

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ**  
**«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ**  
**імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**  
**Факультет електроніки**  
**Кафедра акустичних та мультимедійних електронних систем**

«На правах рукопису»  
УДК 534.863.5

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

 С. А. Найда

“ 12 ” 05 2020 р.

## Магістерська дисертація

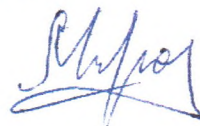
зі спеціальності (спеціалізації):

171 Електроніка  
(код і назва спеціальності)

на тему: Оцінювання розбірливості мови, спотвореної реверберацією

Виконав (-ла): студент (-ка) II курсу, групи ДГ-81мн  
(шифр групи)

Миронов Максим Володимирович  
(прізвище, ім'я, по батькові)



(підпис)

Науковий керівник д.т.н. проф. Продеус А.М.  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)



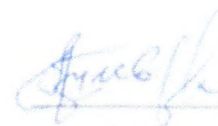
(підпис)

Консультант \_\_\_\_\_  
(назва розділу)

\_\_\_\_\_ (науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

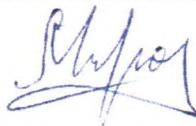
Рецензент \_\_\_\_\_  
доцент каф. ЕІ к.т.н. Шуляк О. П.  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)



(підпис)

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

Студент



(підпис)

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

Факультет електроніки


Кафедра акустичних та мультимедійних електронних систем

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

Спеціальність 171 Електроніка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

  
С. А. Найда  
(підпис)

« 12 » 05 2020 р.

**ЗАВДАННЯ**

**на магістерську дисертацію**

студенту Миронову Максиму Володимировичу

1. Тема дисертації “Оцінювання розбірливості мови, спотвореної реверберацією”, керівник роботи д.т.н., проф. кафедри АМЕС Продеус Аркадій Миколайович, затвержені наказом по університету від

17 березня 2020 р. № 887-с.

2. Строк подання студентом дисертації 12 травня 2020 р.

3. Об'єкт дослідження: процеси обробки сигналів при оцінюванні розбірливості мови, спотвореної реверберацією, із використанням бінауральної імпульсної характеристики приміщення.

4. Предмет дослідження (Вихідні дані – для магістерської дисертації за освітньо-професійною програмою): дослідити можливість модифікації об’єктивних методів оцінювання розбірливості мови, спотвореної реверберацією, використанням бінауральної імпульсної характеристики приміщення.

5. Перелік графічного матеріалу: презентація PowerPoint (15 слайдів)

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання 5.09.2018

#### Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Збір та вивчення джерел інформації; складання бібліографії наукових джерел	30.10.2018	Виконано
2	Аналіз сучасного стану проблеми оцінювання розбірливості мови	28.02.2019	Виконано
3	Забезпечення можливості вимірювання бінауральної імпульсної характеристики приміщення, розробка програмного забезпечення, проведення теоретичних та експериментальних досліджень	30.11.2019	Виконано
4	Обробка результатів експериментальних досліджень	30.03.2020	Виконано
5	Оформлення дисертації	09.05.2020	Виконано

Студент



(підпис)

М. В. Миронов

Керівник роботи



(підпис)

А. М. Продеус

\* Консультантом не може бути зазначено керівника дипломної роботи

### Анотація

В роботі проведено розгляд сучасного стану у сфері оцінювання розбірливості мови, спотвореної реверберацією.

Досліджена можливість модифікації формантного та модуляційного методу оцінювання розбірливості мови використанням бінауральної імпульсної характеристики приміщення. Представлено програмне забезпечення, яке дозволяє проводити досліди. Використовуючи оригінальний пакет програм, розроблених у середовищі програмування MATLAB®, експериментально виконано оцінювання розбірливості мови у приміщенні, призначеному для проведення лекцій та засідань. За результатами експерименту показано, що найкраща розбірливість мови спостерігається тоді, коли прямий звук переважає над відбитим. Також показано, що біля задньої стіни приміщення розбірливість може бути вищою, ніж всередині приміщення, що пояснюється корисною дією ранніх відбиттів. Застосування штучної голови із двома вимірювальними мікрофонами, розташованими біля вух, дозволило показати, що розбірливість мови може бути суттєво різною біля кожного із вух людини.

Ключові слова: розбірливість мови, реверберація, ранні відбиття, формантний метод, модуляційний метод, імпульсна характеристика приміщення.

## **Abstract**

Modern condition analysis in speech intelligibility estimation, reverberation distorted, had completed.

Modification possibility of formant and modulation speech intelligibility estimation methods using binaural room impulse response researched. Presented software which allows take tests. Experimentally, using software developed in MATLAB®, speech intelligibility estimation done in a lecture room. There are experiment results. Shown that near a back wall of room intelligibility can be better than in the middle of the room that can be explained by helpful effect of early reflections. Using artificial head with two measurement microphones located near the ears allowed to show that speech intelligibility can be significantly different for both of ears.

Key words: speech intelligibility, reverberation, early refractions, formant method, modulation method, room impulse response.

## ЗМІСТ

<b>Перелік умовних скорочень, позначень, термінів</b> .....	7
<b>ВСТУП</b> .....	8
<b>РОЗДІЛ 1. Методи оцінювання розбірливості мови</b> .....	9
1.1. Суб'єктивні методи.....	9
1.1.1. Артикуляційний метод в СРСР, РФ і України.....	10
1.2. Об'єктивні методи.....	17
1.3. Висновки.....	20
<b>РОЗДІЛ 2. Врахування присутності людини, наявності реверберації та вибір сигналу</b> .....	21
2.1. Врахування людського фактору.....	21
2.1.1. Створення натурної моделі голови.....	21
2.1.2. Математичне моделювання.....	24
2.2. Врахування реверберації.....	26
2.3. Випромінюваний сигнал.....	30
2.4. Висновки.....	33
<b>РОЗДІЛ 3. Експериментальна частина</b> .....	34
3.1. Вхідна частина.....	34
3.2. Результати експерименту.....	36
3.3. Висновки.....	39
<b>РОЗДІЛ 4. Стартап-проект</b> .....	40
<b>ВИСНОВКИ</b> .....	54
<b>ЛІТЕРАТУРА</b> .....	56
<b>ДОДАТКИ</b> .....	62
ДОДАТОК А. Аналітичний опис коефіцієнтів сприйняття для семи октавних смуг.....	62
ДОДАТОК Б. Лістинг програми для розрахунку ІХП.....	63
ДОДАТОК В. Лістинг програми оцінки розбірливості мови за отриманими ІХП.....	66

### **Перелік умовних скорочень, позначень, термінів**

IX – імпульсна характеристика;

IXП – імпульсна характеристика приміщення;

ЛНЧ – лінійна, незмінна у часі;

AI – артикуляційний індекс (індекс артикуляції);

STI (speech transmission index) – індекс передачі мови;

MLS (maximum length sequences) – послідовності максимальної довжини;

IRS (inverse repeated sequences) – зворотно повторювані послідовності

(послідовності зворотного повторювання).

## ВСТУП

Для практичного використання каналів зв'язку, важливим показником придатності є розбірливість мови [1]. Для різних цілей необхідно забезпечити різну розбірливість. Наприклад, для каналів зв'язку, більш якісним буде вважатись той, що забезпечує кращу розбірливість, але для забезпечення акустичної інформаційної безпеки, тоді захист від її витоку вважатиметься кращим якщо розбірливість стає низькою [2].

Одним з актуальних питань на сьогоднішній день є правильно та точно оцінити розбірливість мови. Приміщення є різні, і простим моделюванням не обійтись. Зараз існують різні способи моделювання та різні методи оцінювання розбірливості мови, але людина – це істота, якій завжди хочеться спростити якнайбільше процесів, що стосуються будь-чого: маркетинг, конструювання, наука, мистецтво, життя. Тому на зміну трудомістким суб'єктивним методам оцінки розбірливості мови прийшли об'єктивні. Приблизно кожне десятиріччя в цій сфері з'являються більш точні та прості методи.

У більшості методів є два жорстких поділи: сигнал і шум. Але все частіше саме реверберація стає причиною поганої розбірливості мови в приміщенні. Ще одним недоліком сучасних методів є те, що в стандартах використання жодного з них не присутня людина. В усіх методах іде мова про використання одного мікрофона, але людина має бінауральний слух, тобто має два вуха.

Метою даної роботи є спрощення процедури оцінювання розбірливості мови в приміщенні за умови, що дія реверберації переважає над дією шумової завади.



## **РОЗДІЛ 1. Методи оцінювання розбірливості мови**

Оцінювання розбірливості мови можна виконувати у два способи: суб'єктивний та об'єктивний [1-4]. Перший полягає у тому, що люди слухають та певним чином оцінюють сигнал. Такий підхід є надійним і доволі точним, але в деяких випадках потребує велику кількість людей та займає багато часу. Наприклад, згідно вимогам стандартів ГОСТ 16600-72 та ГОСТ 7153-85 до участі в експериментах треба залучити не менше трьох дикторів та трьох слухачів. При цьому кожен диктор зачитує не менше ніж чотири таблиці звукових сполучень, яких в кожній таблиці по 50, і відповідно, кожен слухач має всі їх прослухати та оцінити.

До об'єктивних відносяться методи, які базуються на використанні апаратних та програмних приладів для вимірювання параметрів мовленнєвих повідомлень. Такий підхід є швидким, дешевим, та може бути виконаний лише однією людиною (інженером акустиком), і потребує лише певної кількості комп'ютерного забезпечення.

Здавалося б, інженерам треба обмежитися використанням об'єктивного підходу. Проте тут є одна проблема: сьогодні нараховується кілька тисяч об'єктивних показників якості сигналів – від простеньких до дуже складних. Що стосується розбірливості, тут справа дещо простіша: об'єктивних показників розбірливості значно менше – приблизно кілька десятків. Але при цьому необхідно враховувати, що в багатьох об'єктивних методах використовуються експериментальні результати, які були отримані в процесі суб'єктивних артикуляційних випробувань.

### **1.1. Суб'єктивні методи**

В [1] коротко викладена суть декількох суб'єктивних методів оцінки розбірливості мови:

- оцінка за п'ятибальною шкалою МККР;
- артикуляційний метод;
- тональний метод;
- метод порівняння за гучністю;

- метод вимірювання еквівалента загасання за розбірливістю (метод АЕН);
- метод перепитувань;
- метод думок.

Дані методи оцінки розбірливості мови розроблені ще в першій половині ХХ століття. І вже тоді, порівнюючи результати різних методів між собою, дослідники дійшли висновку, що найбільш зручним і правильним суб'єктивним методом акустичної експертизи каналів мовленнєвої комунікації є метод артикуляційних випробувань [2].

### **1.1.1. Артикуляційний метод в СРСР, РФ і Україні**

На сьогоднішній день інформацію про артикуляційні випробування систем зв'язку можна знайти в наступних стандартах СРСР і РФ:

- державний стандарт СРСР ГОСТ 16600-72 «Передача речи по трактам радиотелефонной связи. Требования к разборчивости речи и методы артикуляционных измерений» ;
- державний стандарт СРСР ГОСТ 7153-85 «Аппараты телефонные общего применения. Общие технические условия» ;
- державний стандарт РФ ГОСТ 50840- «Передача речи по трактам связи. Методы оценки качества, разборчивости и узнаваемости»;
- державний стандарт РФ ГОСТ 51061-97 «Системы низкоскоростной передачи речи по цифровым каналам. Параметры качества речи и методы ее измерения».

Для оцінки якості приміщень призначений державний стандарт СРСР ГОСТ 25902-83 «Зрительные залы. Метод определения разборчивости речи».

В Україні наказом Міністерства транспорту та зв'язку України № 754 від 23.08.2007 «Про затвердження переліку стандартів і норм, яким повинні відповідати Радіоелектронні засоби (РЕЗ), що можуть застосовуватися в Україні» затверджено перелік стандартів і норм, яким повинні відповідати радіоелектронні засоби, що використовуються в Україні. До цього переліку включено стандарти СРСР ГОСТ 16600-72 і ГОСТ 7153-85. На жаль, стандарт ГОСТ 16600-72 до теперішнього часу трохи застарів. У Росії на зміну йому

прийшли стандарти 50840-95 і 51061-97, що враховують все більш широке використання в лініях зв'язку пристроїв, що містять перетворювачі мовного сигналу в цифрову форму, синтезатори мови.

У всіх перерахованих вище стандартах регламентуються:

- вибір елементів мови для прослуховування (звукосполучення, склади, слова, фрази), які найбільш повно відображають статистику російської мови;
- підбір складу експертів і ступінь їх тренуваності;
- якість голосу диктора, його дикція, інтонація та ін.;
- вимоги до приміщення і умов в ньому (рівень шумів і ін.);
- методика проведення вимірювань і методи статистичної обробки результатів.

Корисним буде ознайомитися з особливостями кожного зі згаданих вище вітчизняних стандартів.

### **Державний стандарт СРСР ГОСТ 16600-72**

Цей ГОСТ, призначений для випробувань трактів радіотелефонного зв'язку, складається з наступних розділів:

- вимоги до розбірливості мови;
- методи артикуляційних випробувань;
- вимір розбірливості фраз;
- додатки (артикуляційні таблиці звукосполучень і слів, форма протоколу артикуляційних випробувань, випробувальні тести для аудиторів і дикторів, тестові фрази).

У розділі «Вимоги до розбірливості мови» вказані класи якості розбірливості мови (табл. 1.1) і обумовлені види артикуляційних таблиць, наведених в додатках до даного стандарту або наявних в інших ГОСТах.

Таблиця 1.1

Клас якості	Характеристика класу якості	Норми розбірливості, %		
		Звуків ( $D$ )	Складів ( $W$ )	Багатоскладних слів ( $W_M$ )
I	Розуміння переданої мови без найменшого	>90	>95	>98

	напруження уваги			
II	Розуміння переданої мови без труднощів	85...90	92...95	94...98
III	Розуміння переданої мови з напруженням без перепитувань і повторень	78...85	87...92	89...94
IV	Розуміння переданої мови з великим напруженням уваги з перепитуваннями і повтореннями	60...78	62...87	70...89
V	Повна незрозумілість зв'язного тексту (зрив зв'язку)	<60	<62	<70

Для кожного класу якості найменше значення розбірливості звуків або слів, вказане в табл. 1.1, є мінімально допустимим значенням  $D_0$  або  $W_0$ . Норми розбірливості складних слів носять довідковий характер.

У розділі «Методи артикуляційних випробувань» вказані вимоги до приладів і обладнання (тип шумоміра, склад контрольного артикуляційного тракту, вимоги до частотної характеристики тракту і рівня напруги на його виході), вимоги до артикуляційної бригади (3-4 оператора, які пройшли попереднє тренування для засвоєння методу вимірювань), а також сформульовані умови тренування членів артикуляційної бригади. Обговорено умови проведення артикуляційних випробувань із застосуванням як таблиць звукосполучень (або складових таблиць), так і таблиць слів. Визначено порядок і алгоритми обробки результатів артикуляційних випробувань.

Обробка результатів артикуляційних випробувань проводиться за однаковими алгоритмами - як для таблиць звукосполучень, так і для таблиць слів. Порядок дій при використанні таблиць звукосполучень наступний: спочатку диктор передає по випробуваному тракту чотири таблиці, два-три аудиторів ведуть запис. Для кожного слухача визначають відсоток правильно

прийнятих звукосполучень по кожній таблиці і обчислюють середнє значення розбірливості звуків  $D_{cp}$  і середньоквадратичне відхилення  $\sigma_D$ :

$$D_{cp} = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K D_i; \quad (1.1)$$

$$\sigma_D = \sqrt{\frac{1}{K-1} \sum_{i=1}^K (D_i - D_{cp})^2}, \quad (1.2)$$

де  $D_i$  - розбірливість прийому однієї таблиці одним слухаючим оператором;  $K = m \cdot n$  - загальне число таблиць, прийнятих усіма слухаючими операторами;  $m$  - число слухачів;  $n$  - число переданих таблиць.

