерігається «розрив» стереопанорами на дві частини: тобто більша частина УДЗ локалізується в позиції найближчого гучномовця, інші - в області найбільш віддаленого гучномовця. Найбільші просторові спотворення властиві КІЗ, розташованим в середній частині панорами. [19]

2.2. Сприйняття ревербераційних сигналів при стереофонічному звучанні

Носієм інформації про акустичні властивості первинного приміщення є ревербераційний процес. Його формують звукові хвилі, відбиті від поверхонь

приміщення. Такі хвилі мають певні відмінності від прямого звуку за рівнем, формою спектра і напрямком приходу. У дифузному звуковому полі напрямки приходу відзвуків однаково ймовірні.

Просторовість ревербераційного процесу є найважливішою його особливістю, яка істотно поліпшується також завдяки властивості вуха вибіркової здатності у напрямку сприйняття всіх його часових і частотних особливостей. [19] Однак така якість ревербераційного процесу після мікрофона зникає. Ревербераційний сигнал, сприйнятий мікрофоном, при електроакустичній передачі з первинного приміщення (концертний зал, радіомовна студія) у вторинну (апаратна звукозапису, житлова кімната радіослухача), аналітично можна малювати таку картину:

$$f(\xi) = \sum_{i=0}^k \alpha K_{\tau_i} \beta_i \varphi(\xi - \tau_i), \quad (2.1)$$

де α і $\varphi(\xi)$ - відповідно амплітуда і функція часу сигналу, що випромінюється джерелом звукових коливань;

K_{τ_i} - коефіцієнт, що враховує частотну залежність згасання звуку в повітрі з відстанню і полярну характеристику мікрофона;

β_i - загальний коефіцієнт ослаблення 1-го відбиття від поверхонь первинного приміщення;

τ_i - час запізнювання сигналу і-го відгону по відношенню до сигналу прямого звуку;

k - число відбиттів.

Незважаючи на те, що існує неймовірно велика кількість різноманітних форм і розмірів первинних приміщень, тимчасові структури ревербераційних сигналів мають такі загальні особливості (рис. 2.2, а):

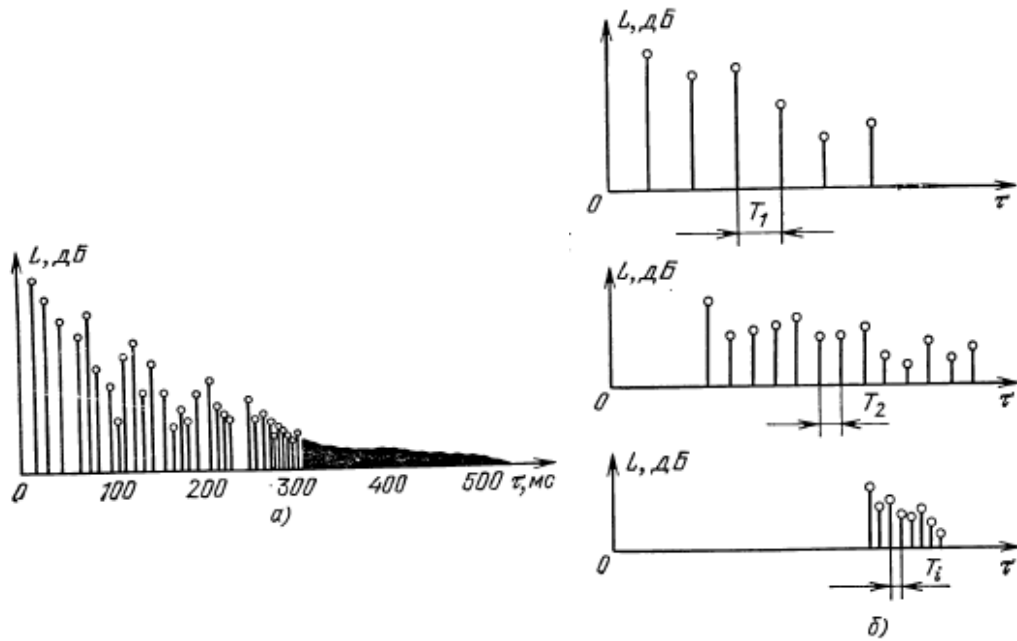


Рис. 2.2 Приклад часової структури ревербераційного сигналу (а) та сукупність періодичних відбиттів (б)

- кількість відбитих сигналів зростає зі збільшенням часу затримки;
- тимчасові інтервали між відбитими сигналами скорочуються, зі збільшенням часу затримки
- тимчасова структура ревербераційного сигналу дискретна в початковій стадії процесу;

Початкова ділянка ревербераційного процесу, що складається з ряду дискретних відбиттів, несе інформацію в основному про геометричні розміри приміщення, його об'єм. Гулкість приміщення визначається показником, що характеризується великою кількістю відбиттів в одиницю часу. [23]

За умов впливу ревербераційного сигналу на орган слуху слухача необхідно враховувати, що:

- кожен з сигналів - відбиттів, є складовою ревербераційного процесу та визначається за допомогою вагової функції $h(t-\xi)$, який характеризує реакцію слуху на імпульсне збудження;

- перетворення ревербераційного сигналу в слуховий системі може відбуватися тільки в області відомих минулих величин, бо характер сигналів в майбутньому невідомий слухачам;

- на слухове сприйняття сигналу кожного 1-го відбиття впливають сигнали більш ранніх відбиттів, останні мають тим менше значення, чим більше вони «віддалені в минуле».

Таким чином, сигнал, що формує слухове відчуття в момент τ сприйняття ревербераційного процесу первинного приміщення,

$$f_t(\xi, \tau) = \sum_{l=0}^k a_l \varphi(\xi - \tau_l) h[l - (\xi - \tau_l)] m(\tau_l - \tau), \quad (2.2)$$

$\alpha_i = \alpha K \tau_i \beta_i$ поточний час сигналу;

t - поточний час ревербераційного процесу;

$h(t - \xi)$ і $m(\tau_i - \tau)$ - дві різні записи (зручні для подальшого викладу) однієї і тієї ж вагової функції, що характеризує «пам'ять» слуху. [21]

Короткочасну функцію кореляції імпульсного відгуку приміщення набагато простіше виміряти експериментальним шляхом, ніж обчислити. Для цієї мети була складена відповідна методика і розроблена експериментальна установка. З використанням цієї методики було отримано понад 100 корелограм імпульсних відгуків приміщення (для різних приміщень і місць розташування в них штучної голови з мікрофонами). [22]

Результати аналізу коррелограмм можуть бути коротко сформульовані наступним чином:

- 1) При будь-якому розташуванні випромінювача і приймача звуку в первинному приміщенні, короткочасна функція кореляції імпульсного відгуку має безліч енергетичних піків, що відрізняються як за рівнем, так і за часом розташування їх на осі часу.

- 2) Все це дозволяє розглядати ревербераційний процес як сукупність (суму) аперіодичних і груп періодичних (рис. 2.2, б) відгуків, кожен з яких має різний період проходження T_i , і неоднакове розташування на осі τ (τ - поточний час ревербераційного процесу). Групи періодично слідуючих відгуків і утворюють згадані вище енергетичні піки на корелограмі процесу.
- 3) Короткочасні функції кореляції ревербераційних сигналів, які сприймаються лівим і правим вухами, завжди різні.

При стереовідтворенні ревербераційне продовження каналних сигналів різні. Різниця інтенсивностей ΔL_τ ревербераційних сигналів стереопари безперервно змінюється (і в широких межах) як за величиною, так і за знаком зі зміною поточного часу τ ревербераційного процесу в первинному приміщенні. Типовий приклад зміни величини ΔL_τ , дБ, від τ , мс, для дискретної ділянки ревербераційних продовжень сигналів стереопари наведено на рис. 2.3.

Значення ΔL_τ обчислені для моментів τ , відповідних приходу сигналів відзвуків. [8] Якщо тепер формальним шляхом для кожного знайденого значення ΔL_τ визначити місце розташування УДЗ на лінії бази стереосистеми, то отримаємо картину зміни локалізації в функції від τ (рис. 2.4-2.5).

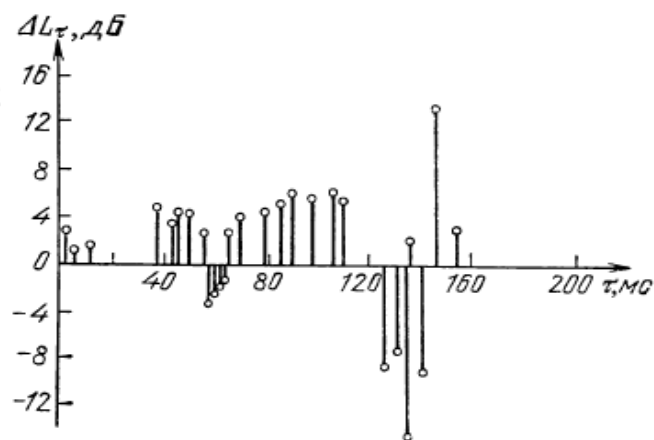


Рис 2.3 Приклад зміни різниці рівнів ревербераційних сигналів стереопари в процесі затухання звукової енергії в приміщенні

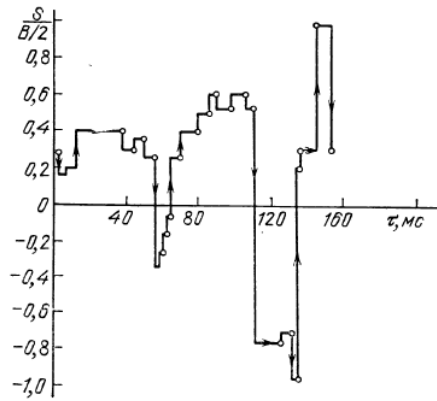


Рис 2.4. Формальна картина відносно зміщення УДЗ, яке формується сигналами стереопари, при затуханні звукової енергії в приміщенні

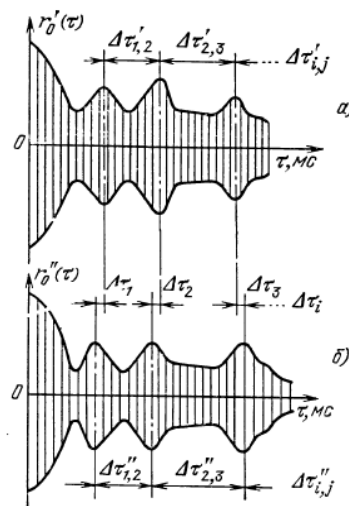


Рис 2.5. Схематичне зображення короточасних функцій кореляції ревербераційних сигналів при двоканальному відтворенні

Крива $S/(B/2) = f(\tau)$ отримана без урахування тимчасових властивостей процесу локалізації. Це свідчить лише про наявні передумови до зміни напрямків локалізації відзвуків первинного приміщення при стереовідтворенні. Беручи до уваги кореляційну природу слуху людини та особливості тимчасових і кореляційних властивостей ревербераційних сигналів, можна зробити припущення, що групи періодичних відгуків складають при відтворенні в приміщенні прослуховування відзвуки високого рівня, які мають інформацію про акустичні властивості первинного приміщення. [23] Причому, якщо різниця по часу надходження до слухача

сусідніх піків функції кореляції ($\Delta\tau_{1,2}$, $\Delta\tau_{2,3}$, $\Delta\tau_{i,j}$) менше порогового значення $\Delta\tau_{\Pi}$, то ці відгуки високого рівня сприймаються як одне ціле. При $\Delta\tau_{i,j} > \Delta\tau_{\Pi}$ вони сприймаються окремо. [24]

Вимірювання часових інтервалів між сусідніми піками функції кореляції $r_0(\tau)$ реальних ревербераційних процесів показало, що умова роздільного сприйняття слухачем окремих частин ревербераційного сигналу виконується досить часто. Справедливість цього висновку підтверджує також той факт, що значення $\Delta\tau_{\Pi}'$, і $\Delta\tau_{\Pi}''$ істотно менше тривалості ревербераційних процесів (0,8 ... 2,0 с) первинних приміщень.

Звідси випливає, що при остаточній обробці ревербераційного сигналу в вищих нервових центрах, тобто при його перетворенні в відчуття (етап асоціації форми), утворюється цілий ряд окремо сприйнятих вторинних звукових образів. [8]

Табл. 2.1 Порогові значення часового зсуву каналних сигналів, які відповідають розриву УДЗ

Вещательный сигнал	$\Delta\tau_{\Pi}'$, мс	$\Delta\tau_{\Pi}''$, мс	Вещательный сигнал	$\Delta\tau_{\Pi}'$, мс	$\Delta\tau_{\Pi}''$, мс
Кастаньеты	30	4	Речь женская	50	5...8
Ксилофон	50	5	Скрипка	100	9...12
Барабан (малый)	50	5	Альт	100	9...12
Барабан (большой)	50	6	Рояль	100	12...16
Коробочка	40	6	Кларнет	100	16...20
Бубен	40	6	Виолончель	100	21...30
Речь мужская	50	5...7			

При двоканальній звукопередачі короточасні функції кореляції ревербераційних сигналів різні, що пояснюється розташуванням мікрофонів лівого і правого каналів стереопари в різних точках первинного приміщення. Для більшої наочності ці залежності на рис. 2.3 показані схематично.

По осі ординат відкладені значення короточасних функцій кореляції ревербераційних сигналів лівого $r_0(\tau)'$ і правого $r_0(\tau)''$ каналів стереопари. На осі абсцис – поточний час (τ , мс), ревербераційного процесу. Представлені

корелограми відрізняються числом енергетичних піків, їх рівнем і розташуванням на осі поточного часу. [9]

При відтворенні таких ревербераційних сигналів гучномовцями Γ_1 і Γ_2 утворюється ціла сукупність вторинних уявних звукових образів, які локалізуються слухачами в різних точках на лінії бази Γ_1 і Γ_2 . Ці вторинні УДЗ формуються парами сусідніх енергетичних піків лівого і правого сигналів стереопари, якщо виконується умова $\Delta\tau_i < \Delta\tau_{п.}$. Вторинні УДЗ будуть сприйматися окремо, якщо $\Delta\tau_i > \Delta\tau_{п.}$ [7] Іншими словами, при стереовідтворенні, завдяки особливостям бінаурального слуху людини частково відновлюється просторовість приходу відбиттів. Така просторовість властива первинному приміщенню, тобто в якому і проводився запис сигналу. Завдяки такій властивості слухової системи, поліпшуються умови для сприйняття відбиттів.

