

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ імені ІГОРЯ
СІКОРСЬКОГО»

Факультет електроніки

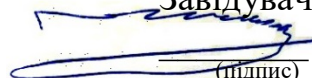
(повна назва інституту/факультету)

акустичних та мультимедійних електронних систем

(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри



(підпис)

Найда С. А.
(ініціали, прізвище)

“ 07 ” червня 2021 р.

Дипломна робота

на здобуття ступеня бакалавра

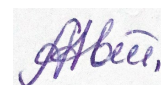
зі спеціальності (спеціалізації) 171 Електроніка
(код та назва спеціальності)

на тему: Акустичні характеристики діагностичних артикуляційних таблиць

Виконала: студентка 4 курсу, групи ДГ-72
(шифр групи)

Хвіст Анна Миколаївна


(прізвище, ім'я, по батькові)



(підпис)

Керівник доцент, Луньова С.А.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)



(підпис)

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

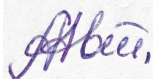
Рецензент К. ф. – м. н. директор «Фонтек-с» Сенченко І. В.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)



(підпис)

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

Студент 
(підпис)

Київ – 2021 року

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

Інститут/факультет _____ електроніки _____
(повна назва)

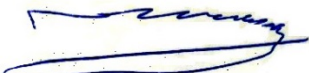
Кафедра _____ акустичних та мультимедійних електронних систем _____
(повна назва кафедри)

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність (спеціалізація) _____ 171 Електроніка _____
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

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

«07» _____ червня _____ 2021 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проект (роботу) студенту

_____ Хвіст Анни Миколаївни _____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Акустичні характеристики діагностичних артикуляційних таблиць _____

керівник проекту (роботи) _____ Луньова С.А., доцент _____,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «24» _____ 05 _____ 2021 р. № 1316-с

2. Строк подання студентом проекту (роботи) _____ 09.05.21 _____

3. Вихідні дані до проекту (роботи): артикуляційні таблиці числівників, визначення суб'єктивних та об'єктивних методів оцінки розбірливості мови,

4. Зміст (дипломної роботи) пояснювальної записки (перелік завдань, які потрібно розробити) _____

1. Аналіз науково-технічної літератури._____

2. Об'єктивний аналіз артикуляційних таблиць числівників по стовпцям аналізу використаних методів за отриманими результатами.

3. Об'єктивний аналіз артикуляційних таблиць числівників по рядкам аналізу використаних методів за отриманими результатами.

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

6. Консультанти розділів проекту (роботи)*

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

7. Дата видачі завдання 26.10.2020

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Збір матеріалів для роботи. Аналіз науково-технічної літератури.	02.11.20–30.11.20	виконано
2	Діагностика слуху шляхом	08.02.21-26.02.21	виконано

* Консультантом не може бути зазначено керівника дипломного проекту (роботи)

	мовної аудіометрії.		
3	Об'єктивний аналіз артикуляційних таблиць числівників по стовпцям.	19.04.21–25.04.21	виконано
4	Об'єктивний аналіз артикуляційних таблиць числівників по рядкам.	10.05.21-29.05.21	виконано
5	Оформлення пояснювальної записки та презентації.	04.06.21-09.06.21	виконано

Студент



(підпис)

А.М. Хвіст

(ініціали, прізвище)

Керівник проекту (роботи)



(підпис)

С.А. Луньова

РЕФЕРАТ

Акустичні характеристики діагностичних артикуляційних таблиць//
Дипломна робота на здобуття ступеня вищої освіти «бакалавр». Хвіст А.М.
Національний технічний університет України «Київський політехнічний
інститут ім. Ігоря Сікорського», факультет електроніки, кафедра акустичних
та мультимедійних електронних систем, група ДГ-72. – К.:НТУУ «КПІ»,
2021. с. – 70, рис. – 63, табл. – 13.

Метою роботи є перевірити адаптовану артикуляційну таблицю
числівників Є. М. Харшака на відповідність інтегральним спектральним
характеристикам української мови та створити збалансовані артикуляційні
таблиці числівників на базі адаптованого матеріалу для діагностики
україномовного населення. .

В роботі виконаний аналіз таблиці числівників об'єктивним методом
усередненого спектра потужності мови. В результаті проведеного аналізу
сформовано таблиці взаємозамінних стовпців та рядків адаптованої таблиці
числівників.

Ключові слова: розбірливість мови, методи оцінки розбірливості мови,
спектральна густина потужності, артикуляційні таблиці числівників.

ABSTRACT

Acoustic characteristics of diagnostic articulation tables // Thesis for a degree of higher education "Bachelor". Khvist A. National Technical University of Ukraine "Kiev Polytechnic Institute named after Igor Sikorsky, Faculty of Electronics, Department of Acoustic and Multimedia Electronic Systems, group DG-72. - K: NTUU "KPI", 2021. p. - 70, fig. - 63, tab. - 13.

The aim of the work is to check the adapted articulation table of numerals by EM Harshak for compliance with the integral spectral characteristics of the Ukrainian language and to create balanced articulation tables of numerals on the basis of adapted material for diagnostics of the Ukrainian-speaking population. .

The analysis of the table of numerals by the objective method of the averaged spectrum of speech power is performed in the work. As a result of the analysis, tables of interchangeable columns and rows of the adapted table of numerals are formed.

Key words: language intelligibility, methods of language intelligibility assessment, power spectral density, articulation tables of numerals.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1. ДІАГНОСТИКА СЛУХУ ШЛЯХОМ МОВНОЇ АУДІОМЕТРІЇ.....	9
1.1. Поняття «розбірливість мови» та методи її оцінювання.....	9
1.2. Види артикуляційних таблиць та їх застосування.....	16
1.3. Принципи побудови та описання словесних артикуляційних таблиць.	19
1.4 .Методи мовної аудіометрії.....	22
2. ОБ'ЄКТИВНИЙ АНАЛІЗ АРТИКУЛЯЦІЙНИХ ТАБЛИЦЬ ЧИСЛІВНИКІВ	29
2.1. Відповідність таблиці числівників спектру української мови.....	31
2.2. Аналіз таблиці числівників по групах (стовпцям).....	32
2.3 .Аналіз спектру числівників жіночим та чоловічим голосом.....	47
3. ОБ'ЄКТИВНИЙ АНАЛІЗ АРТИКУЛЯЦІЙНИХ ТАБЛИЦЬ ЧИСЛІВНИКІВ ПО РЯДКАМ.....	50
ВИСНОВКИ	62
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	63
ДОДАТКИ.....	65
ДОДАТОК А	66
ДОДАТОК Б.....	67
ДОДАТОК В.....	69

ВСТУП

На сьогоднішній день актуальною проблемою є створення діагностичного матеріалу українською мовою для перевірки слуху, бо з кожним роком зростають показники кількості людей із вадами слухового апарату.

Діагностика наявності вад слуху проходить у декілька етапів, одним з яких є мовна аудіометрія, що визначає ступінь розбірливості мови у пацієнта. В Україні протягом довгого періоду часу для визначення ступеню розбірливості мови застосовували мовний матеріал, розроблений російською мовою. Це призвело до певних похибок в результатах діагностики, особливо для україномовного населення.

На сьогоднішній день у лікарнях найчастіше можна зустріти перевірку вад слуху тестом числівників. Але числівники представляються російською мовою. Тому є нагальним завданням перевірити адаптаційного матеріалу перевірки цим тестом українською мовою.

У даній роботі пропонується оцінити запропоновану таблицю числівників об'єктивним методом усередненого спектра потужності мови.

1. ДІАГНОСТИКА СЛУХУ ШЛЯХОМ МОВНОЇ АУДІОМЕТРІЇ

1.1. Поняття «розбірливість мови» та методи її оцінювання

Причини, що впливають на якість прийому мови по тому або іншому тракту, викликали появу різних методів її оцінки. В основі визначення якості передачі лежить оцінка ступеня виконання вимог до тракту або до сприймання отриманої мови, реалізації якої в даних умовах є найбільш вагомим.

Розглянемо основні показники якості сприйнятої мови. Основними вимогами до якості мови, яку сприймаємо, є :

1. Розбірливість,
2. Гучність,
3. Натуральність.

Перша головна вимога являє собою виконання тим чи іншим трактом своєї основної функції – забезпечити те, щоб слухач вірно зрозумів сенс того, що йому надиктовується. Для цього мова повинна бути достатньо розбірливою.

Друга вимога - визначає бажаний рівень сприймаючих сигналів, який в оптимальному випадку повинен бути таким, щоб розбірливість мови досягалася без напруження слухового апарату зі сторони слухача.

Третя вимога - оцінює здатність системи відтворювати не тільки сенс переданої мови, а й її тембр, індивідуальні особливості голосів різних спікерів і т. д. Для телефонної та радіотелефонної апаратури загального користування ця вимога є другорядною, однак для апаратури, призначеної для художнього відтворення мови і музики, вона стає настільки ж важливим, як і перші дві вимоги [3].

Якість усної мови визначається сукупністю ознак, що характеризують натуральність, впізнаваність, розбірливість (зрозумілість), гучність, наявність сторонніх звуків і перешкод. Мета тестування полягає у встановленні

ступеня відповідності якості звучання деяким нормам, виявленні джерел спотворення і їх усунення. Тестування усної мови здійснюється у сфері телефонії (оцінка якості передачі для тракту зв'язку), педагогіки (навчання вимові іншомовною мовою), медицини (виявлення дефектів мовлення та слуху), криміналістики (ідентифікація особистості по голосу) та інші. Методи тестування поділяються на суб'єктивно-статистичні (психолінгвістичні), що виконуються за участю дикторів і слухачів, і інструментальні, що здійснюються шляхом розрахунків і автоматизованих вимірювань[4].

Відповідно до міжнародних стандартів, зокрема ISO / TR 4870, під розбірливістю розуміється "ступінь, з якою мова може бути зрозуміла (розшифрована) слухачами". Тобто це ступінь, з якою слухачі можуть зрозуміти сенс фраз, слів, складів і фонем. Відповідно до цього розрізняються види розбірливості: фонемна, складова, словесна і фразова, які пов'язані один з одним, і можуть бути перераховані одна в іншу.

Слід зазначити, що "чутність" і "розбірливість мови" - це різні поняття. Мова може звучати дуже голосно і бути добре чутою, але при цьому бути абсолютно нерозбірливою (наприклад, в залах вокзалів, аеропортів та ін.). Тому для оцінки розбірливості мови розробляються спеціальні методи, відмінні від оцінок її гучності, і розробкою цих методів займаються великі міжнародні організації: ISO, AES, IEC та інші.

Всі відомі в даний час методи оцінок розбірливості можуть бути розділені на дві великі групи:

1. суб'єктивні експертні методи (ГОСТ 25902-83, ГОСТ 51061-97, стандарт ANSI S3.2 і ін.),
2. об'єктивні методи, основні з яких:
 - % Alcons - відсоток артикуляційних втрат приголосних (percentage Articulation Loss of Consonants);
 - AI - індекс артикуляції (articulation Index);
 - STI - індекс передачі мови (speech transmission index); RASTI - швидкий індекс передачі мови (rapid speech transmission index);

- SII - індекс розбірливості мови (speech intelligibility index) та ін. (стандарти ISO / TR-4870, ANSI S3.2, S3.5; В IEC 268-16 і ін.)[2].

На різних етапах розвитку електроакустики та техніки зв'язку були запропоновані та впроваджувалися в практику різні методи оцінки якості передачі, в яких оцінювалась ступінь виконання зазначених вище вимог. У деяких з цих методів винесення остаточної оцінки якості апаратури залежало в певній мірі від особи, яка проводить випробування. Можливість суб'єктивних відхилень в оцінках випробувань при виробництві апаратури різними операторами визначається тим, що якість передачі не вимірюється будь-якими чисельними одиницями, а оцінюється умовним балом. Методи, засновані на цьому принципі, називаються суб'єктивними[3].

У такому методі відіграє роль освіта слухачів, їх професія, соціальна приналежність, пам'ять, емоційний стан та кмітливність. Також вони повинні бути носіями даної мови, до 35 років, мати нормальний слух, а саме втрата слуху не більше 15 дБ в будь-якій октаві в діапазоні 200-3000 Гц [1].

Оцінка відсотка розбірливості (артикуляції) залежить від ряду факторів, основними з яких є :

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

Саме ці вимоги і представлені в різних стандартах, так як тільки при їх точному дотриманні можна отримати повторюваність результатів[2].

Суб'єктивні методи оцінки розбірливості мови:

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

- метод порівняння за гучністю;
- метод вимірювання еквівалента загасання за розбірливістю (метод AEN);
- метод перепитувань;
- метод думок [3].

Суб'єктивні методи розрахунку і вимірювання розбірливості мови представлені на рис. 1.1 .

34

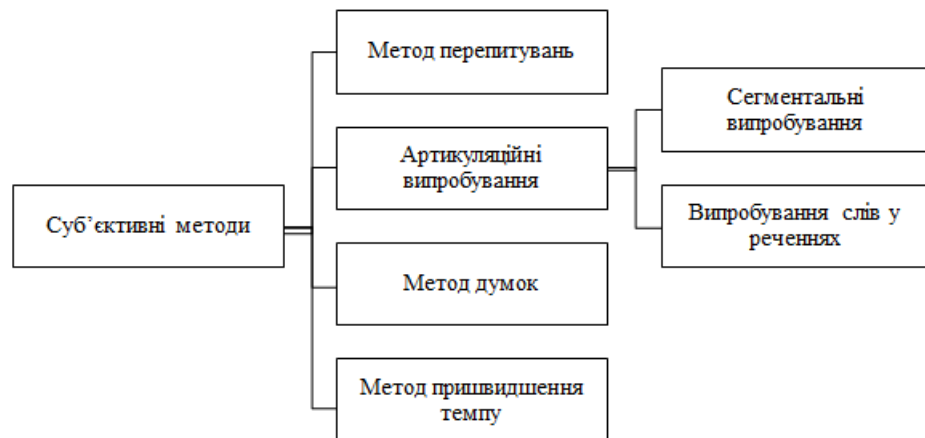


Рис. 1.1 Суб'єктивні методи розрахунку і вимірювання розбірливості мови

Інші методи засновані на отриманні в результаті вимірювання певної числової величини, яка не залежить при правильній постановці вимірювань від того ким і де проводиться вимірювання, виключається вплив випадкових особливостей оператора. Такі методи називаються об'єктивними. При цьому, що об'єктивність їх досягається лише усереднюванням великого числа суб'єктивних оцінок, що дозволяє виявити об'єктивно існуючі закономірності, які притаманні даним досліджуваним трактам.

Ці методи оцінки розподіляють на дві групи:

- 1) адитивна група, в якій оцінка базується на припущенні, що розбірливість мови визначається сумою вкладів окремих частотних смуг, а величина вкладу залежить від відношення «сигнал-шум» у кожній смузі;

- 2) друга група методів побудована на оцінці модуляційної передавальної функції системи [1].

Об'єктивні методи розрахунку і вимірювання розбірливості мови представлені на рис. 1.2.