Якщо  $|D_i - D_{cp}| \geq 3\sigma_D$ , то даний результат вимірювання виключають і обчислюють  $D_{cp}$  і  $\sigma_D$  повторно за формулами (1.1), (1.2) з урахуванням зменшеного числа вимірів.

Далі визначають нижню межу довірчого інтервалу з довірчою ймовірністю 0,95:

$$D_n = D_{cp} - C_K \sigma_D, \quad (1.3)$$

де  $C_K$  - коефіцієнт, що враховує довірчу ймовірність, знаходять з табл.

1.2. Розбірливість відповідає тому класу якості, для якого  $D_0 \geq D_n$ .

Таблиця 1.2

$K$	$C_K$	$K$	$C_K$
2	4,47	14	0,47
4	1,17	16	0,44
6	0,82	18	0,41
8	0,67	20	0,39
10	0,58	24	0,35
12	0,52	28	0,30

Якщо  $D_n \leq D_0 \leq D_{cp}$ , то випробування продовжують. В цьому випадку обчислюють відношення  $(D_{cp} - D_0)/\sigma_D$  і з табл. 1.2 для цього відношення знаходять найближче менше значення  $C_K$  і відповідне йому значення  $K$ . Якщо

після передачі додаткових таблиць значення розбірливості не відповідає заданому класу, випробування припиняють і з'ясовують причини цієї невідповідності.

### **Державний стандарт РФ 50840-95**

Державний стандарт РФ ГОСТ 50840-95 «Передача речі по трактам зв'язи» - це порівняно «молодий» стандарт, який істотно враховує можливості інформаційних технологій, і регламентує отримання комплексної оцінки якості передачі мови шляхом вимірювань розбірливості мови, а також розпізнавання голосу диктора. Даний стандарт поширюється на тракти (апаратуру) телефонного провідного і радіозв'язку, в яких використовується аналоговий мовний сигнал, а також на пристрої, що містять перетворювачі мовного сигналу в цифрову форму, синтезатори мови. По суті, стандарт ГОСТ 50840-95 можна розглядати як сучасну, вдосконалену, версію стандарту ГОСТ 16600-72.

Оцінювання розбірливості мови може проводитися в автоматизованому режимі, з використанням персональних комп'ютерів типу IBM PC / AT і спеціального пакету програм «КРЕС».

Комплексна оцінка якості передачі мови включає в себе:

- оцінку складової розбірливості;
- показник якості мови, отриманий методом парних порівнянь з контрольним трактом;
- показник якості мови, отриманий методом оцінки шести селективних ознак (картавість, гугнявість та ін.);
- оцінку розбірливості та розпізнавання голосу диктора методом парних порівнянь;
- вимірювань фразової розбірливості при прискореному темпі вимови.

До даного стандарту додаються 1000 складових артикуляційних таблиць і 38 таблиць тестових фраз.

Крім розбірливості мови, - відносної кількості правильно зрозумілих елементів мови, - оцінюється якість мови, яка представляє собою суб'єктивну оцінку звучання мови в випробуваному тракті:

- у порівнянні зі звучанням в контрольному тракті (прийнятому за п'ять балів);

- у порівнянні зі звучанням в іншому тракті (у відсотках переваги).

Класи якості і норми розбірливості мови (табл. 1.3) дещо відрізняються від прийнятих в ГОСТ 16600-72 (табл. 1.1).

Таблиця 1.3

Клас якості	Характеристика класу якості	Норми розбірливості, %	
		Складів для трактів з параметричним кодуванням	Складів для трактів з кодуванням форми хвилі
Вищий	Розуміння переданої мови без найменшого напруження уваги	>93	>80
I	Розуміння переданої мови без труднощів	86...93	56...80
II	Розуміння переданої мови з напруженням без перепитувань і повторень	76...85	41...55
III	Розуміння переданої мови з великим напруженням уваги з перепитуваннями і повтореннями	61...75	25...40
IV	Повна нерозбірливість зв'язного тексту (зрив зв'язку)	45...60	<25

Склад артикуляційної бригади (бригади операторів): не менше трьох попередньо тренуваних дикторів (двох чоловіків і однієї жінки) і трьох аудиторів у віці від 18 до 30 років.

Приклад однієї з 1000 складових таблиць наведено на рис. 1.1.

ЛИР	д НЕТ	ТРЕН	з РАСЬ	СКУМ	д ЦАТЬ	ДЯН	СТОЦ	ПРЫЛ	КРОМ
ДУЧ	б СВАР	ПОРЬ	НАР	ЗУНЬ	СУЛ	в ПЯФ	ЗОЛЬ	СЕЛЬ	ХИЛ
ЧТЕЛ	з ЛАСЬ	в ХУФ	ПЕСТЬ	ВЫЙ	КАСТЬ	д РЕТЬ	з РЯС	ФЫЛ	д РУТ
ЖАСЬ	з жб КЕШ	ПЫЦ	д ГУТЬ	жб МЕШ	з БЯС	б ТУЩ	з ДЕС	СЫХ	з ЯС
ЛЕНЬ	в МАФ	з ЗЮС	о в ЧЕФ	в БУФ	э б ШЕП	в ДЛАФ	тёр	б НЕПЬ	б ШОЛЬ

Рис. 1.1. Одна зі складових таблиць

При вимірюваннях артикуляційної розбірливості зачитуються складові таблиці, загальна кількість яких кратно п'яти.

При автоматизації вимірювань артикуляційної чіткості за допомогою ПК, обладнаного пристроєм введення-виведення мовної інформації, розбірливість вимірюють методом дописування неповних складів, представлених на рис. 1.2.

__ЯК/__АК	МЮ__	ФСЕ__	Е__	__ЕХ/__ОХ
__ЮЛЬ/__УЛЬ	ЗО__	РЯ__	__ТЯЛ	__ЕФ/__ОФ
__ЮЩ/__УЩ	ПЛИС__	БЕ__	__ИПЬ/__ЫПЬ	ТЭ__
__ЯТ/__АТ	__ИЦ/__ЫЦ	__ЯТЬ/__АТЬ	__ЕФ/__ЭФ	__РУХ
__ВУМ	__ЮМ/__УМ	ВЫ__	__ЯЦ/__АЦ	ФЕ__
__ЁСЬ/__ОСЬ	__ИСЬ/__ЫСЬ	__ЮМ/__УМ	__РИТ	ЛЕФ__
ПИ__	__ЮТ/__УТ	ПРЮ__	__ИСЬ/__ЫСЬ	__ИК/__ЫК
__ТАЛ	__ИЧ/__ЫЧ	ШЕТ__	__ЕП/__ЭП	__ЕХ/__ЭХ
__ЮРЬ/__УРЬ	ВОСТ__	ТЮ__	ЗДЕ__	__ЯСЬ/__АСЬ
ХА__	ДЫ__	ЕФ__	ТО__	__ЕХ/__ЭХ

Рис. 1.2. Набір неповних складів

Аудитори прослуховують на головні телефони таблиці, що виводяться з ПК, і одночасно спостерігають на екрані монітора неповні склади. У відповідності зі своїм слуховим сприйняттям аудитор вводить в ПК за допомогою клавіатури відсутній (пропущений) приголосний в відповідний варіант складу.

За результатами вимірювань в ПК формується матриця похибок, яка обробляється, після чого формується протокол вимірювань.

Реалізований з використанням ПК метод дописування рекомендується для оцінки трактів в умовах низької розбірливості, наприклад, в шумах. При цьому істотно скорочується час вимірювань.

Методика обробки результатів вимірювань полягає в наступному. Обчислюють середнє значення і середньоквадратичне відхилення оцінки розбірливості за формулами:

$$S = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N S_i, \quad (1.4)$$



$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (S_i - S)^2}, \quad (1.5)$$

де  $S_i$  - результат одиничного вимірювання;  $N$  - число одиничних вимірювань.

Далі проводять відбраковування сумнівних даних, виключаючи ті результати, для яких  $|S_i - S| > 2\sigma$ . Після відбраковування обчислюють нове середнє значення за формулою:

$$S = \frac{1}{N-k} \sum_{i=1}^{N-k} S_i, \quad (1.6)$$

де  $k$  - число відбракованих вимірювань.

## 1.2. Об'єктивні методи

На сьогодні існує кілька десятків об'єктивних методів розрахунку і вимірювання розбірливості мови [2-30], що застосовуються для оцінки якості акустики приміщень, ліній зв'язку, а також захищеності мовленнєвої інформації. Ці методи можна поділити (рис. 1.3) на такі групи:

- формантні;
- теоретико-інформаційні;
- модуляційні;
- емпіричні.

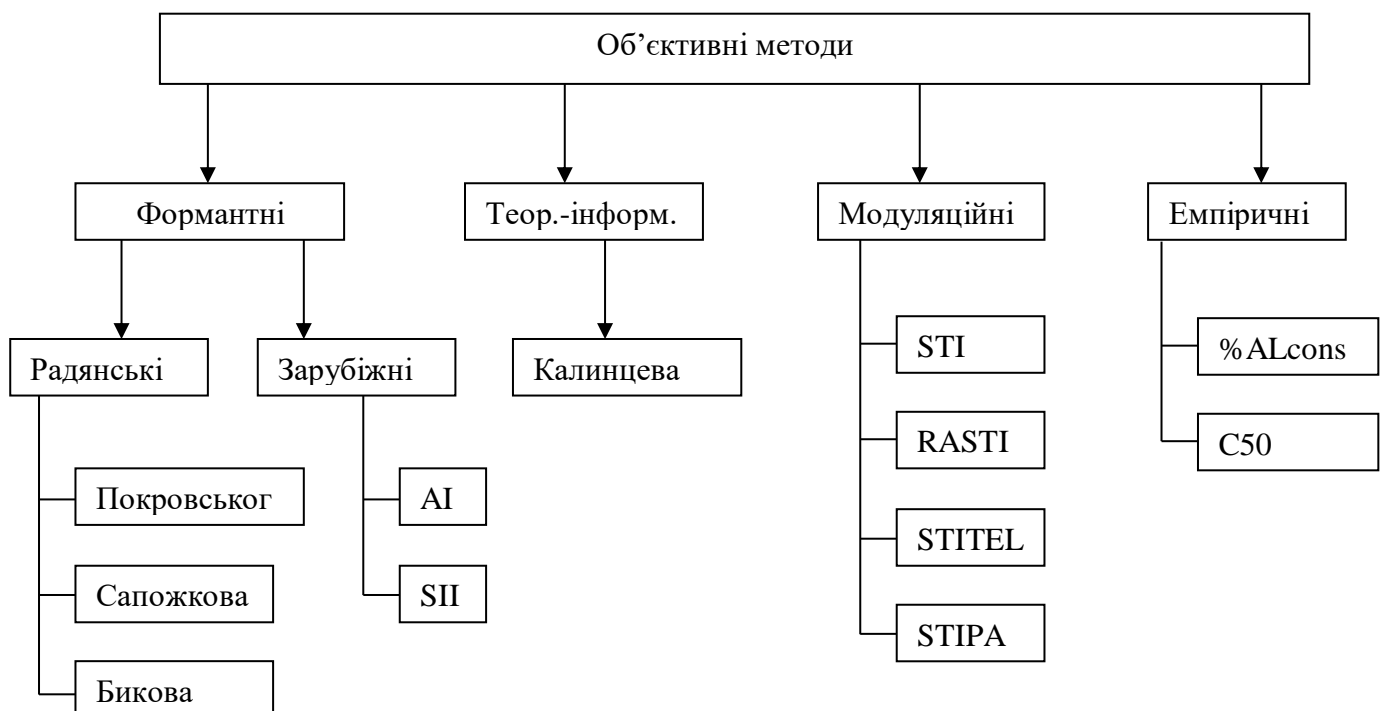


Рис. 1.3. Класифікація об'єктивних методів оцінки розбірливості мови

По суті, представлені на схемі рис. 1.3 формантні методи було б більш правильно розглядати як різні версії єдиного формантного підходу. Зауважимо, що на схемі рис. 1.3 представлені далеко не всі версії формантного підходу - показані лише дві іноземні та три радянські версії. Аналогічно, модуляційні методи - це різні версії єдиного модуляційного підходу. Гілка теоретично-інформаційних методів вельми коротка і представлена (на даній схемі) єдиною радянською розробкою, а гілка емпіричних методів - це перелік досить різноманітних по суті методів, з яких на схемі представлені лише два найбільш популярних.

Робота Д. Колларда є першою іноземною версією формантного підходу, що поклала початок ряду інших іноземних та вітчизняних версій. Зокрема, отримані Д. Коллардом результати згодом були розвинені, стосовно особливостей російської мови, в роботах Ю. С. Бикова [1].

У 1947 році з'явилися роботи Н. Френча і Д. Стейнберга, Л. Беранека, які заклали основу другої іноземної версії формантного підходу. Прийнята в цих роботах схема розрахунку була використана В. К. Іоффе і М. А. Сапожкова, Н. Б. Покровським для створення власних версій формантного методу [1].

Таким чином, до кінця 50-х років минулого століття в СРСР сформувалися три «школи» в теорії розбірливості мови, представники яких - Ю. С. Биков, Н. Б. Покровський і М. А. Сапожков - відстоювали авторські версії формантного методу [1].

У роботі 1950 року Х. Флетчера і Ф. Голта представлена наступна, третя за рахунком, іноземна версія формантного методу, що забезпечує гарний збіг розрахунку і експерименту. Втім, і Ю. С. Биков, і Н. Б. Покровський не рекомендували застосовувати дану версію на практиці: Ю. С. Биков - через «складність і трудомісткість розрахунків», Н. Б. Покровський - через «зайвий емпіризм» [1].

На базі робіт Н. Френча, Д. Стейнберга і Л. Беранека в 1962 році К. Крітер представив ще одну - четверту іноземну версію формантного методу, названу «індексом артикуляції» (Articulation Index - AI) [1].

Починаючи з 1984 року, алгоритми обчислень індексу артикуляції AI неодноразово піддавалися удосконаленням в роботах , що призвело до появи п'ятої іноземної версії, стандартизованої в ANSI S3.5-1997 і названої індексом розбірливості мови (Speech Intelligibility Index - SII) [1].

Сучасні російські дослідники також намагаються зробити свій внесок в розвиток формантного методу. Так, в роботах 2000-2002 рр. В.К. Залізняка, Ю.К. Макарова, А.А. Хорева, Я.І. Рашевського, В.Л. Каргашина явно простежується тенденція до врахування деяких особливостей останніх іноземних версій формантного методу, таких як AI та SII [1].

Наведений вище короткий екскурс в історію формантного методу дозволяє зробити висновок, що цей метод ніяк не можна віднести до категорії «застарілих», всупереч думці деяких фахівців, які віддають перевагу популярному останнім часом модуляційному методу [1].

Що стосується модуляційного методу, на сьогодні можна говорити про п'ять його версій: STI, STIr (STI ревізований), RASTI (STI для приміщень), STITEL (STI для телекомунікаційних систем), STIPA (STI для систем звукопідсилення) [1].

Датою народження модуляційного методу можна вважати 1970 рік, коли Т. Ходгаст і Г. Стінекен запропонували використовувати тестовий сигнал у вигляді шуму, модульованого за амплітудою періодичним сигналом. Ця ідея виявилася дуже плідною, оскільки дозволяла з єдиних позицій враховувати вплив як шумової, так і ревербераційної завади на розбірливість мови [1].

