


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

Факультет Електроніки  
(повна назва інституту/факультету)

Кафедра конструювання електронно-обчислювальної апаратури  
(повна назва кафедри)

«На правах рукопису»  
УДК 616.2

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри  
 О.М.Лисенко  
(підпис) (ініціали, прізвище)

«16» грудня 2024р.

## Магістерська дисертація

зі спеціальності Електронні комунікації та радіотехніка код - 172  
(код і назва спеціальності)

на тему: Програмний застосунок для оцінки аудитивного сприйняття користувачів

Виконав (-ла): студент (-ка) 2 курсу, групи ДК-31мп  
(шифр групи)

Загреба Арсеній Ярославович  
(прізвище, ім'я, по батькові)

  
(підпис)

Науковий керівник доцент, к.т.н. Лебедев Д. Ю.  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

  
(підпис)

Консультант \_\_\_\_\_  
(назва розділу) (науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали) (підпис)

Рецензент к.т.н., доц.каф.електронної інженерії, доц. Катерина Іванько  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) (підпис)

  
(підпис)

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

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Київ – 2024 року

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

Інститут/факультет Факультет Електроніки

(повна назва)


Кафедра Кафедра конструювання електронно-обчислювальної апаратури  
(повна назва)

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

Спеціальність Електронні комунікації та радіотехніка код-172  
(код і назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри

 О.М.Лисенко  
(підпис) (ініціали, прізвище)

«02» лютого 2024р.

**ЗАВДАННЯ**  
**на магістерську дисертацію студенту**  
Загреба Арсеній Ярославович  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації Програмний застосунок для оцінки аудитивного сприйняття користувачів

науковий керівник дисертації доцент, к.т.н. Лебедев Д. Ю.,  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «08» 11 2024 р. №5027-с

2. Строк подання студентом дисертації 11.12.2024 \_\_\_\_\_

3. Об'єкт дослідження Процес суб'єктивної оцінки слухової чутливості користувача, що проводиться за допомогою програмного забезпечення для генерації звукових сигналів та аналізу реакції на них.

4. Предмет дослідження (Вихідні дані – для магістерської дисертації за освітньо-професійною програмою) Алгоритми адаптації звукових сигналів та програмна реалізація тестування слуху користувачів через веб-застосунок. Вихідними даними для дослідження є результати тестування слухової чутливості користувачів, а також дані про обладнання, яке використовується для відтворення звуку.

5. Перелік завдань, які потрібно розробити 1.Аналіз існуючих патентних рішень, наукових статей та літератури. 2. Розробка алгоритму скрипта для аналізу аудітивного стану людини. 3. Реалізація веб-інтерфейсу для тестування слуху. 5. Розроблення стартап-проекту.

6. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу Презентація

7. Орієнтовний перелік публікацій 2 публікації

8. Консультанти розділів дисертації\*


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

9. Дата видачі завдання 01.02.2024

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Аналіз матеріалів за об'єктом дослідження	01.02.24 – 05.06.24	Виконано
2	Розробка алгоритму скрипта	01.09.24 – 26.10.24	Виконано
3	Розробка веб застосунку	27.10.24 – 01.12.24	Виконано
4	Створення стартап-проекту	02.12.24 – 15.12.24	Виконано
5	Оформлення дисертації	16.12.24 – 27.12.24	Виконано

Студент

  
\_\_\_\_\_  
(підпис)

Загреба А.Я.

\_\_\_\_\_  
(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

  
\_\_\_\_\_  
(підпис)

Лебедев Д. Ю.

\_\_\_\_\_  
(ініціали, прізвище)

\* Консультантом не може бути зазначено наукового керівника

## Реферат

Магістерська дисертація складається зі 74 сторінок, у якій міститься 14 рисунків, 22 таблиці, використано 12 джерел.