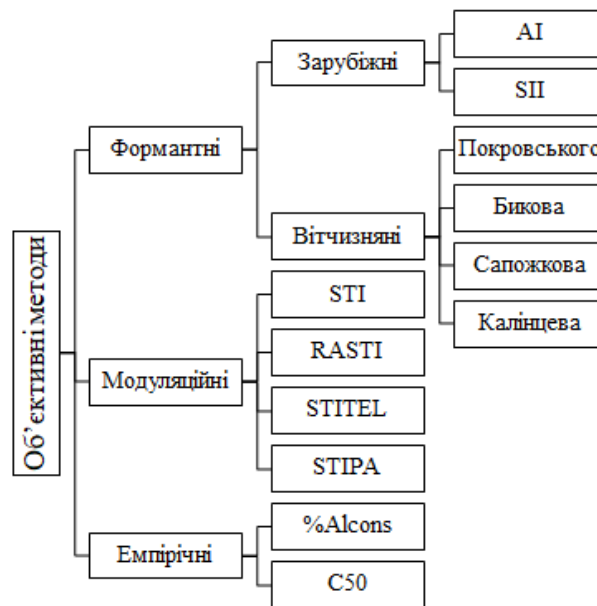


Рис. 1.2 Об'єктивні методи розрахунку і вимірювання розбірливості мови

Для регламентації таких випробувань введені вітчизняні стандарти: ГОСТ 25902-83. "Зали для глядачів. Методи визначення розбірливості мови", ГОСТ 51061-97. "Параметри якості мови і методи її вимірювання", міжнародні стандарти ISO / TR4870, IEC 268-16. Зараз розробляється новий стандарт AES, а також численні національні стандарти, наприклад американський стандарт ANSI S3.2-1989 - "Method for measurement the Intelligibility of Speech Over Communication Systems" (мається нова редакція R-1999).

Стандартизовані правила насамперед стосуються відбору випробувального матеріалу, а саме спеціально складених таблиць фраз, слів або складів, які записуються або передаються диктором. Залежно від типу елементів мови, що використовуються при випробуваннях, різняться розбірливість звукова, складова, словесна і фразова. Всі ці види розбірливості при випробуванні однієї і тієї ж системи будуть виражатися різними числовими величинами, адже відсоток правильних оцінок для

передбачуваного повідомлення завжди вище, ніж для непередбачуваного. При прослуховуванні фрази ступінь передбачуваності вище, ніж при прослуховуванні окремих слів або складів, оскільки якщо частина фрази не почута, то можна здогадатися за загальним змістом про її зміст. У зв'язку з цим знаходяться співвідношення відповідних видів розбірливості: фразова - вище словесної, словесна – вище складової, складова -вище фонемної.

Поряд з розбірливістю, часто розглядають і інші суб'єктивні чинники, що впливають на якість сприйняття мови. До них відносяться: гучність мови, відлуння, луна, порушення локалізації, темброві спотворення, підвищений рівень шуму і погані акустичні умови в зоні розташування джерела звуку. Слід зауважити, що є фактори, які безпосередньо визначають розбірливість мови і побічно оцінюються при суб'єктивній оцінці розбірливості це гучність, луна і шум.

У вітчизняних стандартах з питань оцінки якості передачі мови по каналах зв'язку (ГОСТ 50840-95 і ГОСТ 51061-97) також використовується вимірювання складової розбірливості мови методом артикуляційних випробувань, і вимірюванням фразової розбірливості при нормальному і прискореному темпах проголошення. При цьому відбір експертів, вибір складових таблиць і методи статистичної оцінки відбуваються практично за тими ж правилами, тільки кількість експертів становить 4: 5 чоловік.

У міжнародних стандартах, зокрема ANSI S3.2-89, пропонується використовувати п'ять дикторів і п'ять експертів, які відповідають зазначеним певним вимогам, але процедура представлення мовного матеріалу значно складніше.

Таким чином, процедура організації суб'єктивних експертиз по оцінці розбірливості мови - справа складна, тривала і досить дорога, хоча і найбільш достовірна. Тому за останні роки велика увага була приділена створенню об'єктивних методів оцінки розбірливості, що дозволило впровадити в практику цілий ряд нових досить ефективних комп'ютерних методів розрахунку розбірливості мови в різних умовах [2].

Вимірювання розбірливості слів

Вимірювання розбірливості слів при випробуванні трактів повинно складатися з передачі по випробуваному тракту серії таблиць слів, їх запису і подальшого визначення відсотка правильно прийнятих слів. Вимірювання розбірливості слів може вважатися доцільним тільки при дуже низьких відсотках розбірливості складів, при роботі в шумах, де запис стає недостатньо чітким і тому читають при перевірці склади, які не мають смислового значення.

Передачу слів так само, як і передачу складів, повинні вести рівним голосом, чітко, але без підкреслення початку слова. Раніше обробка даних проводилася таким чином: перевірку словесних таблиць роблять з голосу, тобто коли один оператор читає, а решта перевіряють записи прийнятих таблиць. Це допустимо тому, що так дуже мала ймовірність пропустити помилку, так як розбірливість слів при передачі повітрям на невеликій відстані при відсутності шуму близька до 100%.

Вимірювання розбірливості слів методом вибору

Спосіб вимірювання словесної розбірливості методом вибору полягає в тому, що оператору, який приймає інформацію, потрібно не записати почуте слово, як при звичайних артикуляційних вимірюваннях, а тільки вгадати (вибрати) почуте слово з групи подібних за звучанням слів, наявних перед очима приймаючого і підкреслити його. Наприклад, якщо передається слово «план», то приймаючий оператор повинен підкреслити його на своєму бланку, де надрукована група слів: «бланк, план, бант, банк». На досить високоякісному тракту він може це зробити, а при наявності спотворень ймовірність помилки стає суттєвою.

Переваги цього методу наступні:

- а) не треба створювати спеціальних лабораторних умов для роботи артикуляційної бригади;
- б) немає необхідності тренувати бригаду, зазвичай достатньо коротко проінструктувати;

в) не треба записувати почуті слова, що спрощує і прискорює техніку випробувань.

При виробництві випробувань у важких умовах, наприклад в рухомих об'єктах і при високих рівнях шуму даний метод є найбільш задовільним.

У таблицю включаються слова, що мають приблизно однакову розбірливість в межах 20 - 70% і легко замінюються один одним при прийомі в кожній групі з 4 слів.

При передачі такої таблиці диктор прочитає:

Номер один: «план», «повадка», «мол».

Номер два: «плод», «трение», «насыпать».

Номер три: «даровой», «снасть», «круг».

Номер чотири: «серп», «обнести», «пролить».

Номер п'ять: «белить», «повод», «помыть».

Номер шість: «вibrать», «налить», «мост».

Номер сім: «грешить», «быть», «принимать».

Номер вісім: «вывесить», «век», «бред».

Номер дев'ять: «жар», «вдеть», «балет».

Попередні дані показали, що величини словесної розбірливості, одержувані методом вибору, практично співпадають з величинами, що одержані звичайним методом вимірювання розбірливості слів [3].

1.2. Види артикуляційних таблиць та їх застосування

У відповідності з різними видами розбірливості створюються і відповідні артикуляційні таблиці: складові, словесні, фразові.

Розбірливість звуків підраховується за результатами вимірювань із складових артикуляційних таблиць, де ці звуки зустрічаються в типових для даної мови поєднаннях з іншими звуками. Передача ізольованих звуків з метою випробувань трактів практично не можлива, а якби була можлива, то не відповідала б умові збереження природності вимірюваного процесу, оскільки в дійсності звуки зустрічаються в мові тільки в поєднанні з іншими звуками.

При цьому слід пам'ятати, що розбірливість звуків, отримана в результаті випробувань зі складовими артикуляційними таблицями, не має нічого спільного з разборливістю звуків в реальній мові або в передачі окремих фраз. Зрозуміло, що в останніх двох випадках підрахунок правильно прийнятих звуків завжди дає більші значення розбірливості звуків, ніж для складових таблиць, де передаються поєднання, що не мають сенсу. Це пояснюється тим, що смислові та інші звичні асоціації створюють надмірність повідомлення, яка дозволяє сприймати та правильно записати в контексті навіть такі звуки, які фактично зовсім не були почуті.

З точки зору потреб техніки, інтерес становлять не ці результати, а саме ті дані, які ми отримуємо з вимірювань зі складовими таблицями, так як вони і будуть найбільш точно характеризувати здатність самого досліджуваного тракту пропускати звуки мови. Дані таких вимірювань максимально вільні від впливу здібності приймаючих операторів отримувати додаткову інформацію з фактора надмірності, яка не має відношення до якості самого досліджуваного тракту.

Встановлено, що для кожної національної мови всі види розбірливості: звукова - D , складова - S , словесна - W і фразова - J - пов'язані один з одним однозначними функціональними залежностями виду:

$$S = f(D), W = f(S), J = f(W) \quad (1.1)$$

які залишаються незмінними для будь-яких умов передачі на реально існуючих трактах. Відповідно до даних залежностей слідує важливий висновок, що вимірювання з різними видами таблиць (S , W , J) аж ніяк не доповнюють один одного, а просто є еквівалентними один одному. Це означає, що немає необхідності вимірювати всі види розбірливості, якщо необхідно знати величини D , S , W , J для даного тракту. Досить виміряти тільки одну із цих величин, а інші можуть бути отримані простим розрахунком за встановленою для даної мови системою взаємозалежностей між різними видами разборливості.

Реальна мова може передаватися приємним і мелодійним голосом або грубим і неприємним, мати різний смисловий зміст, висловлювати різне емоційне відношення мовця до предмету розмови і при всьому цьому мати одну й ту саму величину розбірливості. Ця обставина не тільки дає право значно спрощувати структуру таблиць в порівнянні з реальною мовою, а й робить таке спрощення бажаним з точки зору отримання підвищеної точності і повторюваності результатів артикуляційних вимірювань, оскільки тільки за цих умов можна позбутися впливу на результат вимірювання цілого ряду вагомих факторів, що не мають відношення до властивостей досліджуваного тракту.

Необхідно знати розбірливість певних, основних форм і зв'язок між розбірливістю цих форм і розбірливістю інших форм та зв'язного мовлення. Тоді за результатами випробувань з таблицями цих простих форм ми отримуємо правильне твердження про якість тракту для більш складних мовних утворень або для передачі мови в цілому. Однією необхідною умовою для того, щоб це твердження було достовірним, є попереднє вивчення і встановлення існуючих в мові взаємозв'язків.

Найбільш доцільним є вимірювання того виду розбірливості, який в даному конкретному випадку є найбільш економічним, за однакової точності вимірювань вимагає мінімальної витрати сил, коштів і часу на їх виробництво.

В звичайних умовах і при масових артикуляційних випробуваннях застосовувати словесні таблиці незручно тому, що вони досить швидко запам'ятовуються операторами. Тому потрібно або часте їх переписувати або складати заздалегідь досить велику їх кількість. Досвід деяких дослідних організацій показує, що словесних таблиць повинно бути складено близько 400 штук. Тільки за цієї умови використані раніше таблиці через деякий час забуваються і знову можуть бути застосовані для випробувань.

Щодо фразової розбірливості, то яким би способом не відбувались її вимірювання, вони залишаються дуже громіздкими і вимагають досить

багато витраченого часу, що не рекомендує ці вимірювання ні в яких випадках дослідження тракту.

Вимірювання розбірливості фраз зазвичай проводиться один раз для виявлення залежності його від інших видів розбірливості для певної мови з тим, щоб далі завжди мати можливість визначити величину розбірливості фраз дотичним шляхом, по відомим графікам та таблицям [633].

1.3. Принципи побудови та описання словесних артикуляційних таблиць

Сприйняття слів істотно відрізняється від сприйняття складів, що не мають смислового значення. Для правильного сприйняття складу необхідно правильно почути всі складові його звуки, а для правильного сприйняття слова достатньо почути тільки частину складових його звуків, здогадка заповнює недочуте. Так як ймовірність припущення залежить від ступеня звичності даного слова для слухача, то словесні артикуляційні таблиці повинні містити слова, як можна більш різноманітні по їх змісту і вживанню, виключаючи спеціальні терміни.

Ці слова не повинні складати обмежену групу і відноситись до будь-якої вузької тематики. Обмежена група артикуляційних елементів дає більш високий відсоток розбірливості, ніж це буде в дійсності. 20% словесної розбірливості за таблицями, що складені на основі викладених тут принципів, відповідає 81% розбірливості обмеженої групи слів, що складається з 32 вивчених імен, і 88% розбірливості групи слів, а саме двозначні числа. Отже, загальний обсяг слів в таблицях повинен бути досить великим і, безумовно, не треба допускати повторення одних і тих же слів. Практика деяких організацій показує, що загальний обсяг слів в таблицях повинен складати близько 20 000.

При всій важливості психологічного моменту для можливості впізнавання слова необхідний деякий мінімум об'єктивних передумов; для російської мови таким мінімумом буде правильне сприйняття ударного складу і частини приголосних в ненаголошених складах, а також ритміко-

динамічної структури слова в цілому. Перша умова пов'язана головним чином з частотною характеристикою і динамічним діапазоном російських звуків; друга - головним чином з кількістю складів і з місцем наголосу в слові, а отже, має бути обов'язково враховано в словесних таблицях. Тому таблиці повинні містити слова з можливою в російській мові кількістю складів і місцем наголосу.

На основі аналізу текстів з післявоєнних творів радянських письменників і газетних статей (всього об'ємом в 22 000 слів) була визначена відносна зустрічність різних типів слів в російській мові.

На основі цього аналізу було складено 50 таблиць по 50 слів кожна в відповідній пропорції, так щоб кожна таблиця в мініатюрі відображала ритміко-динамічну структуру слів даної мови. Використовувати в таблицях слова з проаналізованих текстів безпосередньо в більшості випадків не вдається, тому що в тексті вони зустрічаються в будь-якій формі (іменники і прикметники - в різних відмінках, дієслова - в особистій формі); в таблицях слова повинні бути дані в словникової формі. В окремому вживанні такі форми, як «столе», «лома», «читая», «долин», «доле», звучали б дуже штучно, іноді навіть, як безглузді звукопоєднання. Замінити в таких словах відповідну форму словниковою в більшості випадків неможливо без порушення числа складів або місця наголосу («Стола» - «стол», «лома» - «лом», «читая» - «читать» і т. д.). Довелося замість таких слів підбирати інші, але з такою ж кількістю складів і з таким самим місцем наголосу. У таблицях слова розміщені по клітинам так, щоб їх зручно було читати і по горизонталі і по вертикалі; при цьому уникали таких поєднань, які могли б викликати смислові асоціації, що сприяють легкому запам'ятовуванню таблиць [3].

Основне призначення таблиць слів – це вимірювання розбірливості в трактах зв'язку з гранично допустимою якістю в умовах дії сильних акустичних шумів. За обмеженого числа таблиць і високого запам'ятовування неприпустиме вживання цих таблиць часто. Можливі також вимірювання за допомогою таблиць фраз і двозначних цифр. Перший тип

таблиць практично не застосовується через притаманній їм великій надмірності і внаслідок цього низької чутливості до спотворень в тракці зв'язку. Так, розбірливість фраз при задовільній якості тракту дорівнює 95-97%, доброму - 97-99.5% і відмінному - 99.5-100%. Цифрові таблиці використовуються в специфічних умовах надзвичайно низької розбірливості (менше 25%), що є неприпустимим для телефонного зв'язку.

Між різними видами розбірливості встановлена певна залежність. Таблиці складів мають ряд недоліків: не відображені такі параметри мовлення (граничі основного тону, ритмічна структура і темп мови); спектральні характеристики звуків в складі мають підсилену форму; і для отримання необхідної величини коефіцієнта експериментальної практики артикуляційної бригади потрібне тривале тренування, особливо при сприйнятті синтезованої мови. В цьому відношенні ряд переваг мають словесні таблиці. Ці таблиці містять слова з ритмічними структурами різного типу за кількістю складів і місця наголосу; забезпечується природність проголошення; необхідний час тренування артикуляції бригади слухачів (аудиторів) малий. Однак таблиці слів мають значну надмірність, тобто низьку чутливістю до спотворень мовного сигналу. Результат вимірювань розбірливості слів і складів представляються у вигляді статистичного усереднення оцінок якості передачі без опису лінгвістичних чинників, що викликають спотворення одиниць мови. Цей недолік мають усунути діагностичні артикуляційні таблиці.