У 1991 році Ю. К. Калинцев запропонував теоретико-інформаційний метод, розрахований на експертизу вокодерних ліній зв'язку. Тим самим здійснена спроба заповнити суттєву прогалину в можливостях як формантного, так і модуляційного методів, неефективних при експертизі цифрових ліній зв'язку [1].

Що стосується ряду емпіричних методів (% ALcons, C50 і ін.), вони є в попиті і сьогодні, незважаючи на абсолютно справедливую критику, обумовлену низькою точністю одержуваних результатів. Настільки високу «живучість»

емпіричних методів можна пояснити простотою і швидкістю відповідних обчислень [1].

### **1.3. Висновки**

В першому розділі роботи наведено теоретичні відомості щодо суб'єктивних та об'єктивних методів оцінювання якості та розбірливості мови. Можна зробити такі висновки: по-перше, використання об'єктивних методів забезпечує порівняно малі витрати часу та грошей, а по-друге, що таких методів існує багато, і необхідно знати коли використати той чи інший метод щоб правильно оцінити розбірливість.

Також слід зазначити що з методів об'єктивного оцінювання лише модуляційний метод враховує те, що у приміщенні присутній не тільки шум, а й реверберація, але він є довгим у виконанні. До того ж реально в досліджуваному просторі сидить людина, коли в зазначених вище методах все вимірюється одним мікрофоном, що знаходиться на місці людини.

Можна сформулювати мету: вдосконалення одного з існуючих методів оцінювання розбірливості мови, забезпечивши його швидку, точну, та дешеву у виконанні реалізацію, при цьому враховуючи бінауральний слух людини та наявність реверберації у приміщенні.

В наступних розділах буде розглянуто роботи попередників, узагальнивши які буде вдосконалено один з методів об'єктивного оцінювання розбірливості мови з порівнянням експериментальних результатів.

## **РОЗДІЛ 2. Врахування присутності людини, наявності реверберації та вибір сигналу**

Основним завданням цієї роботи є вдосконалення одного з методів оцінювання розбірливості мови. Як було зазначено вище, серед стандартів оцінювання розбірливості через фактор присутності реверберації використовується лише модуляційний метод, який є довгим у виконанні. У цьому розділі буде показано які існують способи врахування цих факторів, переваги та недоліки таких способів.

### **2.1. Врахування людського фактору**

Слух людини бінауральний. Це означає що людина чує завдяки двом вухам. Роботу вуха можна порівняти з мікрофоном: на вхід поступають акустичні коливання, на виході виробляється електричний сигнал. Вуха розташовані з обох боків голови.

Цей вступ приводить до проблеми: для проведення об'єктивного оцінювання розбірливості мови будь-яким методом проводиться запис сигналу в приміщенні, але при цьому мною не було знайдено жодного стандарту вимірювання розбірливості, в якому б було враховано те, що сигнал поступає на два вуха, тобто має записуватись двома мікрофонами (або імітувати бінауральний сигнал), а також що між вухами знаходиться голова, яка служить екраном між двома вухами. Так, в ГОСТ Р ІСО 9921-2013 використовується модуляційний метод, в ІЕС 60268-16 описані методи STI, RASTI, STIPA, в ГОСТ Р ІСО 24504-2015 описане використання спрощеного STI методу. Але в жодному із зазначених стандартів немає слів про те, що для кожного вуха людини розбірливість приймає своє значення.

Проте існують матеріали [32], [33], в яких описано як можливо врахувати ці фактори при записі сигналу: створенням натурної моделі голови, та фізичним моделюванням. Далі буде розглянуто ці методи.

#### **2.1.1. Створення натурної моделі голови**

При створенні моделі голови необхідно розуміти мету, для досягнення якої власне необхідно її створювати та завдання яке буде виконувати голова, і при цьому розуміти що в наш час така складна у виробництві річ може

недешево коштувати. Адже якщо тобі необхідна голова для, скажімо, театральної сценки, можна обрати просту у виконанні, дешеву, але гарно розмальовану голову, але якщо вона необхідна для проведення експерименту, треба подумати які саме якості в ній необхідні.

Першою штучною головою, за допомогою якої можна було якісно імітувати амплітудно-частотні характеристики плечей, голови, вушної раковини та вушного каналу, була штучна голова, розроблена Клаусом Генуітом у 1986 р. [31], та мала назву: «Спеціальна, з можливістю калібрування, штучна вимірювальна система у вигляді голови для суб'єктивної та об'єктивної класифікації звуку» (рис.2.1). Далі таку систему називали просто Аахенська система у вигляді штучної голови (далі – Аахенська штучна голова) [32].



Рис. 2.1. Аахенська штучна голова з торсом.

Проблема в тому що така конструкція є дуже складною у виконанні. Для її створення враховувалось більше 30 габаритних розмірів, які знаходились шляхом їх вимірювання у чоловіків та усереднення (рис.2.2). Причому виконувались заміри не тільки голови, а й торсу.

Слід також зазначити що про матеріал, з якого було виконано голову, не було сказано в жодному знайденому мною джерелі, пов'язаному з Аахенською штучною головою. Це каже про те що матеріал, з якого її виконано, грає далеко не першу роль. А що ж тоді грає?

Розглянемо всі можливі параметри, на які можна звернути увагу при розробці штучної голови для бінаурального запису сигналу: розміри, конструкція вух та вушного каналу, щільність, та наявність торсу.

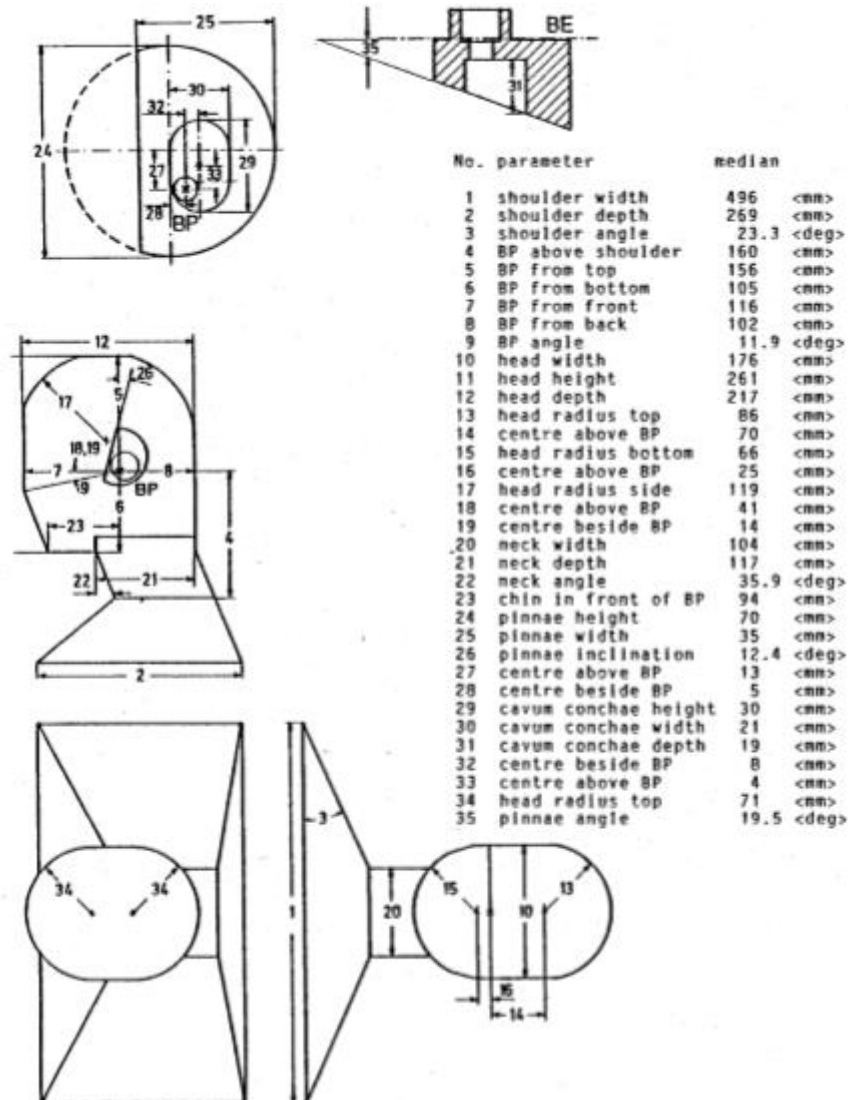


Рис. 2.2. Схема розмірів що було необхідно знати для виконання Аахенської штучної голови.

Звук що чує людина потрапляє не тільки у вухо. Він також відбивається від голови, плечей, також вушна раковина і вушний канал мають конструкцію, навіть мета якої відбити сигнал до барабанної перетинки. З цих простих міркувань виходить що при конструюванні голови для запису бінауральних сигналів необхідно мати щось досить щільне та без порожнин (щоб не створювати додаткових резонансів) що за розмірами та формою нагадує людську голову, має вушні раковини та канали сконструйовані для відбиття сигналу всередину, до барабанної перетинки (мікрофона), плечі, або щось що за формою або розмірами їх нагадує. Слід також зазначити те, що саме для даної

роботи матеріал не грає суттєвої ролі, оскільки одним із завдань була побудова штучної голови, вартість якої була б не надто високою.

І нібито все добре, ми знаємо що нам необхідно зробити і які розміри взяти, ми вже спростили до того що необхідно мати просто модель голови зі збереженням розмірів, та чимось що нагадує плечі людини, але все одно конструкція вушного каналу та раковини буде коштувати занадто дорого. Після цього виникло питання, а чи не можна фізично імітувати вушний прохід, і після запису сигналу просто виконати його програмну обробку.

### 2.1.2. Математичне моделювання

Так, про математичне моделювання системи потрапляння звуку до барабанної перетинки замислювався той самий Клаус Генуїт, що розробив Аахенську штучну голову. Він застосував поняття «Передатна функція голови» [32]. А й дійсно, замість відбиття сигналу від поверхонь, можна уявити що сигнал просто проходить через певні фільтри, і лишається тільки дізнатись їх передатні характеристики.

Передатна функція голови є результатом перевідбиття та розсіяння кількох тіл дуже заплутаним шляхом. І бажано було б розділити вплив кількох тіл, а кінцевим результатом була б суперпозиція окремих впливів.

Розглядаючи тільки два об'єкти (голова та плечі з торсом), ми можемо враховувати три вирази окремих впливів: перший, пов'язаний з головою, другий, пов'язаний з плечами і торсом, і третій, що уособлює взаємодію між першим та другим об'єктом [33].

Для спрощення Клаус представив голову як жорсткий сплюснутий сфероїд, плечі з торсом як жорсткий витягнутий сфероїд, вушну раковину як еліптичний диск, а слуховий прохід як еліптичну порожнину.

Розрахунок передатних функцій голови методом граничних елементів займає дуже багато часу, тому до розв'язку долучили також аналітичний метод, розрахунок акустичного поля, а також принцип Гюйгенса-Френеля. Проводився розрахунок на 30 частотах від 400 Гц до 12 кГц за логарифмічною шкалою.

Висновком стало те, що отримати математичну модель передатної функції голови поки що неможливо через надмірну складність поставленого



завдання. Неможливо врахувати вушний прохід через його направленість. Також результат залежить від положення голови відносно торсу, а також відстані до джерела звуку, та направленості голови з торсом відносно джерела, а математична модель, що враховувала б усі ці фактори була б дуже складною, і процес розрахунку розбірливості виконувався б занадто довго.

### Імпульсна характеристика приміщення

Можна припустити, що саме після цього дослідів всі сили були покладені саме на натурне моделювання голови з торсом. Зараз є багато фірм з виробництва штучних голів для бінаурального запису. Серед них лідируючими є Brüel & Kjaer (<https://www.bksv.com/>), HEAD Acoustics GmbH (<https://www.head-acoustics.com/>), GRAS Sound & Vibration (<https://www.gras.dk/>). Проблема у тім, що навіть їх найдешевші моделі коштують близько 10000 доларів. Але і створювались вони для широкого діапазону цілей.

Так у статті [34] голова фірми HEAD Acoustics була використана для створення бази даних Аахенських Імпульсних Характеристик 4 типових приміщень: лекційна кімната, офіс, мало реверберована кімната та конференц зала. Створювалась ця база даних для спрощення процесу дереверберації та оцінювання систем покращення мови.

За умови лінійної незмінюваної в часі (ЛНЧ) системи, імпульсна характеристика приміщення (ІХП) може бути використана для того щоб повністю описати акустичні якості кімнати з точки зору поширення звуку та відбиття для кожного місцерозташування джерела та мікрофона. Дано набір ІХП  $h_j(k)$ ,  $j = 1, \dots, M$ , де  $M$  - загальна кількість мікрофонів, та неспотворену шумом, або реверберацією мову  $s(k)$ . Спотворений сигнал:  $x_j(k) = s(k) \otimes h_j(k)$ , де  $\otimes$  - означає згортку. Відповідно для отримання ІХП на практиці застосовуються два методи. Перший включає використання симулятивного підходу – відомого як метод створення вихідного зображення, що запропонував Аллен та інші [35]. Головною перевагою цього методу є різні степені свободи. Це означає що таким чином можна симулювати майже будь-яку систему, що має геометричну форму у вигляді коробки для взуття та різні типи мікрофонів.

Проте, основна модель має одне суттєве обмеження, яке полягає у кількості відбиттів, які можуть бути імітовані експоненційним послабленням енергії, що запропонував Полак [36]. Але це обмеження можна подолати у другий метод: вимірювання ІХП у реальному приміщенні. Її можна отримати завдяки псевдовипадковим сигналам (так званим Maximum length sequences (послідовності максимальної довжини), або MLS послідовності) – послідовність, в якій дискретні значення сигналу приймають значення -1, або 1. Властивості цієї послідовності описані в [34]. Головною перевагою є точне відтворення акустичних якостей вимірюваної кімнати.

З всього вищесказаного можна вивести що для проведення швидкого, дешевого та точного експерименту необхідно мати штучну голову, подобу торсу, та два вимірювальних ненаправлених мікрофони. Залишилось лише обрати швидкий та точний метод оцінювання розбірливості, який би враховував фактор наявності як шуму, так і реверберації у приміщенні.

## 2.2. Врахування реверберації

Оскільки модуляційний метод враховує вплив реверберації, у деяких роботах можна побачити вислів про те що формантний метод є застарілим [37]. Але, співставивши потенційну здатність формантного та модуляційного методів, можна ствердити що формантний дає фору конкуренту у точності та швидкості вимірювання в умовах коли дія шуму більш впливова за дію реверберації [38] [39].

Алгоритм комп'ютерного моделювання оцінювання розбірливості зашумленої мови формантним методом описаний в [40], [41]. Структура цього алгоритму представлена на рис. 2.3. На першому етапі розрахунків здійснюється формування первинних моделей мовного сигналу та шуму у вигляді масивів вибірок стаціонарних випадкових процесів з заданими спектральними характеристиками. Потім виконується корекція дисперсій цих модельних процесів для забезпечення необхідного інтегрального відношення сигнал-шум  $E_k$ . На кінцевому етапі розраховуються міри розбірливості мови: формантна розбірливість  $A$  та словесна розбірливість  $W$  [39].

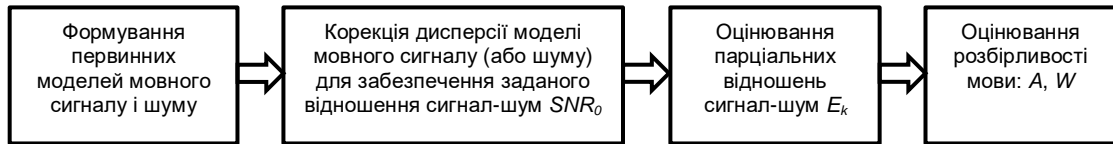


Рис. 2.3. Структура алгоритму комп'ютерного моделювання.