Однак відновлення напрямків приходу відбиттів первинного приміщення при стереовідтворенні обмежена кутом, під яким видно гучномовці з точки розташування слухача. Саме цим пояснюється недостатньо повне сприйняття слухачем акустичної обстановки первинного приміщення, властиве звичайному двоканальному стереовідтворенню. При монофонічному відтворенні всі відбиття, які є складовими ревербераційного процесу в первинному приміщенні, сприймаються слухачем з одного напрямку - гучномовця. Вони в значній мірі маскуються сигналом прямого звуку. Через таке маскування неможливо виокремити відбиття, тому процес проведення слухової оцінки акустичних властивостей первинного приміщення стає досить складним. [8]

Висновки до розділу 2:

- 1) Просторовість звукового сприйняття залежить від таких показників як час тривалості та інтенсивність звукового сигналу.
- 2) Ревербераційний процес є носієм інформації про акустичні властивості первинного приміщення.

РОЗДІЛ 3. ОЦІНКА РОЗБІРЛИВОСТІ МОВИ ЗА КОЕФІЦІЄНТОМ МІЖВУШНОЇ КОРЕЛЯЦІЇ МОВНОГО СИГНАЛУ

На сьогодні існує досить велике різноманіття об'єктивних методів оцінки розбірливості мови в приміщеннях та акустичних трактах. Майже усі ці методи базуються на використанні широкосмугового шуму. Широкосмуговий шум має великий набір слухових частот. Проте практика показує, що широкосмуговий шум має досить суттєві відмінності від мови. Ці відмінності суттєві саме в плані сприйняття їх слухом людини. [6]

Мовний сигнал має набагато складнішу структуру, в порівнянні з шумом. Фізичною основою мовного звучання є акустичні коливання повітряного струменя. Такі коливання формуються органами артикуляції людини.

Втім те, як людина чує мову, визначає не тільки акустика звучання. Фонетична система мови значною мірою впливає на механізми сприйняття мови людським організмом за допомогою слухової системи. Таким чином ми помічаємо вплив і на результат сприйняття. Цим пояснюються помилки при сприйнятті усної мови при спілкуванні.

Основними параметрами якості мови є складова і фразова розбірливості, а також якість мови в порівнянні з якістю мови еталонного тракту та якість мови в реальних умовах роботи.

Такі параметри складно дослідити, оцінити та проаналізувати за допомогою широкосмугового шуму, оскільки в його складі не маємо а ні фраз, ні складів. В такому випадку доречно використовувати мовний сигнал. Використовуючи мовний сигнал, ми маємо можливість отримати достовірніший результат для об'єктивної оцінки розбірливості мови.

В роботах [15], [28] в тому числі в роботах автора [30], запропонований в якості метода оцінки розбірливості мови в приміщенні —метод використання значень коефіцієнтів міжвушної кореляції на слухацьких місцях.

Шляхом вимірювань бінауральних мовленнєвих сигналів ми можемо отримати значення коефіцієнтів міжвушної кореляції для подальшого використання у обчисленнях. Для цього додатково необхідно виміряти ще один об'єктивний параметр, рекомендований Міжнародною організацією зі стандартів ISO - функцію міжвушної кореляції (IAFC). [30]

IAFC характеризує сприйняття звуку слухачем (аудитором). Оцінити та проаналізувати розбірливість мови в приміщенні можна за допомогою коефіцієнта міжвушної кореляції (IACC), який являє собою максимальне значення функції міжвушної кореляції.

Коефіцієнт кореляції визначається за максимальними значеннями функції кореляції звукового тиску на обох вухах. Він демонструє ступінь подібності сигналів. Наприклад, якщо сигнали на двох вухах однакові, то джерело звуку буде здаватися точковим, якщо ж сигнали, які надходять до лівого та правого вух, - різні, це створює враження розширення звукового джерела, тобто коефіцієнт кореляції в певних межах зменшується.

Кореляційна функція нормована на взаємну енергію відповідних сигналів [30]:

$$IACF(\tau) = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} p_l(t) p_r(t+\tau) dt}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} p_l^2(t) dt \cdot \int_{-\infty}^{\infty} p_r^2(t) dt}}, \quad (3.1)$$

де τ – часова затримка, $p_l(t)$ та $p_r(t)$ – звуковий тиск на лівому та правому вухах.

Визначається сам коефіцієнт міжвушної кореляції як:

$$IACC = \max |IACF(\tau)|, \text{ при } -1\text{мс} \leq \tau \leq 1\text{мс} \quad (3.2)$$

тобто за максимальним значенням функції, при зміні від -1мс до +1мс.

Зазвичай, розбірливість мови визначали за індексом чіткості, введеним на основі параметра «чіткості» Тіллі [23].

Індекс чіткості для мови визначається за імпульсним сигналом наступним чином:

$$C_{50} = 10 \lg \left[\frac{\int_0^{50 \text{мс}} p^2(t) dt}{\int_{50 \text{мс}}^{\infty} p^2(t) dt} \right]$$

тобто дорівнює відношенню звукової енергії, що надійшла до слухача в перші 50 мс, до решти енергії звукового сигналу, де $p^2(t)$ -енергія імпульсного сигналу. При додатних значеннях C_{50} очікують задовільну розбірливість мови. Але такі результати не завжди відповідають дійсності. [30]

Обробка результатів вимірювань дозволяє знайти параметр, що називається «чіткістю»:

$$D := \frac{\int_0^{50 \text{мс}} p^2(t) dt}{\int_{50 \text{мс}}^{\infty} p^2(t) dt}$$

Через який можливо знайти коефіцієнт складової розбірливості:

$$k_c = \sqrt[5]{D} = \sqrt[5]{1 / (1 + 10^{-C_{50}/10 \text{дБ}})}$$

Вимірювання проводилось з використанням штучної голови в конференцзалі (аудиторії №412) корпусу №12 Національного технічного університету України «КПІ імені Ігоря Сікорського» для стереосистеми озвучення приміщення. [30]

Розміри залу -14,3x18,5x6,25 м, об'єм $-V \approx 1653 \text{м}^3$. Точки для вимірювання обирались по всій території приміщення, а саме на трьох рядах, в кожному по 3 точки (рис. 3.1). Ширина бази стереосистеми – 4.5 метри. Відстань від лінії бази до першого ряду – 3 м, до другого – 6.5, третього – 9м. Між точками по горизонталі відстані становили: 0; 2.23; 4.5; 7 м відповідно. Висота розміщення штучної голови – 1.2 м. Стереосистема розміщувалась на сцені. Випромінювався імпульсний сигнал тривалістю 5 мс. [30]

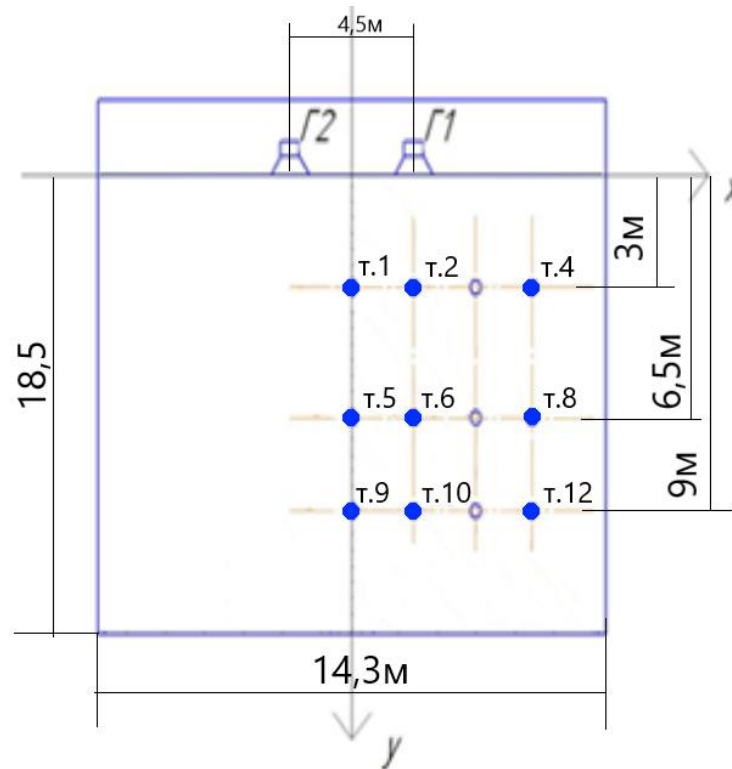


Рис 3.1 Геометрія розташування стереосистеми та точок вимірювання в залі

Дослідження було проведено згідно ISO 3382-1:2009. Досліджувані точки обрані відповідно до місць розташування аудиторів в приміщенні – людей які прослуховували звукові фрагменти. В цих же точках вимірювались міжвушні кореляційні функції за допомогою макету штучної голови. [30]

В експерименті були використані такі пристрої:

- гучномовці Radiotekhnika S-30B;
- манекен голови людини, в який було вмонтовано вимірювальні мікрофони Behringer ECM8000;
- звукова карта M-Audio Fast Track Pro;

В табл.3.1 наведена оцінка складової розбірливості мови K_c за імпульсним сигналом. [30]

Таблиця 3.1. Складова розбірливість мови K_c за індексом C_{50} імпульсного сигналу і значення коефіцієнту кореляції ІАСС

Показники розбірливості	Точка 1	Точка 4	Точка 12
C_{50}	4,5	3	1,1
K_c	0,93	0,92	0,859
ІАСС	0,88	0,8	0,78
A%	79,5	76,4	61

Для перевірки достовірності отриманих даних в залі проведені артикуляційні випробування.

Склад артикуляційної бригади: 3 диктори (один жіночий та два чоловічих голоси) та 10 аудиторів віком 18-25 років. [30]

Зразок артикуляційних складових таблиць наведено в таблиці 3.2

Таблиця 3.2. Артикуляційні складові таблиці (ГОСТ Р 50840-95)

РЕК	НИЩ	ЗНОМ	РЫС	ГЕК	ТАНЬ	ВУФ	ТРЕП	МЕХ	ПАСЬ
ЗЫРЬ	ЧГУЙ	БЫС	ТЕТ	СКЕС	МОФЬ	ЛЯМ	ГОФ	СЯХ	РОЦ
ФОК	ШУСЬ	ХУЛ	ШТАЙ	МИС	ДВАТ	ТРЮЛЬ	НУЦ	РЕЛЬ	ШИЙ
ДАМЬ	ПЮМ	КАЦ	БЕК	ЧИНЬ	ЩУРЬ	ЛУФ	ФИШ	СУЗНЬ	ПРЕНЬ
СТАР	БАНЬ	ВЮР	НАХ	БЕМ	САХ	ДЕСЬ	ЖУС	ЦОЙ	ЛОРЬ

ЗУФЬ	СТЫЧ	ЖЕН	ЕР	НЯРЬ	ЗНУН	ГАНЬ	КОС	СЫМ	ЛОЦ
БЮН	ХОЛЬ	ДЯФ	НЕНЬ	ЧГОТЬ	ЛЮПЬ	ПРОЦ	ШИЧ	ПЯЩ	ЩЕТЬ
ЦУЧ	КИК	МОТЬ	ДРЕТЬ	РЮХ	ЧЕСЬ	МИФЬ	ТРАР	ЗЯК	НОТЬ
ПЛЫК	ФУЧ	ЧТЭГ	ВАК	ЛЕН	ТУХ	ВУР	ЗОС	ХЕТ	ЗДАП
СЕФ	КАТЬ	ДОР	ПОН	ТЯЧ	СУСЬ	БАН	ВЕНЬ	ТИСТЬ	РУЛ

Для вимірювання артикуляційної розбірливості використовувались 5 складових таблиць (ГОСТ Р 50840-95 «Передача речі по трактам зв'язи»).

Обробка результатів передбачає обчислення середнього значення і середньоквадратичного відхилення оцінки розбірливості [30]:

$$S = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N S_i \quad (3.3)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (S_i - S)^2} \quad (3.4)$$

де S_i - результат одиничного вимірювання; N - кількість вимірювань.

Потім відсіюються сумнівні дані, а також відкидаються результати, для яких $S_i - S \geq 2\sigma$.

Після цього обчислюється нове середнє значення:

$$S = \frac{1}{N-k} \sum_{i=1}^{N-k} S_i \quad (3.5)$$

де k – число відкинутих вимірювань.

В результаті артикуляційних випробувань виявилось, що в той час як за коефіцієнтом складової розбірливості K_c (за імпульсним сигналом) приміщення відповідає добрій розбірливості мови (89-93%), суб'єктивна оцінка розбірливості знаходиться в межах «добре-задовільно-погано».

При цьому коефіцієнт міжвушної кореляції ІАСС наближається до одиниці, що свідчить про тотожність імпульсних сигналів. [30]

Отже, імпульсний сигнал не може бути застосований для оцінки розбірливості мови.

Наступним кроком ми виміряли функцію міжвушної кореляції для мовного сигналу. В експерименті було використано уривок тексту твору Михайла Булгакова «Мастер и Маргарита» тривалістю 20 сек. [30]

Аудитори, що знаходилися на слухацьких місцях, записували у відповідний бланк почуті склади (об'єктивізована оцінка розбірливості мови).

Таблиця 3.3. Артикуляційна оцінка розбірливості мови об'єктивізованим способом, у відсотках

Ряд	Об'єктивна оцінка розбірливості по точках			
Перший	т.1	т.2	т.4	Середня по ряду
	81,6	79,2	76,4	79
Середній	т.5	т.6	т.8	Середня по ряду
	81,6	69,8	61	71,8
Останній	т.9	т.10	т.12	Середня по ряду
	73,6	70,6	70,4	71,6
Загальна оцінка по аудиторії				74

Отже, оскільки розрахункові дані за імпульсним сигналом і експериментальні результати оцінки за мовним сигналом суттєво різняться, автором була запропонована, як метод, оцінка розбірливості мови за коефіцієнтом міжвушної кореляції.

В результаті досліджень встановлено, що ІАСС мовного сигналу виявляються нижчими за відповідні коефіцієнти імпульсного сигналу, що свідчить про гіршу подібність мовних бінауральних сигналів в порівнянні з імпульсними (табл.3.4). [30]

Таблиця 3.4. Значення коефіцієнтів міжвушної кореляції ІАСС для імпульсного і мовного сигналів

Тип сигналу	Точка 1	Точка 4	Точка 12
Імпульсний	0,88	0,8	0,78
Мовленнєвий	0,49	0,44	0,27

Бачимо, що мовні сигнали стереопари значно слабкіше корельовані між собою, ніж імпульсні сигнали, що свідчить про гіршу розбірливість мови в приміщенні, ніж за імпульсною оцінкою. [30]

В той же час значення ІАСС мовленнєвого сигналу і результати суб'єктивних вимірювань знаходяться в однакових оціночних областях розбірливості мови. Це дозволяє сформувану відповідну шкалу розбірливості, взявши за основу класифікацію згідно ГОСТ Р 50840-95 (табл.3.5).