**Актуальність.** У сучасному інформаційному суспільстві, де аудіовміст відіграє значну роль, розуміння аудітивного сприйняття користувачів стає критичним фактором для взаємодії зі звуковим середовищем. Це дослідження спрямоване на розробку програмного скрипта, який дозволить ефективно вивчати рівень аудітивного сприйняття в користувачів, що є важливим кроком у покращенні якості сприйняття звукової інформації.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дослідження виконано в рамках актуальних напрямків в області аудіотехнологій та слухової діагностики, що відповідає пріоритетам розвитку сучасних інтерактивних технологій. Дана робота використовувалася при викладанні навчального модулю «Методи веб-програмування» для студентів спеціальності 172 «Електронні комунікації та радіотехніка» освітньо-професійної програми «Інформаційно-обчислювальні засоби радіоелектронних систем» на кафедрі КЕОА факультету електроніки КПІ ім. Ігоря Сікорського (Додаток В).

**Мета і задачі дослідження.** Метою магістерської роботи є розробка програмного скрипта для оцінки аудітивного сприйняття користувачів. Для досягнення цієї мети вирішено такі задачі:

- а) вивчення теоретичних аспектів аудітивного сприйняття;
- б) розробка алгоритмів, що адаптують параметри звуку до особливостей користувача;
- в) створення програмного скрипта для тестування аудітивного сприйняття;
- г) тестування розробленого скрипта на практиці;
- д) аналіз отриманих результатів та обґрунтування можливостей подальшого використання.

**Об'єкт дослідження:** процес аудітивного сприйняття користувачів.

**Предмет дослідження:** методи та програмні інструменти для оцінки та аналізу аудітивного сприйняття користувачів.

**Методи дослідження:** під час дослідження використано методи теоретичного аналізу, програмування та статистичної обробки даних.

**Наукова новизна:** розроблено програмний скрипт, який адаптується під індивідуальні особливості користувача, що дозволяє підвищити точність та ефективність дослідження аудітивного сприйняття.

**Практична значущість:** результати дослідження можуть бути застосовані для створення онлайн-сервісів, що дозволяють користувачам самостійно оцінювати стан свого слуху, а також у розробці аудіоінтерфейсів, адаптованих до індивідуальних потреб.

**Апробація результатів дослідження:** основні положення дослідження представлені на наукових конференції та у статтях, де отримали позитивну оцінку фахівців.

**Публікації:** Результати роботи апробовані на XV Міжнародній науково-технічній конференції молодих вчених «Електроніка-2024» Секція 4 «Інформаційно-обчислювальні засоби радіоелектронних систем» та опубліковані в журналі "ВЧЕНІ ЗАПИСКИ ТАВРІЙСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ІМЕНІ В.І. ВЕРНАДСЬКОГО" у Томі 35 (74) № 5, 2024"

**Ключові слова:** аудітивне сприйняття, програмний скрипт, інтерфейси, взаємодія зі звуковим середовищем, діагностика слуху, аудіотехнології, користувачі.

## Abstract

The master's thesis consists of 74 pages, including 14 figures, 22 tables and 12 references to sources.

**Relevance.** In today's information society, where audio content plays a significant role, understanding users' auditory perception has become a critical factor for interaction with the sound environment. This research aims to develop a software script that will enable the effective study of users' auditory perception levels, which is an essential step toward improving the quality of sound information perception.

**Connection with scientific programs, plans, and themes.** The research was conducted within the framework of current studies in the field of audio technologies and hearing diagnostics, corresponding to the priorities of developing modern interactive technologies.

**Objective and tasks of the research.** The goal of this master's thesis is to develop a software script for assessing users' auditory perception. To achieve this goal, the following tasks were accomplished:

- a. studying the theoretical aspects of auditory perception;
- b. developing algorithms that adapt sound parameters to user-specific characteristics;
- c. creating a software script for testing auditory perception;
- d. testing the developed script in practice;
- e. analyzing the obtained results and justifying possibilities for further application.

Object of the research: the process of users' auditory perception.

**Subject of the research:** methods and software tools for evaluating and analyzing users' auditory perception.

**Research methods:** the study employed methods of theoretical analysis, programming, and statistical data processing.

**Scientific novelty:** a software script was developed that adapts to individual user characteristics, enhancing the accuracy and efficiency of auditory perception research.