Діагностичні таблиці DRT.

Відомі діагностичні артикуляційні таблиці мінімальних пар односкладових слів DRT -Diagnostic Rhyme Tes, розроблені на основі моделі диференціальних ознак Р. Якобсона, таблиці зі складних четвірок російських слів (метод вибору) і таблиці неповних складів _ГC/СГ_ без початкового / кінцевого приголосного (метод дописування).

Діагностичні випробувальні таблиці DRT були розроблені в Кембриджській лабораторії BBC США для оцінки впливу спотворень

сигналу в тракці зв'язку на розрізнення диференціальних ознак фонем. Таблиці складаються з 112 пар односкладових слів англійської мови.

Таблиці DRT широко використовуються за кордоном для вимірювання розбірливості синтезованої мови. Помітність спотворення приголосних за розпізнавальними ознаками враховується в показник абонентської прийнятності зв'язку.

Діагностичні таблиці вибору.

Метод полягає в передачі по тракту трьох таблиць по 27 слів у кожній. На прийомі оператори (не менше трьох) повинні підкреслити передане слово по таблиці з 27 груп фонетичних схожих (близьких за звучанням) слів по чотири слова кожної групи, наприклад, слово «бант» з групи «бланк», «план», «бант», «банк» або слово «греть» з групи «угореть», «гореть», «болеть», «балет» і тд. Мірою розбірливості служить середнє число помилок на одну таблицю: дві помилки - вищий клас, 5 помилок - 1 клас, 8 помилок - 2 клас і 11 помилок - 3 клас. Всього було складено 10 таблиць вибору [4].

1.4.Методи мовної аудіометрії

Дослідження живою мовою

Історія вивчення гостроти слуху за допомогою мовних сигналів налічує не одне століття. В XIX столітті для дослідження слухової функції використовувався метод «живою» мовою, він не втратив своєї актуальності і в наші дні завдяки таким своїм позитивним якостям, як простота, доступність і можливість застосування практично в будь-яких умовах. Кількісна оцінка результатів такого дослідження проводиться шляхом визначення відстані, з якого випробуваний чує пошепки, розмовну мову або крик на досліджуване вухо при закритому другому вусі. Зрозуміло, що ця відстань залежить не тільки від стану слуху пацієнта, але і від гучності, з якої вимовляються слова, і від дикції диктора. Зазвичай середня інтенсивність шепітної мови становить близько 30 дБ, а звичайної розмовної - близько 60 дБ, але навіть виконання класичного правила Ф. Бецольда, а саме проголошення слів за рахунок тільки резервного повітря, не гарантує вирівнювання гучності слів, вимовлених

різними особами. Лікарі під час дослідження слуху іноді несвідомо підвищують гучність шепоту розмовної мови, зокрема, коли вони очікують від випробуваного кращих результатів, наприклад, після слухополіпшуючих операцій (Єрмолаєв В.Г., Левін АЛ., 1969). Деякі автори, в тому числі, Н.В. Білоголовов, відзначали високу дифференціально - діагностичну значимість різниці між сприйняттям шепітної і розмовної мови: при порушенні звукопроведення вона зазвичай невелика, а при порушенні звуковосприйняття навпаки значна.

Цей метод має досить істотні недоліки, головними з яких є труднощі збереження інтенсивності мови диктора на постійному рівні і неможливість дозованої зміни її інтенсивності в показниках, порівнянних з тональними.

Все це зумовило появу методу мовної аудіометрії, заснованого на використанні спеціальної електроакустичної апаратури та представляє собою оцінку розбірливості мови у відсотках при різних рівнях її інтенсивності. При цьому використовується не «жива», а записана на різних носіях мова. Мовна аудіометрія забезпечує сталість мовного матеріалу і дикції; можливість регулювання і реєстрації інтенсивності переданих слів; визначення втрати слуху в порівнянних одиницях (децибелах); кількісна оцінка слухової функції за ступенем розбірливості мови, яка пов'язана з поразкою тих чи інших ланок звукового аналізатора [6].

Слова з фонограми передаються через головні телефони або кістковий вібратор аудіометру на вухо обстежуваного пацієнта. Мовна аудіометрія дозволяє виявити соціальну адекватність слуху. Цей метод являє цінність для діагностики центральних і периферичних уражень органу слуху.

В Краматорському Центрі слухової реабілітації на сьогоднішній день для проведення мовної аудіометрії використовують числівники слова (таблиця Е. М. Харшак) і багатоскладові слова (таблиця Г. І. Грінберга і Л. Р. Зіндера). Слова збалансовані по частоті вживання складів. Рівень сили звуку калібрується в дБ щодо порога чутності нормально чуючих молодих дорослих. Для кожного вуха визначають поріг 50-відсоткової розбірливості

повітряно і кістково-проведених числівників слів. Цей поріг - рівень сили звуку, при якому обстежуваний правильно повторює 5-7 з 10 пред'явлених числівників слів [7]. Дослідження закінчується, коли число правильно відтворених слів становить 50% або більше. Тобто нормально чуючі люди сприймають 50% слів при гучності, близькій до 20 дБ [10].

За допомогою складних слів Г. І. Грінберга і Л. Р. Зіндера визначають поріг 100-відсоткової розбірливості мови. Дослідження проводять тільки за допомогою повітряних телефонів. Цей поріг - рівень сили звуку, при якому обстежуваний правильно повторює 30 слів з 30-ти пред'явлених слів.

Вимірювання починають при рівні звуку, що перевищує 50-відсотковий поріг розбірливості числівників на 30 дБ. Якщо 100-процентна розбірливість слів не досягається, рівень звуку збільшують на 10 дБ і повторно определяють розбірливість.

Якщо 100-відсоткова розбірливість мови досягається при рівні звуку, що перевищує 50-відсотковий поріг розбірливості числівників на 40 дБ і більше, то це свідчить про порушення звуковосприймаючого апарату. У деяких випадках (при центральних порушеннях органу слуху, слухового нерва) 100-процентна розбірливість мовного тесту не досягається навіть при максимальній рівні аудіометру. Для ураження равлики внутрішнього вуха характерно парадоксальне падіння розбірливості мови - зниження розбірливості мови при збільшенні гучності мови [7].

У Радянському Союзі Г.І. Грінбергом та Л.Р. Зіндером (1957) для мовної аудіометрії були створені фонетично збалансовані артикуляційні тести російською мовою. У 1964 році в Україні Є.М. Харшаком для контрольної перевірки з тональними тестами, а також для проведення «мовного Рінне» були створені фонетично збалансовані числівникові тести з двозначних чисел російською мовою. Щоб зберегти світлу пам'ять вченого, за досягнення у галузі аудіології та слухопротезування, було перекладено українською мовою створені ним тести числівників. Тести числівників за Є.М. Харшаком та словесні тести російською мовою за Г.І. Грінбергом та

Л.Р. Зіндером до цього часу застосовуються у нашій державі при аудіометричних дослідженнях [8].

Апаратна мовна аудіометрія

Розвиток методики мовної аудіометрії визначався вдосконаленням апаратури, нормуванням умов досліджень, розширенням сфери застосування методу, раціоналізацією способів реєстрації отриманих даних, а також розробкою тестових таблиць на базі рідної мови, побудованих за принципом фонетичної або акустичної однорідності, частоти зустрічі слів в різних текстах, словникового запасу випробовуваних (Лопотко А.І. та ін., 2008).

Переваги методу визначалися можливістю:

- 1) стандартизації тестують мовних таблиць, дикції диктора, акустичних параметрів мовлення і акустичної обстановки в приміщенні, де проводяться дослідження;
- 2) введення, при необхідності, нормованих електроакустичних перетворень мовного сигналу;
- 3) визначення розбірливості мови при різних рівнях її інтенсивності;
- 4) дозованої зміни рівня маскера, що подається «ипси»-або контралатерально;
- 5) проведення нормованих моноауральних і бінауральних досліджень;
- 6) зіставлення слухових порушень для тонів і мови в дБ;
- 7) подання результатів мовної аудіометрії графічно у вигляді мовної аудіограми («кривій наростання розбірливості мови» або «артикуляційної кривої»).

В наші дні апаратурна установка для проведення мовної аудіометрії, як правило, включає в себе наступні основні елементи:

- 1) клінічний двоканальний аудіометр, що дозволяє дозовано змінювати інтенсивність мовного сигналу в дБ, а при виконанні бінауральних тестів подавати сигнал на обидва вуха (одночасно або послідовно) ;
- 2) відтворювальний пристрій, що підключається до аудіометра, і носій із записом потрібного фонетичного матеріалу (артикуляційних таблиць);

3) акустичні випромінювачі: головні телефони повітряного проведення для правого і лівого вуха; динамічні гучномовці (звукові колонки) для виконання мовної аудіометрії у вільному звуковому полі; кістковий телефон для оцінки мовної розбірливості в кістково-тканинному режимі.

Мовна аудіометрія може також виконуватися з використанням комп'ютера (ноутбука) зі спеціальною звуковою картою і головних телефонів або звукових колонок.

Процедура дослідження полягає в наступному: пацієнтови представляють групи слів, починаючи з порогової інтенсивності, поступово підвищуючи її ступенями по 5-10 дБ. Хворого просять повторювати те, що він почув. За правильну відповідь приймають тільки точне відтворення випробуваним всіх фонем почутого слова. При будь-якій зміні в повторенні слова оцінюється як неправильна відповідь. Для кожної інтенсивності обчислюється відсоток правильно відтворених слів (відсоток розбірливості). Наприклад, при використанні списку з 50 слів кожне правильно повторене слово відповідає 2%, з 20 слів - 5%. На підставі отриманих результатів будують мовну аудіограму: абсцис відкладають по осі інтенсивність сигналу в дБ, по осі ординат- розбірливість слів у відсотках .

При асиметрії слуху , тобто якщо різниця між середніми порогоми чутності в зоні мовних частот перевищує 40 дБ, необхідно маскування вуха, що краще чує за тією ж методикою, що і для тональної аудіометрії по повітряному проведенню. Для цього зазвичай використовується білий шум .

Найбільш придатними для обстеження осіб з порушеннями слуху виявилися словесні артикуляційні таблиці, що представляють собою групи з окремих 20-50 слів, що необхідно для оцінки розбірливості «реальної мови» (Egan J.P., 1948). При записі всі слова вимовляються однаково голосно, що в умовах студійного запису контролюється спеціальною апаратурою. В ролі диктора може виступати як жінка, так і чоловік. За кордоном запис артикуляційних таблиць зазвичай виконується жіночим голосом, в Росії - чоловічим.

Певне значення для результатів мовної аудіометрії має інтервал між словами, що пред'являються пацієнтові. На думку Б.М. Сагалович (1978), він повинен становити не менше 5 секунд, щоб випробуваний зумів розібрати запропоноване слово і відтворити його в своєму У дорослій практиці допустимі і менш тривалі інтервали (3,5-4 с) для скорочення часу дослідження запобігання втоми пацієнта. Мовну аудіометрію у дітей можна проводити із застосуванням більш коротких таблиць, наприклад, з 10 слів, витримуючи більш тривалі паузи між словами.

Зазвичай для мовної аудіометрії використовують одно- або багатоскладові слова. Серед них можуть бути як іменники, так і дієслова, прикметники, рідше числівники, оскільки, цифровий тест підвищує фактор здогадки. Основне правило, яке дотримується при складанні більшості словесних таблиць фонетична збалансованість. Це означає, що в списку слів повинні бути представлені всі фонемі мови. Залежно від завдань дослідження забезпечується також збалансованість груп слів по частотному спектру, потужності, складового складу. Кожна артикуляційна таблиця повинна відображати найважливіші можливості повинна фонетичні характеристики мови, в слова слід включати звуки, що найчастіше зустрічаються у звичайній розмовній мові. Крім того, всі слова повинні мати певне смислове значення і бути зрозумілими для випробовуваних (Руленкова Л.І., Смирнова О.І., 2003).

При складанні таблиць враховуються основні фізичні показники мови: її амплітудна характеристика (акустична потужність звуку), частотна характеристика (акустичний спектр), тимчасова характеристика (тривалість звуку) і ритміко - динамічний склад мови. З урахуванням того, що при повторних дослідженнях розбірливість може істотно підвищуватися за рахунок тренування і запам'ятовування, динамічне спостереження за пацієнтом з використанням мовної аудіометрії вимагає досить великого набору словесних таблиць. Треба відзначити, що з плином часу з'являється необхідність перегляду наборів слів, використовуваних для мовної

аудіометрії, оскільки якісь слова застарівають, виходять з ужитку і стають незрозумілими випробуванім, а в ужиток входять нові слова [5].

Згідно російського стандарту ГОСТ 16600-72 розбірливість мови необхідно визначати за допомогою використання російськомовних діагностичних таблиць звукосполучень та слів, однак це може істотно вплинути на результати оцінювання. При цьому, обробка результатів вимірювань, як при використанні таблиць звукосполучень, так і при використанні таблиць слів являє собою розрахунок середнього значення розбірливості матеріалу W_{cp} та середньоквадратичного відхилення σ_W і проводиться за формулою:

$$W_{cp} = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K W_i \quad (1.2)$$

$$\sigma_W = \sqrt{\frac{1}{K-1} \cdot \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K (W_i - W_{cp})^2} \quad (1.3)$$

де $K = m \cdot n$ – загальна кількість таблиць, що була сприйнята всіма слухачами, m – кількість слухачів, n – кількість переданих таблиць, W_i – розбірливість прийому однієї таблиці одним слухачем.

Якщо $|W_i - W_{cp}| \leq 3\sigma_W$, то отримані результати вимірювань варто виключити та повторно провести розрахунок за формулами (1.2) та (1.3) W_{cp} і σ_W з урахуванням зменшеної кількості вимірювань [6].

2. ОБ'ЄКТИВНИЙ АНАЛІЗ АРТИКУЛЯЦІЙНИХ ТАБЛИЦЬ ЧИСЛІВНИКІВ

Дане дослідження базується на статті “Переклад українською мовою тесту числівників Є.М. Харшака та його адаптація” [9], вона доповнена таблицею числівників, над якою проводився аналіз.

Перевагою використання таблиць з числівниками для перевірки слуху є їх простота та універсальність відповідно до віку слухачів. Проте на сьогоднішній день немає аналізу, щодо збалансованості таблиці. У оглянутій статті йде мова про фонетичну збалансованість й адаптацію перекладеного варіанта українською мовою. Проте цього недостатньо, щоб стверджувати її використання доцільним.

Запис досліджуваного мовного матеріалу має бути проведеним дикторами у звукоізоляційній акустичній камері за допомогою прецизійного звукозаписувального обладнання - вимірювального ненаправленого конденсаторного мікрофона, який сполучений зі звуковою картою, під'єднаною до комп'ютерного обчислювального пристрою, обладнаного засобом збереження даних у цифровій формі. Диктори повинні бути без явних дефектів мовлення та з нормальним станом слухового аналізатора. Людина із наявною довготривалою приглухуватістю має погіршення при вимові, тому стан слухового аналізатора досить важливий. Відстань між ротом диктора та мікрофоном має становити 30 см.

Дана таблиця являє собою 12 груп (стовпців) по 10 числівників у кожній. В тесті Є. М. Харшака використовуються числівники від 12 до 97, що являють собою двозначні числа.

Проводився аналіз таблиці об'єктивним методом оцінки усередненого спектра потужності мови.

Аналіз проводиться за допомогою дослідження спектральної густини потужності, бо наш слух реагує на усереднену енергію звуку [11]. Як відомо, виходячи із закону Гельмгольца, всі сигнали, які мають однакові спектри

амплітуд та різні спектри фаз, будуть мати однакову спектральну густину потужності.