Таблиця 3.5. Оцінка розбірливості мови

Оцінка розбірливості	Якість розуміння	Відсоток складової артикуляції, А%	Коефіцієнт міжвушної кореляції, ІАСС	Клас
Відмінно	Без найменшого напруження уваги	>93	>0,86	Вищий
Добре	Без ускладнень	86-93	0,86-0,71	I
Задовільно	З напруженням уваги, без перепитувань	76-85	0,7-0,51	II
Погано	З напруженою увагою, з перепитуваннями	61-75	0,5-0,21	III
Незадовільно	З напругою уваги, з перепитуваннями і повтореннями	45-60	<0,2	IV

Отже, встановимо зв'язок між ІАСС мовленнєвого сигналу і суб'єктивною оцінкою відсотку складової артикуляції.

Нами була створена шкала відповідності, враховуючи клас розбірливості мови. За такою шкалою:

- $IACC > 0,5$ – розбірливість добра;
- $0,3 < IACC < 0,5$ – задовільна;
- $0,2 < IACC < 0,3$ – слабка;
- $IACC < 0,2$ – незадовільна.

На рисунку 3.2 представлені значення коефіцієнтів ІАСС для мовного сигналу на слухацьких місцях відповідного ряду в залі (для кожного ряду: т.1 – центральна точка ряду; т. 2 – місце навпроти одного з гучномовців; т.3 – останнє місце ряду). На цьому ж рисунку показані значення відсотку артикуляції А%, одержані в результаті артикуляційних випробувань [17], [30]

для відповідних слухацьких місць. Також вказана степінь розбірливості мови у відповідності до класу розбірливості згідно ГОСТ Р 50840-95.

Значення ІАСС імпульсного сигналу, нанесені на рисунку 3.2 для порівняння, свідчать, що оцінка розбірливості мови за імпульсним сигналом не буде коректною, оскільки не відповідає суб'єктивним вимірюванням за класом розбірливості. [30]

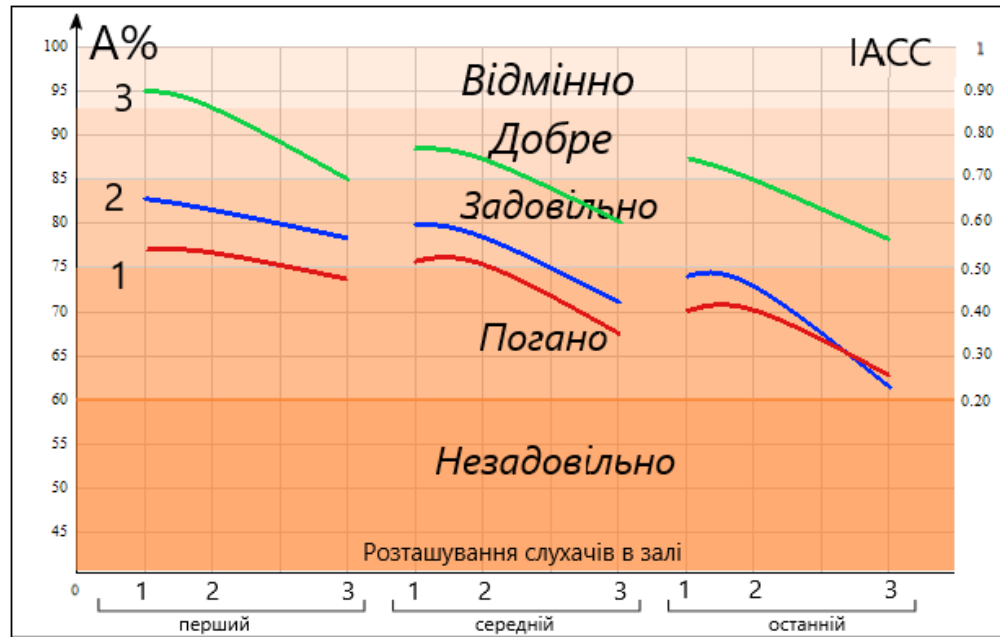


Рис. 3.2 Коефіцієнти міжвушної кореляції ІАСС: 1 – мовного сигналу; 2 – значення відсотку артикуляції А%; 3 – імпульсного сигналу; Різними відтінками кольору і відповідними надписами позначенні класи розбірливості мови [30]

Таким чином, підтверджується можливість оцінки розбірливості мови за бінауральними характеристиками сприйнятого мовного сигналу.

Висновки до розділу 3:

- 1) Оцінку розбірливості мови в аудиторії можна проводити, використовуючи коефіцієнт міжвушної кореляції мовного сигналу, який було отримано, за допомогою проведення вимірювань бінауральних сигналів на слухацьких місцях.
- 2) Об'єктивний метод дає змогу провести вимірювання розбірливості мови в залі без артикуляційних вимірювань. Тобто процедура спрощується, оскільки відпадає необхідність залучати до роботи аудиторів.

РОЗДІЛ 4. РОЗРАХУНОК РОЗБІРЛИВОСТІ МОВИ В ЗАЛІ КОРЕЛЯЦІЙНИМ СПОСОБОМ

4.1 Аналітичний метод розрахунку коефіцієнта міжвушної кореляції

Для розрахунку значень коефіцієнтів міжвушної кореляції на слухацьких місцях скористуємось методом локалізації уявного джерела звуку (УДЗ), що базується на моделі кореляційного пеленгування (рис. 4.1) [8].

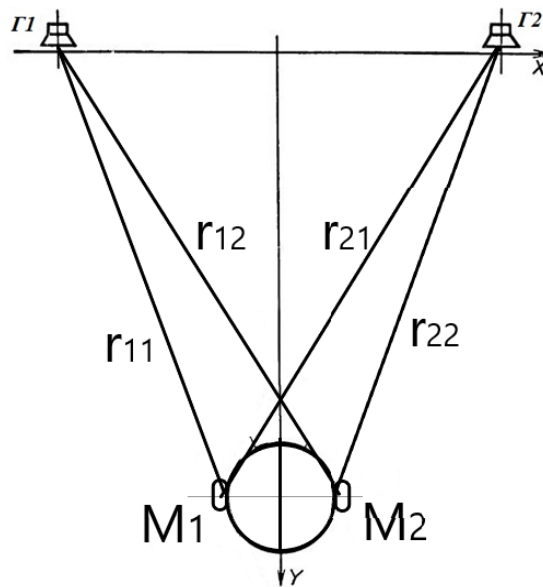


Рис. 4.1. Ілюстрація до визначення функцій міжвушної кореляції

Напрямок на УДЗ в цій моделі співпадає з кутовим положенням максимуму функції взаємної кореляції бінауральної пари сигналів, що сприймаються мікрофонами M_1 і M_2 .

Запишемо вираз для функції взаємної кореляції у загальному вигляді:

$$R(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} S_1(t) \cdot S_2(t - \tau) dt \quad (4.1)$$

Де $S_1(t)$ – сигнал, що надійшов на мікрофон 1 (або ліве вухо);

$S_2(t)$ – сигнал, що надійшов на мікрофон 2 (або праве вухо).

В свою чергу сигнали $S_1(t)$ і $S_2(t)$ складаються з двох сигналів:

$$S_1 = S_{11}(t) + S_{21}(t) \quad (4.2)$$

Де $S_{11}(t)$ - сигнал, що надішов на мікрофон 1 (M_1) від гучномовця Γ_1 ;

$S_{21}(t)$ - сигнал, що надійшов на M_1 від гучномовця Γ_2 ;

$$S_2 = S_{22}(t) + S_{12}(t) \quad (4.3)$$

Де $S_{22}(t)$ і $S_{12}(t)$ сигнали, що надійшли на M_2 , відповідно, від гучномовців Γ_2 і Γ_1 .

Тоді функцію взаємної кореляції (4.1) можна представити у вигляді суми функцій кореляції відповідних пар сигналів (4.2) і (4.3):

$$R(\tau) = R_{11-22}(\tau) + R_{11-12}(\tau) + R_{21-22}(\tau) + R_{21-12}(\tau), \quad (4.4)$$

$$\text{Де } R_{11-22}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} S_{11}(t) \cdot S_{22}(t+\tau) dt;$$

$$R_{11-12}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} S_{11}(t) \cdot S_{12}(t+\tau) dt;$$

$$R_{21-22}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} S_{21}(t) \cdot S_{22}(t+\tau) dt;$$

$$R_{21-12}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} S_{21}(t) \cdot S_{12}(t+\tau) dt.$$

Нормовану функцію кореляції будемо оцінювати як:

$$R_H(\tau) = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} S_1(t) \cdot S_2(t+\tau) dt}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} S_1^2(t) dt \cdot \int_{-\infty}^{\infty} S_2^2(t) dt}}. \quad (4.5)$$

Коефіцієнт міжвушної кореляції визначаємо, як значення нормованої функції при $\tau = 0$:

$$K = R_H(0). \quad (4.6)$$

4.2 Розрахунок коефіцієнтів міжвушної кореляції для прямокутного імпульсу

Розглянемо випромінювання прямокутного відео-імпульсу з амплітудою вигляду рис. 4.2 і описаного аналітичною функцією:

$$S(t) = A \cdot \text{rut}\left(\frac{t}{\tau}\right) \quad (4.7)$$

Або

$$S(t) = \begin{cases} 0, & |t| > \frac{\tau_i}{2}; \\ \frac{A}{2}, & |t| = \frac{\tau_i}{2}; \\ A, & |t| < \frac{\tau_i}{2} \end{cases}$$

Де τ_i - довжина імпульсу.

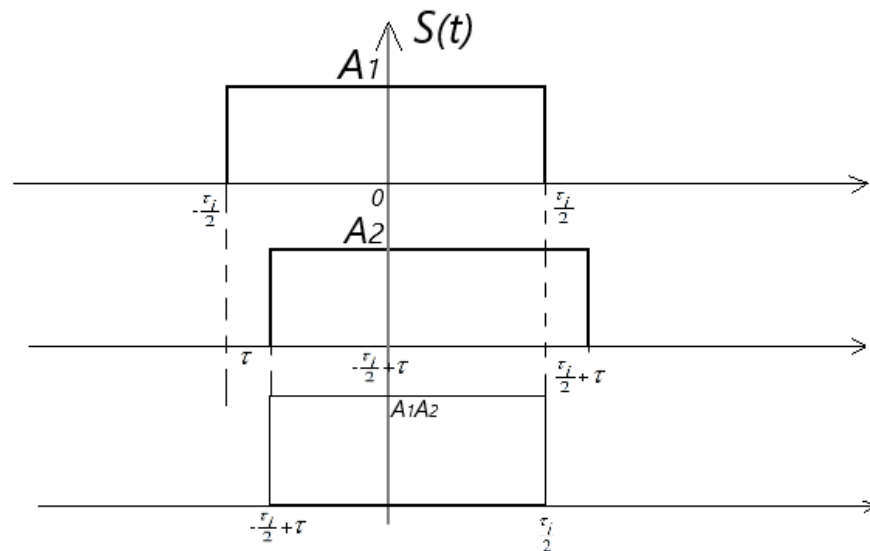


Рис. 4.2 Ілюстрація до обчислення функції взаємної кореляції прямокутних імпульсів з амплітудою імпульсів A_1 і A_2 (τ_i - довжина імпульсу).

З огляду на графічне зображення на рис. 4.2, функцію взаємної кореляції двох прямокутних імпульсів S_1 і S_2 можна записати як:

$$R(\tau) = A_1 A_2 \int_{-\frac{\tau_i + \tau}{2}}^{\frac{\tau_i}{2}} dt = A_1 \cdot A_2 (\tau_i - \tau), \quad (4.9)$$

Або в загальному вигляді:

$$R(\tau) = A_1 A_2 \tau_i \left(1 - \frac{|\tau|}{\tau_i} \right). \quad (4.10)$$

Якщо між імпульсами S_1 і S_2 існує часова затримка Δt (через різницю відстаней від джерела до приймача: $\Delta t = \frac{\Delta r}{c_0} = \frac{r_1 - r_2}{c_0}$), то вираз (4.10) набуває

вигляду:

$$R(\tau) = A_1 A_2 \tau_i \left(1 - \frac{|\tau| + \Delta t}{\tau_i} \right) \quad (4.11)$$

Причому амплітуди $A_1(r)$ і $A_2(r)$, як і часова затримка Δt , залежить від відстаней між джерелом і приймачем звуку. [23]

Додамо, що прямокутного відео-імпульсу з періодичним високочастотним заповненням з частотою ω_0 , функція взаємної кореляції має вигляд:

$$R(\tau) = \frac{1}{2} A_1 A_2 \tau_i \left(1 - \frac{|\tau| + \Delta t}{\tau_i} \right) \cos[\omega_0 (\tau_i + \Delta t)] \quad (4.12)$$

Нормування функції взаємної кореляції здійснюємо наступним чином. На основі співвідношень (4.2) і (4.3), запишемо знаменник формули (4.5) як:

$$\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} S_1^2(t) dt \cdot \int_{-\infty}^{\infty} S_2^2(t) dt} = \sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} [S_{11}(t) + S_{21}(t)]^2 dt \cdot \int_{-\infty}^{\infty} [S_{22}(t) + S_{12}(t)]^2 dt}$$

Підставивши аналітичні вирази для сигналів $S_{11}(t), S_{21}(t), S_{22}(t), S_{12}(t)$ і враховуючи часову затримку між сигналами $S_{11}(t)$ і $S_{21}(t)$, а також $S_{22}(t)$ і $S_{12}(t)$ в точках прийому, одержимо:

$$\tau_i \sqrt{N_1} = \sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} S_1^2(t) dt \cdot \int_{-\infty}^{\infty} S_2^2(t) dt}$$

$$N_1 = \left[A_{11}^2 + A_{21}^2 + 2A_{11}A_{21} \left(1 - \frac{\Delta t_{11-21}}{\tau_i} \right) \right] \times \left[A_{12}^2 + A_{22}^2 + 2A_{12}A_{22} \left(1 - \frac{\Delta t_{12-21}}{\tau_i} \right) \right]. \quad (4.13)$$

Тоді коефіцієнт кореляції буде дорівнювати:

$$R_H(0) = \frac{1}{\sqrt{N_1}} \left[A_{11} \cdot A_{21} \cdot \left(1 - \frac{\Delta t_{11-21}}{\tau_i} \right) + A_{21} \cdot A_{12} \cdot \left(1 - \frac{\Delta t_{21-12}}{\tau_i} \right) + A_{12} \cdot A_{22} \cdot \left(1 - \frac{\Delta t_{12-22}}{\tau_i} \right) + A_{11} \cdot A_{22} \cdot \left(1 - \frac{\Delta t_{11-22}}{\tau_i} \right) \right]$$

$$\text{Де } A_{11} = \frac{1}{r_{11}}; A_{12} = \frac{1}{r_{12}}; A_{21} = \frac{1}{r_{21}}; A_{22} = \frac{1}{r_{22}}; \quad (4.14)$$

$$\Delta t_{11-21} = \frac{r_{11-21}}{c_0}; \Delta t_{21-12} = \frac{r_{21-12}}{c_0}; \Delta t_{12-22} = \frac{r_{12-22}}{c_0}; \Delta t_{11-22} = \frac{r_{11-22}}{c_0}; \quad (4.15)$$

Розрахунки виконуємо для відеоімпульсів довжиною 10 мс.