**Practical significance:** The research results can be applied to create online services that enable users to independently assess their hearing condition and in the development of audio interfaces adapted to individual needs.

**Approbation of research results:** The main findings of the research have been presented at scientific conferences and in articles, where they received positive feedback from experts.

**Publications:** The results of the work were presented at the XV International Scientific and Technical Conference of Young Scientists "Electronics-2024", Section 4 "Information and Computing Tools for Radio Electronic Systems" and published in the journal "Scientific Notes of the Vernadsky Taurida National University" in Volume 35 (74), No. 5, 2024..

**Keywords:** auditory perception, software script, interfaces, interaction with the sound environment, hearing diagnostics, audio technologies, users.

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ .....	3
ВСТУП.....	4
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ.....	7
Патент EP2793118A1 .....	7
Патент US20180063618A1 .....	9
Патент US7464595B2 .....	10
Патент US3054855A.....	12
HearTest .....	13
Mimi Hearing Test .....	14
Висновок до першого розділу .....	15
РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ МЕТОДІВ .....	17
2.1 Суб'єктивний метод тестування слуху.....	17
2.2 Об'єктивний метод тестування .....	18
2.3 Аудіограми.....	18
2.4 Тональна порогова аудіометрія .....	19
2.5 Надпорогова тональна аудіометрія .....	20
2.6 Мовна аудіометрія.....	21
2.7 Високочастотна (ВЧ) аудіометрія .....	21
2.8 Огляд методів акустичної імпедансометрії .....	22
2.9 Тимпанометрія.....	23
2.10 Акустична рефлексометрія.....	24
Висновки до другого розділу .....	25
РОЗДІЛ 3. ОПИС АЛГОРИТМУ ТА РОБОТИ СКРИПТА .....	26
3.1 Ініціалізація.....	26
3.2 Генерація звуку.....	26
3.3 Очікування відповіді користувача.....	28
3.4 Аналіз відповіді .....	28
3.5 Адаптація параметрів звуку .....	28
3.6 Повторення циклу тестування .....	29
3.7 Збереження результатів .....	29
3.8 Відображення результатів .....	29

3.9 Веб-застосунок для тестування слуху .....	29
Висновки до третього розділу .....	30
<b>РОЗДІЛ 4. ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА .....</b>	<b>32</b>
4.1 Реалізація веб-інтерфейсу для тестування слуху .....	32
Структура веб-сторінки та дизайн інтерфейсу .....	32
Логіка роботи скрипта .....	32
Взаємодія користувача зі скриптом .....	33
Налаштування звуку та інструкції для користувача .....	33
4.2 Результати тестування слуху .....	39
4.3 Перспективи вдосконалення функціоналу .....	44
Поточний стан аналізу результатів .....	44
Заплановані вдосконалення .....	45
Використання штучного інтелекту .....	45
Висновки до четвертого розділу .....	46
<b>РОЗДІЛ 5. РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ .....</b>	<b>49</b>
5.1 Опис ідеї проекту .....	49
5.2 Техніко-економічна характеристика продукції .....	52
5.3. Актуальність проекту та аналіз ринку .....	54
Висновки до п'ятого розділу .....	69
<b>ВИСНОВКИ .....</b>	<b>71</b>
<b>ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ .....</b>	<b>73</b>
<b>ДОДАТОК А – КОПІЯ ПУБЛІКАЦІЇ У НАУКОВОМУ ВИДАННІ .....</b>	<b>75</b>
<b>ДОДАТОК Б – ЛІСТИНГ ПРОГРАМИ .....</b>	<b>93</b>
<b>ДОДАТОК В – АКТ .....</b>	<b>97</b>

## ПЕРЕЛІК ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ

ШІ – штучний інтелект

АЧХ — амплітудно-частотна характеристика

API — Application Programming Interface (інтерфейс програмування додатків)