Спектральна густина потужності мовного сигналу $G(\omega)$ є потужністю, що виділяється звуковим процесом в частотному діапазоні df . Загальна потужність P в діапазоні частот $[f_1, f_2]$ оцінюється як

$$P = \int_{f_1}^{f_2} G(f) df, \quad (2.1)$$

Для визначення спектральної густини потужності був застосований метод Велча, що у пакеті Matlab[®] називають методом усереднення модифікованих періодограм — averaged modified periodogram method. Цим методом, завдяки перекриттю по заданому запису, можна сформувати більшу кількість сегментів, що дозволяє зменшити величину дисперсії періодограми, і, тим самим, зменшити втрати інформації. Оцінка періодограми Велча $\tilde{S}_y(\bar{\omega})$ розраховується за формулою:

$$\tilde{S}_y(\bar{\omega}) = \frac{1}{KLU} \sum_{i=0}^{K-1} \left| \sum_{n=0}^{L-1} w[n] x[n + Di] e^{-in\bar{\omega}} \right|^2, \quad -\pi \leq \bar{\omega} \leq \pi, \quad (2.2)$$

Де множник U визначається наступним чином:

$$U = \frac{1}{L} \left| \sum_{n=0}^{L-1} w[n] \right|^2 \quad (2.3),$$

K – кількість сегментів, L – довжина одного сегмента, $w[n]$ – вагова функція, $x[n]$ – дискретні відліки, $\bar{\omega} = \omega T$ – безрозмірна кругова частота [12]. У програмному середовищі MatLab[®] це було реалізовано за допомогою функції `pwelch` із зазначеними параметрами вікна, кількості виборок, що перекриваються та частотою: `[pxx8,f] = pwelch(data,1024*2,1024,1024*8,fs)`.

Частота дискретизації становить 44100 Гц. В якості вагової функції було обрано вікно Хеммінга. Аналіз звукового матеріалу проводився за

допомогою оцінки Велча з 50% перекриттям між сегментами та довжиною вікна = 441. Сигнали були пронормовані за потужністю. Приклад скрипту приведений у Додатку 1.

Запис даного матеріалу записувався жіночим голосом з дотриманням відповідних вимог, що зазначені вище. Середня тривалість аудіодоріжки однієї групи становить 15 секунд з відповідними паузами між числівниками. Тривалість усієї таблиці становить 2 хвилини 4 секунди з урахуванням невеликих пауз між словами.

2.1. Відповідність таблиці числівників спектру української мови

Було проведено визначення усередненого спектра потужності мови всієї таблиці, результат наведений на рис. 2.1.

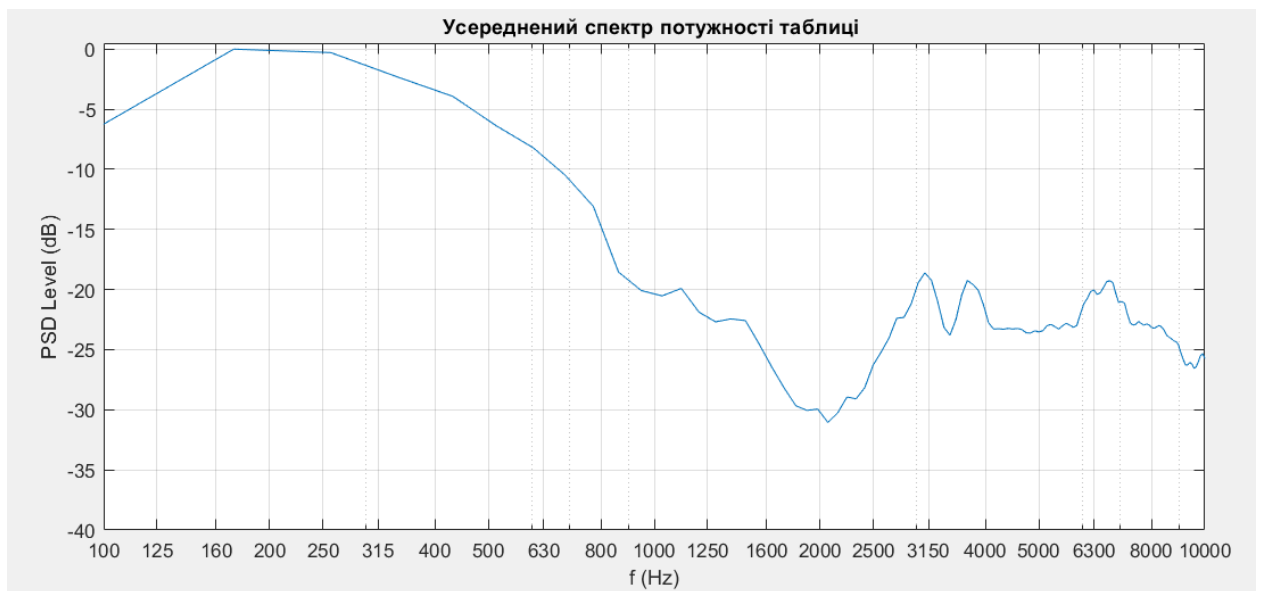


Рис. 2.1. Усереднений спектр потужності усієї таблиці

Як бачимо, по осі ординат вказано нормований рівень спектральної густини потужності сигналу в децибелах.

Даний спектр таблиці, порівнявши зі спектром української та російської мов (рис. 2.2). Для дослідження було оброблено масив аудіокниг із 261 звукової доріжки без аудіосупроводу.

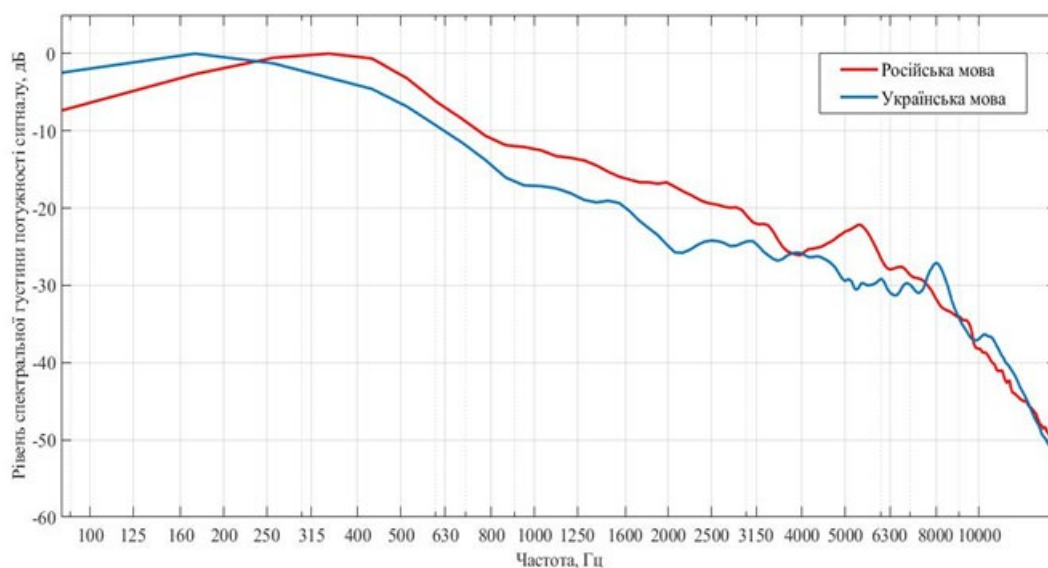
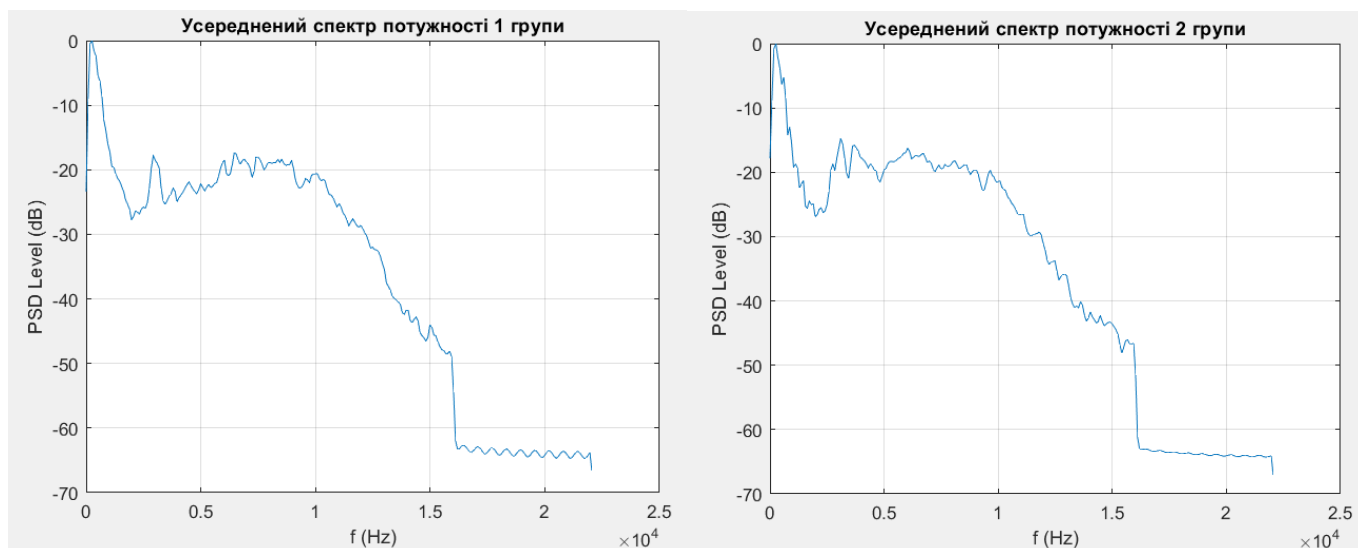


Рис. 2.2 Порівняння графіків спектральної щільності потужності аудіокниг російською та українською мовами [13]

Зіставивши графіки спектру мов та таблиці числівників добре видно, що не співпадають на високих частотах. А саме, на частоті 2000 Гц різниця становить 5 дБ. Таким чином можна стверджувати, що тест Є. М. Харшака має відхилення від спектральної щільності потужності української мови.

2.2. Аналіз таблиці числівників по групам (стовпцям)

Використовуючи той самий скрипт з Додатку А для кожної окремої групи (рис. 2.3) будемо графіки спектрів щільності потужності .





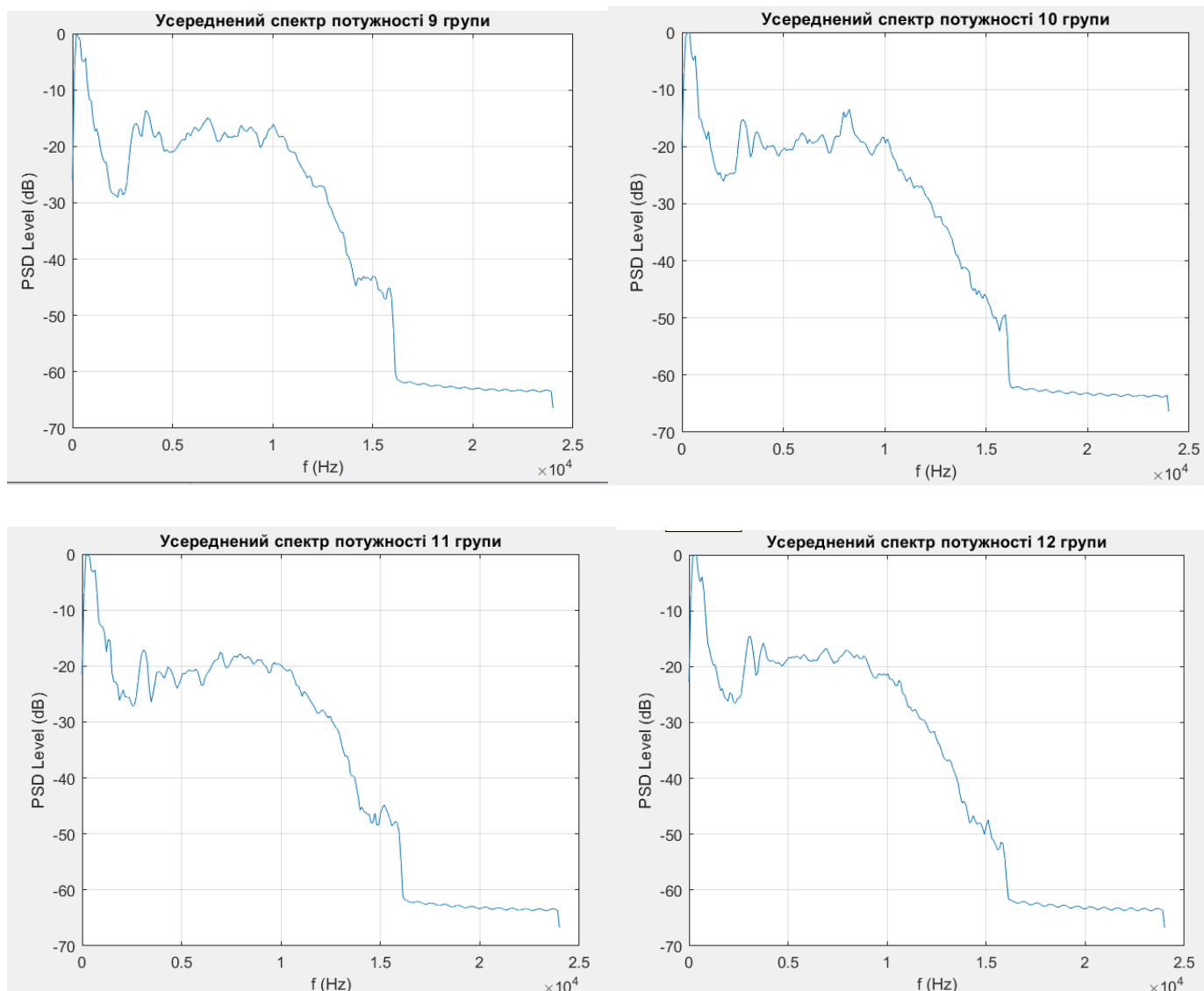


Рис. 2.3 Усереднені спектри потужності окремої групи

Аналізуючи кожну групи можна побачити схожість їх спектрів. Відповідно до цього можна одну велику таблицю поділити на менші групи взаємозамінюємих, задля зменшення їх повторення.

Відповідно до окремо побудованих графіків згрупуємо по два стовпці (рис. 2.4 – 2.10). Графіки побудовані за допомогою скрипту з Додатку Б.