Розрахункові дані в порівнянні зі значеннями ІАСС [30], розрахованими на основі проведених вимірювань, для імпульсного і мовного сигналів в контрольних точках приміщення наведені в таблиці 4.1.

Таблица 4.1.

Номер точки в приміщенні	Виміряні значення ІАСС		Розраховані значення ІАСС
	Імпульсний сигнал	Мовний сигнал	Прямокутний імпульс
Точка 1	0.88	0.49	0.89
Точка 2	0.8	0.34	0.69
Точка 4	0.8	0.44	0.69
Точка 5	0.84	0.5	0.8
Точка 6	0.78	0.35	0.7
Точка 8	0.83	0.3	0.68
Точка 9	0.8	0.38	0.66
Точка 10	0.72	0.3	0.62
Точка 12	0.78	0.27	0.68

Як видно з табл. 4.1, розраховані значення ІАСС для прямокутного імпульсу більше наближаються до значень вимірних для імпульсних сигналів, ніж до мовного сигналу.

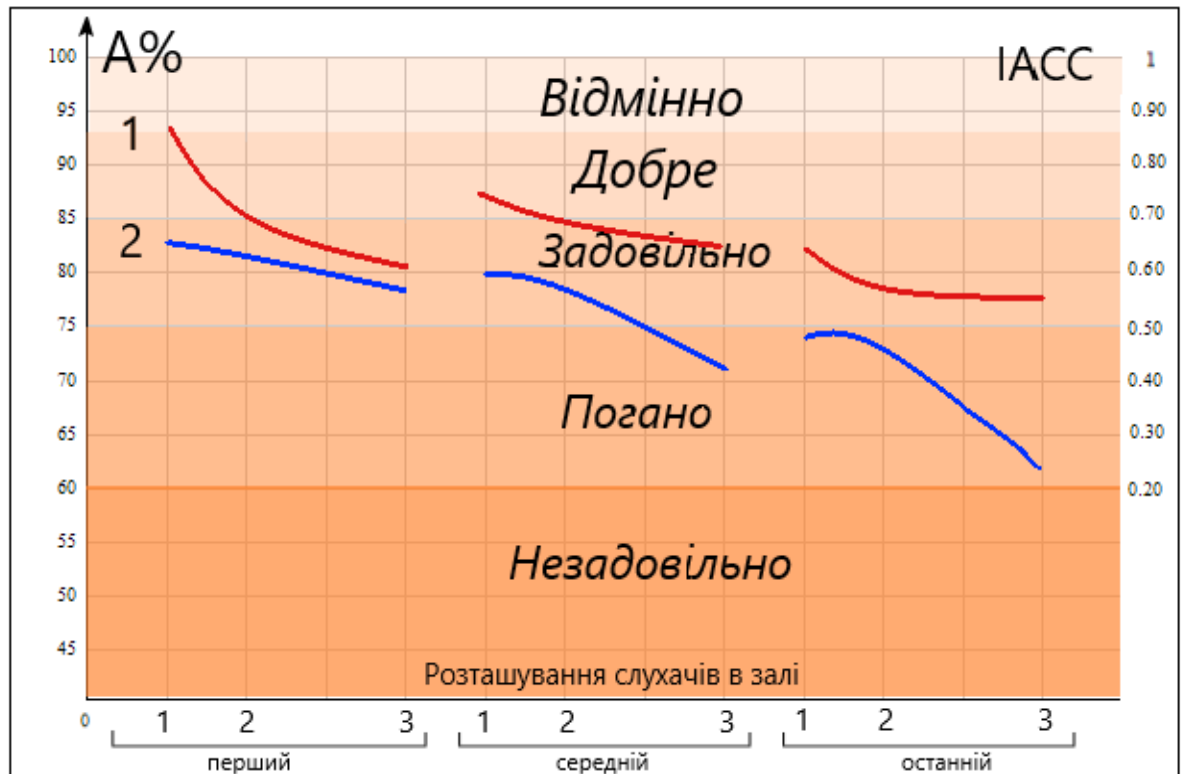


Рис. 4.4 Коефіцієнти міжвушної кореляції ІАСС: 1 – розрахований для прямокутного сигналу ; 2 – значення відсотку артикуляції А. Різними відтінками кольору і відповідними надписами позначені класи розбірливості мови

4.3 Розрахунок коефіцієнтів міжвушної кореляції для пилоподібного імпульсу

Оберемо для аналізу пилоподібний імпульс, як найбільш наближений за формою до голосного звуку, тобто звуку голосового джерела, у випромінюванні якого задіяні голосові зв'язки.

Огинаюча амплітудного спектру $S(f)$ послідовності таких імпульсів описується функцією $S(f) \propto \frac{1}{f^2}$, що дозволяє імітувати мовний сигнал

«коричневим» шумом. При цьому основна частота голосу f_0 зворотно пропорційна періоду послідовності пилоподібних імпульсів T і є основною частотою для утворення дискретних складових спектру голосного звуку. [21]

Представимо пилоподібний імпульс виразом:

$$S(t) = A \frac{t}{\tau_i} \operatorname{rect} \frac{t - \tau_i/2}{\tau_i} \quad (4.16)$$

Або

$$S(t) = \begin{cases} A \frac{t}{\tau_i}, & \text{при } 0 \leq t \leq \tau_i; \\ \frac{A}{2} \frac{t}{\tau_i}, & t = \tau_i; \\ 0, & \text{при інших } t \end{cases} \quad (4.17)$$

Ілюстрація до знаходження функції взаємної кореляції при пилоподібних відео-імпульсах наведена на рис. 4.3.

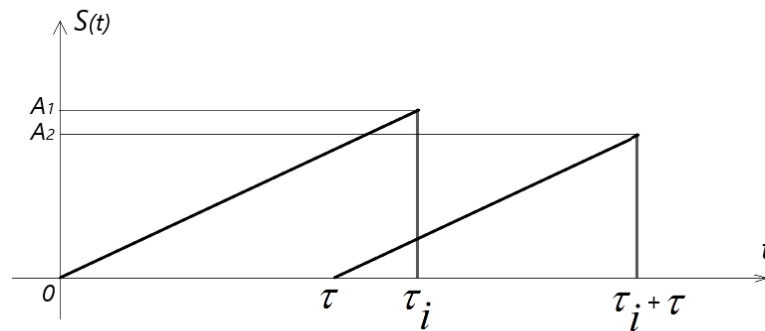


Рис. 4.3 Пилоподібна послідовність відеоімпульсів

Використовуючи вираз (4.1):

$$R(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} S_1(t) \cdot S_2(t - \tau) dt,$$

Знаходимо функцію взаємної кореляції для пилоподібних відеоімпульсів:

$$R(\tau) = A_1 A_2 \left[\frac{1}{3} \left(1 - \frac{(\tau + \Delta t)^3}{\tau_i^3} \right) - \frac{\tau + \Delta t}{2} \left(1 - \frac{(\tau + \Delta t)^2}{\tau_i^2} \right) \right] \quad (4.18)$$

Для знаходження коефіцієнта нормування скористаємося виразом (4.13)

$$N_1 = \left[A_{11}^2 + A_{21}^2 + 2A_{11}A_{21} \left(1 - \frac{\Delta t_{11-21}}{\tau_i} \right) \right] \times \left[A_{12}^2 + A_{22}^2 + 2A_{12}A_{22} \left(1 - \frac{\Delta t_{12-21}}{\tau_i} \right) \right]$$

В результаті знаходимо:

$$\frac{\tau_i}{3} \sqrt{N_2} = \sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} S_1^2(t) dt \cdot \int_{-\infty}^{\infty} S_2^2(t) dt},$$

$$N_2 = \left[A_{11}^2 + A_{21}^2 + A_{11}A_{21} \left(2 - \frac{\Delta t_{11-21}}{\tau_i} \left(3 - \frac{\Delta t_{11-21}^2}{\tau_i^2} \right) \right) \right] \times \left[A_{12}^2 + A_{22}^2 + A_{12}A_{22} \left(2 - \frac{\Delta t_{12-22}}{\tau_i} \left(3 - \frac{\Delta t_{12-22}^2}{\tau_i^2} \right) \right) \right] \quad (4.20)$$

Вираз для коефіцієнту міжвушної кореляції визначається наступною формулою:

$$R_n(0) = \frac{1}{\sqrt{N_2}} \left\{ A_{11} \cdot A_{21} \cdot \left[\left(1 - \frac{\Delta t_{11-21}^3}{\tau_i^3} \right) - \frac{3}{2} \frac{\Delta t_{11-21}^3}{\tau_i} \left(1 - \frac{\Delta t_{11-21}^2}{\tau_i^2} \right) \right] + A_{21} \cdot A_{12} \cdot \left[\left(1 - \frac{\Delta t_{21-12}^3}{\tau_i^3} \right) - \frac{3}{2} \frac{\Delta t_{21-12}^3}{\tau_i} \left(1 - \frac{\Delta t_{21-12}^2}{\tau_i^2} \right) \right] \right. \\ \left. + A_{12} \cdot A_{22} \cdot \left[\left(1 - \frac{\Delta t_{12-22}^3}{\tau_i^3} \right) - \frac{3}{2} \frac{\Delta t_{12-22}^3}{\tau_i} \left(1 - \frac{\Delta t_{12-22}^2}{\tau_i^2} \right) \right] + A_{11} \cdot A_{22} \cdot \left[\left(1 - \frac{\Delta t_{11-22}^3}{\tau_i^3} \right) - \frac{3}{2} \frac{\Delta t_{11-22}^3}{\tau_i} \left(1 - \frac{\Delta t_{11-22}^2}{\tau_i^2} \right) \right] \right\} \quad (4.21)$$

Де значення амплітуди $A_{11}, A_{12}, A_{21}, A_{22}$ і значення часових затримок $\square t_{11-21}, \square t_{21-12}, \square t_{12-22}, \square t_{11-12}$ визначаються формулами (4.14) і (4.15).

В таблиці 4.2. представлені значення ІАСС для трикутного імпульсного сигналу в порівнянні зі значеннями розрахованими на основі проведених вимірювань в контрольних точках приміщення.

Таблиця 4.2

Номер точки в приміщенні	Виміряні значення ІАСС	Розраховані значення ІАСС
	Мовний сигнал	Трикутний імпульс
Точка 1	0.49	0.57
Точка 2	0.34	0.38
Точка 4	0.44	0.42
Точка 5	0.5	0.48

Точка 6	0.35	0.4
Точка 8	0.3	0.38
Точка 9	0.38	0.4
Точка 10	0.3	0.4
Точка 12	0.27	0.35

Як видно з таблиці 4.2, розраховані значення ІАСС для трикутного імпульсу досить суттєво наближаються до значень вимірних для імпульсних сигналів. Можна зробити висновок, що найбільший коефіцієнт кореляції 0.57 має трикутний трикутний імпульсний сигнал в точці 1. Значення кореляції відповідного мовного сигналу наближається до показника 0.49. Такі числа свідчать про зв'язок і кореляцію значень для мовного та трикутного імпульсів.

Значення коефіцієнтів міжвушної кореляції ІАСС розраховані для трикутного сигналу зображені на рис. 4.3. Як бачимо, дані артикуляції А% та кореляції ІАСС знаходяться в межах двох класів розбірливості – задовільно і погано.

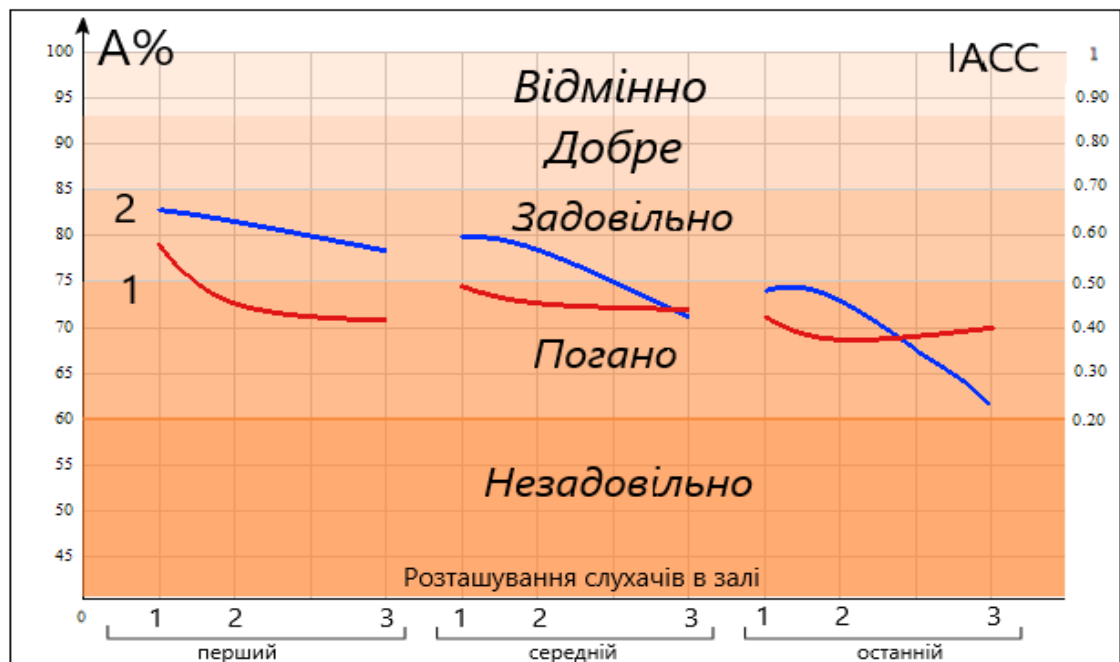


Рис. 4.3 Коефіцієнти міжвушної кореляції ІАСС: 1 – розрахований для трикутного сигналу ; 2 – значення відсотку артикуляції А%;. Різними відтінками кольору і відповідними надписами позначені класи розбірливості мови

Всі виміряні дані для трикутного і прямокутного імпульсів, а також для розрахованих та виміряних значень зведені в таблиці 4.3 для порівняння значень ІАСС в контрольних точках аудиторії.

Всі значення знаходяться в межах добре-задовільно згідно класифікації ГОСТ Р 50840-95 (табл.3.5).