CSV — Comma-Separated Values (формат файлу, в якому дані розділені комами)

GUI — Graphical User Interface (графічний інтерфейс користувача)

HTML — HyperText Markup Language (мова розмітки гіпертексту)

JS — JavaScript (мова програмування для веб-розробки)

JSON — JavaScript Object Notation (формат обміну даними)

PHP — Hypertext Preprocessor (мова програмування для серверного програмування)

URL — Uniform Resource Locator (уніфікований локатор ресурсу)

Web Audio API — API для роботи з аудіо в браузері

## ВСТУП

Розвиток сучасних технологій значно змінив спосіб життя людини, водночас створюючи нові виклики, пов'язані зі здоров'ям. Зокрема, однією з актуальних проблем є погіршення слуху, спричинене надмірним впливом звукових подразників. В умовах сучасного життя гучні звуки, регулярне використання навушників, шум від транспортних засобів і промислового обладнання стали невід'ємною частиною повсякдення. Як наслідок, дедалі більше людей стикається із зниженням слуху, що впливає на якість їхнього життя та працездатність.

На початкових стадіях погіршення слуху симптоми часто незначні, і люди не завжди звертають на них увагу, що призводить до прогресування проблеми. До того ж сучасний ритм життя та обмежений доступ до медичних послуг стають на заваді своєчасному діагностуванню слуху. З огляду на це, існує потреба у створенні доступних і зручних інструментів для самодіагностики та контролю стану слуху.

Аналіз існуючих рішень у цій сфері показав, що вже існують патенти та продукти, які пропонують аудіометричні обстеження, проте більшість із них або вимагають використання спеціалізованого обладнання, або призначені для професійного застосування. Представлені системи, як-от патенти EP2793118A1, US20180063618A1, та інші, мають обмежену доступність і не підходять для широкого використання. Водночас програмні продукти, такі як HearTest та Mimi Hearing Test, мають певні недоліки, зокрема потребу в спеціальних навушниках або обмежену функціональність.

**Актуальність.** У сучасному інформаційному суспільстві, де аудіовміст відіграє значну роль, розуміння аудітивного сприйняття користувачів стає критичним фактором для взаємодії зі звуковим середовищем. Це дослідження спрямоване на розробку програмного скрипта, який дозволить ефективно вивчати рівень аудітивного сприйняття в користувачів, що є важливим кроком у покращенні якості сприйняття звукової інформації.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дослідження виконано в рамках актуальних напрямків досліджень в області

аудіотехнологій та слухової діагностики, що відповідає пріоритетам розвитку сучасних інтерактивних технологій.

**Мета і задачі дослідження.** Метою даної магістерської дисертації є розробка суб'єктивного методу діагностики слуху за допомогою веб-застосунку. Такий підхід надасть користувачам можливість самостійно перевіряти слух у комфортних домашніх умовах, використовуючи доступ до інтернету та стандартні навушники. Основна перевага розробленого рішення полягає в його доступності, універсальності та відсутності необхідності в спеціальному обладнанні, що робить його привабливим для широкого кола користувачів.

Для досягнення цієї мети вирішено такі задачі:

- а) вивчення теоретичних аспектів аудітивного сприйняття;
- б) розробка алгоритмів, що адаптують параметри звуку до особливостей користувача;
- в) створення програмного скрипта для тестування аудітивного сприйняття;
- г) тестування розробленого скрипта на практиці;
- д) аналіз отриманих результатів та обґрунтування можливостей подальшого використання.

**Об'єкт дослідження:** процес аудітивного сприйняття користувачів.

**Предмет дослідження:** методи та програмні інструменти для оцінки та аналізу аудітивного сприйняття користувачів.

**Методи дослідження:** під час дослідження використано методи теоретичного аналізу, програмування та статистичної обробки даних.

**Наукова новизна:** розроблено програмний скрипт, який адаптується під індивідуальні особливості користувача, що дозволяє підвищити точність та ефективність дослідження аудітивного сприйняття.