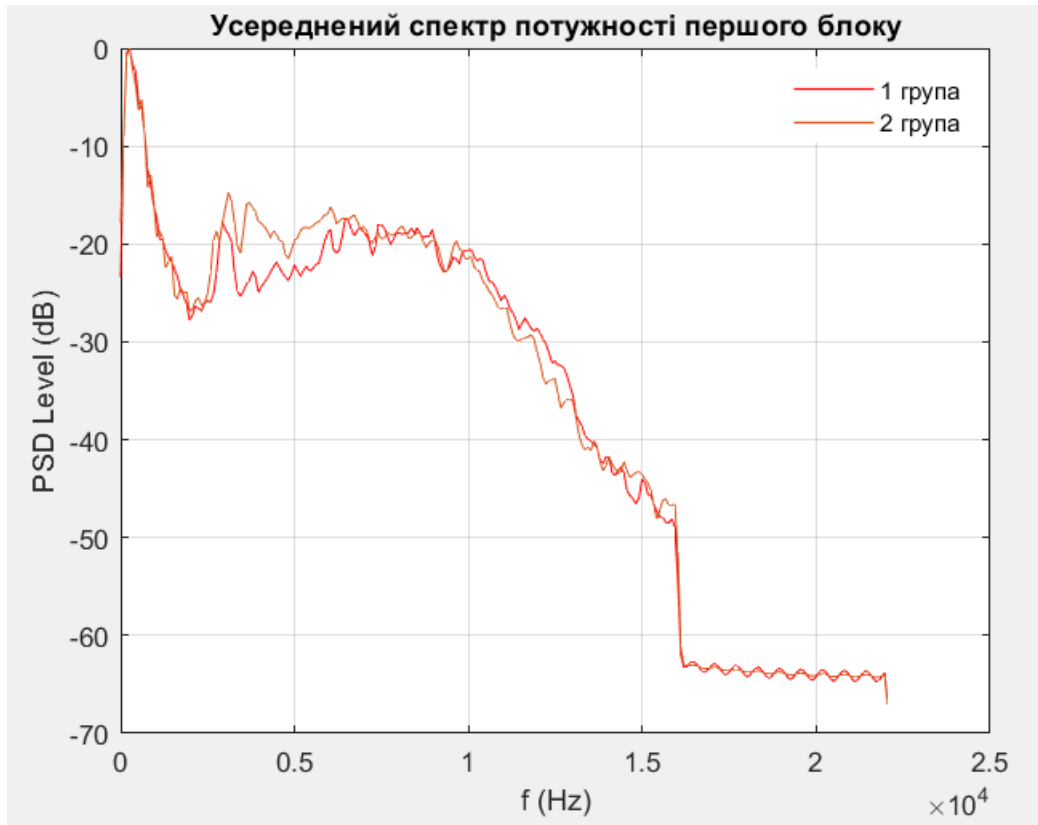


Рис. 2.4 Усереднений спектр потужності першого блоку



Рис. 2.5 Усредненный спектр мощности второго блока



Рис. 2.6 Усредненный спектр мощности третьего блока

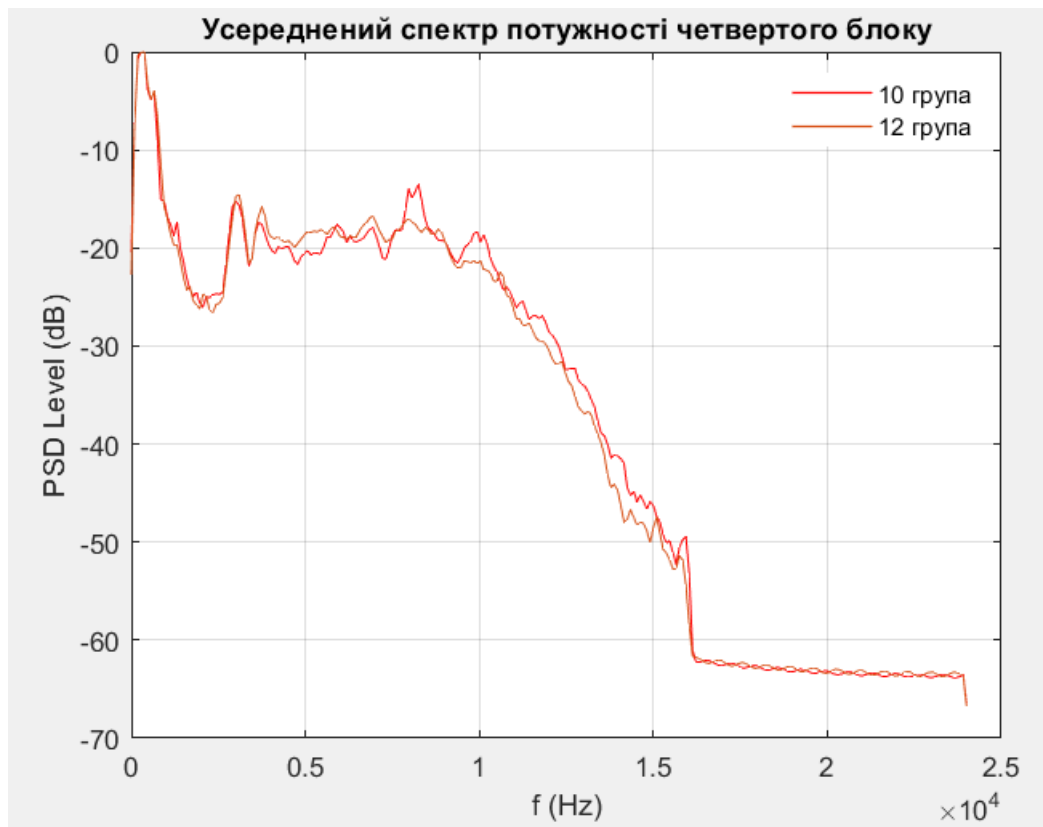


Рис. 2.7 Усредненный спектр мощности четвертого блока



Рис. 2.8 Усредненный спектр мощности шестого блока



Рис. 2.9 Усереднений спектр потужності шостого блоку



Рис. 2.10 Усереднений спектр потужності сьомого блоку

Відповідно до графіків розбиваємо тест Є. М. Харшака на сім блоків (таблиць), тим самим стверджуємо їх взаємозаміняємість.

Таблиця 2.1. Перший блок числівників

Групи	1	46	12	73	59	87	35	92	28	65	24
	2	26	15	67	34	96	32	68	56	21	86

Таблиця 2.2. Другий блок числівників

Групи	3	19	51	20	58	63	47	95	62	29	82
	4	42	17	57	61	23	71	90	49	76	97

Таблиця 2.3. Третій блок числівників

Групи	7	82	16	39	42	79	65	37	52	96	21
	8	46	15	63	34	57	36	92	86	28	65

Таблиця 2.4. Четвертий блок числівників

Групи	10	19	46	51	34	87	36	95	72	29	65
	12	61	46	17	51	95	36	27	76	82	65

Таблиця 2.5. П'ятий блок числівників

Групи	5	18	25	31	83	74	14	43	75	48	93
	6	45	13	38	64	78	27	90	41	72	85

Таблиця 2.6. Шостий блок числівників

Групи	6	45	13	38	64	78	27	90	41	72	85
	11	16	63	20	58	69	47	92	62	41	86

Таблиця 2.7. Сьомий блок числівників

Групи	8	46	15	63	34	57	36	92	86	28	65
	9	12	26	89	67	32	96	68	21	56	93

Аналізуючі блоки можна побачити підтвердження подібності графіків, бо маємо повторення числівників у групах.

Наступний етап аналізу проводився за допомогою розрахуванням середнього значення двох схожих стовпців та розраховано їх максимальне відхилення від цього середнього значення. Граничним значенням відхилення може бути 5 дБ.

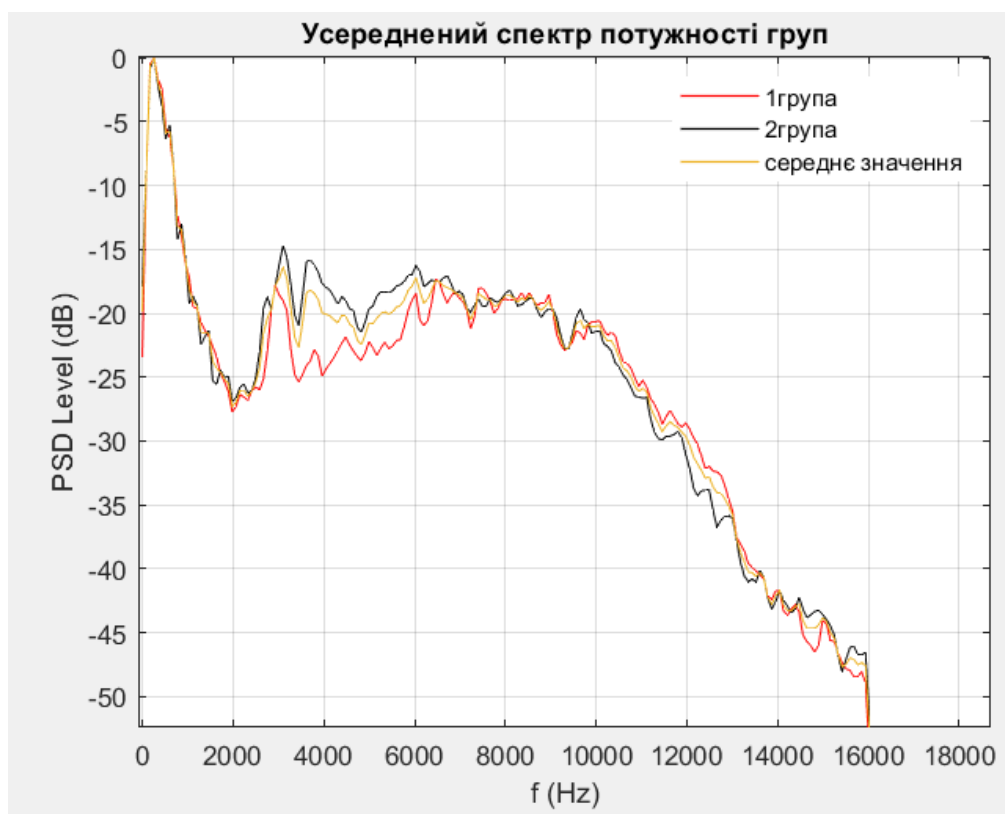


Рис. 2.11 Спектр потужності першої, другої групи та їх середнього значення

Максимальне відхилення від середнього значення і першої групи (дБ):
5.7194

Максимальне відхилення від середнього значення і другої групи (дБ):
2.6961

Відхилення першої групи спостерігається на діапазоні частоти: 3000 - 4500 Гц.



Рис. 2.12 Спектр потужності третьої, четвертої групи та їх середнього значення

Максимальне відхилення від середнього значення і третьої групи (дБ):
3.9737

Максимальне відхилення від середнього значення і четвертої групи (дБ):
3.3539

Як бачимо в цих групах відхилення не перевищує 5 дБ.

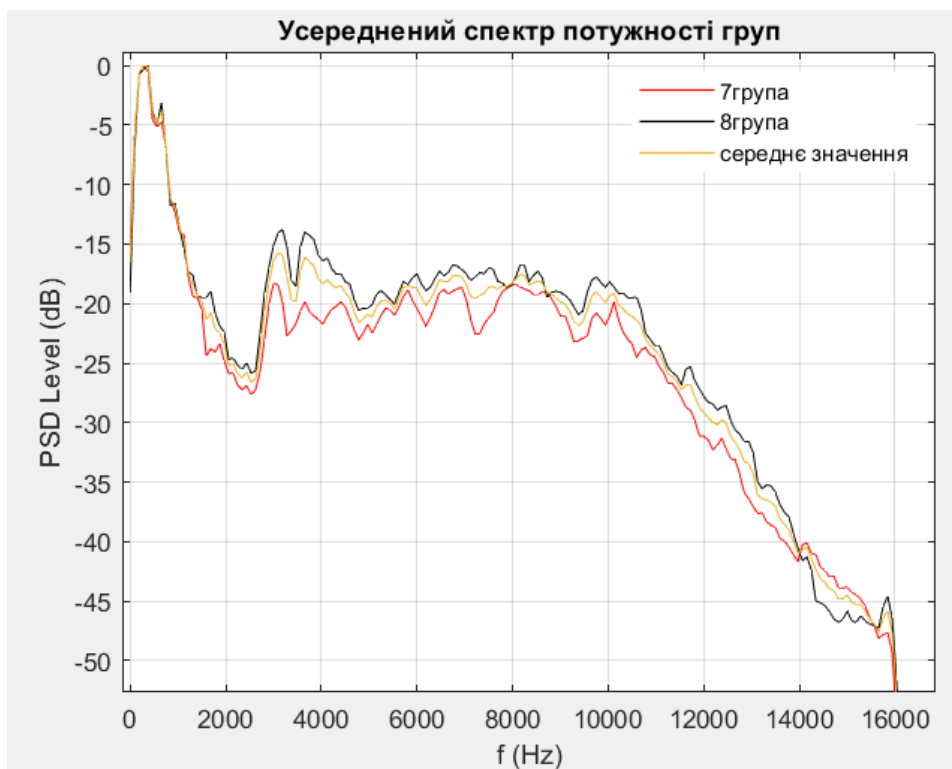


Рис. 2. 13 Спектр потужності сьомої, восьмої групи та їх середнього значення

Максимальне відхилення від середнього значення і сьомої групи (дБ):
5.0349

Максимальне відхилення від середнього значення і восьмої групи (дБ):
2.6594

Відхилення в цих групах не перевищує допустимого значення.

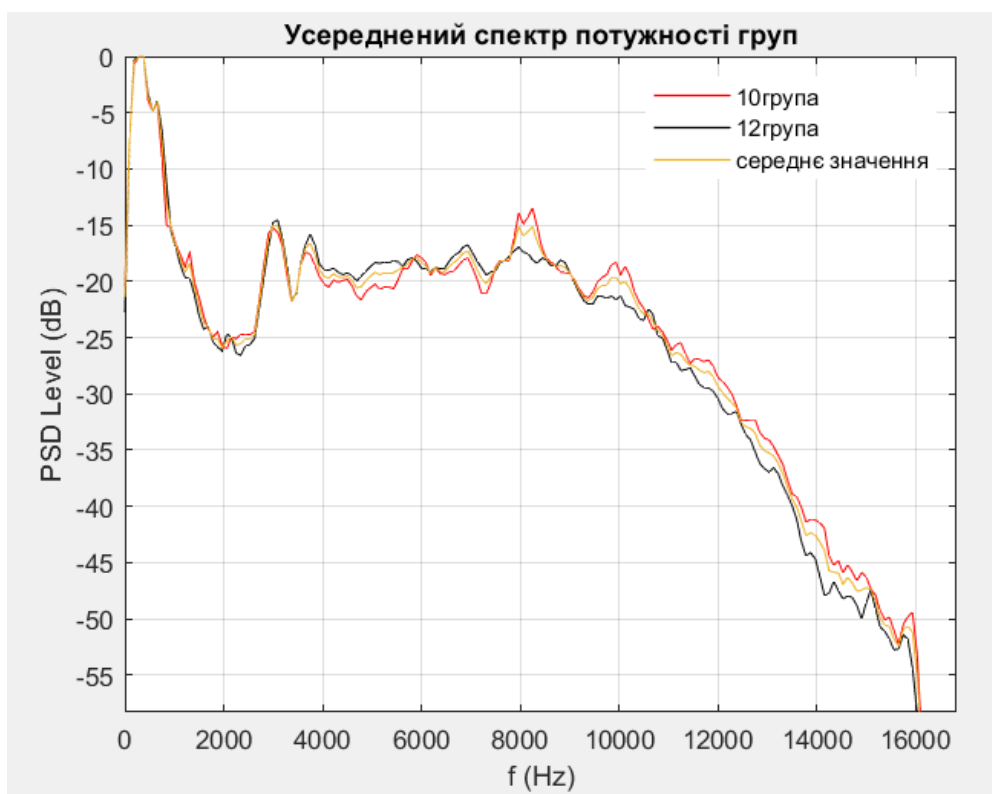


Рис. 2. 14 Спектр потужності третьої, четвертої групи та їх середнього значення

Максимальне відхилення від середнього значення і десятої групи (дБ):
2.1802

Максимальне відхилення від середнього значення і дванадцятої групи (дБ):
4.0022

Відхилення в цих групах не перевищує допустимого значення.