Таблиця 3.5

Номер точки в приміщенні	Виміряні значення ІАСС		Розраховані значення ІАСС	
	Мовний сигнал	Імпульсний сигнал	Трикутний імпульс	Прямокутний імпульс
Точка 1	0.49	0.88	0.57	0.89
Точка 2	0.34	0.8	0.41	0.69
Точка 4	0.44	0.8	0.45	0.60
Точка 5	0.5	0.84	0.48	0.74
Точка 6	0.35	0.78	0.4	0.7
Точка 8	0.3	0.83	0.38	0.65
Точка 9	0.38	0.8	0.4	0.64
Точка 10	0.3	0.72	0.38	0.58
Точка 12	0.27	0.78	0.34	0.55

4.4. Врахування впливу ревербераційного звуку

Вплив ревербераційного поля враховуємо додаванням до прямого звуку імпульсів, відбитих від стелі. При цьому вважаємо, що сигнали надходять з уявних джерел, які розташовані симетрично дійсним джерелам відносно стелі (рис.4.1). [21]

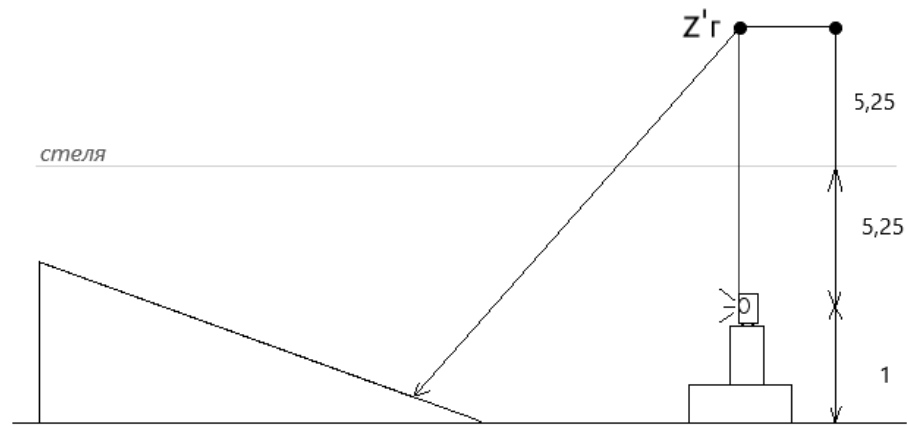


Рис. 4.1 Вертикальна схема розташування уявних джерел

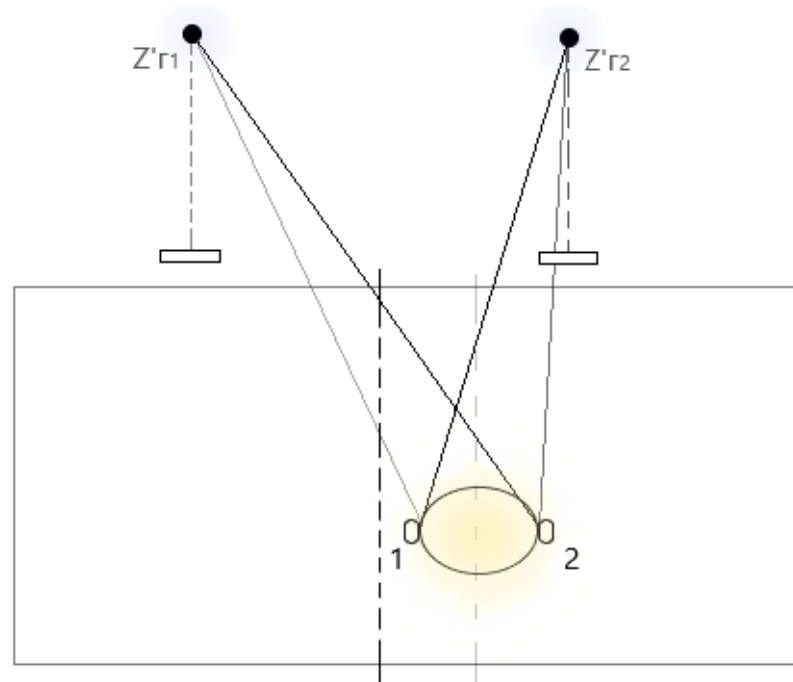


Рис. 4.2 Горизонтальна схема розташування уявних джерел

Розрахунки виконуємо для пілоподібного імпульсу (4.16). Функцію взаємної кореляції записуємо згідно з формулою (4.18), але амплітуди сигналів A_1 і A_2 в цьому разі множимо на коефіцієнт відбиття від стелі $(1 - \alpha)$.

Виконавши нормування, як показано у формулі (4.20), отримаємо розрахункові вирази, аналогічні виразу (4.21).

Таблиця 3.6

Номер точки в приміщенні	ІАСС Виміряні значення	ІАСС За прямим звуком	ІАСС з урахуванням відбиття від стелі	Часова затримка відбитого сигналу відносно прямого
Точка 1	0.49	0.57	0.5	27,3
Точка 2	0.34	0.41	0.37	25
Точка 4	0.44	0.45	0.42	13
Точка 5	0.5	0.48	0.45	16,9
Точка 6	0.35	0.4	0.37	16,6
Точка 8	0.3	0.38	0.39	8,4
Точка 9	0.38	0.4	0.41	9,1
Точка 10	0.3	0.38	0.39	8,25
Точка 12	0.27	0.34	0.35	6,3

Виконані розрахунки коефіцієнтів кореляції імпульсів, відбитих від стелі, потрібно врахувати разом з прямим звуком, враховуючи, що часові затримки відбиттів більше 10 мс шкодять розбірливості мови.

Висновки до розділу 4:

- 1) Розраховані значення коефіцієнту кореляції для трикутного і прямокутного сигналів корелюються зі значенням відсотку артикуляції та лежать в однакових межах згідно градацій класів розбірливості.
- 2) З отриманих графіків видно, що результати розрахунків у випадку прямокутного сигналу є дещо завищеними. А у випадку застосування трикутного сигналу, навпаки, значення нижчі.

РОЗДІЛ 5. РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ

5.1. Опис ідеї проекту

Існує велика кількість програм для оцінки розбірливості в приміщеннях. Для цього використовуються різноманітні методи, зокрема модуляційні, емпіричні, формантні. Основна ідея полягає в створенні програмного продукту, який зміг би вирахувати розбірливість приміщення за умови невеликою кількості ввідних даних. Оскільки важливим фактором для майбутніх користувачів є саме те, що розрахувати всі необхідні параметри можна на етапі проектування, без наочних експериментів.

В рамках стартап проекту, можна реалізувати наступну ідею: програма для оцінки розбірливості мови в приміщенні, що буде реалізуватись у вигляді онлайн калькулятора для ПК. Тобто користувач введе розміри приміщення, а програма розраховуватиме всі значення, необхідні для подальшого планування або перепланування приміщення. Програма створюватиме картину поля в приміщенні і показуватиме розбірливість по точкам в приміщенні. Додатково можливо враховувати матеріали покриття стелі, стін, підлоги.

Окрім самої картини поля, користувач отримуватиме поради для оптимізації акустичних характеристик – можливість змінити матеріали, розміщення аудіо-системи, змін розмірів приміщення, використання меблів з певних матеріалів.

Таблиця 5.1.

Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Програма для розрахунку розбірливості мови в приміщенні, з можливістю використання методу	Проектування акустичних приміщень	Можливість наперед розрахувати необхідні дані, для проектування приміщення з хорошими акустичними характеристиками

слухових артикуляційних характеристик	Моделювання розміщення акустичних систем в реальних приміщеннях	Моделювання можливих максимально точної картини, і як наслідок розміщення акустичної системи з першої спроби
	Оцінка реальних приміщень з метою оптимізації акустичних характеристик	Можливість створення плану для покращення акустичних характеристик реального приміщення, без залучення великої кількості аудиторів.

Таблиця 5.2.

Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

№	Техніко-економічні характеристики ідеї	Мій проект	Конкуренти			W	N	S
			1	2	3			
1	Можливість застосовувати на інших платформах	-	-	-	-		+	
2	Графічне відображення картини поля	+	-	+	-			+
3	Невелика кількість обов'язкових вхідних даних	+	+	+	-			+
4	Поради щодо подальшої оптимізації	-	-	+	-		+	

Визначений перелік слабких, сильних та нейтральних характеристик та властивостей ідеї потенційного товару є підґрунтям для формування його конкурентоспроможності. Як видно з таблиці 5.2, основною перевагою розроблюваного продукту є саме графічне відображення компонент, на що і варто зробити ставку.

5.2. Технологічний аудит ідеї проекту

Таблиця 5.3.

Технологічна здійсненність ідеї проекту

№	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технології	Доступність технологій
1	Програма для розрахунку розбірливості мови в приміщенні, з можливістю використання методу слухових артикуляційних характеристик	Програмне середовище Matlab	Є в наявності	Доступні безкоштовно
2	Програма для розрахунку розбірливості мови в приміщенні, з можливістю використання методу слухових артикуляційних характеристик	Алгоритми та формули розрахунків	Є в наявності	Доступні безкоштовно

Обрана технологія реалізації ідеї проекту: розробка програми в програмному середовищі Matlab, алгоритми розрахунків та формули, в тому числі запропоновані в даному дипломному проекті.

Дану ідею можливо реалізувати. Всі технології, які використовуємо є безкоштовними, а вартість ресурсів сервера невелика.

5.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Під час ринкового впровадження проекту необхідно враховувати всі актуальні ринкові можливості, та загрози, які можуть перешкодити реалізації проекту. Ретельний аналіз дозволяє спланувати напрями розвитку проекту із урахуванням стану ринкового середовища, потреб потенційних клієнтів та пропозицій проектів-конкурентів. В таблиці 5.4 наведена попередня характеристика потенційного ринку для розроблюваного стартап-проекту.

Таблиця 5.4.

Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№	Показники стану ринку	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	>10
2	Динаміка ринку (якісна оцінка)	В сфері технологій оцінки розбірливості мови ринок знаходиться на етапі зросту
3	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Велика кількість конкурентів в сфері створення онлайн калькуляторів, невелика аудиторія потенційних клієнтів

Таблиця 5.5.

Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Розвиток застосування онлайн калькуляторів	Приватні компанії, що займаються проектуванням приміщень та створюють проекти для покращення реальних приміщень	Розміри потенційних мереж	Можливість обмежитись невеликою кількістю даних та швидкий розрахунок
2	Необхідність попереднього тестування та моделювання акустичних систем в приміщенні	Фірми, приватні підприємці	Безпосереднє використання приміщень для проведення конференцій, запису та відтворення	Зручне відображення розрахованих значень

			акустичної інформації.	
--	--	--	------------------------	--

Таблиця 5.6.

Фактори загроз

№	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Висока конкуренція	На даний момент існує велика кількість аналогів, які в основному повторюють функціонал одне одного, тому є загроза не переманити клієнта	Швидка реакція команди розробників на побажання потенційних клієнтів, постійне оновлення та розширення функціоналу, спираючись на останні нововведення в стандартизації SDN мереж
2	Вузький спектр функціоналу і можливостей	На ринок треба вийти якомога швидше, тому до цього моменту повинні бути реалізовані всі основні функції для забезпечення можливості конкуренції та розширенню клієнтської бази	Затримка моменту виходу на ринок, з метою розширення базового набору функціоналу на момент старту поширення програми
3	Економічний	В силу обмеженості в фінансовому плані, можливі накладки, так як до моменту виходу на ринок компанія не дає жодного прибутку	Побудова чіткого бізнес-плану із залученням інвесторів

Таблиця 5.7.

Фактори можливостей

№	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Залучення інвестицій	Склавши чіткий бізнес-план, можна залучити інвесторів, що дозволить розширити штат і прискорити момент виходу продукту на ринок	Збільшити штат, прискорити вихід на ринок, вийти на період самоокупності раніше

2	Розширення клієнтської бази	З допомогою продуманої PR-кампанії, можна переманити клієнтів конкурентів запропонувавши більш вигідні умови	Спланувати рекламну кампанію, проводити презентації та семінари на тему важливості акустичної розбірливості
3	Заклучення контрактів на роботи	Укладання договорів на надання послуг тестування та моделювання мережі	Отримати зв'язки з потенційними клієнтами та використовувати розроблювану програму для виконання моделювання та тестування програм на замовлення

Таблиця 5.8.

Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
Складність входу на ринок	Ринок не є новим та велика кількість конкурентів уже укріпили свої позиції, завели зв'язки та мають налагоджену клієнтську базу	Пропонувати більш вигідні умови (навіть з можливістю працювати без прибутку), аналізувати та впроваджувати нові розробки в сфері мереж раніше конкурентів, якісна рекламна кампанія
Загальнодоступність інформації	Формули і алгоритми розробники створюють самі, на основі існуючих формул та законів	Критично важливо постійно покращувати продукт, щоб мати перевагу перед конкурентами

Схожість продуктів-замінників	Так як продукти на обраному ринку виконують фактично одну і ту ж функцію, важко суттєво вирізнитися серед конкурентів	Експериментувати з ідеями для нових оновлень, впроваджувати нові рішення в мінімальний термін, робити програму максимально швидкою в роботі
-------------------------------	---	---

Таблиця 5.9.

Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти в галузі	Клієнти
	Acoustic Traffic, Soundex, та інші	Unified Box Model	Приватні компанії, фірми, які займаються проектуванням приміщень
Висновки:	Існує велика кількість різноманітних рішень у конкурентів	Є маса додатків, що можуть виконувати такі ж операції	Більшість клієнтів уже давно на ринку та мають налагоджені контакти з постачальниками

Таблиця 5.10.

Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1	Зручний інтерфейс	Так як проект на етапі розробки, можна врахувати переваги та недоліки конкурентів, щоб до виходу на ринок мати зручніший ніж в інших інтерфейс користувача
2	Забезпечення швидкої роботи	Більшість з конкурентів розробляють додаток, який досить довго проводить самі розрахунки і дає результат без рисунків. Створення додатку з виправленням таких недоліків, розширить клієнтську базу

3	Швидке реагування на відгуки	На етапі розробки неможливо передбачити всі нюанси застосування. Завдяки забезпеченню швидкого відгуку, можна використовувати користувачів у якості бета-тестувальників, що дозволить максимально швидко адаптувати додаток під потреби реальних клієнтів
---	------------------------------	---

Таблиця 5.11.

Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін

№	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з розроблюваним продуктом						
			-3	-2	-1	0	1	2	3
1	Зручний інтерфейс	12			✓				
2	Забезпечення швидкої роботи	17		✓					
3	Швидке реагування на відгуки	10				✓			

Таблиця 5.12.