Суть формантного методу оцінювання розбірливості мови полягає в наступному. Область частот мовного сигналу розбивають на  $K$  суміжних частотних смуг, з центральними частотами  $f_{0k}$  та граничними частотами  $f_{nk}$  і  $f_{ek}$ , в межах кожної з яких спектри мови і шуму можна вважати практично незмінними [41]. Словесну розбірливість  $W$  розраховують через формантну розбірливість  $A$  [42]:

$$W = \begin{cases} 1.54 \cdot A^{0.25} [1 - \exp(-11 \cdot A)], & A < 0.15; \\ 1 - \exp\left(\frac{11 \cdot A}{1 + 0.7 \cdot A}\right), & A \geq 0.15 \end{cases} \quad (1)$$

$$A = \sum_{k=1}^K p_k \cdot P(E'_k), \quad (2)$$

де  $p_k$  – імовірність перебування формант у  $k$ -тій смузі частот:

$$p_k = F(f_{ek}) - F(f_{nk}), \quad (3)$$

$$F(f) = \begin{cases} 2.57 \cdot 10^{-8} \cdot f^{2.4}, & 100 < f \leq 400 \text{ Гц}, \\ 1 - 1.074 \cdot \exp(-10^{-4} \cdot f^{1.18}), & 400 < f \leq 10000 \text{ Гц}, \end{cases} \quad (4)$$

$P(E'_k)$  - коефіцієнт сприйняття мови [39].

Згідно з методикою Н.Б. Покровського [41]:

$$P(E'_k) = \begin{cases} \frac{0.78 + 5.46 \cdot \exp[-4.3 \cdot 10^{-3} \cdot (27.3 - |E'_k|)^2]}{1 + 10^{0.1|E'_k|}}, & E'_k \leq 0 \\ 1 - \frac{0.78 + 5.46 \cdot \exp[-4.3 \cdot 10^{-3} \cdot (27.3 - |E'_k|)^2]}{1 + 10^{0.1|E'_k|}}, & E'_k \geq 0 \end{cases} \quad (5)$$

$E'_k$  - ефективний рівень відчуття формант у  $k$ -тій смузі частот:

$$E'_k = E_k - \Delta B(f_{0k}), \quad (6)$$

$E_k$  - ефективний рівень відчуття мовного сигналу в  $k$ -тій смузі частот, рівний (за достатньо високих рівнів шуму) відношенню сигнал-шум у цій смузі частот;  $\Delta B(f)$  - різниця між усередненими спектрами мови і формант:

$$\Delta B(f) = \begin{cases} 200 \cdot f^{-0.43} - 0.37, & f \leq 1000 \text{ Гц}, \\ 1.37 + 1000 \cdot f^{-0.69}, & f > 1000 \text{ Гц}. \end{cases} \quad (7)$$

За методикою М.А. Сапожкова, спектр формант вважають майже співпадаючим зі спектром мови, тобто  $\Delta B(f) = 0$ , звідки слідує що  $E_k = E'_k$  [43]. Крім того, як показано в [44], залежність  $P(E'_k)$  М.А. Сапожкова відрізняється від такої Н.Б. Покровського.

В [1] методика М.А. Сапожкова уточнена шляхом врахування залежності коефіцієнтів сприйняття від смуги частот. В цьому випадку замість  $P(E'_k)$  використовують  $P_k(E_k)$ . Тут коефіцієнти сприйняття описуються поліноміальними залежностями (дод. А).

В останні роки з'явилась тенденція щодо часткової уніфікації формантного та модуляційного [45] методів оцінювання розбірливості мови. Так, наприклад, згідно спрощеної методики оцінювання розбірливості мови, представленої в ГОСТ Р ІСО 24504-2015, розбірливість мови оцінюють за допомогою індексу STI:

$$STI = \sum_{k=1}^7 \alpha_k \cdot T_k - \sum_{k=1}^6 \beta_k \cdot \sqrt{T_k \cdot T_{k+1}}, \quad (8)$$

$$T_k = \begin{cases} 0, & E_k < -15; \\ (E_k + 15) / 30, & -15 \leq E_k < 15; \\ 1, & E_k \geq 15, \end{cases} \quad (9)$$

де  $\alpha_k$  - вагові коефіцієнти,  $\beta_k$  - коефіцієнти збитковості, значення яких для октавних смуг з центральними частотами  $f_0$  приведені в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Вагові коефіцієнти та коефіцієнти збитковості для октавних смуг

$f_{0k}$ , Гц	125	250	500	1000	2000	4000	8000
$\alpha_k$	0,085	0,127	0,230	0,233	0,309	0,224	0,173
$\beta_k$	0,085	0,078	0,065	0,011	0,047	0,095	-

Неважно помітити що формули (2) та (8) принципово схожі. При цьому друга складова у (8) є поправкою, що враховує корельованість мовних сигналів у суміжних смугах, а (9) можна трактувати як результат лінеаризації коефіцієнта сприйняття  $P(E'_k)$ .

В даній дисертаційній роботі пропонується використання оцінки імпульсної характеристики приміщення  $h_r(t)$  замість сигналу з модульованою дисперсією для модуляційного методу, або спектру мови для формантного. Насправді замість ІХ приміщення буде оцінюватись згортка:

$$h_{\Sigma}(t) = h_l(t) \otimes h_r(t) \otimes h_m(t) = h_r(t) \otimes h_m(t), \quad (10)$$

де  $\otimes$  - символ згортки;  $h_l(t)$  - ІХ гучномовця;  $h_m(t)$  - ІХ одного із мікрофонів. Як видно, це пов'язано з тим, що у вимірювальній системі присутні гучномовець та мікрофон, які мають свої імпульсні характеристики. Отримати оцінку ІХ приміщення можна, обчислюючи взаємно-кореляційну функцію випадкових процесів: випроміненого сигналу та прийнятого.

Згідно з [46] ІХ приміщення можна оцінити за виразом:

$$h_r(t) = \mathbb{F}^{-1} \{H_r(f)\} = \mathbb{F}^{-1} \left\{ \frac{H_{\Sigma}(f)}{|H_m(f)|} \cdot M_R(f) \right\}, \quad (11)$$

де  $H_{\Sigma}(f) = \mathbb{F}\{h_{\Sigma}(t)\}$  - частотна характеристика вимірювальної системи;  $\mathbb{F}$  - символ прямого перетворення Фур'є;  $|\cdot|$  - символ модуля;  $M_R(f)$  - множник регуляризації [47], призначений для зменшення дисперсії оцінки ІХ. В [46] запропоновано в якості такого множника використовувати вікно Ханна, зсунутого по осі частот таким чином, що його максимум знаходиться на частоті  $F_s/2$ :

$$M_r(f) = 0,5[1 - \cos(\pi(f - F_s/2)/\Delta F)], \quad f = 0, \dots, F_s, \quad (12)$$

де  $\Delta F$  - параметр регуляризації;  $F_s$  - частота дискретизації (для  $F_s = 44,1$  кГц в [46] рекомендовано прийняти  $\Delta F = 18$  кГц).

Після обчислення ІХ приміщення, стає можливим оцінювання розбірливості мови модуляційним [45], [48] або формантно-модуляційним [49], [38] методом. Першим кроком такого оцінювання є обчислення, за формулою Шредера [50], так званих коефіцієнтів передачі модуляції:

$$m_{ki} = \frac{\left| \int_0^{\infty} h_k^2(t) \exp(-j2\pi F_i t) dt \right|}{\int_0^{\infty} h_{ki}^2(t) dt}, \quad (13)$$

де  $h_k(t)$  - результат фільтрації функції  $h_r(t)$  смуговим фільтром (на практиці використовують 7 октавних фільтрів із центральними частотами від 125 Гц до 8 кГц);  $F_i$  - частота модуляції (на практиці використовують 14 значень  $F_i$ , в діапазоні від 0,63 Гц до 12,5 Гц).

Наступними кроками є обчислення ефективних відношень сигнал-шум для кожної смуги та кожної модуляційної частоти:

$$E_{ki} = 10 \lg \frac{m_{ki}}{1 - m_{ki}}, \quad (14)$$

та середнього ефективного відношення сигнал-шум

$$E_k = \frac{1}{14} \sum_{i=1}^{14} E_{ki}. \quad (15)$$

Ідучи шляхом формантно-модуляційного методу [49], в кінці обчислюють артикуляційну розбірливість за формулою (2), прийнявши що  $E_k = E'_k$ , та словесну розбірливість за формулою (1).

Якщо ж завершити розрахунок модуляційним методом, необхідно обчислити середній індекс передачі модуляції:

$$MT_k = \frac{1}{14} \sum_{i=1}^{14} T_{ki}, \quad (16)$$

де  $T_{ki}$  знаходиться з формули (9), та розрахувати сам індекс передачі мови  $STI$  за формулою (8), підставивши  $MT_k$  замість  $T_k$ .

### 2.3. Випромінюваний сигнал

При проведенні такого досліджу, як вимірювання імпульсної характеристики приміщення, необхідно також врахувати те, що, перш за все, ІХ це відгук на вплив, і для якісної оцінки цієї функції необхідно правильно підібрати вплив. Якщо описувати математично, впливом має бути дельта-функція Дірака – широкосмуговий сигнал, що являє собою точковий сплеск. На

практиці застосовують, вибух надувної кульки, рідше – постріл з пістолета, ще рідше плеск у долоні.

Для приміщень великих розмірів плеск у долоні та вибух кульки не задовольняють умову високого рівня сигнал-шум при випромінненні. Пістолет в даному випадку дуже гарний варіант, але дослідження [51] та [52] показали, що такі сигнали, як MLS підходять на цю роль краще, адже є стійкішими до фонового шуму.

У [53] було виконано порівняння 4 типів тестових сигналів: MLS, IRS (Inverse Repeated Sequence – послідовність зворотного повторювання), Time-Stretched Pulses (імпульси, розтягнуті за часом), та Sine-Sweep (частотно модульовані сигнали).

Система вимірювань дозволила генерувати MLS сигнали довжиною 12 секунд з частотою дискретизації 44,1 кГц. Перевагою такої послідовності є некорельованість з фоновою завадою, але є і недолік – поява піків спотворення, що виникають через нелінійність обладнання (рис. 2.4.a). Вони стають меншими при використанні IRS послідовностей (рис.2.4.б):

$$IRS[n] = \begin{cases} MLS[n], & \text{if } n \text{ is even}, 0 \leq n < 2L \\ -MLS[n], & \text{if } n \text{ is odd}, 0 < n < 2L \end{cases} \quad (17)$$

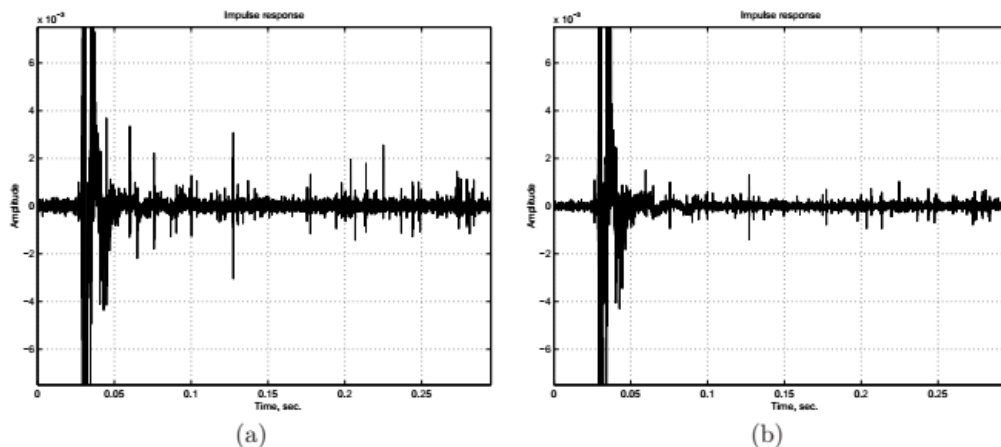


Figure 4: Zoom on the impulse responses obtained via MLS and IRS methods. (a) MLS method. (b) IRS method.

Рис. 2.4. IX, отримані за допомогою MLS (а) та IRS (б) сигналів.

Основним недоліком IRS сигналу є те, що він у два рази довший за MLS послідовність, до того ж піки, спричинені нелінійністю обладнання не зникають повністю.

Time-Stretched Pulses. Артефакти у вигляді піків зникають (рис. 2.5), проте стають видними недоліки (нелінійність) елементів вимірювальної системи, таких, наприклад, як гучномовець.

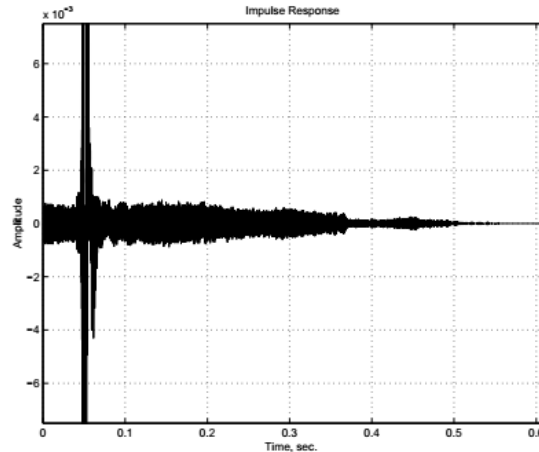


Figure 7: Zoom on the impulse response obtained in an anechoic room when a time-stretched pulse of about 1 second is used. In this case a bad quality loudspeaker has been used in order to emphasize the non linearity of the measurement system.

Рис. 2.5. ІХ отримана використанням розтягнутого у часі імпульсу тривалістю 1 с.

Logarithmic SineSweep. Методи MLS, IRS та імпульсів, що розтягуються в часі, базуються на припущенні лінійності та часової інваріантності системи, тому їм властиві артефакти, коли ці умови не виконані.

Техніка SineSweep, розроблена Фаріною, вільна від таких обмежень. В її основі лежить наступна ідея: використовуючи експоненціальну швидкість розгортання частоти, можна відокремити імпульсну характеристику системи від імпульсів, спричинених нелінійним спотвореннями. Ці спотворення з'являються перед імпульсним відгуком. Отже: 1) імпульсний відгук, що вимірюється, звільнений від нелінійності; 2) одночасно може бути проведено вимірювання гармонічного спотворення різних порядків.

Аналітично тестовий сигнал SineSweep описується функцією:

$$x(t) = \sin \left[ \frac{T \omega_1}{\ln\left(\frac{\omega_2}{\omega_1}\right)} \cdot \left( e^{\frac{t}{T} \ln\left(\frac{\omega_2}{\omega_1}\right)} - 1 \right) \right], \quad (18)$$

де  $\omega_1$  та  $\omega_2$  - початкова та кінцева частоти сигналу довжиною  $T$ . Результат тестування цього сигналу можна побачити на рис. 2.6.



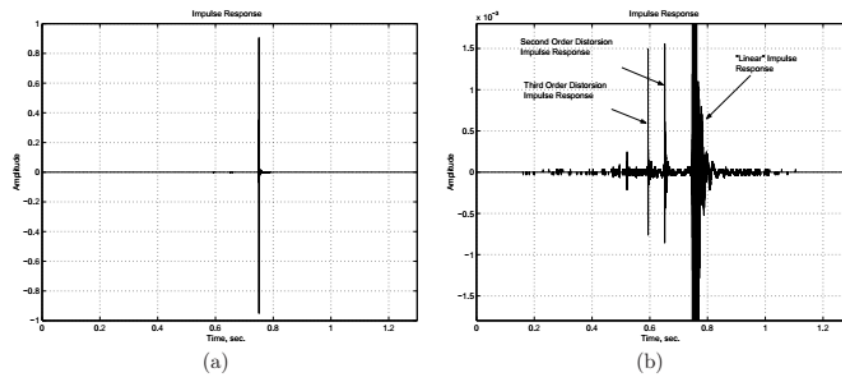


Figure 11: (a) Impulse Response obtained in an anechoic room with a logarithmic SineSweep of 1 second characterized by  $\omega_1 = 2\pi 10 \text{ rad/s}$  and  $\omega_2 = 2\pi 22000 \text{ rad/s}$ . (b) Zoom on this response showing the extraordinary precision of the achievable results.