**Практична значущість:** результати дослідження можуть бути застосовані для створення онлайн-сервісів, що дозволяють користувачам са-

можливо оцінювати стан свого слуху, а також у розробці аудіоінтерфейсів, адаптованих до індивідуальних потреб.

**Апробація результатів дослідження:** основні положення дослідження представлені на наукових конференції та у статтях, де отримали позитивну оцінку фахівців.

**Публікації:** Результати роботи апробовані на XV Міжнародній науково-технічній конференції молодих вчених «Електроніка-2024» Секція 4 «Інформаційно-обчислювальні засоби радіоелектронних систем» та опубліковані в журналі "ВЧЕНІ ЗАПИСКИ ТАВРІЙСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ІМЕНІ В.І. ВЕРНАДСЬКОГО" у Томі 35 (74) № 5, 2024..

З огляду на це, розробка нового веб-застосунку для діагностики слуху є актуальною, оскільки дозволить забезпечити зручний та ефективний спосіб перевірки слуху для всіх категорій користувачів. Це надасть можливість раннього виявлення проблем зі слухом, сприяючи своєчасному прийняттю заходів для їх усунення чи профілактики.

## РОЗДІЛ 1. Аналіз існуючих рішень

На даний момент існує декілька патентів на схожу тему, та два вже існуючих продукта. Почнемо аналіз з патентів.

### Патент EP2793118A1

Патент EP2793118A1 [1] має назву "Apparatus for inputting audiogram using touch input" ("Апарат для введення аудіограми за допомогою сенсорного введення").

Даний патент описує аудіограмний пристрій з сенсорним екраном (рисунок 1), який дозволяє користувачеві вводити аудіометричні дані шляхом вказування аудіотонів для різних частот слуху. Користувач може вибирати рівень гучності, на якому він чує звук для кожної частоти, що дозволяє створити аудіограму для його слуху. Для виконання тестування слехем необхідний лише сам пристрій та, імовірно, калібровані навушники (в патенті не описано за допомогою чого пристрій відтворює звук певної частоти та гучності).