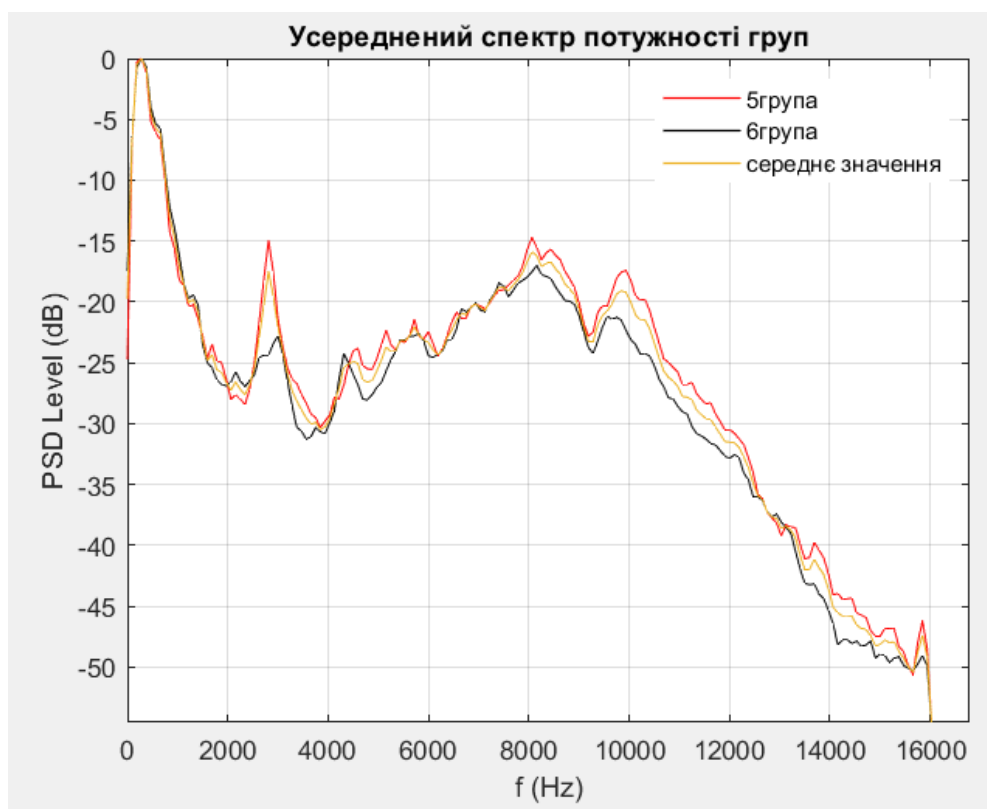


Рис. 2.15 Спектр потужності третьої, четвертої групи та їх середнього значення

Максимальне відхилення від середнього значення і п'ятої групи (дБ):
5.0513

Максимальне відхилення від середнього значення і шостої групи (дБ):
6.8860

Відхилення шостої групи спостерігається на частоті 3844 Гц.

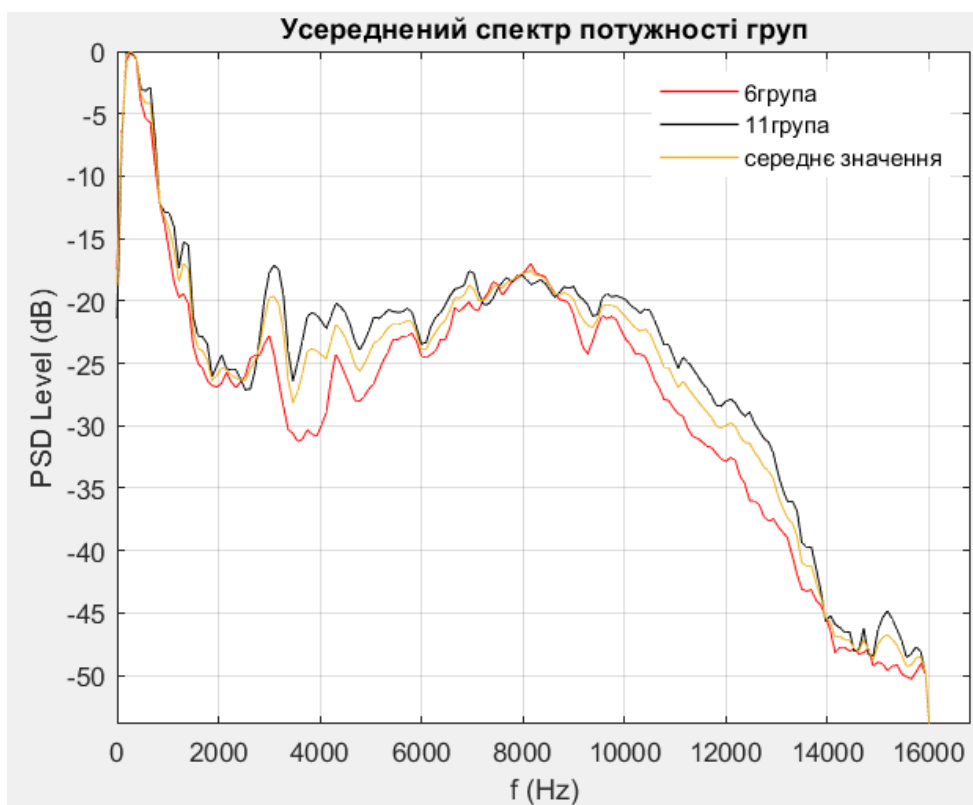


Рис. 2.16 Спектр потужності третьої, четвертої групи та їх середнього значення

Максимальне відхилення від середнього значення і шостої групи (дБ):
6.8431

Максимальне відхилення від середнього значення і одинадцятої групи (дБ):
2.8927

Відхилення шостої групи спостерігається на діапазоні частоти: 3800 - 4000 Гц.

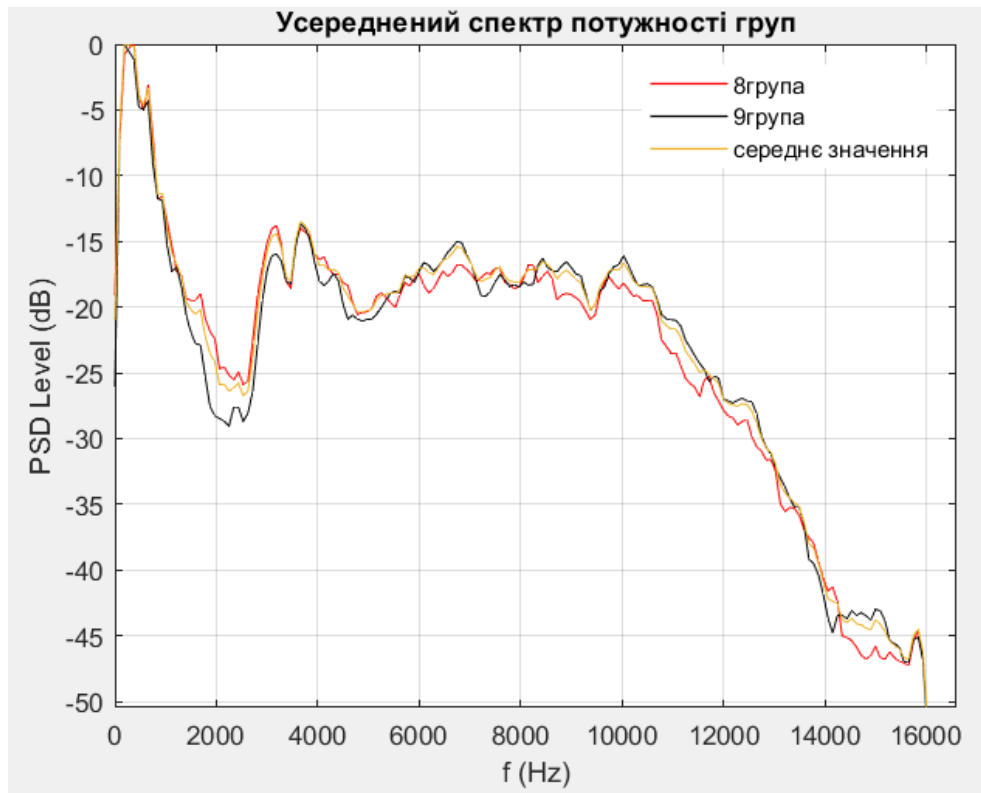


Рис. 2. 17 Спектр потужності третьої, четвертої групи та їх середнього значення

Максимальне відхилення від середнього значення і восьмої групи (дБ):
2.5621

Максимальне відхилення від середнього значення і дев'ятої групи (дБ):
4.9883

Відхилення в цих групах не перевищує допустимого значення.

Отже, рекомендованими таблицями взаємозамінюємих груп є блоки, крім п'ятого і шостого .

2.3. Аналіз спектру числівників жіночим та чоловічим голосом

Аналізуючи літературу багато авторів стверджують, що лікарем сурдологом повинна бути людина чоловічої статі, але з деякого часу для перевірки слуху у дітей, перевіряючими стали жінки. Тому було проведено запис чоловічим голосом першої групи числівників та побудовано графік спектру потужності (рис. 2.18).



Рис.2.18 Усереднений спектр потужності першої групи чоловічим ГОЛОСОМ

Отриманий графік слід порівняти з графіком спектру цієї групи записаним жіночим голосом (рис. 2.19).



Рис.2.19 Порівняння усереднених спектрів жіночого та чоловічого голосу

Аналізуючи цей графік бачимо велику різницю між жіночим та чоловічим голосами, саме для першої групи числівників.

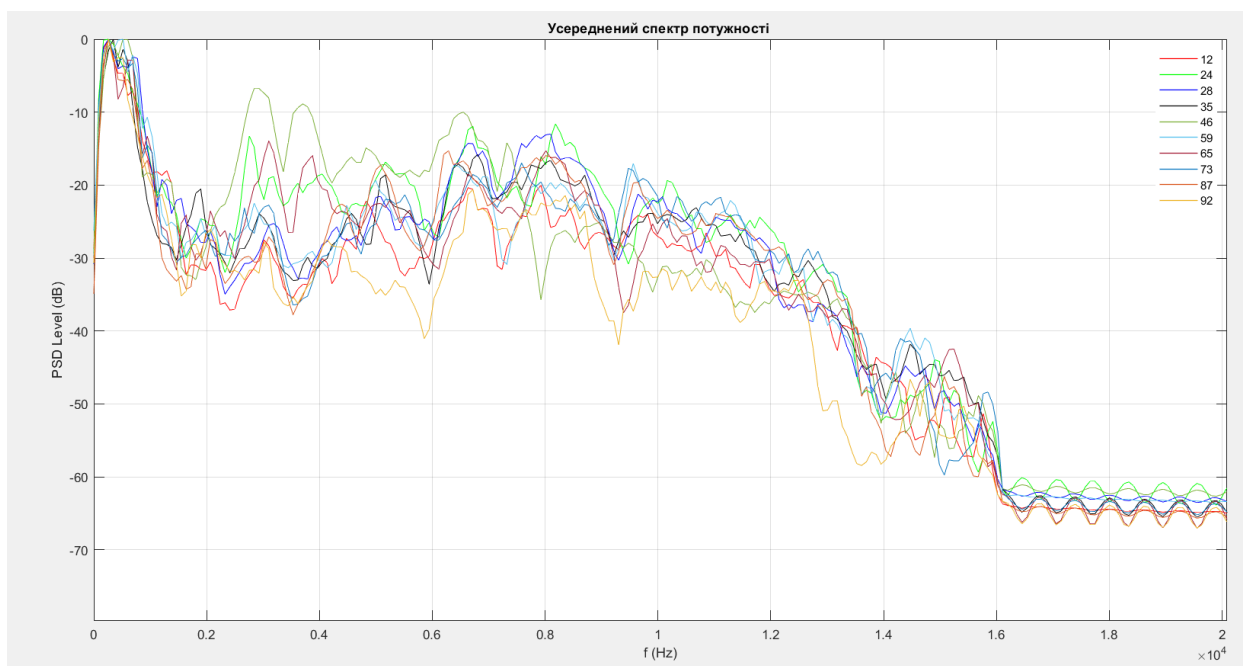


Рис. 2.20 Усереднений спектр кожного числівника з першої групи жіночим голосом

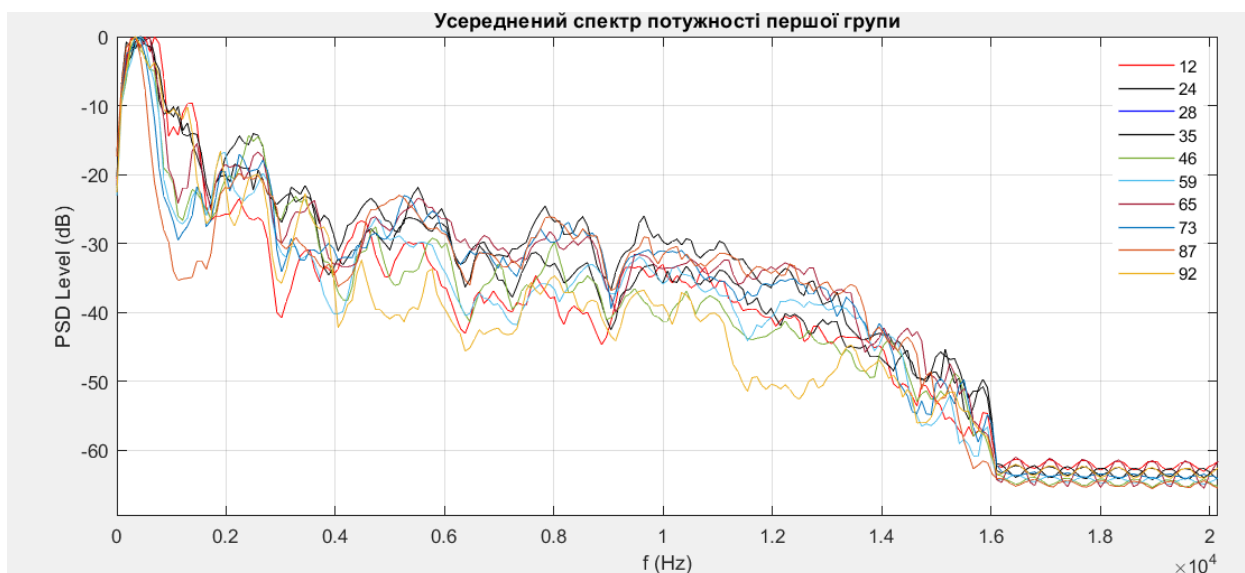
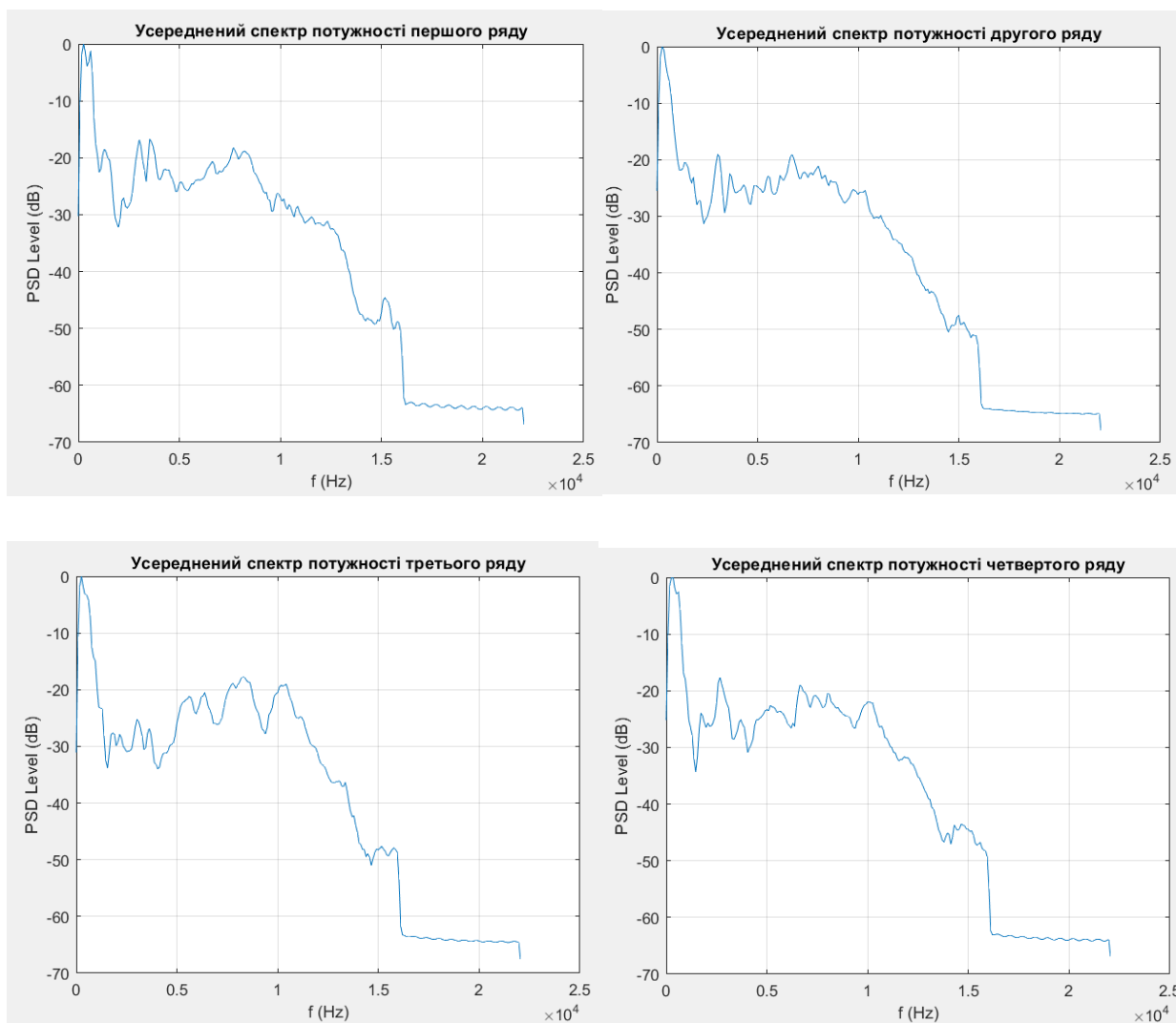