Рис. 2.6. ІХ отримана за допомогою Sine-Sweep сигналу, тривалістю 1 с з параметрами  $\omega_1 = 2\pi \cdot 10 \text{ рад/с}$  та  $\omega_2 = 2\pi \cdot 22000 \text{ рад/с}$  (а) та збільшена версія (б), на якій видно спотворення, викликані шумами.

## 2.4. Висновки

Таким чином, в даному розділі обґрунтовано що для оцінки розбірливості мови можна використати штучну голову з дешевого матеріалу, не враховуючи якості виконання вушної раковини та вушного каналу. Також необхідно мати торс, який би відбивав сигнал до вух, тобто був ширше за голову. Слід використовувати ненаправлені вимірювальні мікрофони. Чим вище клас мікрофону, тим, відповідно, менше можлива похибка вимірювання.

Проведено аналіз існуючих об'єктивних методів оцінювання розбірливості мови. Для модифікації обрано модуляційний та, так званий, формантно-модуляційний методи. Модифікація процедури вимірювання розбірливості мови призводить до значного скорочення процесу вимірювання, адже замість, щонайменше, 14 вимірювань для кожної модуляційної частоти лише для одного незалежного випробування, тепер пропонується проводити одне вимірювання, з меншою кількістю розрахунків.

Збуджуючим сигналом було обрано сигнал у вигляді MLS послідовності, через його стійкість до шумової та імпульсної завад, невеликий оптимальний рівень та порівняно приємний тембр.

## РОЗДІЛ 3. Експериментальна частина.

### 3.1. Вхідна частина

Для проведення експерименту було сконструйовано в Лабораторії акустичної експертизи та корекції кафедри АМЕС факультету електроніки, КПІ ім. І. Сікорського штучну голову, матеріал – пінопласт. Прикріплено до дерев'яного корпусу, як альтернатива торсу, що водночас є також засобом зберігання та транспортування. До голови прикладаються два ненаправлених мікрофона. MLS сигнал випромінюється з потужного гучномовця. Передача сигналів та комутація відбуваються за допомогою звукової карти (рис. 3.1).



Рис. 3.1. «Штучна голова», створена на кафедрі АМЕС.

Метою експерименту є перевірка працездатності та отримання результатів роботи створеного комплексу. Робота проводилась у 438 аудиторії 12 корпусу в 3 етапи:

- 1) створення плану обраного приміщення; визначення положень джерела та «штучної голови» при кожному експерименті;
- 2) запис імпульсних характеристик у кожній з обраних на першому етапі точок приміщення;
- 3) обробка отриманих записів - розрахунок ІХ та розбірливості мови.

На рис. 3.2. – 3.3. зображено план приміщення з обраними точками, та модель приміщення відповідно:

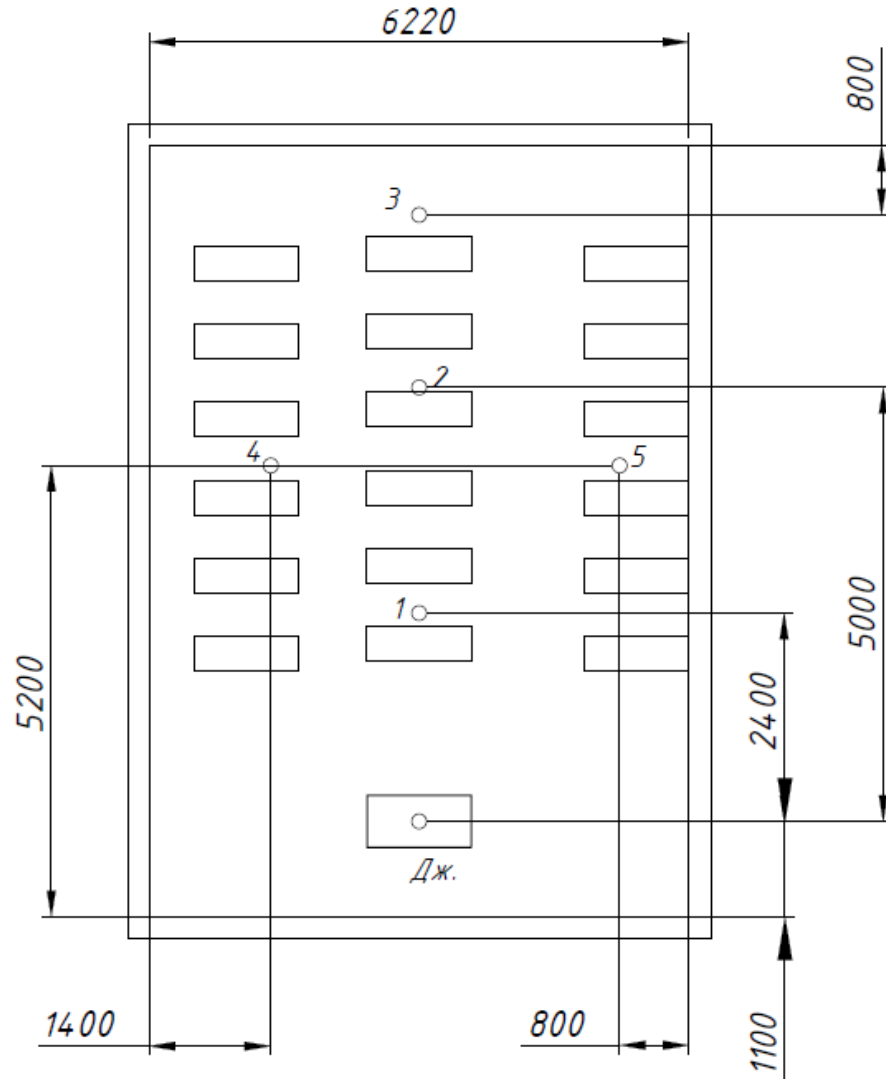


Рис. 3.2. План приміщення з зображенням на ньому вимірювальних точок.

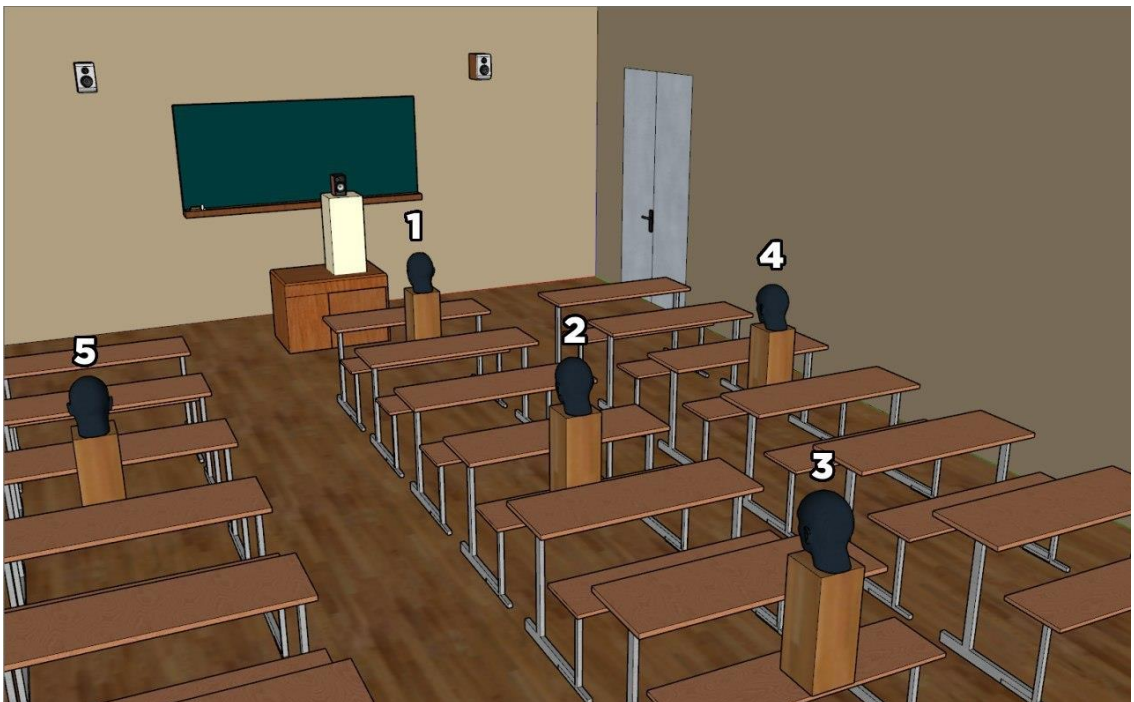


Рис. 3.3. Модель приміщення.

Особливості точок 1 – 5:

- точка 1 знаходиться на однаковій відстані від бокових стін, найближче до джерела звуку;
- точка 2 знаходиться далі від джерела в порівнянні з т. 1, на однаковій відстані між боковими стінами;
- точка 3 знаходиться якнайдалі від джерела біля задньої стіни, більшу частину якої складають віконні конструкції з великим коефіцієнтом відбиття;
- точка 4 знаходиться майже на однаковій відстані між передньою та задньою стінами; на відстані 1,4 м від бокової стіни без вікон;
- точка 5 знаходиться майже на однаковій відстані між передньою та задньою стінами; на відстані 0,8 м від бокової стіни з вікном.

Використане обладнання: активна колонка Genius SP-HF 2.0 500; 2 мікрофони конденсаторні Superlux ECM-999; звукова карта Steinberg UR242; ноутбук для запису даних та смартфон у якості пристрою, що генерує сигнал.

Джерело звуку було розміщене на місці диктора, за столом викладача. Змінювалось лише розташування штучної голови за визначеними точками. Для подальшої роботи потрібно було налаштувати підсилення мікрофонів, тому було проведено ряд тестових записів для вирівнювання рівнів сигналів лівого та правого каналів на вході аудіоінтерфейсу. Вимірювання проводилось з частотою дискретизації 44100 Гц, глибина квантування 24 біт.

### 3.2. Результати експерименту

Для розрахунку ІХ приміщення використовується програма `gux_RIR_corrected2_stereo.m` (дод. Б) та, так звана, підпрограма-функція `Ws=main_reverb_razb_2chan(rirname,T,avtr,bnd)` (дод. В). На виході першої ми отримуємо WAV-файли із записами стерео ІХ приміщень, а використовуючи другу ми отримуємо оцінки розбірливості за модифікованим методом з використанням коефіцієнтів сприйняття по Покровському, Сапожкову, кафедри АМЕС та STI.

В результаті відпрацювання програм отримуємо графіки імпульсних характеристик приміщення (рис. 3.4) та розбірливості (рис. 3.5):

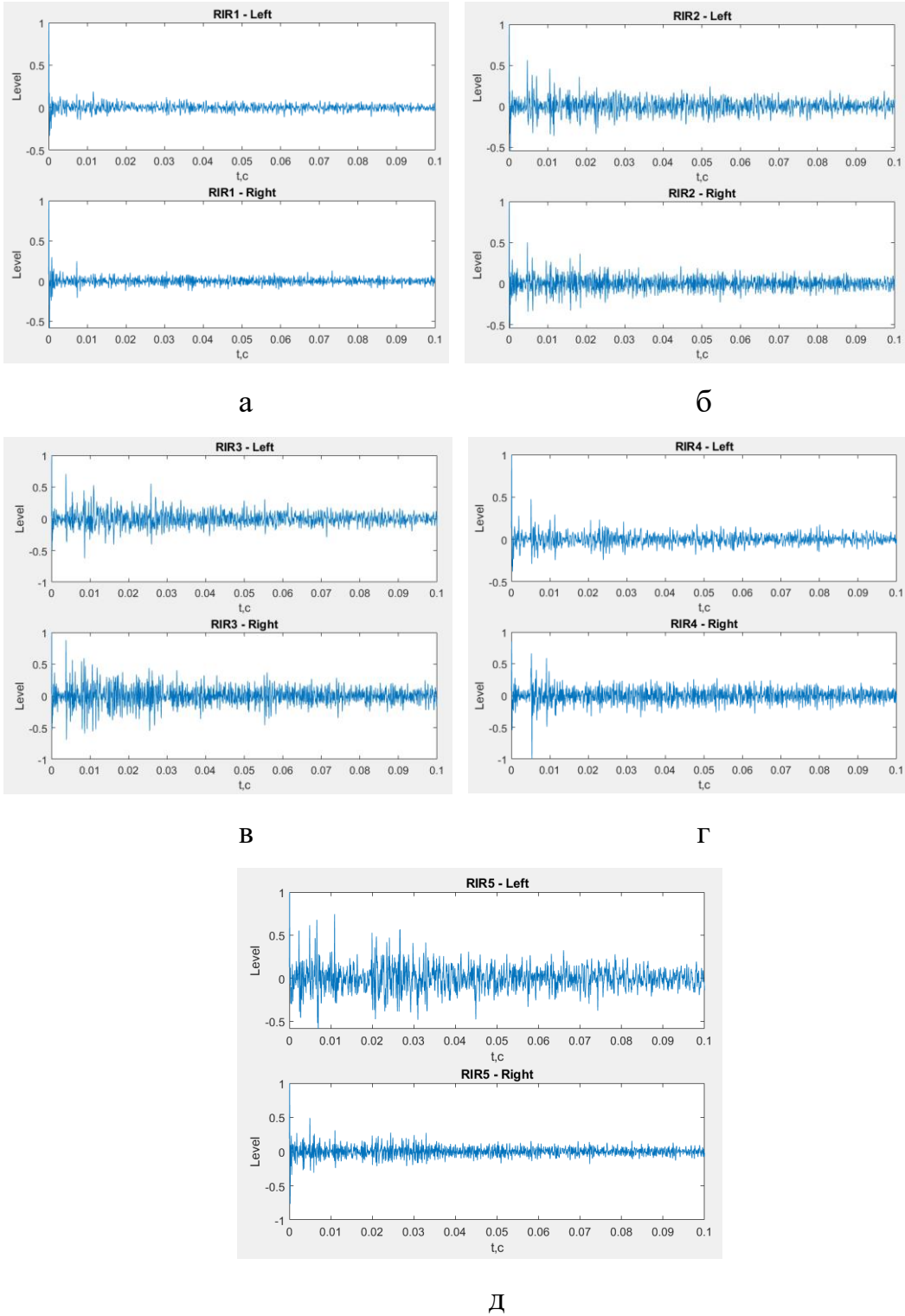


Рис. 3.4. Імпульсні характеристики 438 аудиторії у першій (а), другій (б), третій (в), четвертій (г), та п'ятій (д) точках.