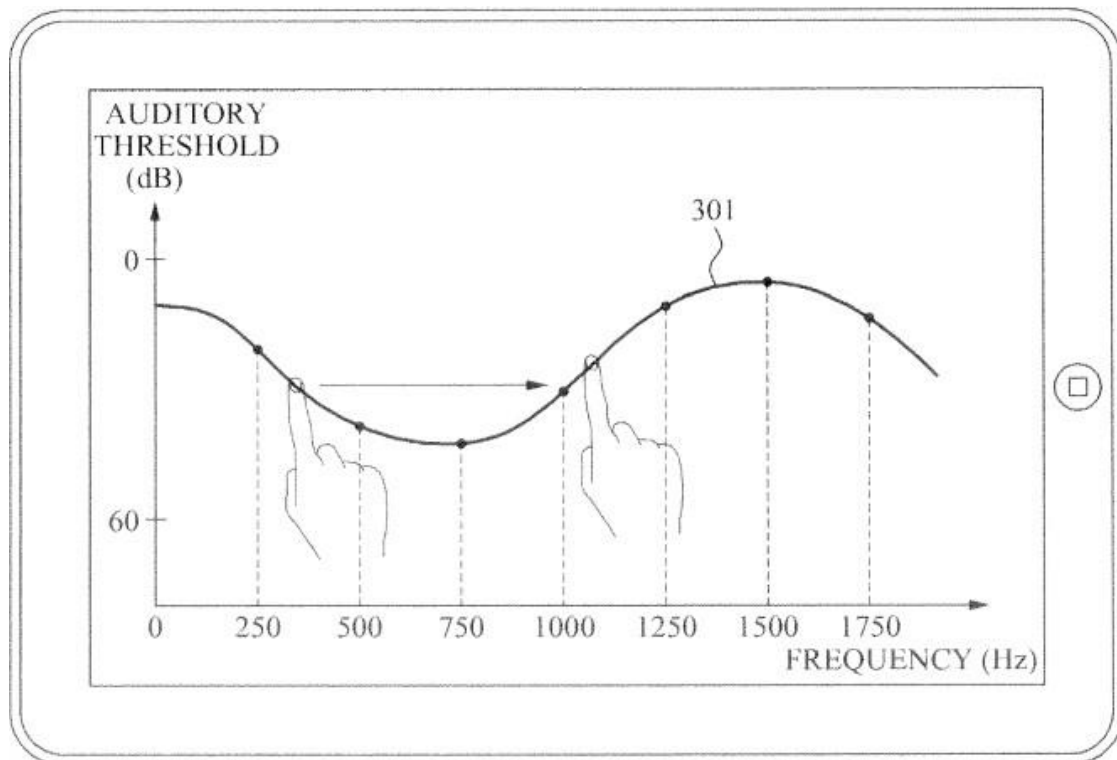


Рисунок 1 – Апарат для введення аудіограми за допомогою сенсорного введення

Завдяки використанню сенсорного екрана користувач може швидко та легко вказати аудітони для різних частот слуху, що сприяє створенню точної аудіограми. Унікальність пристрою полягає у можливості індивідуалізації параметрів для кожної частоти за допомогою сенсорно екрану, дозволяючи користувачу вибрати оптимальний рівень гучності для кожного звукового сигналу. Ця функція значно полегшує процес створення аудіограми та забезпечує більш точний та персоналізований результат. Що ще важливо, для використання цього пристрою не потрібне додаткове обладнання або програмне забезпечення, достатньо лише наявності самого пристрою з сенсорним екраном, що робить його надзвичайно зручним та доступним для широкого кола користувачів.

Перевагами використання даного пристрою є не лише його зручність роботи та компактні розміри, а й потенціал значно поліпшити доступність аудіометричних досліджень для користувачів усіх категорій. Малі розміри пристрою роблять його переносним і зручним у використанні навіть в обмежених просторах, що сприяє мобільності та гнучкості його застосування.

Важливою технічною доробкою може стати автоматизація процесу введення аудіометричних даних. Це дозволить уникнути можливих помилок, пов'язаних з людським фактором, і підвищить точність отриманих результатів. Крім того, важливим аспектом є розробка системи, яка передбачає автоматичне генерування звуків різних частот для користувача. Це дозволить уникнути неоднозначності і певного ризику помилок, пов'язаних з вибором джерела звуку та його відтворенням. Забезпечення точності та надійності цього процесу є важливою передумовою для використання пристрою у медичних установах та інших сферах діяльності, де необхідні точні аудіометричні вимірювання.

Також до недоліків пристрою можна віднести його вузьку направленість, через що дуже обмежений круг людей прийме рішення придбати собі цей пристрій. Більшість обере звичайний похід до лікаря, що робить цей пристрій професійним обладнанням, не для домашнього використання.

## Патент US20180063618A1

Патент US20180063618A1 [2] має назву "Earpiece for audiograms" ("Наушник для аудиограмм").

Наведений патент описує навушники з вбудованою системою керування (рисунок 2), яка забезпечує надзвичайно високу точність відтворення звуків певної частоти та гучності. Відмінною особливістю цього пристрою є його здатність забезпечити не лише високу якість звукової передачі, але й точне відтворення характеристик звуку, що є важливим для багатьох аудіовимірювань та досліджень та недоступне більшості звичайних навушників.