SWOT- аналіз стартап-проекту

<p>Сильні сторони: Зручний інтерфейс Швидка робота Можливість врахування досвіду конкурентів Швидке реагування на побажання клієнтів</p>	<p>Слабкі сторони: Велика кількість конкурентів Наявність opensource рішень Недовіра великих клієнтів</p>
<p>Можливості: Робота з фірмами, які проектують незвичайні і популярні приміщення, що дає ще один канал для клієнтів</p>	<p>Загрози: Програти конкуренцію opensource проектам Не переманити клієнтів від уже наявних конкурентів</p>

Таблиця 5.13.

Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№	Альтернатива ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Відкриття проекту та розповсюдження в рамках opensource ліцензії	Низька, так як в основному це будуть пожертви ентузіастів. Можливість продажу компанії у випадку зацікавленості з боку великих компаній	Практично миттєво
2	Розповсюдження проекту через конференції, публічні виступи	Висока, оскільки публічними заходами можна поширити ідею проекту та завести знайомства з потенційними інвесторами та клієнтами	До року, з можливістю продовження
3	Участь в тендерах і укладення договорів з державними установами	Середня, так як на це впливають економічні, політичні, особисті мотиви і не можна гарантувати абсолютну прозорість та добросовісну конкуренцію на цьому ринку	Кілька місяців, в залежності від наявності запиту з боку держави

5.4. Розроблення ринкової стратегії проекту

Таблиця 5.14.

Вибір цільових груп потенційних споживачів

№	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Приватні фірми	Готові сприйняти негайно	Продукт необхідний уже	Висока конкуренція	Складний вхід
2	Фірми, які займаються проєтуванням приміщень	Не всі користувачі готові прийняти	Продукт необхідний не всім	Конкуренція середня	Вхід помірно-складний

3	Навчальні та дослідницькі програми	Фізичні особи	Не всі зацікавлені в продукті	Конкуренція середня	Вхід не є складний
<p>Які цільові групи обрано: Потрібно працювати зі всіма цільовими групами, перевагу надати приватними компаніям</p>					

Таблиця 5.15.

Визначення базової стратегії розвитку

№	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
1	Розвиток шляхом маркетингової компанії та публічній демонстрації можливості продукту	Впливати на обрані цільові групи в порядку значимості та перспектив	Виступ на конференціях, вільне розповсюдження для навчально-дослідницьких цілей	Оперативно оновлювати продукт відповідно до побажань клієнтів

Таблиця 5.16.

Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№	Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки
1	Ні, проект не є «першопрохідцем»	Необхідно рухатись у різних напрямках, як шукати нових	Через схожість функціоналу, компанія буде	Пропонувати схожий функціонал на

		споживачів, так і відбирати існуючих у конкурентів	копіювати основні характеристики у конкурентів	кращих умовах, оперативно оновлювати функціонал відповідно до нових стандартів
--	--	--	--	--

Таблиця 5.17.

Визначення стратегії позиціонування

№	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкуренто-спроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформулювати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
1	Висока частота оновлення, широкий функціонал, Кросплатформеність	Розширити штат, досліджувати новини щодо виходу нових стандартів та протоколів	Оперативне виправлення недоліків та впровадження побажань	Мережевий симулятор, прогнозування трафіку, тестування мереже

5.5. Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Таблиця 5.18.

Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1	Розрахунок розбірливості мови в приміщення	Калькулятор, який з використанням мінімальних вдних даних надасть повну картину	Швидка в роботі програма

2	Часте оновлення програми	Врахування побажань клієнтів та виправлення помилок в найкоротші терміни	Створення відділу підтримки для аналізування реагування на відгуки клієнтів
3	Формування звітів з результатами моделювання у вигляді графіків та малюнків	Можливість формувати звіти по роботі програми з детальним описом процесу моделювання та оцінкою ефективності мережі, що тестувалася	Модуль для формування звітів з результатами роботи програми

Таблиця 5.19.

Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові	
I. Товар за задумом	Калькулятор для розрахунку розбірливості мови в приміщенні методом слухових кореляційних характеристик	
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	Розмір
	1. Модуль-калькулятор	250МБ
	Якість: внутрішнє тестування програми, логування збоїв та система зворотнього зв'язку для повідомлення про неналежну роботу програми	
	Пакування: продаж електронних ключів-ліцензій, компакт-диск в пластиковій коробці з логотипом та інструкцією	
	Марка: назва організації-розробника + назва товару	
III. Товар із підкріпленням	До продажу: додаток на ПК	
	Після продажу: диск/електронна версія додатку з ключем	
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: прив'язка копії програмного продукту до конкретного ПК та активація програми шляхом введення ліцензійованого ключа, або шляхом надання послуг без передачі програмного продукту замовнику		

Таблиця 5.20

Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1	Покупка ліцензії на продукт або договір про надання послуг без передачі ПО до замовника	Перевезення дисків з ПО до магазинів продажу, розміщення в центрах електронної дистрибуції	Канал збуту однорівневий (через роздрібну дистрибуцію)	Вертикальна (право власності залишається у розробника ПЗ)

Таблиця 5.21.

Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
1	Купують товар на вимогу	Тематичні зустрічі, конференції, презентації тощо	Надання послуг тестування мереж розробленим продуктом, продаж ПЗ	Демонстрація основних функцій розробленого продукту	Охоплення аудиторії, пояснення функцій та можливо-стей розробленого продукту та його переваг

Висновки до розділу 5:

Четвертий розділ повністю присвячений розробці стартап-проекту для запропонованого методу оцінки розбірливості мови, створено опис ідеї

проекту, проведено ретельний аналіз конкурентів та можливостей, що доступні для реалізації на даному ринку. Для дослідження в рамках розробки стартап-проекту було виконано наступні завдання:

- 1) Наведено загальний опис ідеї проекту для виходу на ринок, описаний функціонал проекту, визначено основні конкуренти та співставлено функціонал конкурентів для визначення переваг та недоліків розроблюваного продукту.
- 2) Проведено аналіз ринкових можливостей для запуску проекту, порівняно перспективи запуску в порівнянні з конкурентами, встановлено план та ринкову стратегію розвитку продукту, визначено цільові групи та способи просування проекту.
- 3) Розроблено маркетингову стратегію для просування продукту, описано способи та основні канали збуту, визначено пріоритетні цільові групи майбутніх клієнтів та маркетингові повідомлення для розширення клієнтської бази.

В підсумку, було отримано стартап-проект для створення та просування програмного продукту на ринок, отримано навички створення стартап-проектів, побудови маркетингової стратегії та аналізу обраного ринку.

ВИСНОВКИ

Магістерська робота присвячена розробці нового методу оцінки розбірливості мови в приміщенні за допомогою коефіцієнтів міжвушної функції кореляції на слухацьких місцях.

Виконано теоретичний огляд та аналіз особливостей існуючих методів оцінки розбірливостей.

Новий метод розрахунку коефіцієнтів кореляції бінауральної пари сигналів запропоновано виконувати як на основі вимірювань за допомогою штучної голови (для уже існуючих залів), а також шляхом розрахунків вже на етапі проектування.

Аналіз достовірності результатів шляхом виконаний шляхом порівняння розрахункових даних з даними вимірювань кореляційних функцій імпульсного та мовного сигналів, отриманих за допомогою штучної голови, а також результатів складових артикуляційних випробувань, проведених в залі.

В ході роботи було розроблено алгоритм оцінки розбірливості мови в залі на основі вимірювань функції міжвушної кореляції мовного сигналу або розрахунку цих функцій для пілоподібного імпульсу. Для цього створена шкала відповідності значень відсотків артикуляції і коефіцієнтів кореляції бінауральної пари сигналів на слухацьких місцях.

Результати застосування створеного алгоритму оцінки розбірливості вказують на можливість застосування методу як апріорної оцінки розбірливості мови в залі.

Результати проведених розрахунків корелюються з результатами, отриманими шляхом вимірювань міжвушних кореляційних функцій на слухацьких місцях.

Аналізуючи отримані результати, можна зробити висновок, що використання для розрахунку прямокутного відеоімпульсу в результаті показує дещо завищені значення розбірливості мови. Використання трикутного пілоподібного імпульсу призводить до занижених значень розбірливості мови

з залі. Тому, на погляд автора, використання попередніх розрахунків пилоподібного імпульсу має перевагу для застосування для попереднього розбірливості мови в залі.

Вплив відбитих імпульсів на величину ІАСС, а отже на розбірливість мови залежить від величини їх часової затримки відносно прямих сигналів. Оскільки часова тривалість складу мови знаходиться в межах 10 мс то більша затримка відбитого сигналу зашкоджує розбірливості мови.

В цілому, в результаті проведеної роботи можна зробити висновок, що використовуючи коефіцієнти кореляції можна оцінювати якість звучання мови у приміщеннях та робити прогнози щодо ймовірного покращення акустичних властивостей.

Перевагами даного методу є відносна простота та відповідність розрахункових результатів результатам обробки даних, записаних за допомогою манекену штучної голови людини, а в результаті - до сприйняття звуку реальним слухачем на відповідному слухацькому місці.

Використана література

1. Ковалгин Ю.А. Стереофония – М.: Радио и связь – 1989. -272 с.
2. Электроакустика и звуковое вещание / под ред. Ю.А. Ковалгин. – М.: Горячая линия – Телеком, Радио и связь, 2007.- 872 с.
3. The Technology of binaural listening, Jens Blauert - Editor - 2013.
4. Titze, I.R. (1994). Principles of Voice Production, Prentice Hall (currently published by NCVS.org) (pp. 188), ISBN 978-0-13-717893-3.
5. Ухо и механизм восприятия звука. [Электронный ресурс] ООО «КМ онлайн»1999-2014 URL: <http://www.km.ru/zdorove/encyclopedia/ukho-i-mekhanizm-vospriyatiya-zvuka>
6. Цвикер Э. Фельдкеллер Р. Ухо как приемник информации — М.: Связь, 1971.- 255 с.
7. Йенс Блауэрт - Пространственный слух. Москва, Издательство "Энергия", 1979 год - 225 с.
8. Фурдуев В. В. Ф 95 Стереофония и многоканальные звуковые системы. М., «Энергия», 1973. 112 с.
9. Фурдуев. В.В. Акустические основы вещания. Москва: Государственное издательство литературы по вопросам связи и радио, 1960.-325 с.
10. Бинауральная запись. [Электронный ресурс] URL: http://ru.wikipedia.org/wiki/Бинауральная_запись
11. Стенли А. Гельфанд Слух: Введение в психологическую и физиологическую акустику/ О. К. Федоровой, О. П. Токарева - М.: Медицина – 1984.- 352с.
12. Бинауральная стереофония. Современное состояние исследований [Электронный ресурс] Шоу-мастер 2004 URL: http://www.show-master.ru/categories/binauralnaya_stereofoniya_sovremennoe_sostoyanie_issledovaniy.html
13. Highest fidelity binaural recording in the world [Электронный ресурс] Binaural Airwaves 2013 URL: <http://www.binauralairwaves.com/>

14. H. Naas, "The Influence of a Single Echo on the Audibility of Speech," *J. Audio Eng. Soc.*, vol. 20, no. 2, pp. 146–159, 1972.
15. Покровский Н.Б. Расчет и измерение разборчивости речи М.: Государственное издательство литературы по вопросам связи и радио, 1962.- 391 с.
16. Электроакустика и звуковое вещание / под ред. Ю.А. Ковалгин. – М.: Горячая линия – Телеком, Радио и связь, 2007. – 872с.
17. O.Pedchenko, S.Lunova. Analysis of Ukrainian Diagnostic Articulation Tables// EUREKA: Physics and Engineering, №1, 2018, pp.63-72.
18. Анерт В., Райхардт В. Основы техники звукоусиления /– М.: Радио и связь, 1984.- 319 с.
19. Алдошина И.А., Приттс Р. Музыкальная акустика. – С.-П.: Композитор, 2006. 719 с.
20. Вахитов Я. Ш. Теоретические основы электроакустики и электроакустическая аппаратура. - М.: Искусство, 1982. 415с
21. Луньова С.А., Дідковський В.С. Основи архітектурної та фізіологічної акустики.-К.: Постприм, 2001.- 420 с.
22. Beranek L. Music, Acoustic and Architecture. – N.Y.: Wiley&Sons, 1996.
23. Дідковський В.С., Луньова С.А., Богданов О.В. Архітектурна акустика.- К.
24. Луньова С.А., Дідковський В.С., Педченко О.І. Акустика мовотворення – Навчальний посібник. LAP: Lambert Academic Publishing, 2008. - 135 р.
25. Ахмад Х.М., Жирков В.Ф. Введение в цифровую обработку речевых сигналов. Владимир. гос. ун-та, 2008.- 189 с
26. Горбачев А.А., Лебедько Е.Г. Анализ сигналов: Учебное пособие - Санкт-Петербург: Университет ИТМО, 2017. - 68 с.
27. Зиновьев А.Л., Филиппов Л.И. Введение в теорию сигналов и цепей. – М.: Высшая школа, 1975. – 260 с.