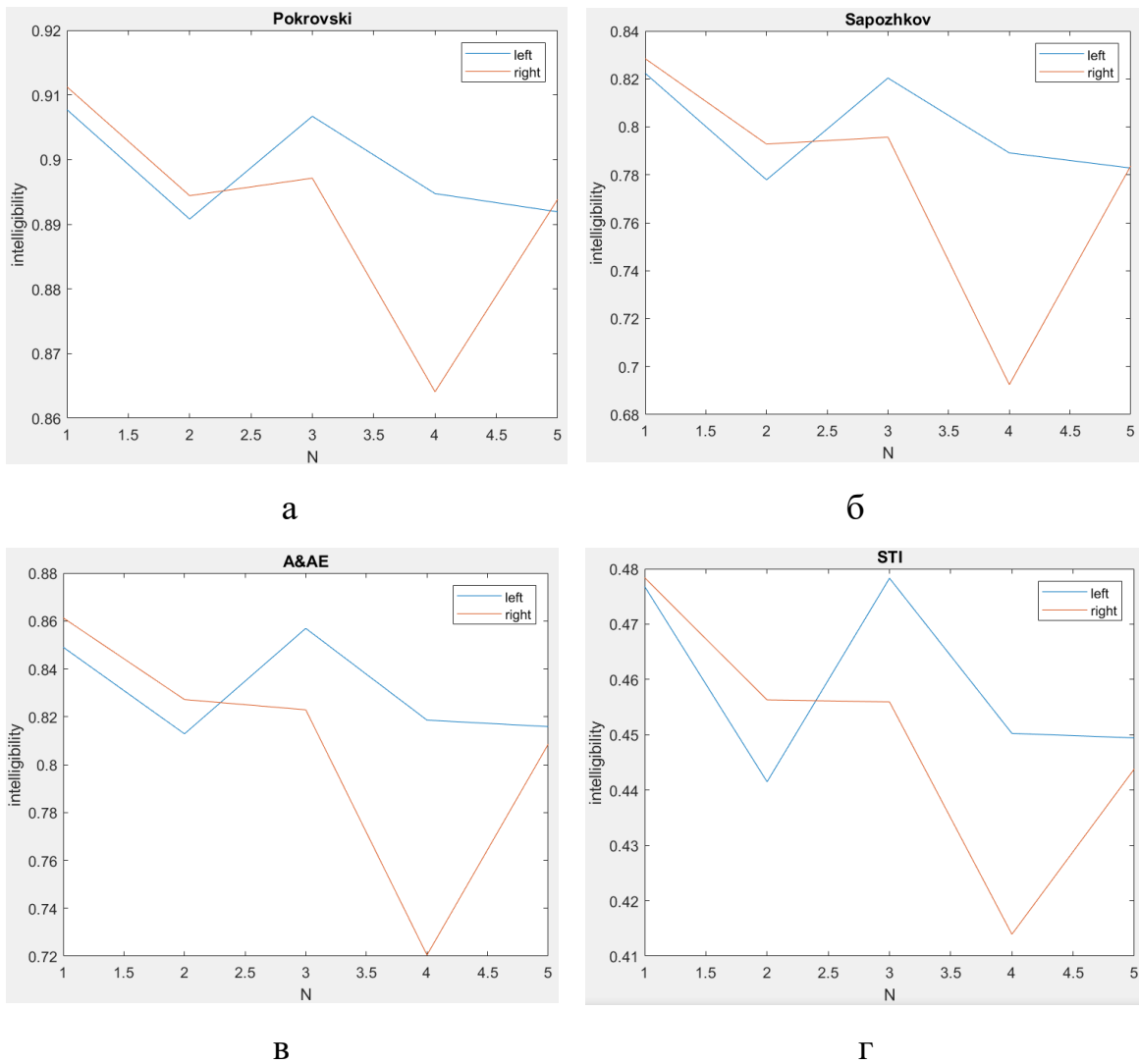


Рис. 3.5. Графіки оцінки розбірливості мови, розрахованої модифікованим методом з використанням коефіцієнтів сприйняття за Покровським (а), Сапожковим (б), кафедри ААЕ (в), та STI.

Як видно з графіків, найкраща розбірливість виявилась в точці 1, що пов'язано із розташуванням штучної голови відносно гучномовця, на такій відстані до цієї точки надходить у більшій мірі прямий звук; та в точці 3, це пов'язано з тим, що звук відбивається від задньої стінки аудиторії, яка в більшості виконана зі скла, і потрапляє на мікрофони. Найгіршою, але не поганою виявилась розбірливість в точці 4, причому саме на правому каналі. Там знаходиться глуха стіна, і як прямий, так і відбитий звук втрачається. Точки 2 та 5 пояснюються аналогічно: точка 2 розташована подалі від «диктора» та стін, що не дає звуку потрапити до вух; 5 точка знаходиться біля вікна, від якого сигнал відбивається добре.

### 3.3. Висновки

В даному розділі роботи описано експеримент, поставлений для перевірки модифікованого об'єктивного методу оцінювання розбірливості мови, спотвореної реверберацією. Така система є простою у реалізації, оскільки не вимагає залучення великої кількості людських ресурсів, робота яких підлягає оплаті, та часу. Необхідно мати обладнання, ноутбук та стандартне програмне забезпечення (в даній ситуації – MATLAB).

Результати експерименту показали, що найкраща розбірливість мови спостерігається на відстані 2.4 м від джерела звуку, що добре узгоджується з результатами [54]. Зі зростанням відстані розбірливість знижувалася, але зростала із наближенням до стін, особливо тих, що добре відбивають звук.

## РОЗДІЛ 4. Стартап-проект

Пропонується проект під назвою «Штучна голова для розрахунку розбірливості мови через вимірювання бінауральної імпульсної характеристики приміщення» (в подальшому Штучна голова). Почнемо з маркетингового аналізу стартап-проекту, де буде описана ідея, оцінені можливості її ринкового впровадження та напрямки його реалізації (таблиці 4.1 та 4.2).

Таблиця 4.1. Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигода для користувача
Система, призначена для швидкого якісного об'єктивного оцінювання розбірливості мови.	1. Акустична експертиза захисту приміщень	1. Визначення надійності приміщення в умовах збереження конфіденційності переговорів. 2. Складання паспорту приміщень.
	2. Акустична експертиза розбірливості у приміщенні	1. Оцінювання розбірливості 2. Оцінювання ІХ приміщення.

Від існуючих аналогів даний комплекс відрізняється:

- 1) Швидким проведенням операцій;
- 2) Пристосованістю до оцінки української мови;
- 3) Реалістичністю результатів.

Таблиця 4.2. Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

№ п/п	Техніко-економічні х-ки ідеї	Товари/концепції конкурентів			W (слабкі)	N (нейтр.)	S (сильні)
		Мій проект	КРЕС	MIT-FC			
1	Ціна	500\$	N/A	N/A		+	
2	Лояльність	Висока	Висока	Висока			+



	споживачів						
3	Необхідність спеціальних знань для використання	Не потребується	Не потребується	Не потребується		+	
4	Законодавчі обмеження	Відсутні	Наявні	Наявні			+
5	Економія на масштабах вимірювань	Так	Так	Так		+	
6	Динаміка галузі	Стабільна	Стабільна	Стабільна		+	
7	Інформаційне забезпечення	Добре	Посереднє	Посереднє			+
8	Рівень концентрації	Низький для свого регіону	Низький для свого регіону	Низький для свого регіону			+
9	Контроль якості	Проводиться	Проводиться	Проводиться			+
10	Кросплатформенність	Можлива	Можлива	Неможлива			+

Технологічний аудит проекту полягає у визначенні технології, за якою реалізується проект (табл. 4.3).

Таблиця 4.3. Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Відтворення тестових сигналів	Використання обладнання для відтворення	Наявні	Доступно
2	Запис сигналу відгуку	Запис сигналу	Наявні	Доступно
3	Проведення	Програмними	Потребує	Доступно

	процедури розрахунку розбірливості	засобами: Розрахунок ІХ приміщення та розбірливості	доброби	
4	Повернення результатів	Програмними засобами: 1)Видача значень за дослідами 2)Побудова графіків	1) Наявні  2) Потребує доброби	1) Доступно 2) Доступно

Обрана технологія реалізації ідеї проекту: створення програм у середовищі Matlab. З п.4 обрано обидва варіанти реалізації, для наочності проведених досліджень. Технологія є доступною та потребує подальшої модернізації.

Необхідно провести аналіз ринку з урахуванням ринкових можливостей та загроз, загального стану ринку та можливостей клієнтів. Аналіз попиту наведено в таблиці 4.4, потенційні групи клієнтів визначаються за допомогою таблиці 4.5, аналіз ринкового середовища – у таблицях 4.6 та 4.7. Також проведено аналіз пропозиції (таблиця 4.8) та конкуренції в галузі (таблиця 4.9). Підсумком є перелік факторів конкурентоспроможності у таблиці 4.10.

Таблиця 4.4. Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/п	Показники стану ринку	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	3
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	10000
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає

4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Відсутні
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Бажано пройти державну сертифікацію у сфері стандартизації вимірювань
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	55%

За попереднім оцінюванням ринок є сприятливим для входження.

Таблиця 4.5. Характеристика потенційних клієнтів.

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Спрощена та прискорена процедура вимірювань	Спеціалісти у сферах захисту інформації, спеціалісти у сфері звукоізоляції, інші люди, що проводять акустичну експертизу приміщень та каналів зв'язку	«Заточеність» програмного забезпечення під конкретну сферу та відповідність їх діючим стандартам	- до продукції: швидкодія, зручність використання, зрозумілість, точність результату - до компанії-постачальника: забезпечення регулярних оновлень та доступності роботи
2	Можливість оцінки для національної	Спеціалісти у сфері	у	

	мови	стандартизації, спеціалісти з акустичної експертизи		програмного забезпечення на будь-яких платформах
--	------	--	--	---

Таблиця 4.6. Фактори загроз.

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Незацікавленість аудиторії	Неготовність потенціальних клієнтів купувати продукт	Розширення можливостей комплексу
2	Поява прямого конкуренту	Втрата клієнтів, зменшення прибутків	Вдосконалення роботи у порівнянні з власним та конкурентним програмним забезпеченням
3	Постачальник бази програмного забезпечення	Заборона на реалізацію комплексу на базі цього середовища	Перехід на інше середовище

Таблиця 4.7. Фактори можливостей.

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Відсутність прямих конкурентів	Стрімкий розвиток, можливість встановлювати свою ціну	Захоплення ринку
2	Потреба у оновленні національних	Можливість отримати державну	-

	стандартів	підтримку	
3	Різноманітність задач акустичної експертизи	Постійна зацікавленість аудиторії	Розширення функціоналу та можливостей, створення різних версій програм для різних задач

Таблиця 4.8. Ступеневий аналіз конкуренції на ринку.

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства
Олігополія	Конкуренти зосереджені на інших регіонах світу	Підтримка результату
Світова боротьба	Відсутня локальна боротьба	Підтримка результату, захоплення підприємством стійких позицій
Внутрішньогалузева конкуренція	Спеціалісти інших галузей не можуть вплинути на ринок	Впевнена позиція в ніші
Товарно-видова конкуренція	Пропонуються замітники (наприклад, базовані на об'єктивних методах)	Створює необхідність виробництва конкурентного продукту
Нецінові переваги	Специфічний набір функцій, що не відтворений у інших	Необхідність оберігати технологію
Не марочна конкуренція	Немає товарів-аналогів	Утримання позиції

Таблиця 4.9. Аналіз конкуренції в галузі за портером.

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари - замітники
	-КРЕС -МІТ-ФС	Необхідна наявність доволі трудомісткого у створенні програмного забезпечення	Дозвіл на використання свого програмного забезпечення та його доступність	Зацікавленість у продукті, Можливість купувати	Краще виконання функцій; вищі показники точності
Висновки:	Інтенсивність боротьби слаба через сконцентрованість кожного конкурента на своєму географічному регіоні	Потенційні конкуренти можуть увійти в ринок в межах року.	Постачальники не можуть диктувати умови, оскільки їх конкуренція висока	Клієнти вимагають певного набору функцій за найнижчою ціною	Необхідно обережно вводити деякі конкурентні функції

З огляду на конкурентну ситуацію можливість роботи на ринку є. Основні конкуренти зосереджені на своїх географічних регіонах, потенційні не можуть швидко увійти на ринок. Найбільший вплив вказують потреби покупців.

Таблиця 4.10. Обґрунтування факторів конкурентоспроможності.

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування
1	Високі технологічні можливості	Ідея програмного комплексу відповідає великій кількості стандартів та досліджень.
2	Конкуренти	Існує мала кількість аналогічних продуктів, їх виробники зосереджені на своїх регіонах. Потенційні конкуренти виготовляють товари-замінники, які не відповідають вимогам по якості.
3	Інноваційність	Даний продукт змінить ситуацію в галузі в кращу сторону за рахунок високої технологічності

		та новизни.
--	--	-------------

Таблиця 4.11. Порівняння сильних та слабких сторін проекту.

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з «Штучною головою»						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Технічні можливості	20				+			
2	Конкуренти	15				+			
3	Іноваційність	17		+					

Перейдемо до складання матриці аналізу сильних та слабких сторін, загроз та можливостей (SWOT-аналізу) у таблиці 4.12.

Таблиця 4.12. SWOT-аналіз проекту.

<p><b>Сильні сторони:</b></p> <p>Не має аналогів в Україні. Адаптовано під українську мову. Економія часу та людських ресурсів Простота використання.</p>	<p><b>Слабкі сторони:</b></p> <p>Використання лише синтезованих шумів. Не вирішує всі задачі, що ставить акустична експертиза</p>
<p><b>Можливості:</b></p> <p>Охоплення всіх задач акустичної експертизи Захоплення монополії на ринку</p>	<p><b>Загрози:</b></p> <p>Пропонування конкурентами більшої кількості функцій Порівняння можливостей з товарами-замінниками</p>

Таблиця 4.13. Альтернативи ринкового впровадження проекту.

№ п/п	Альтернатива ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Демонстрація можливостей амбасадорами з представленням безкоштовного пробного періоду	Висока	1 міс

2	Продаж пробних зразків	Доволі висока	5 міс
3	Розширення вирішуваних задач та продаж	Доволі висока	6 міс

Отже, потрібно виходити на ринок за допомогою передачі пробної версії продукту деяким користувачам, що мають вагу в сфері акустичної експертизи. Розробимо ринкову стратегію (таблиця 4.15, 4.16), врахувавши цільові групи споживачів (таблиця 4.14).

Таблиця 4.14. Вибір цільових груп потенційних споживачів.

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу в сегмент
1	Спеціалісти зі звукоізоляції	Висока	Високий	Низька	Висока
2	Спеціалісти з захисту інформації	Висока	Високий	Низька	Висока
3	Спеціалісти у сфері стандартизації	Середня	Середній	Низька	Середня

Цільові групи: спеціалісти зі звукоізоляції та захисту інформації, оскільки обидві входять у галузь акустичних експертів.

Таблиця 4.15. Визначення базової стратегії розвитку.

Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
Концентрація на	Концентрований	Відсутність	Розширення



розширення функцій під всі задачі акустичної експертизи	маркетинг	конкурентів, необхідність потенційних клієнтів	функцій та забезпечення найбільшої швидкості та точності оцінювання
---	-----------	--	---

Таблиця 4.16. 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
Так	Нові споживачі	Основна характеристика для копіювання – сама ідея. В іншому розробка самобутна.	Спеціалізація на задачах акустичної експертизи

На основі попередньо визначених у таблицях 4.14 - 4.16 даних розробимо стратегію позиціонування (таблиця 4.17).

Таблиця 4.17 Визначення стратегії позиціонування.

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентноспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувану комплексну позицію власного проекту
1	Точність вимірювань	Покращення показника	Програмне виконання збору числових даних	Узгодженість з простим суб'єктивним

			та розрахунків. Вибір кращої апаратури	оцінюванням та іншими роботами
2	Адаптованість до національної мови	Розширення тестового матеріалу	Наявність матеріалу	Національна мова
3	Швидкість вимірювань	Покращення показника	Використання гарного базового середовища	Випробування за кілька хвилин, а не годин

Розробка маркетингової програми стартап-проекту складається за аналізу потреб користувача (таблиця 4.18), опису трьохрівневої моделі товару (таблиця 4.19) та меж встановлення цін (таблиця 4.20). Також визначається оптимальна система збуту (таблиця 4.21) та концепції маркетингових комунікацій (таблиця 4.22).