Рис. 2.21 Усереднений спектр кожного числівника з першої групи
чоловічим голосом

Аналізуючи рис. 2.20 та 2.21 можна побачити різницю на середніх частотах.

3. ОБ'ЄКТИВНИЙ АНАЛІЗ АРТИКУЛЯЦІЙНИХ ТАБЛИЦЬ ЧИСЛІВНИКІВ ПО РЯДКАМ

Проаналізувавши стовпці таблиці потрібним є перевірка її рядків. Тому користуючись скриптом з Додатку 1, будемо графіки спектрів поужності кожного окремого рядка (рис. 3.1). Отримуємо 10 рядків по 12 слів.



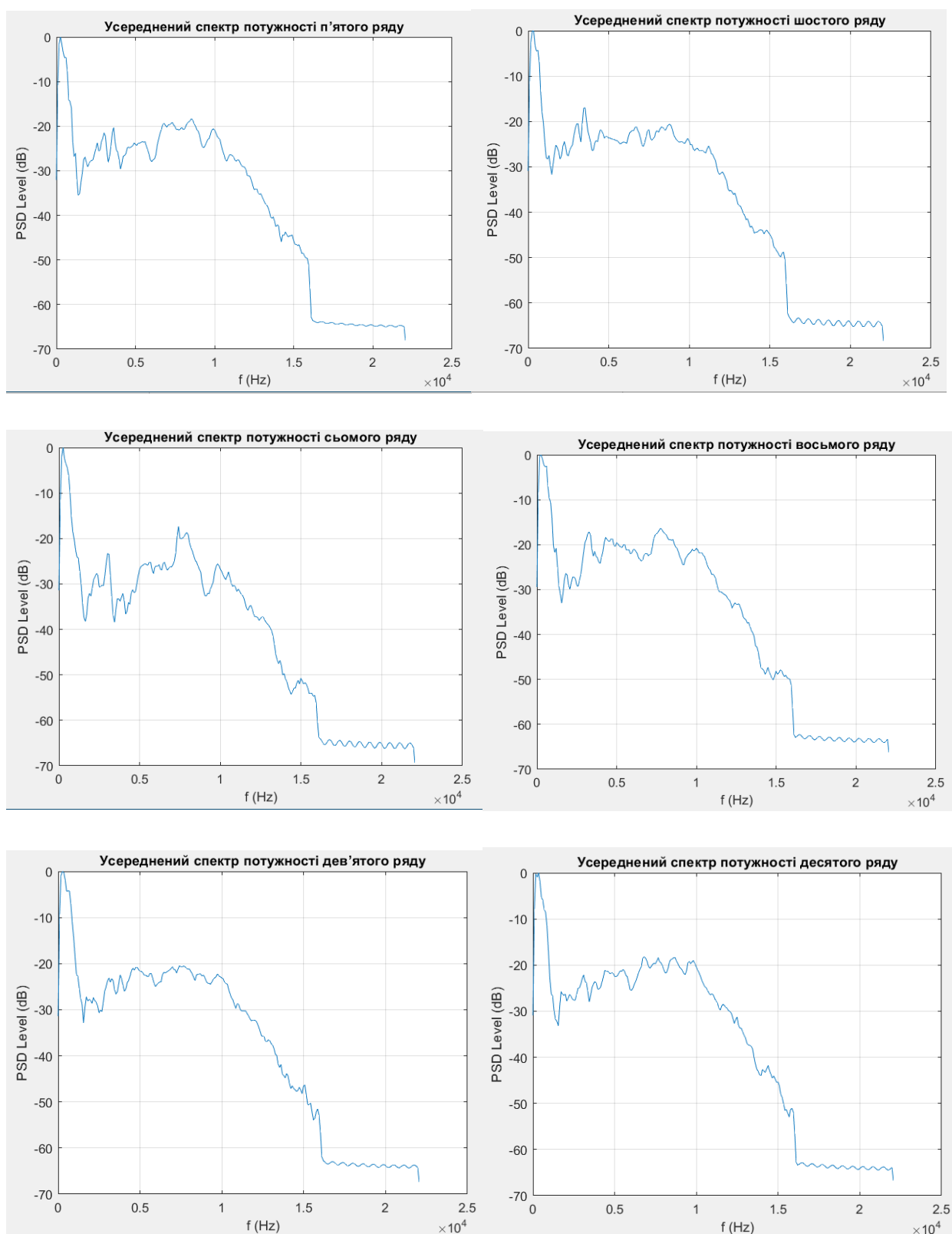


Рис. 3.1 Усереднені спектри потужності окремого рядка

Тепер за графіками сформуємо рядки, які можна назвати взаємозаміними. Відповідно до окремо побудованих графіків згрупуємо

по два рядки (рис. 3.2 – 3.6). Графіки побудовані за допомогою скрипту з Додатку2.

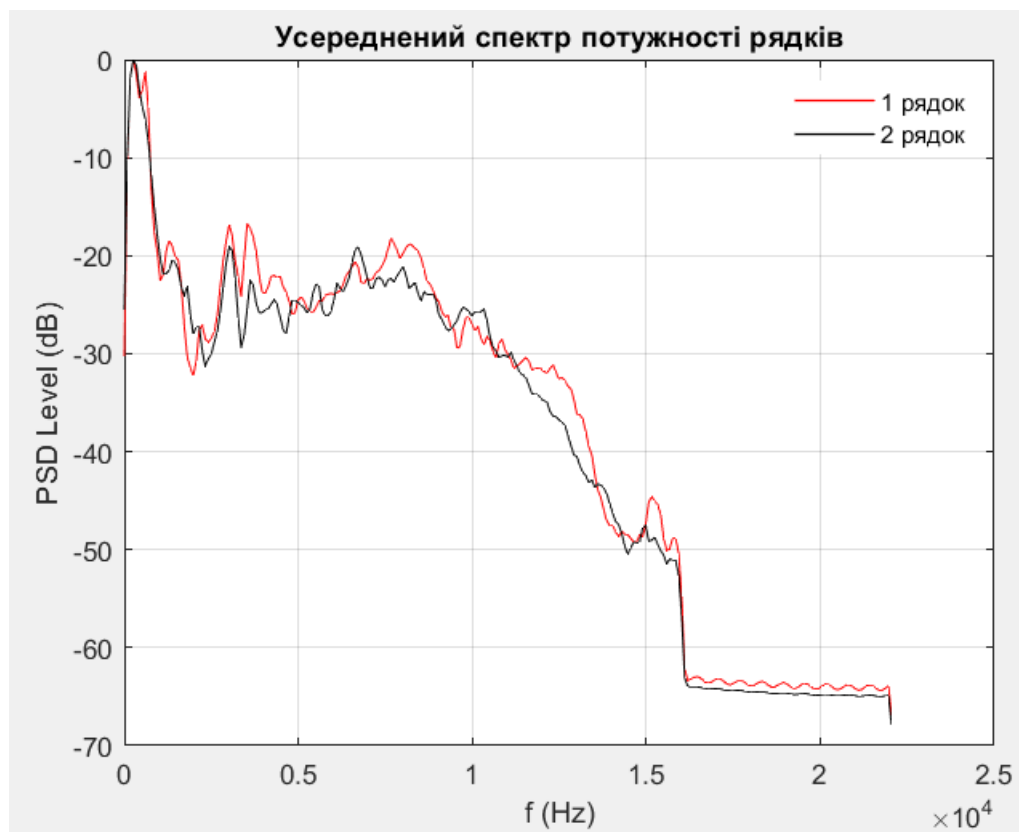


Рис. 3.2 – Спектр потужності першого блоку рядків



Рис. 3.3 – Спектр потужності другого блоку рядків



Рис. 3.4 – Спектр потужності третього блоку рядків

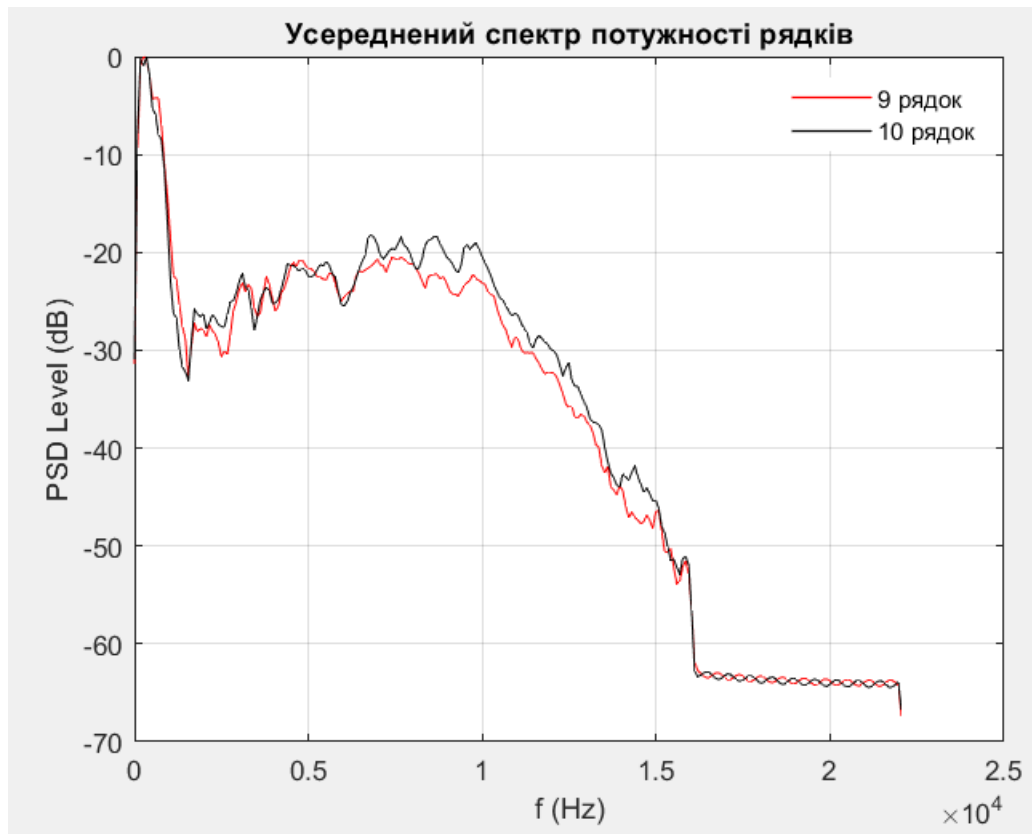


Рис. 3.5 – Спектр потужності четвертого блоку рядків



Рис. 3.6 – Спектр потужності п'ятого блоку рядків

Отже, отримуємо такі блоки :

Таблиця 3.1 Перший блок рядків

№	Числівники											
1	46	26	19	42	18	45	82	46	12	19	16	61
2	12	15	51	17	25	13	16	15	26	46	63	46

Таблиця 3.2 Другий блок рядків

№	Числівники											
4	59	34	58	61	83	64	42	34	67	34	51	58
8	28	56	62	49	75	41	52	86	21	72	62	76

Таблиця 3.3 Третій блок рядків

№	Числівники											
5	87	96	63	23	74	78	79	57	32	87	69	95
6	35	32	47	71	14	27	65	36	96	36	47	36

Таблиця 3.4 Четвертий блок рядків

№	Числівники											
9	65	21	29	76	48	72	96	28	56	29	41	82
10	24	86	82	97	93	85	21	65	93	65	86	65

Таблиця 3.5 П'ятий блок рядків

№	Числівники											
3	73	67	20	57	31	38	39	63	89	51	20	17
7	92	68	95	90	43	90	37	92	68	95	92	27

Проводимо аналіз цих блоків відносно їх середнього значення. Тобто проводимо дисперсійний аналіз.

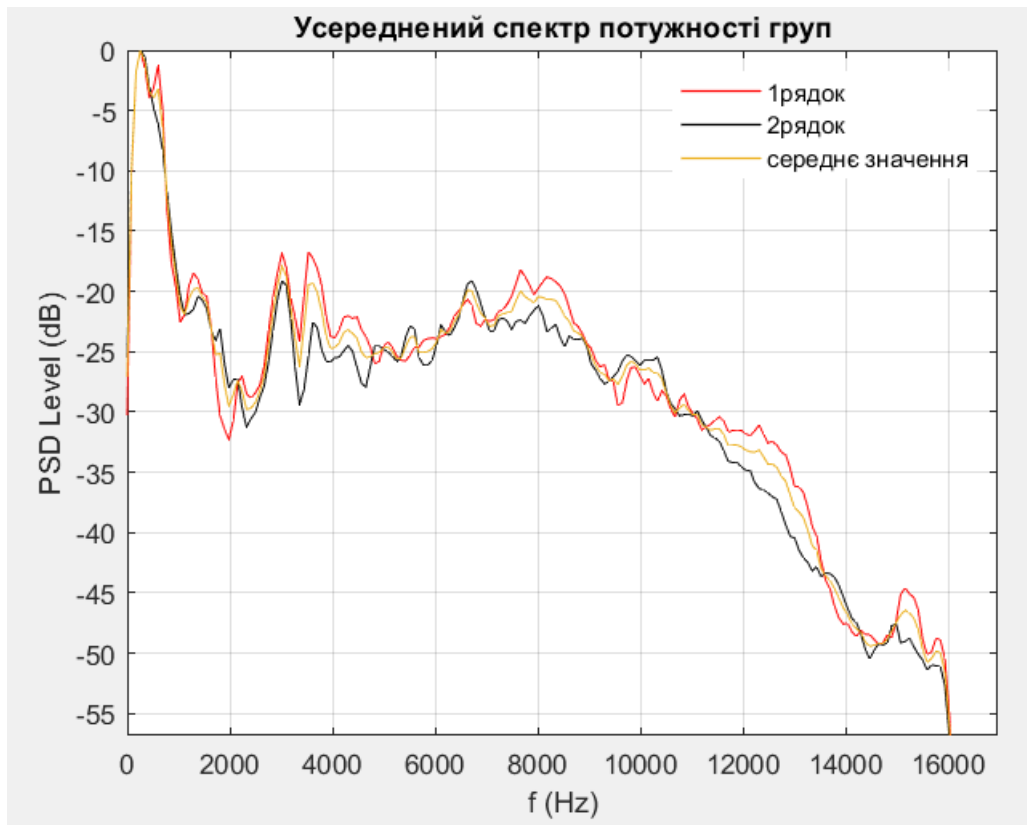


Рис. 3.7 – Спектр потужності першого, другого рядка та їх середнього значення

Максимальне відхилення від середнього значення і першого рядка (дБ):
5.1848

Максимальне відхилення від середнього значення і другого рядка (дБ):
5.9697

Відхилення першого рядка спостерігається на частоті 1809 Гц, відхилення другого рядка спостерігається на діапазоні частоти 13100-13300 Гц.