28. Деркач Н. М., Луньова С.А., Вдовенко М.В., Оцінка розбірливості мови за коефіцієнтом міжвушної кореляції мовного сигналу//Акустичні прилади та системи. – 2019. ТОМ 2, № 1, с 50-54.
29. Вдовенко М.В., Луньова С.А. Визначення області стереофонічного звучання джерел мовних та музичних сигналів.
30. Derkach N, Vdovenko M, Lunyova S., "Objective Method of Speech Intelligibility With the Artificial Head" *SSRG International Journal of Electronics and Communication Engineering* 7.1 (2020): Volume 7 Issue –1 Jan 2020. p.15-19

ДОДАТОК А

Лістинг програми в середовищі Matlab для визначення коефіцієнтів кореляції трикутного імпульсу

```

X1=-2.25 %координати першого гучномовця
Y1=0
Z1=1.3
X2=2.25 %координати другого гучномовця
Y2=0
Z2=1.3

x=0.75 %координати слухача %точка1
y=3
z=1.25
T=0.01
c0=330
r11=sqrt(((X1-(x-0.09))^2)+((Y1-y)^2)+((Z1-z)^2))
r22=sqrt(((X2-(x-0.09))^2+(Y2-y)^2+(Z2-z)^2))
r21=sqrt(((X2-(x-0.09))^2+(Y2-y)^2+(Z2-z)^2))
r12=sqrt(((X1-(x-0.09))^2)+((Y1-y)^2)+((Z1-z)^2))

A11=1/r11
A12=1/r12
A21=1/r21
A22=1/r22
del_t1121=(r11-r21)/c0
As1=((A11)^2)+((A21)^2)
n1=2-(((del_t1121)/T)
n2=3-((((del_t1121)^2)/(T^2)))
N1=As1+(A11*A21*n1*n2)
del_t1222=(r12-r22)/c0
As2=((A12)^2)+((A22)^2)
n3=2-(((del_t1121)/T)
n4=3-((((del_t1222)^2)/(T^2)))
N2=As2+(A12*A22*n3*n4)
Ns=N1*N2
del_t1222=(r12-r22)/c0
del_t2112=(r21-r12)/c0
del_t1122=(r11-r22)/c0
r=1/sqrt(Ns)
t1((((del_t1121)^3)/(T^3))-((3/2)*((del_t1221)^3)/T))* (1-
((((del_t1121)^2)/(T^2))))
t2((((del_t2112)^3)/(T^3))-((3/2)*((del_t2112)^3)/T))* (1-
((((del_t2112)^2)/(T^2))))
t3((((del_t1222)^3)/(T^3))-((3/2)*((del_t1222)^3)/T))* (1-
((((del_t1222)^2)/(T^2))))
t4((((del_t1122)^3)/(T^3))-((3/2)*((del_t1122)^3)/T))* (1-
((((del_t1122)^2)/(T^2))))
R=r*((A11*A21*t1)+(A21*A12*t2)+(A12*A22*t3)+(A11*A22*t4))

x=2.25 %координати слухача %точка2
y=3
z=1.25
T=0.01
c0=330
r11=sqrt(((X1-(x-0.09))^2)+((Y1-y)^2)+((Z1-z)^2))
r22=sqrt(((X2-(x-0.09))^2+(Y2-y)^2+(Z2-z)^2))
r21=sqrt(((X2-(x-0.09))^2+(Y2-y)^2+(Z2-z)^2))
r12=sqrt(((X1-(x-0.09))^2)+((Y1-y)^2)+((Z1-z)^2))

```

```

A11=1/r11
A12=1/r12
A21=1/r21
A22=1/r22
del_t1121=(r11-r21)/c0
As1=((A11)^2)+((A21)^2)
n1=2-((del_t1121)/T)
n2=3-((((del_t1121)^2))/(T^2))
N1=As1+(A11*A21*n1*n2)
del_t1222=(r12-r22)/c0
As2=((A12)^2)+((A22)^2)
n3=2-((del_t1121)/T)
n4=3-((((del_t1222)^2))/(T^2))
N2=As2+(A12*A22*n3*n4)
Ns=N1*N2
del_t1222=(r12-r22)/c0
del_t2112=(r21-r12)/c0
del_t1122=(r11-r22)/c0
r=1/sqrt(Ns)
t1=((del_t1121)^3)/(T^3)-(((3/2)*((del_t1221)^3)/T))* (1-
((((del_t1121)^2))/(T^2)))
t2((((del_t2112)^3)/(T^3)-(((3/2)*((del_t2112)^3)/T))* (1-
((((del_t2112)^2))/(T^2)))
t3((((del_t1222)^3)/(T^3)-(((3/2)*((del_t1222)^3)/T))* (1-
((((del_t1222)^2))/(T^2)))
t4((((del_t1122)^3)/(T^3)-(((3/2)*((del_t1122)^3)/T))* (1-
((((del_t1122)^2))/(T^2)))
R=r*((A11*A21*t1)+(A21*A12*t2)+(A12*A22*t3)+(A11*A22*t4))

```

```

x=7   %координати слухача %точка4
y=3
z=1.25
T=0.01
c0=330
r11=sqrt(((X1-(x-0.09))^2)+((Y1-y)^2)+((Z1-z)^2))
r22=sqrt(((X2-(x-0.09))^2+(Y2-y)^2+(Z2-z)^2))
r21=sqrt(((X2-(x-0.09))^2+(Y2-y)^2+(Z2-z)^2))
r12=sqrt(((X1-(x-0.09))^2)+((Y1-y)^2)+((Z1-z)^2))

```

```

A11=1/r11
A12=1/r12
A21=1/r21
A22=1/r22
del_t1121=(r11-r21)/c0
As1=((A11)^2)+((A21)^2)
n1=2-((del_t1121)/T)
n2=3-((((del_t1121)^2))/(T^2))
N1=As1+(A11*A21*n1*n2)
del_t1222=(r12-r22)/c0
As2=((A12)^2)+((A22)^2)
n3=2-((del_t1121)/T)
n4=3-((((del_t1222)^2))/(T^2))
N2=As2+(A12*A22*n3*n4)
Ns=N1*N2
del_t1222=(r12-r22)/c0
del_t2112=(r21-r12)/c0
del_t1122=(r11-r22)/c0
r=1/sqrt(Ns)
t1((((del_t1121)^3)/(T^3)-(((3/2)*((del_t1221)^3)/T))* (1-
((((del_t1121)^2))/(T^2)))

```



```

t2=(((del_t2112)^3)/(T^3))-(((3/2)*((del_t2112)^3)/T))*(1-
((((del_t2112)^2)/(T^2))))
t3=(((del_t1222)^3)/(T^3))-(((3/2)*((del_t1222)^3)/T))*(1-
((((del_t1222)^2)/(T^2))))
t4=(((del_t1122)^3)/(T^3))-(((3/2)*((del_t1122)^3)/T))*(1-
((((del_t1122)^2)/(T^2))))
R=r*((A11*A21*t1)+(A21*A12*t2)+(A12*A22*t3)+(A11*A22*t4))

```

```

x=0.75  %координати слухача %точка5
y=6.5
z=1.85
T=0.01
c0=330
r11=sqrt(((X1-(x-0.09))^2)+((Y1-y)^2)+((Z1-z)^2))
r22=sqrt(((X2-(x-0.09))^2)+((Y2-y)^2)+((Z2-z)^2))
r21=sqrt(((X2-(x-0.09))^2)+((Y2-y)^2)+((Z2-z)^2))
r12=sqrt(((X1-(x-0.09))^2)+((Y1-y)^2)+((Z1-z)^2))

```

```

A11=1/r11
A12=1/r12
A21=1/r21
A22=1/r22
del_t1121=(r11-r21)/c0
As1=((A11)^2)+((A21)^2)
n1=2-(((del_t1121)/T)
n2=3-((((del_t1121)^2)/(T^2)))
N1=As1+(A11*A21*n1*n2)
del_t1222=(r12-r22)/c0
As2=((A12)^2)+((A22)^2)
n3=2-(((del_t1121)/T)
n4=3-((((del_t1222)^2)/(T^2)))
N2=As2+(A12*A22*n3*n4)
Ns=N1*N2
del_t1222=(r12-r22)/c0
del_t2112=(r21-r12)/c0
del_t1122=(r11-r22)/c0
r=1/sqrt(Ns)
t1=(((del_t1121)^3)/(T^3))-(((3/2)*((del_t1221)^3)/T))*(1-
((((del_t1121)^2)/(T^2))))
t2=(((del_t2112)^3)/(T^3))-(((3/2)*((del_t2112)^3)/T))*(1-
((((del_t2112)^2)/(T^2))))
t3=(((del_t1222)^3)/(T^3))-(((3/2)*((del_t1222)^3)/T))*(1-
((((del_t1222)^2)/(T^2))))
t4=(((del_t1122)^3)/(T^3))-(((3/2)*((del_t1122)^3)/T))*(1-
((((del_t1122)^2)/(T^2))))
R=r*((A11*A21*t1)+(A21*A12*t2)+(A12*A22*t3)+(A11*A22*t4))

```

```

x=2.25  %координати слухача %точка6
y=6.5
z=1.85
T=0.01
c0=330
r11=sqrt(((X1-(x-0.09))^2)+((Y1-y)^2)+((Z1-z)^2))
r22=sqrt(((X2-(x-0.09))^2)+((Y2-y)^2)+((Z2-z)^2))
r21=sqrt(((X2-(x-0.09))^2)+((Y2-y)^2)+((Z2-z)^2))
r12=sqrt(((X1-(x-0.09))^2)+((Y1-y)^2)+((Z1-z)^2))

```

```

A11=1/r11
A12=1/r12
A21=1/r21
A22=1/r22

```

```

del_t1121=(r11-r21)/c0
As1=((A11)^2)+((A21)^2)
n1=2-((del_t1121)/T)
n2=3-((((del_t1121)^2))/(T^2))
N1=As1+(A11*A21*n1*n2)
del_t1222=(r12-r22)/c0
As2=((A12)^2)+((A22)^2)
n3=2-((del_t1121)/T)
n4=3-((((del_t1222)^2))/(T^2))
N2=As2+(A12*A22*n3*n4)
Ns=N1*N2
del_t1222=(r12-r22)/c0
del_t2112=(r21-r12)/c0
del_t1122=(r11-r22)/c0
r=1/sqrt(Ns)
t1=((del_t1121)^3)/(T^3)-(((3/2)*((del_t1221)^3)/T))* (1-
((((del_t1121)^2))/(T^2)))
t2=((del_t2112)^3)/(T^3)-(((3/2)*((del_t2112)^3)/T))* (1-
((((del_t2112)^2))/(T^2)))
t3=((del_t1222)^3)/(T^3)-(((3/2)*((del_t1222)^3)/T))* (1-
((((del_t1222)^2))/(T^2)))
t4=((del_t1122)^3)/(T^3)-(((3/2)*((del_t1122)^3)/T))* (1-
((((del_t1122)^2))/(T^2)))
R=r*((A11*A21*t1)+(A21*A12*t2)+(A12*A22*t3)+(A11*A22*t4))

x=7 %координати слухача %точка8
y=6.5
z=1.85
T=0.01
c0=330
r11=sqrt(((X1-(x-0.09))^2)+((Y1-y)^2)+((Z1-z)^2))
r22=sqrt(((X2-(x-0.09))^2)+((Y2-y)^2)+((Z2-z)^2))
r21=sqrt(((X2-(x-0.09))^2)+((Y2-y)^2)+((Z2-z)^2))
r12=sqrt(((X1-(x-0.09))^2)+((Y1-y)^2)+((Z1-z)^2))

A11=1/r11
A12=1/r12
A21=1/r21
A22=1/r22
del_t1121=(r11-r21)/c0
As1=((A11)^2)+((A21)^2)
n1=2-((del_t1121)/T)
n2=3-((((del_t1121)^2))/(T^2))
N1=As1+(A11*A21*n1*n2)
del_t1222=(r12-r22)/c0
As2=((A12)^2)+((A22)^2)
n3=2-((del_t1121)/T)
n4=3-((((del_t1222)^2))/(T^2))
N2=As2+(A12*A22*n3*n4)
Ns=N1*N2
del_t1222=(r12-r22)/c0
del_t2112=(r21-r12)/c0
del_t1122=(r11-r22)/c0
r=1/sqrt(Ns)
t1=((del_t1121)^3)/(T^3)-(((3/2)*((del_t1221)^3)/T))* (1-
((((del_t1121)^2))/(T^2)))
t2=((del_t2112)^3)/(T^3)-(((3/2)*((del_t2112)^3)/T))* (1-
((((del_t2112)^2))/(T^2)))
t3=((del_t1222)^3)/(T^3)-(((3/2)*((del_t1222)^3)/T))* (1-
((((del_t1222)^2))/(T^2)))
t4=((del_t1122)^3)/(T^3)-(((3/2)*((del_t1122)^3)/T))* (1-
((((del_t1122)^2))/(T^2)))
R=r*((A11*A21*t1)+(A21*A12*t2)+(A12*A22*t3)+(A11*A22*t4))

```

```

x=0.75  %координати слухача %точка9
y=9
z=2.3
T=0.01
c0=330
r11=sqrt(((X1-(x-0.09))^2)+((Y1-y)^2)+((Z1-z)^2))
r22=sqrt(((X2-(x-0.09))^2+(Y2-y)^2+(Z2-z)^2))
r21=sqrt(((X2-(x-0.09))^2+(Y2-y)^2+(Z2-z)^2))
r12=sqrt(((X1-(x-0.09))^2)+((Y1-y)^2)+((Z1-z)^2))

A11=1/r11
A12=1/r12
A21=1/r21
A22=1/r22
del_t1121=(r11-r21)/c0
As1=((A11)^2)+((A21)^2)
n1=2-((del_t1121)/T)
n2=3-(((del_t1121)^2)/(T^2))
N1=As1+(A11*A21*n1*n2)
del_t1222=(r12-r22)/c0
As2=((A12)^2)+((A22)^2)
n3=2-((del_t1121)/T)
n4=3-(((del_t1222)^2)/(T^2))
N2=As2+(A12*A22*n3*n4)
Ns=N1*N2
del_t1222=(r12-r22)/c0
del_t2112=(r21-r12)/c0
del_t1122=(r11-r22)/c0
r=1/sqrt(Ns)
t1=(((del_t1121)^3)/(T^3))-((3/2)*((del_t1221)^3)/T)*(1-
(((del_t1121)^2)/(T^2)))
t2=(((del_t2112)^3)/(T^3))-((3/2)*((del_t2112)^3)/T)*(1-
(((del_t2112)^2)/(T^2)))
t3=(((del_t1222)^3)/(T^3))-((3/2)*((del_t1222)^3)/T)*(1-
(((del_t1222)^2)/(T^2)))
t4=(((del_t1122)^3)/(T^3))-((3/2)*((del_t1122)^3)/T)*(1-
(((del_t1122)^2)/(T^2)))
R=r*((A11*A21*t1)+(A21*A12*t2)+(A12*A22*t3)+(A11*A22*t4))

x=2.25  %координати слухача %точка10
y=9
z=2.3
T=0.01
c0=330
r11=sqrt(((X1-(x-0.09))^2)+((Y1-y)^2)+((Z1-z)^2))
r22=sqrt(((X2-(x-0.09))^2+(Y2-y)^2+(Z2-z)^2))
r21=sqrt(((X2-(x-0.09))^2+(Y2-y)^2+(Z2-z)^2))
r12=sqrt(((X1-(x-0.09))^2)+((Y1-y)^2)+((Z1-z)^2))

A11=1/r11
A12=1/r12
A21=1/r21
A22=1/r22
del_t1121=(r11-r21)/c0
As1=((A11)^2)+((A21)^2)
n1=2-((del_t1121)/T)
n2=3-(((del_t1121)^2)/(T^2))
N1=As1+(A11*A21*n1*n2)
del_t1222=(r12-r22)/c0
As2=((A12)^2)+((A22)^2)
n3=2-((del_t1121)/T)
n4=3-(((del_t1222)^2)/(T^2))