Таблиця 4.18. Визначення ключових переваг концепції потенційного товару.

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами
1	Швидкість вимірювань	Забезпечення на порядок швидшої процедури за наявні	Наявність протестованого комплексу
2	Тестування з врахуванням особливостей національної мови	Можливість адаптації до мови за рахунок Розширення бази коефіцієнтів сприйняття	Велика кількість коефіцієнтів сприйняття; можливість вимірювати різні типи розбірливості
3	Точність	Висока точність за рахунок використання машинних обчислень	Наявність протестованого комплексу
4	Економія ресурсів	Можливість проведення вимірювання без	Використання простіших, стійкіших до завад, сигналів

		будь-якого штату,	та натурність вимірювань
--	--	-------------------	--------------------------

Таблиця 4.19. Опис трьох рівнів моделі товару.

Рівні товару	Сутність та складові		
I. Товар за задумом	Можна виділити основні вигоди для користувача: 1) Підвищення комфорту проведення тестування за рахунок використання простих сигналів; 2) Зручність інтерфейсу; 3) Швидкість та точність вимірювань; 4) Натурність вимірювань з використанням моделі голови		
II. Товар у реальному виконанні.	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх/Тл/Е/Ор
	1. Точність	М	Тх
	2. Швидкість	М	Е
	3. Зручність	М	Ор
	4. Натурність	М	Тл
Якість: процедура відповідає діючому стандарту та протестована (показала гарну узгодженість)			
Марка: «Штучна голова».			
III. Товар із підкріпленням	До продажу Реклама більш досконалих по зрівнянню з діючим стандартом характеристик. Випробувальний термін – безкоштовний. Демонстрація амбасадорами.		
	Після продажу Оновлення та розширення функціоналу		

За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: захист інтелектуальної власності та ноу-хау.

Таблиця 4.20. Визначення меж встановлення цін.

Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи	Верхня та нижня межі
--------------------------------	------------------------------	-------------------------------	----------------------

			встановлення ціни
N/A	N/A	600\$	250-500\$

Таблиця 4.21. Формування таблиці збуту.

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1	Самостійний пошук товару в інтернеті/серед знайомих	Інформування клієнтів, Представлення повного комплексу, програм та забезпечення технічної підтримки	Звичайний	Пряма
2	Дрібнооптова купівля	Знижки для клієнтів	Глибокий	Пряма

Таблиця 4.22. Концепція маркетингових комунікацій.

Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій якими користуються цільові клієнти	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
Виконання великої кількості дослідів	Інтернет, фахові журнали, прями листи,  дзвінки, рекомендації	Додати впевненість	Зручність
Необхідність в варіативності коефіцієнтів сприйняття		Показати, що матеріалу достатньо на будь-який смак	Удосконалення виробництва
Підлаштування до варіативності умов вимірювань		Адаптивність системи	Постійні оновлення

### Висновки

Був проведений аналіз таблиць 4.1 – 4.22, який показав потенційну можливість комерціалізації проекту, оскільки ринок має потребу у товарі такого типу. Група потенційних клієнтів доволі численна, а конкуренти, в свою чергу, малочисельні, та не сконцентровані на українському ринку. Тому вихід на ринок є простим. Втримання позицій лідера ринку за появи потенційних конкурентів можливе та не є непосильною задачею.

Подальший розвиток проекту є актуальним, оскільки задачі акустичної експертизи доволі чисельні та потребують спрощення їх вирішення. Передбачається розширення бази коефіцієнтів сприйняття для інших мов, розширення функціональних можливостей.

## ВИСНОВКИ

В даній роботі проведено аналіз сучасного стану оцінювання розбірливості мови та бінаурального вимірювання імпульсної характеристики приміщення. Також експериментально показано що результат оцінювання розбірливості суттєво може відрізнятись для обох вух, тому проведення вимірювання саме з застосуванням моделі штучної голови необхідне для якісного оцінювання, або розрахунку розбірливості мови.

В першому розділі роботи було наведено огляд суб'єктивних та об'єктивних методів оцінювання розбірливості мови. Основною перевагою об'єктивних методів над суб'єктивними є відсутність необхідності залучення великої кількості освічених людей, часових та грошових витрат. Проте перевагою суб'єктивних методів є те, що отримані результати є еталонними та можуть бути використаними для калібрування шкал оцінювання, що використовуються об'єктивними методами. Об'єктивні методи швидші та дешевші, але використовуючи їх необхідно попереднього калібрувати шкали оцінювання.

В другому розділі обґрунтовано використання бінауральної імпульсної характеристики приміщення, це пов'язано з екрануючими здатностями голови, і те, що ми чуємо одним вухом може відрізнятись від того що ми чуємо іншим вухом. Також було вказано на необхідність використання саме натурної моделі голови, через складність створення математичної, або цифрової моделі, а також пов'язаної з цим тривалості кінцевих розрахунків. Зроблено вибір методу, який модифіковано: зараз вважаються найкращими формантний та модуляційний методи, тому для модифікації із застосуванням ІХ приміщення було обрано саме їх. Обґрунтовано вибір збуджуючого сигналу, за допомогою якого проводиться вимірювання, обрано саме MLS сигнал через його малу тривалість та стійкість до шумів та імпульсних завад.

В третьому розділі було наглядно показано що для різного місцеположення людини в кімнаті, має місце різне значення розбірливості, і навіть для кожного вуха розбірливість своя, в залежності від положення

людини в приміщенні. Також було підтверджено слова про те, що найкращою є розбірливість на відстані приблизно 2,3 м від джерела. Це пояснюється тим, що на такій відстані переважає прямий звук, а енергія ранніх відбиттів лише підсилює сигнал та вносить у мову диктора просторовість.

Результати показали що модифікація методів оцінювання та розрахунку розбірливості використанням імпульсної характеристики приміщення має проводитись для забезпечення оцінки для кожного вуха, а не тільки місця розташування в приміщенні людини. В подальшому має бути проведена перевірка точності цього методу розрахунку розбірливості мови.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Дидковский В.С., Дидковская М.В., Продеус А.Н. Акустическая экспертиза каналов речевой коммуникации. Монография. – К., «Имекс-ЛТД», 2008. – 420 с.
2. Макаров Ю. К., Хорев А. А. К оценке эффективности защиты акустической (речевой) информации. (<http://st.ess.ru/publications/articles/tspi/tspi.htm>).
3. Продеус А., Дидковский В., Дидковская М. Акустическая экспертиза и коррекция коммуникационных каналов. Монография. – LAP LAMBERT Academic Publishing, OmniScriptum GmbH & Co. KG, Saarbrücken, Deutschland, 2017, ISBN: 978-3-330-04591-0
4. Продеус А.М., Вітик А.В. , Діденко Д.Ю. Суб'єктивне оцінювання якості та розбірливості мовних сигналів, спотворених синтезованими шумами. *Microsystems, Electronics and Acoustics*, 2017, vol. 22, no. 6, p. 56-63. ISSN 2523-4447.
5. Хорев А.А., Макаров Ю.К. Оценка эффективности систем виброакустической маскировки / Режим доступа: <http://www.bnti.ru/showart.asp?aid=874&lvl=04.02.03>. – Дата доступа: 7.06.2017
6. Козлачков С. Б. Методические аспекты оценки защищенности речевой информации // Спецтехника и связь. – 2011. – №2. – С. 44-47.
7. Cote N. Integral and diagnostic intrusive prediction of speech. SpringerVerlag: Berlin, Heidelberg, 2011.– 267 P.
8. ITU–T Rec. P.800. Series P: Telephone transmission quality. Methods for objective and subjective assessment of quality. Methods for subjective determination of transmission quality, 1996.
9. ITU–T Rec. P.805. Series P: Telephone transmission quality, telephone installations, local line networks. Methods for objective and subjective assessment of quality. Subjective evaluation of conversational quality, 2007.



10. ITU–T Rec. P.835. Series P: Telephone transmission quality, telephone installations, local line networks. Methods for objective and subjective assessment of quality. Subjective test methodology for evaluating speech communication systems that include noise suppression algorithm, 2003.
11. Loizou P. Speech enhancement: Theory and Practice. Second Edition. Boca Raton: CRC Press, Taylor & Francis Group, 2013.
12. Hu Y. and Loizou P. “Evaluation of objective quality measures for speech enhancement,” *IEEE Transactions on Speech and Audio Processing*, 16(1), 2008, pp. 229-238.
13. ITU-T Recommendation P.863: Series P: Terminals and subjective and objective assessment methods. Methods for objective and subjective assessment of speech quality. Perceptual objective listening quality assessment, 2011.
14. Barnwell T. “Objective measures for speech quality testing,” *J. Acoust. Soc. Am.* 66(6), Dec. 1979, pp. 1658-1663.
15. К.С. Замша, Б.В. Лозинский, Ю.А. Митяй, Е.С. Степановская, А.Н. Продеус. Объективное и субъективное оценивание качества речевых сигналов с ограниченной полосой частот. - *Electronics and Communications*, Vol. 21, № 1(90), 2016. – P. 18-26.
16. Jiang W., Schulzrinne H. “Speech Recognition Performance as an Effective Perceived Quality Predictor,” *IEEE Int. Workshop on Quality of Service*, 2002, pp. 269-275.
17. Tribolet J., Noll, P., McDermott B., Crochiere R. “A Study of Complexity and Quality of Speech Waveform Coders,” In *IEEE Int.120Conf. on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP’78)*, Vol.3, 1978, pp. 586–590.
18. Mermelstein P. “Evaluation of a Segmental SNR Measure as an Indicator of the Quality of ADPCM Coded Speech,” *Journal of the Acoustical Society of America*, 66(6), 1979, pp. 1664–1667.
19. Quackenbush S., Barnwell T., Clements M. *Objective Measures of Speech Quality*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1988.

20. Hansen J., Pellom B. "An Effective Quality Evaluation Protocol for Speech Enhancement Algorithms," In Proc. 5th Int. Conf. on Spoken Language Processing (ICSLP), Vol.7, 1998, pp. 2819–2822, AUS–Sydney.
21. Hu Y., Loizou P. "Evaluation of objective quality measures for speech enhancement," IEEE Transactions on Speech and Audio Processing, 16(1), 2008, pp. 229-238.
22. Bogdanova N., Prodeus A. "Objective quality evaluation of speech band-limited signals," Electronics and Communications, Vol.19, No. 6(83), 2014, pp. 58-65.
23. Prodeus A. "On Some Features of Log-Spectral Distortion as Speech Quality Measure," Automation, Software Development & Engineering, Vol.1, 2016, pp.1-9, ISSN 2415-6531.
24. Beerends J., Larsen E., Iyer N., Vugt J. Measurement of Speech Intelligibility Based on the PESQ approach. Proceedings of the Workshop Measurement of Speech and Audio Quality in Networks (MESAQIN), Prague, Czech Republic, June 2004.
25. Beerends J., Wijngaarden S., Buuren R. Extension of ITU-T Recommendation P.862 PESQ towards Measuring Speech Intelligibility with Vcoders. In New Directions for Improving Audio Effectiveness, Proceedings of the RTO-MP-HFM-123, Neuilly-sur-Seine, France, 2005.-P.10-1–10-6.
26. Ma J., Hu Y. and Loizou P. Objective measures for predicting speech intelligibility in noisy conditions based on new band-importance functions. J. Acoust. Soc. Am., Vol. 125, No. 5, May 2009. - P.3387-3405.
27. Chernick C.M., Leigh S., Mills K.L., R. Toense. Testing the Ability of Speech Reconizers to Measure the Effectiveness of Encoding Algorithms for Digital Speech Transmission. In IEEE International Military Communications Conference (MILCOM), 1999.
28. Jiang W., Schulzrinne H. Speech Recognition Performance as an

- Effective Perceived Quality Predictor. IEEE Int. Workshop on Quality of Service, pp. 269-275, 2002.
29. Кириллов С.Н., Дмитриев В.Т. Комплексный алгоритм объективной оценки качества декодированного речевого сигнала при действии акустических помех // Труды СПИИРАН. 2018. Вып. 56. С. 34-55.
30. A. Prodeus, K. Bukhta, P. Morozko, O. Serhienko, I. Kotvytskyi, I. Shherbenko, "Automated System for Subjective Evaluation of the Ukrainian Speech Intelligibility," Proceedings of IEEE 38th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO), April 24-26, 2018 Kyiv, Ukraine, pp. 533-538. ISBN: 978-1-5386-6382-0.
31. K. Genuit. A Special Calibrate Artificial-Head-Measurement-System for Subjective and Objective Classification of Noise. Inter-Noise 86, July 1986. – P.1313-1318.
32. K. Genuit, W.R. Bray. "The Aachen Head System. Binaural Recording for Headphones and Speakers". Audio, December 1989. – P.58-66.
33. R. Sottek, K. Genuit. Physical Modeling of Head-Related Transfer Functions. The Journal of the Acoustical Society of America, February 1999. DOI: [www.doi.org/10.1121/1.425519](http://www.doi.org/10.1121/1.425519)
34. M. Jeub, M. Schafer, P. Vary. A binaural room impulse response database for the evaluation of dereverberation algorithms, Proceedings of IEEE 16th International Conference on Institute of Communication Systems and Data Processing, August 2009. DOI: [www.doi.org/10.1109/ICDSP.2009.5201259](http://www.doi.org/10.1109/ICDSP.2009.5201259)
35. J.B. Allen and D.A. Berkley, "Image method for efficiently simulating small-room acoustics", J.Acoust.Soc.Am., vol.65, No.4, pp.943–950, 1979.
36. J.-D. Polack, La transmission de l'énergie sonore dans les salles, Ph.D. thesis, Universite du Maine, Le Mans, France, 1988.
37. Алдошина И., Приттс Р. Музыкальная акустика. – С-Пб.: Композитор, Санкт-Петербург, 2006. - 717 с.
38. Продеус А.Н., Дронжевская Л.Б., Климков В.А., Шагитова Д.А. Формантный и формантно-модуляционный методы оценки разборчивости

- речи. Часть 2. Точность и скорость измерений. // Электроника и связь. – 2011. – Т. 64. – №6. – С. 16–24.
39. A.O. Harasiuk, M.V. Myronov, V.V. Lozinsky, Nguyen Thanh Vy, A.V. Darchuk, A.M. Prodeus. Predictive Estimation of Speech Intelligibility Masked by Noise Interference Using Analytical Modeling. *MicrosystElectronAcoust*, 2019, vol. 24, no. 5, pp. 48-55. ISSN 2523-4447. DOI: [www.doi.org/10.20535/2523-4455.2019.24.5.192893](http://www.doi.org/10.20535/2523-4455.2019.24.5.192893)
40. K. Rhebergen, "A Speech Intelligibility Index-based approach to predict the speech reception threshold for sentences in fluctuating noise for normal-hearing listeners," *J. Acoust. Soc. Am.* 117 (4), Pt. 1, April 2005, p.2181-2192.
41. Покровский Н.Б. Расчет и измерение разборчивости речи. – М.,Связьиздат,1962,390с.
42. Железняк В.К., Макаров Ю.К.,Хорев А.А. Некоторые методические подходы к оценке эффективности защиты речевой информации//Специальная техника. – М.: 2000.– № 4.
43. Сапожков М.А. Речевой сигнал в кибернетике и связи. – М.: Связьиздат, 1963. – 472 с.
44. Продеус А.Н., Гавриленко А.В., Дидковский В.С. Сопоставление версий формантного метода оценки разборчивости речи. - Электроника и связь, тематический выпуск "Проблемы электроники", ч.1, 2008. С.227-231.
45. Steeneken, H.J.M., and Houtgast, T. "A physical method for measuring speech-transmission quality" *J.Acoust. Soc. Am.* 67, 1980. - P. 318-326.
46. А. Продеус, М. Дідковська, О. Дворник, Д. Моторнюк. Апаратно-програмний комплекс «Штучна голова». Частина 1. Коригування частотної характеристики тракту. Мікросистеми, електроніка та акустика, 2020 (передано до друку).
47. Тихонов А. Н. О некорректных задачах линейной алгебры и устойчивом методе их решения. *ДАН СССР*, 1965, т. 163, № 3, с. 591—594.
48. H.J.M. Steeneken, and T. Houtgast, "Validation of the revised STIr method," *Elsevier Speech Communication*. – 2002. - Vol. 38. – P. 26-37.