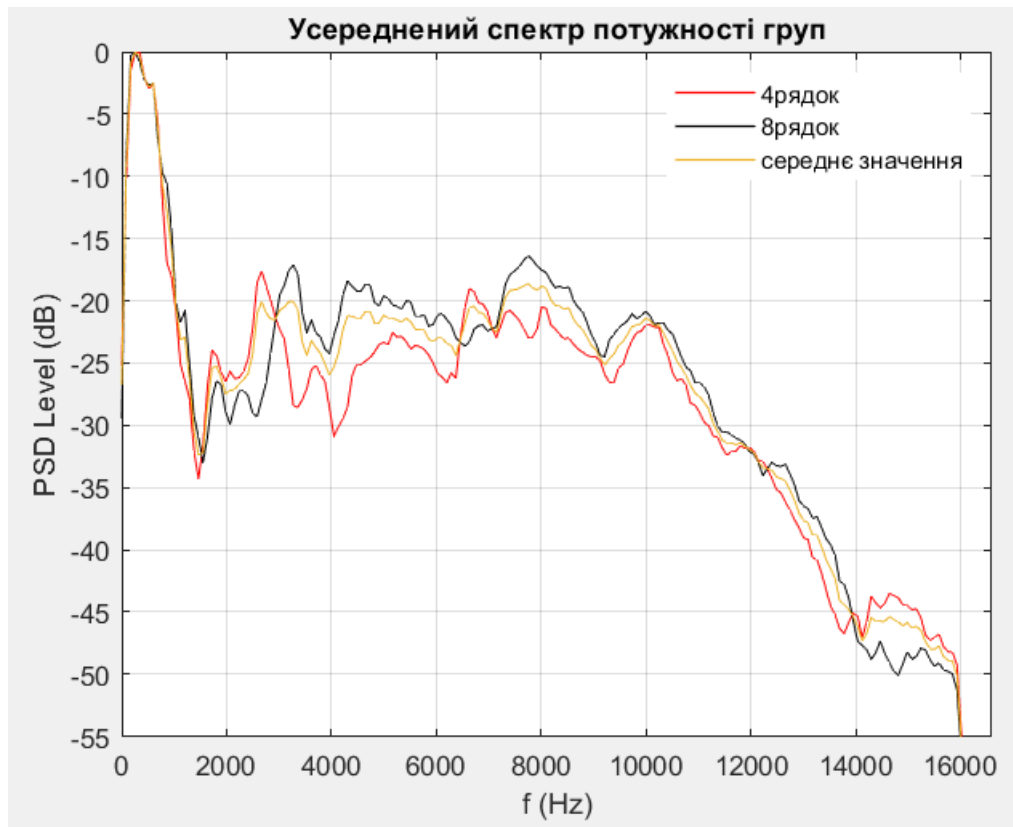


Рис. 3.8 – Спектр потужності четвертого, восьмого рядка та їх середнього значення

Максимальне відхилення від середнього значення і четвертого рядка (дБ):
8.3539

Максимальне відхилення від середнього значення і восьмого рядка (дБ):
8.2945

Відхилення четвертого рядка спостерігається на частоті 3273 Гц,
відхилення восьмого рядка спостерігається на частоті 2670 Гц.



Рис. 3.9 – Спектр потужності п'ятого, шостого рядка та їх середнього значення

Максимальне відхилення від середнього значення і п'ятого рядка (дБ):
5.0668

Максимальне відхилення від середнього значення і шостого рядка (дБ):
3.9582

Відхилення в цих рядках не перевищує допустимого значення.

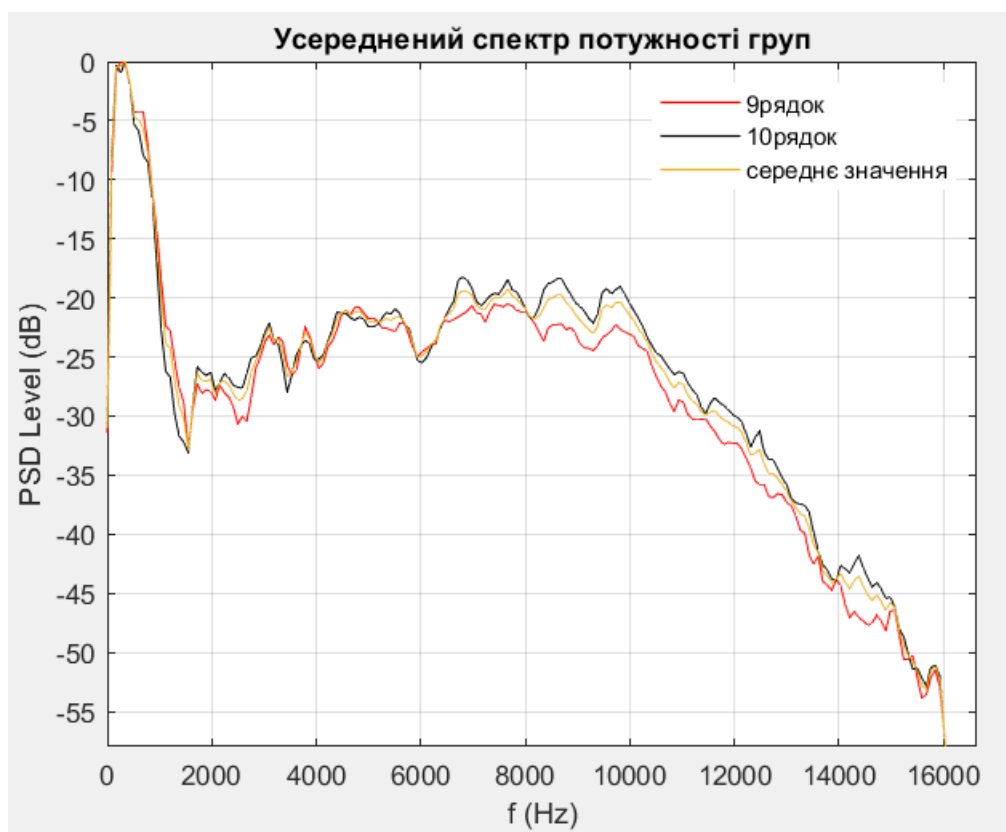


Рис. 3.10 – Спектр потужності дев'ятого, десятого рядка та їх середнього значення

Максимальне відхилення від середнього значення і дев'ятого рядка (дБ):
3.5194

Максимальне відхилення від середнього значення і десятого рядка (дБ):
2.8590

Відхилення в цих рядках не перевищує допустимого значення.



Рис. 3.11 – Спектр потужності третього, сьомого рядка та їх середнього значення

Максимальне відхилення від середнього значення і третього рядка (дБ):
2.9477

Максимальне відхилення від середнього значення і сьомого рядка (дБ):
6.8034

Відхилення сьомого рядка спостерігається на частоті 10250 Гц.

Так як в рядках повторюються числівники, було складено таблицю без повторень слів.

Таблиця 3.6 Рядки таблиці числівників тесту Є. М. Харшака (без повторень)

№	Числівники										
1	46	26	19	42	18	45	82	12	16	61	
2	12	15	51	17	25	13	16	26	46	63	
3	73	67	20	57	31	38	39	63	89	51	17
4	59	34	58	61	83	64	42	67	51		
5	87	96	63	23	74	78	79	57	32	69	95
6	35	32	47	71	14	27	65	36	96		

7	92	68	95	90	43	37	27				
8	28	56	62	49	75	41	52	86	21	72	76
9	65	21	29	76	48	72	96	28	56	41	82
10	24	86	82	97	93	85	21	65	93		

Графіки спектру потужності рядків цієї таблиці наведені у Додатку В.

Аналізуючи графіки не можна рекомендувати цю таблицю 3.6 для проведення іспитів перевірки слуху .

ВИСНОВКИ

В ході виконання бакалаврської роботи було досліджено та сформовано взємозамінні групи числівників для проведення артикуляційних досліджень тестом Є. М. Харшака . Перевагою використання таблиць з числівниками для перевірки слуху є їх простота та універсальність відповідно до віку слухачів.

Адаптований тест Є. М. Харшака було порівняно з графіком спектральної щільності потужності української мови і встановлено їх суттєву відмінність на частотах до 2000 Гц, що вказує на не повну відповідність спектру української мови (а саме, переважне розташування спектру групи числівників в області середніх і високих частот).

Оскільки вся таблиця тесту Є. М. Харшака є громіздкою і її зачитування - довготривале в часі, вона не придатна до використання у повному об'ємі. Виходячи з аналізу літератури щодо оптимального часу тестування, для одноразового зачитування достатньо лише одного стовпця або рядка таблиці. Використання частини матеріалу таблиці при тестуванні дозволяє уникнути запам'ятовування слів. Таким чином, доцільно таблицю розділити на блоки взаємозамінних груп.

Розподіл загальної таблиці числівників на блоки було здійснено об'єктивним методом оцінки усередненого спектра потужності мови. Блоки взаємозамінних груп сформовано шляхом порівняння рівня спектральної густини потужності окремих стовпчиків або строк таблиці з середнім значенням групи, так щоб маскимальний розкид відхилення не перевищував 6 дБ (або 3 дБ по модулю).

Підводячи підсумки рекомендованими до використання є 5 таблиць взаємозаміняємих груп стовпців та 2 таблиці взаємозаміняємих груп рядків.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. С. А. Луньова, В. С. Дідковський і П. О. І. С., Акустика мовотворення. Навчальний посібник. 2018.
2. І. А. Алдошина «Слух и речь. Часть 4. Субъективные и объективные методы оценки разборчивости речи», Основы психоакустики, 2000, стр. 128–133.
3. Н. В. Покровський Расчет и измерение разборчивости речи, Связьиздат. Москва, 1962.
4. В. Г. Михайлов, Диагностические артикуляционные таблицы . 2002.
5. М. Ю. Бобошко, Речевая аудиометрия. Учебное пособие, Издательств. Санкт-Петербург, 2012.
6. ГОСТ 16600-72. Передача речи по радиотелефонной связи. Требования к разборчивости речи и методикам артикуляционных измерений., Москва, стр.77, 1973.
7. Диагностика слуха методами слуховой аудиометрии [Електронний ресурс] <http://minaev.com.ua/diagnostics/audiometry> [Дата звернення : 29.04.2021].
8. Міщанчук НС, Радченко ОІ, Карамзіна ЛА. Мовна аудіометрія для клінічної аудіології в сучасних умовах. Журн. вушних, носових і горлових хвороб. 2016; (2): 49-53.
9. Д.І. Заболотний, В.І. Луценко, І.А. Беякова, Є.І. Світлична, А.А. Берестова, Т.Ю. Холоденко, Н.М. Градюк «Переклад українською мовою тесту числівників Є.М. Харшака та його адаптація», Журнал вушних, носових і горлових хвороб, стр. 11–15, 2020.
10. «Диагностика нарушений слуха» [Електронний ресурс] <https://vikidalka.ru/2-53247.html> [Дата звернення : 29.04.2021].
11. В. С. Дидковский, М. В. Дидковская та А. Н. Продеус, Акустическая экспертиза каналов речевой коммуникации. Киев: Imeks-LTD, 2008.

12. А. М. Продеус,, “Цифровая обработка сигналов и изображений, мультимедиа, компьютерная иридодиагностика.” [Электронный ресурс]. <http://aprodeus.narod.ru/> [Дата звернення: 29.11.2020].
13. ДИСЕРТАЦІЯ “Акустичні засади розробки українськомовних артикуляційних таблиць” Яшник О. І. 2020.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

Лістинг програми для визначення та побудови графіка рівню спектральної густини потужності сигналу

```
clear all , clc
[y29,Fs29]=audioread('назва.wav');
y29=y29(:,1);
stdn29=std(y29);
yn29=y29./stdn29;
[ypn29, f29]=pwelch(yn29,hamming(441), [], [], Fs29);
ypn29=ypn29';
y15=[ypn29];
k15=max(abs(y15));
norm15=y15./k15;
norml15=10.*log10(norm15);
figure
plot(f29,norml15)
xlabel('f (Hz)');
ylabel('PSD Level (dB)');
title('Усереднений спектр потужності 4 групи');
grid on;
```

ДОДАТОК Б

Лістинг до програми для визначення, побудови та порівняння графіків рівню спектральної густини потужності сигналів

```

[y29,Fs29]=audioread('Назва1.wav');
y29=y29(:,1);
[y30,Fs30]=audioread('Назва2.wav');
y30=y30(:,1);
[y31,Fs31]=audioread('Назва3.wav');
y31=y31(:,1);
[y32,Fs32]=audioread('Назва4.wav');
y32=y32(:,1);

stdn29=std(y29);
stdn30=std(y30);
stdn31=std(y31);
stdn32=std(y32);

yn29=y29./stdn29;
yn30=y30./stdn30;
yn31=y31./stdn31;
yn32=y32./stdn32;

[ypn29,f29]=pwelch(yn29,hamming(441),[],[],Fs29);
[ypn30,f30]=pwelch(yn30,hamming(441),[],[],Fs30);
[ypn31,f31]=pwelch(yn31,hamming(441),[],[],Fs31);
[ypn32,f32]=pwelch(yn32,hamming(441),[],[],Fs32);

ypn29=ypn29';
ypn30=ypn30';
ypn31=ypn31';
ypn32=ypn32';

y15=[ypn29];
k15=max(abs(y15));
norm15=y15./k15;
norml15=10.*log10(norm15);

y16=[ypn30];
k15=max(abs(y16));
norm16=y16./k15;
norml16=10.*log10(norm16);

y17=[ypn31];
k15=max(abs(y17));
norm17=y17./k15;
norml17=10.*log10(norm17);

```

```
y18=[ypn32];
k15=max(abs(y18));
norm18=y18./k15;
norml18=10.*log10(norm18);

figure
plot(f29,norml15,'- r', f29,norml16,'- g', f29,norml17,'-
b',f29,norml18,'k','LineWidth',0.8 );
xlabel('f (Hz)');
ylabel('PSD Level (dB)');
title('Усереднений спектр потужності ');
grid on;
hold on;
legend('назва1', 'назва2', 'назва3', 'назва4');
```

ДОДАТОК В

Графіки рівню спектральної густини потужності рядків таблиці без повторень