```

```

N2=As2+(A12*A22*n3*n4)
Ns=N1*N2
del_t1222=(r12-r22)/c0
del_t2112=(r21-r12)/c0
del_t1122=(r11-r22)/c0
r=1/sqrt(Ns)
t1=((del_t1121)^3)/(T^3)-((3/2)*((del_t1221)^3)/T)*(1-
(((del_t1121)^2)/(T^2)))
t2=((del_t2112)^3)/(T^3)-((3/2)*((del_t2112)^3)/T)*(1-
(((del_t2112)^2)/(T^2)))
t3=((del_t1222)^3)/(T^3)-((3/2)*((del_t1222)^3)/T)*(1-
(((del_t1222)^2)/(T^2)))
t4=((del_t1122)^3)/(T^3)-((3/2)*((del_t1122)^3)/T)*(1-
(((del_t1122)^2)/(T^2)))
R=r*((A11*A21*t1)+(A21*A12*t2)+(A12*A22*t3)+(A11*A22*t4))

x=7   %координати слухача %точка12
y=9
z=2.3
T=0.01
c0=330
r11=sqrt(((X1-(x-0.09))^2)+((Y1-y)^2)+((Z1-z)^2))
r22=sqrt(((X2-(x-0.09))^2)+((Y2-y)^2)+((Z2-z)^2))
r21=sqrt(((X2-(x-0.09))^2)+((Y2-y)^2)+((Z2-z)^2))
r12=sqrt(((X1-(x-0.09))^2)+((Y1-y)^2)+((Z1-z)^2))

A11=1/r11
A12=1/r12
A21=1/r21
A22=1/r22
del_t1121=(r11-r21)/c0
As1=((A11)^2)+((A21)^2)
n1=2-((del_t1121)/T)
n2=3-(((del_t1121)^2)/(T^2))
N1=As1+(A11*A21*n1*n2)
del_t1222=(r12-r22)/c0
As2=((A12)^2)+((A22)^2)
n3=2-((del_t1121)/T)
n4=3-(((del_t1222)^2)/(T^2))
N2=As2+(A12*A22*n3*n4)
Ns=N1*N2
del_t1222=(r12-r22)/c0
del_t2112=(r21-r12)/c0
del_t1122=(r11-r22)/c0
r=1/sqrt(Ns)
t1=((del_t1121)^3)/(T^3)-((3/2)*((del_t1221)^3)/T)*(1-
(((del_t1121)^2)/(T^2)))
t2=((del_t2112)^3)/(T^3)-((3/2)*((del_t2112)^3)/T)*(1-
(((del_t2112)^2)/(T^2)))
t3=((del_t1222)^3)/(T^3)-((3/2)*((del_t1222)^3)/T)*(1-
(((del_t1222)^2)/(T^2)))
t4=((del_t1122)^3)/(T^3)-((3/2)*((del_t1122)^3)/T)*(1-
(((del_t1122)^2)/(T^2)))

R=r*((A11*A21*t1)+(A21*A12*t2)+(A12*A22*t3)+(A11*A22*t4))

```

ДОДАТОК В

*Лістинг програми в середовищі Matlab для визначення коефіцієнтів кореляції
прямокутного імпульсу*

```

X1=-2.25 %координати першого гучномовця
Y1=0
Z1=1.3
X2=2.25 %координати другого гучномовця
Y2=0
Z2=1.3

x=0.75 %координати слухача %точка1
y=3
z=1.25
T=0.01
c0=330
r11=sqrt(((X1-(x-0.09))^2)+((Y1-y)^2)+((Z1-z)^2))
r22=sqrt(((X2-(x-0.09))^2+(Y2-y)^2+(Z2-z)^2))
r21=sqrt(((X2-(x-0.09))^2+(Y2-y)^2+(Z2-z)^2))
r12=sqrt(((X1-(x-0.09))^2)+((Y1-y)^2)+((Z1-z)^2))

A11=1/r11
A12=1/r12
A21=1/r21
A22=1/r22
del_t1121=(r11-r21)/c0

As1=((A11)^2)+((A21)^2)
N1=As1+2*A11*A21*(1-(del_t1121)/T)

del_t1221=(r12-r21)/c0
As2=((A12)^2)+((A22)^2)
N2=As2+2*A12*A22*(1-(del_t1221)/T)

Ns=N1*N2
del_t1222=(r12-r22)/c0
del_t2112=(r21-r12)/c0
del_t1122=(r11-r22)/c0
r=1/(sqrt(Ns))
R=r*((A11*A21*(1-((del_t1121)/T)))+(A21*A12*(1-((del_t2112)/T)))+(A12*A22*(1-((del_t1222)/T)))+(A11*A22*(1-((del_t1122)/T))))

x=2.25 %координати слухача %точка2
y=3
z=1.25
T=0.01
c0=330
r11=sqrt(((X1-(x-0.09))^2)+((Y1-y)^2)+((Z1-z)^2))
r22=sqrt(((X2-(x-0.09))^2+(Y2-y)^2+(Z2-z)^2))
r21=sqrt(((X2-(x-0.09))^2+(Y2-y)^2+(Z2-z)^2))
r12=sqrt(((X1-(x-0.09))^2)+((Y1-y)^2)+((Z1-z)^2))

A11=1/r11
A12=1/r12
A21=1/r21
A22=1/r22
del_t1121=(r11-r21)/c0

```

```

As1=((A11)^2)+((A21)^2)
N1=As1+2*A11*A21*(1-(del_t1121)/T)

del_t1221=(r12-r21)/c0
As2=((A12)^2)+((A22)^2)
N2=As2+2*A12*A22*(1-(del_t1221)/T)

Ns=N1*N2
del_t1222=(r12-r22)/c0
del_t2112=(r21-r12)/c0
del_t1122=(r11-r22)/c0
r=1/(sqrt(Ns))
R=r*((A11*A21*(1-((del_t1121)/T)))+(A21*A12*(1-((del_t2112)/T)))+(A12*A22*(1-((del_t1222)/T)))+(A11*A22*(1-((del_t1122)/T))))

x=7  %координати слухача %точка4
y=3
z=1.25
T=0.01
c0=330
r11=sqrt(((X1-(x-0.09))^2)+((Y1-y)^2)+((Z1-z)^2))
r22=sqrt(((X2-(x-0.09))^2+(Y2-y)^2+(Z2-z)^2))
r21=sqrt(((X2-(x-0.09))^2+(Y2-y)^2+(Z2-z)^2))
r12=sqrt(((X1-(x-0.09))^2)+((Y1-y)^2)+((Z1-z)^2))

A11=1/r11
A12=1/r12
A21=1/r21
A22=1/r22
del_t1121=(r11-r21)/c0

As1=((A11)^2)+((A21)^2)
N1=As1+2*A11*A21*(1-(del_t1121)/T)

del_t1221=(r12-r21)/c0
As2=((A12)^2)+((A22)^2)
N2=As2+2*A12*A22*(1-(del_t1221)/T)

Ns=N1*N2
del_t1222=(r12-r22)/c0
del_t2112=(r21-r12)/c0
del_t1122=(r11-r22)/c0
r=1/(sqrt(Ns))
R=r*((A11*A21*(1-((del_t1121)/T)))+(A21*A12*(1-((del_t2112)/T)))+(A12*A22*(1-((del_t1222)/T)))+(A11*A22*(1-((del_t1122)/T))))

x=0.75  %координати слухача %точка5
y=6.5
z=1.85
T=0.01
c0=330
r11=sqrt(((X1-(x-0.09))^2)+((Y1-y)^2)+((Z1-z)^2))
r22=sqrt(((X2-(x-0.09))^2+(Y2-y)^2+(Z2-z)^2))
r21=sqrt(((X2-(x-0.09))^2+(Y2-y)^2+(Z2-z)^2))
r12=sqrt(((X1-(x-0.09))^2)+((Y1-y)^2)+((Z1-z)^2))

```

```

A11=1/r11
A12=1/r12
A21=1/r21
A22=1/r22
del_t1121=(r11-r21)/c0

As1=((A11)^2)+((A21)^2)
N1=As1+2*A11*A21*(1-(del_t1121)/T)

del_t1221=(r12-r21)/c0
As2=((A12)^2)+((A22)^2)
N2=As2+2*A12*A22*(1-(del_t1221)/T)

Ns=N1*N2
del_t1222=(r12-r22)/c0
del_t2112=(r21-r12)/c0
del_t1122=(r11-r22)/c0
r=1/(sqrt(Ns))
R=r*((A11*A21*(1-((del_t1121)/T)))+(A21*A12*(1-((del_t2112)/T)))+(A12*A22*(1-((del_t1222)/T)))+(A11*A22*(1-((del_t1122)/T))))

x=2.25 %координати слухача %точка6
y=6.5
z=1.85
T=0.01
c0=330
r11=sqrt(((X1-(x-0.09))^2)+((Y1-y)^2)+((Z1-z)^2))
r22=sqrt(((X2-(x-0.09))^2+(Y2-y)^2+(Z2-z)^2))
r21=sqrt(((X2-(x-0.09))^2+(Y2-y)^2+(Z2-z)^2))
r12=sqrt(((X1-(x-0.09))^2)+((Y1-y)^2)+((Z1-z)^2))

A11=1/r11
A12=1/r12
A21=1/r21
A22=1/r22
del_t1121=(r11-r21)/c0

As1=((A11)^2)+((A21)^2)
N1=As1+2*A11*A21*(1-(del_t1121)/T)

del_t1221=(r12-r21)/c0
As2=((A12)^2)+((A22)^2)
N2=As2+2*A12*A22*(1-(del_t1221)/T)

Ns=N1*N2
del_t1222=(r12-r22)/c0
del_t2112=(r21-r12)/c0
del_t1122=(r11-r22)/c0
r=1/(sqrt(Ns))
R=r*((A11*A21*(1-((del_t1121)/T)))+(A21*A12*(1-((del_t2112)/T)))+(A12*A22*(1-((del_t1222)/T)))+(A11*A22*(1-((del_t1122)/T))))

x=7 %координати слухача %точка8
y=6.5
z=1.85
T=0.01
c0=330
r11=sqrt(((X1-(x-0.09))^2)+((Y1-y)^2)+((Z1-z)^2))

```

```

r22=sqrt((X2-(x-0.09))^2+(Y2-y)^2+(Z2-z)^2)
r21=sqrt((X2-(x-0.09))^2+(Y2-y)^2+(Z2-z)^2)
r12=sqrt(((X1-(x-0.09))^2)+((Y1-y)^2)+((Z1-z)^2))

A11=1/r11
A12=1/r12
A21=1/r21
A22=1/r22
del_t1121=(r11-r21)/c0

As1=((A11)^2)+((A21)^2)
N1=As1+2*A11*A21*(1-(del_t1121)/T)

del_t1221=(r12-r21)/c0
As2=((A12)^2)+((A22)^2)
N2=As2+2*A12*A22*(1-(del_t1221)/T)

Ns=N1*N2
del_t1222=(r12-r22)/c0
del_t2112=(r21-r12)/c0
del_t1122=(r11-r22)/c0
r=1/(sqrt(Ns))
R=r*((A11*A21*(1-((del_t1121)/T)))+(A21*A12*(1-((del_t2112)/T)))+(A12*A22*(1-((del_t1222)/T)))+(A11*A22*(1-((del_t1122)/T))))

x=0.75  %координати слухача %точка9
y=9
z=2.3
T=0.01
c0=330
r11=sqrt(((X1-(x-0.09))^2)+((Y1-y)^2)+((Z1-z)^2))
r22=sqrt((X2-(x-0.09))^2+(Y2-y)^2+(Z2-z)^2)
r21=sqrt((X2-(x-0.09))^2+(Y2-y)^2+(Z2-z)^2)
r12=sqrt(((X1-(x-0.09))^2)+((Y1-y)^2)+((Z1-z)^2))

A11=1/r11
A12=1/r12
A21=1/r21
A22=1/r22
del_t1121=(r11-r21)/c0

As1=((A11)^2)+((A21)^2)
N1=As1+2*A11*A21*(1-(del_t1121)/T)

del_t1221=(r12-r21)/c0
As2=((A12)^2)+((A22)^2)
N2=As2+2*A12*A22*(1-(del_t1221)/T)

Ns=N1*N2
del_t1222=(r12-r22)/c0
del_t2112=(r21-r12)/c0
del_t1122=(r11-r22)/c0
r=1/(sqrt(Ns))
R=r*((A11*A21*(1-((del_t1121)/T)))+(A21*A12*(1-((del_t2112)/T)))+(A12*A22*(1-((del_t1222)/T)))+(A11*A22*(1-((del_t1122)/T))))

x=2.25  %координати слухача %точка10
y=9
z=2.3

```



```

T=0.01
c0=330
r11=sqrt(((X1-(x-0.09))^2)+((Y1-y)^2)+((Z1-z)^2))
r22=sqrt(((X2-(x-0.09))^2)+((Y2-y)^2)+((Z2-z)^2))
r21=sqrt(((X2-(x-0.09))^2)+((Y2-y)^2)+((Z2-z)^2))
r12=sqrt(((X1-(x-0.09))^2)+((Y1-y)^2)+((Z1-z)^2))

A11=1/r11
A12=1/r12
A21=1/r21
A22=1/r22
del_t1121=(r11-r21)/c0

As1=((A11)^2)+((A21)^2)
N1=As1+2*A11*A21*(1-(del_t1121)/T)

del_t1221=(r12-r21)/c0
As2=((A12)^2)+((A22)^2)
N2=As2+2*A12*A22*(1-(del_t1221)/T)

Ns=N1*N2
del_t1222=(r12-r22)/c0
del_t2112=(r21-r12)/c0
del_t1122=(r11-r22)/c0
r=1/(sqrt(Ns))
R=r*((A11*A21*(1-((del_t1121)/T)))+(A21*A12*(1-((del_t2112)/T)))+(A12*A22*(1-((del_t1222)/T)))+(A11*A22*(1-((del_t1122)/T))))

x=7   %координати слухача %точка12
y=9
z=2.3
T=0.01
c0=330
r11=sqrt(((X1-(x-0.09))^2)+((Y1-y)^2)+((Z1-z)^2))
r22=sqrt(((X2-(x-0.09))^2)+((Y2-y)^2)+((Z2-z)^2))
r21=sqrt(((X2-(x-0.09))^2)+((Y2-y)^2)+((Z2-z)^2))
r12=sqrt(((X1-(x-0.09))^2)+((Y1-y)^2)+((Z1-z)^2))
A11=1/r11
A12=1/r12
A21=1/r21
A22=1/r22
del_t1121=(r11-r21)/c0

As1=((A11)^2)+((A21)^2)
N1=As1+2*A11*A21*(1-(del_t1121)/T)

del_t1221=(r12-r21)/c0
As2=((A12)^2)+((A22)^2)
N2=As2+2*A12*A22*(1-(del_t1221)/T)

Ns=N1*N2
del_t1222=(r12-r22)/c0
del_t2112=(r21-r12)/c0
del_t1122=(r11-r22)/c0
r=1/(sqrt(Ns))
R=r*((A11*A21*(1-((del_t1121)/T)))+(A21*A12*(1-((del_t2112)/T)))+(A12*A22*(1-((del_t1222)/T)))+(A11*A22*(1-((del_t1122)/T))))

```