49. А.Н. Продеус, Л.Б. Дронжевская, В.А. Климков, Д.А. Шагитова, «Формантный и формантно-модуляционный методы оценки разборчивости речи. Часть 1. Унификация алгоритмов», Электроника и связь, 2010, №6, часть 2. - С.117- 124.
50. M.R. Schroeder, "Modulation Transfer Functions: Definition and Measurement," *Acustica*, Vol. 49, 1981, p. 179-182.
51. M.J.R. Lamothe and J.S. Bradley, "Acoustical characteristics of guns as impulse sources," *Can. Acoust.* 13(2), 16-24 (1985).
52. Bradley, J. S. Auditorium acoustics measures from pistol shots. *Journal of the Acoustical Society of America*, 80, 1, pp. 199-205, 1986-07.
53. Stan G.-B., Embrechts J.-J., Archambeau D. Comparison of different impulse response measurement techniques. *J. Audio Eng. Soc.*, Vol. 50, No. 4, 2002. P. 249-264.
54. Bradley, J. S., Sato, H., and Picard, M. (2003). "On the importance of early reflections for speech in rooms," *J. Acoust. Soc. Am.* 113. ISSN 3233-3244.

## ДОДАТКИ

## ДОДАТОК А

## Аналітичний опис коефіцієнтів сприйняття для семи октавних смуг

Коефіцієнти сприйняття описуються наступним виразом:

$$P'_i(x) = \begin{cases} 0, & x \leq x'_{\min}; \\ \sum_{n=0}^{N'} a'_n x^n, & x'_{\min} < x \leq 0 \\ \sum_{m=0}^{M'} b'_m x^m, & 0 < x \leq x'_{\max}; \\ 1, & x > x'_{\max}. \end{cases} \quad (\text{Д.А.1})$$

де значення коефіцієнтів  $a'_n$  і  $b'_m$  представлені в табл. Д.А.1 та Д.А.2. Дані коефіцієнти сприйняття відрізняються від коефіцієнтів, приведених у [1], шляхом не п'яти а семи октавних смуг.

Таблиця Д.А.1. Коефіцієнти  $a'_n$ .

n f <sub>ср</sub> , Гц	0	1	2	3	4	5
125	0,324508	0,086098	0,004887	-0,00053	-6,56E-05	-1,87E-06
250	0,358141	0,070497	-0,00767	-0,00311	-0,00029	-8,76E-06
500	0,309301	0,054827	-0,00207	-0,00104	-7,77E-05	-1,82E-06
1000	0,19779	0,028848	0,000603	-0,00011	-7,30E-06	-1,45E-07
2000	0,238407	0,042094	0,000906	-0,00028	-2,29E-05	-5,43E-07
4000	0,231306	0,040168	0,001327	-0,00014	-1,07E-05	-2,07E-07
8000	0,178871	0,01705	-0,00064	-6,50E-05	2,91E-06	1,91E-07

Таблиця Д.А.2. Коефіцієнти  $b'_m$ .

m f <sub>ср</sub> , Гц	0	1	2	3	4	5
125	0,315151	0,057481	-0,00116	-4,45E-05	2,10E-06	-2,22E-08
250	0,35763	0,088259	-0,00646	0,000232	-3,89E-06	2,46E-08
500	0,301964	0,07124	-0,00382	9,63E-05	-8,28E-07	-9,67E-10
1000	0,195479	0,032135	0,000349	-2,04E-05	-1,22E-07	5,59E-09
2000	0,238336	0,042175	0,002185	-0,00025	7,53E-06	-7,75E-08
4000	0,233574	0,037324	0,003033	-0,0003	8,87E-06	-9,05E-08
8000	0,185163	0,01171	0,002126	-2,81E-05	-2,24E-06	4,55E-08

## Лістинг програми для розрахунку ІХП

```

% === ryx_RIR_corrected2_stereo.m ===

% Дана програма забезпечує: 1) уточнене знаходження піків ВКФ з метою
% отримання якісної усередненої ВКФ; таке уточнення відбувається пошуком
% максимумів піків
% 2) корекція форми усередненого піку ВКФ врахуванням АЧХ гучномовця
% 3) при корекції придушуються високі частоти
% 4) обчислюється 2 канали

RIRs = zeros(65536,2);
% ВКФ як оцінка імпл.хар-ки гучномовця
filename_x = input('Вкажіть ім"я файлу зразка (без лапок): ', 's');
[x,fs]=audioread(filename_x);
%x = [0; x];
filename_y = input('Вкажіть ім"я файлу запису (без лапок): ', 's');
[y,fs]=audioread(filename_y);
%y = [0; y];
for chan = 1:2
    ryx_rir=xcorr(y(:,chan),x);
%ryx_rir_logabs=20*log10(abs(ryx_rir/max(abs(ryx_rir))));

% побудова графіків
ty=1/fs:1/fs:length(y)/fs;
%figure;plot(ty,y);
%xlabel('Time (s)'); ylabel('Level'); title('Signal'); grid on;
tx=1/fs:1/fs:length(x)/fs;
%figure;plot(tx,x);
%xlabel('Time (s)'); ylabel('Level'); title('Reference'); grid on;
%tr1=1/fs:1/fs:length(ryx_rir_logabs)/fs;
%figure;plot(tr1,ryx_rir_logabs);
%xlabel('Time (s)'); ylabel('Level'); title('Ryx log abs'); grid on;

% === Нарізаємо ВКФ на сегменти ===
% шукаємо перший сплеск
max_rir = max(abs(ryx_rir));
tresh = 0.7*max_rir;
k = find(diff(sign(abs(ryx_rir)-tresh)),1); % номер відліку першого
сплеску

%% === Початок уточнення знаходження піків ===
% нарізаємо ВКФ на сегменти - стовпці матриці
n_pik = input('Вкажіть кількість піків ВКФ: ');
n_pik = 17;
k1=k-20; % початок зони пошуку 1-го піка
k41 = k+20; % кінець зони із 41 точок
[k1max,ilmax] = max(abs(ryx_rir(k1:k41))); % максимум 1-го піка та його
індекс
% пошук максимумів піків
mm_rir = zeros(41,n_pik);
for nn = 1:n_pik
    mm_rir_frag = ryx_rir((k1+(nn-1)*65536):(k41+(nn-1)*65536));
    mm_rir(:,nn) = mm_rir_frag;
end
[k1maxm,ilmaxm] = max(abs(mm_rir)); % максимуми піків та їх індекси

m_rir = zeros(65536,n_pik);
for nn = 1:n_pik

```

```

        m_rir_frag = ryx_rir((k+ilmaxm(nn)-24+(nn-1)*65536):(k+ilmaxm(nn)-
25+nn*65536));
        m_rir(:,nn) = m_rir_frag;
end

%% === Кінець уточнення знаходження піків ===

% перевірка правильності вибору n-го піка
tpik = 1/fs:1/fs:65536/fs;
for nn = 1:1
    %figure; plot(tpik(1:200),m_rir(1:200,nn));
    % title(['CCR peak No.' num2str(nn)]);
end
% перевірка результату усереднення піків ВКФ
m_rir(:,1) = [];
mean_rir = mean(m_rir,2);
%figure; plot(tpik(1:200),mean_rir(1:200,1));
%title('Averaged CCR');

%% корекція форми усередненого піка ВКФ
fCCR = fft(mean_rir, 65536);
H = load('fresp_Genius_delf50Hz_Type3.mat');
%H = load('b_proba.mat');
fresp1 = H.fresp;
if size(fresp1,2) == 1;
    fresp = fresp1;
else
    fresp = fresp1(:,chan);
end
fresp_ = flipud(fresp(2:end-1));
full_fresp = [fresp; fresp_];
% НЧ-фільтр - спроба 1
f1 = 1; % гранична частота НЧ фільтру для придушення ВЧ
Nfft = 65536; Fs = 44100;
k = round((Fs/2-f1)/(Fs/Nfft)); n0 = Nfft/(2*k);
fragcos = ones(Nfft,1);
for r = Nfft/2+1-k:Nfft/2+1+k
    fragcos(r,1) = 0.5*(1-cos(2*pi/Nfft*(r-Nfft/2-1)*n0));
end
% НЧ-фільтр - спроба 2
f2 = 16000; % гранична частота НЧ фільтру для придушення
ВЧ
dfhn = round(2*f2/(Fs/Nfft)); % ширина вікна Ханна у вибірках
if mod(dfhn,2)==0
    dfhn = dfhn-1;
end;
hn = hann(dfhn);
fragcos2 = zeros(Nfft,1);
fragcos2(1:dfhn) = hn(1:dfhn);
fragcos2 = circshift(fragcos2, -(dfhn-1)/2);

%RIR = real(ifft(fCCR./full_fresp.*fragcos));
RIR = real(ifft(fCCR./full_fresp.*fragcos2));
RIR = RIR/max(abs(RIR));

RIRs(:,chan) = -RIR(:,1);
% нейтралізація фазових спотворень гучномовця
%ph = load('phresp_Genius', 'phresp');
%phz = smooth(unwrap(ph.phresp));
%RIR = real(ifft(fCCR./full_fresp.*fragcos.*exp(-j*phz)));

end

```



```
% графіки піків
figure; plot(tpik(1:fs/10), RIRs(1:fs/10, 1));
title('Left');
xlabel('Time (s)'); ylabel('Level')
figure; plot(tpik(1:fs/10), RIRs(1:fs/10, 2));
title('Right');
xlabel('Time (s)'); ylabel('Level')

% запис RIRs на диск як wav-файл
filename_RIRs = input('Вкажіть ім'я файлу ІХ (без лапок): ', 's');
audiowrite(filename_RIRs, RIRs, fs, 'BitsPerSample', 24);
```

## ДОДАТОК В

## Лістинг програми оцінки розбірливості мови за отриманими ІХП

```

function Ws = main_reverb_razb_2chan(rirname,T,avtr,bnd)
% Реальное измерение разборчивости речи через ИХ
%
% ==== входные параметры: ====
% rirname: имя анализируемого массива ИХ, если live = 0
% T - длит-сть записи (сек);
% ПРИМЕР: T = 3; avtr - автор версии метода
% (Покровский: avtr=1;Сапожков:avtr=2;мы:avtr=3; sti: avtr=4)
% bnd - кол-во октавных полос частот: 5 полос: bnd=5; 7 полос: bnd=7
% W - словесная разборчивость (W=sti, если avtr=4)
%
% --- План вычислений: ---
% --- Часть 1: подготовка к вычислениям
% --- 1) задание внутренних параметров
% --- 2) считывание коэф-тов гребенки фильтров ---
% --- 3) подготовка к записи - создание аудиообъекта
% --- 4) запись или прочтение с диска
% --- Часть 2: формирование участков смеси, рев-ции и помехи ---
% --- 1) оценка дисперсии помехи и вычисление порога  $\Pi = 5 \cdot \sigma$ 
% --- 2) вычисление момента начала ИХ
% --- 3) фильтрация записи
% --- 4) выкусывание информативной части ИХ
% --- 5) контроль правильности расстановки границ участков записи
% --- Часть 3: измерение  $E_k$ 
% --- Часть 4: оценивание разборчивости речи формантным методом ---
% --- 1) вычисление словесной разборчивости по Покровскому ---
% --- 2) вычисление словесной разборчивости по Сапожкову ---
% --- 3) вычисление словесной разборч. по нашим коэфф.восприятия ---
%
% === Вычисления: ===
% --- Часть 1: подготовка к вычислениям
% --- 1) задание внутренних параметров
%live = 0;
%T = 4; % T - длит-сть записи (сек);
%T1 = 0.2;
%avtr = 4;
%bnd = 7;
Ws = zeros(1,2);

% --- 2) считывание коэф-тов гребенки фильтров ---
%load fltrbnk7_struct;
%a = fltrbnk7_struct.a;
%len_a = fltrbnk7_struct.len_a;

% --- 4) прочтение с диска
[x, Fs] = audioread(rirname);

for chan = 1:2
    h = x(:,chan)/max(abs(x(:,chan))); % нормировка записи по
    максимуму

% --- Часть 2: выкусывание нужного из ИХ ---
hc = h(1:round(T*Fs)); % вырезаем T1 с, начиная с n0

% --- фильтрация записи
%xband7 = filter_band_7_func(hc,a,[1 1 1 1 1 1 1]); % филь-ция гребенкой
%xband7 = filter_band_7_ideal_func(hc,[1 1 1 1 1 1 1]); % филь-ция идеаль.
%xband7 = xband7(len_a:end,:); % откусываем неправильные выборки

```

```

% --- квадрат ИХ в каждой полосе частот
xband7 = xband7.^2;

% --- ПФ от квадрата ИХ в каждой полосе
Nfft = size(xband7,1);
ft7 = fft(xband7,Nfft);

% --- вычисление mk(f)=2*sum(xband7)
mkf = zeros(size(ft7,1),size(ft7,2));
%mkf = 2*abs(ft7(:, :))./abs(ft7(1, :));
for k = 1:7
    mkf(:,k) = abs(ft7(:,k))./abs(ft7(1,k));
end

% --- вычисление snrk(f)
snrkf = 10*log10(mkf./(1-mkf));

% --- Часть 3: измерение Ek
nf = round(14*T); % 14 Hz
Ek = sum(snrkf(2:nf, :),1)/(nf-1); % для 7 октавных полос
if bnd == 5
    Ek = Ek(2:6);
end

% --- Часть 4: оценивание разборчивости речи формантным методом ---
% --- 1) вычисление словесной разборчивости по Покровскому ---
if avtr == 1
    if bnd == 7
        W = razbor_pokr(Ek); % 7 полос частот
    else
        W = razbl(Ek); % 5 полос частот
    end
    %disp(['W = ' num2str(W) '; Покровский; ' num2str(bnd) ' октавн.
полос'])
end
% --- 2) вычисление словесной разборчивости по Сапожкову ---
if avtr == 2
    if bnd == 7
        W = razb_sapoz_7(Ek); % 7 полос частот
    else
        W = razb_sapoz_5(Ek); % 5 полос частот
    end
    %disp(['W = ' num2str(W) '; Сапожков; ' num2str(bnd) ' октавн.
полос'])
end
% --- 3) вычисление словесной разборч. по нашим коэфф.восприятия ---
if avtr == 3
    if bnd == 7
        W = razb_we_short(Ek);
    else
        W = razb_we_5(Ek);
    end
    %disp(['W = ' num2str(W) '; Наша версия; ' num2str(bnd) ' октавн.
полос'])
end
% --- 10) вычисление STI ---
if avtr == 4
    if bnd == 7
        W = razb_sti(Ek);
    else
        W = 0;
    end
end

```

```
        end
        %disp(['sti = ' num2str(W) ' ; ' num2str(bnd) ' октавн. полос'])
    end
Ws(1,chan) = W;
end
```