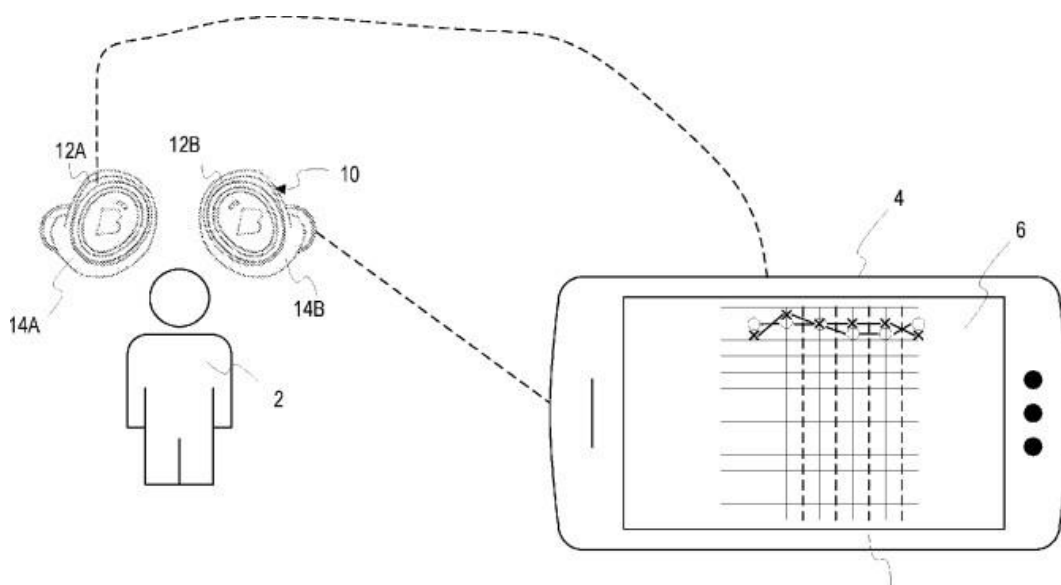


Рисунок 2 – Наушник для аудиограмм

У патенті також описана можливість додаткового обладнання навушників додатковими датчиками, такими як мікрофони, для підвищення точності відтворення звуків та збільшення функціональності пристрою. Це відкриває широкі можливості для застосування пристрою у різних сферах, включаючи аудіологію, телекомунікації та аудіоінженерію.

Крім того, в патенті розглядається можливість обладнання описаного пристрою системою бездротового зв'язку, що дозволить забезпечити максимальну зручність у користуванні та широкий радіус дії пристрою. Це робить пристрій універсальним і підходить для використання як у побутових умовах, так і у професійних аудіоінсталяціях та інших сферах, де важлива якість звукової передачі.

Представлений пристрій відкриває широкі можливості для проведення аудіотестування у спеціалізованих клініках та медичних установах з великою точністю, що є критично важливим для правильної постановки діагнозу та планування лікування.

Теоретична можливість підключення навушників до портативних пристроїв, таких як телефони, розширює функціональні можливості пристрою, дозволяючи виконувати аудіотестування пацієнтів навіть поза межами клініки. Це важливо для мобільних медичних бригад та спеціалістів, які працюють у сфері громадського здоров'я, оскільки дозволяє забезпечити швидкий та зручний доступ до аудіотестування для широкого кола пацієнтів.

Однак, слід зазначити, що хоча пристрій має великий потенціал для застосування в медичній практиці, його вузька спеціалізація та, можливо, значна вартість можуть стати перешкодою для його популяризації серед широкого кола користувачів. Такі обмеження можуть ускладнити масове використання пристрою у загальнодоступних медичних закладах або серед звичайних користувачів. Для того, щоб зробити цей продукт більш доступним, може знадобитися подальше дослідження та розвиток технологій для зменшення вартості та розширення функціональних можливостей пристрою.

## **Патент US7464595B2**

Патент US7464595B2 [3] має назву "Portable audiometer enclosed within a patient response mechanism housing" ("Портативний аудіометр, укладений у корпус механізму реакції пацієнта").

Цей патент присвячений портативному аудіометру, який інтегрований у корпус з механізмом реакції від пацієнта (рисунок 3). Зазначений пристрій призначений для проведення аудіометрії. Його функціональна можливість забезпечує проведення аудіометричних тестів у пацієнтів у будь-якому зручному місці, оскільки він має компактні розміри та можливість переносу. Більш того, наявність вбудованого механізму відгуку від пацієнта спрощує процедуру тестування, оскільки дозволяє пацієнту комфортно реагувати на акустичні сигнали та відповідати на них.

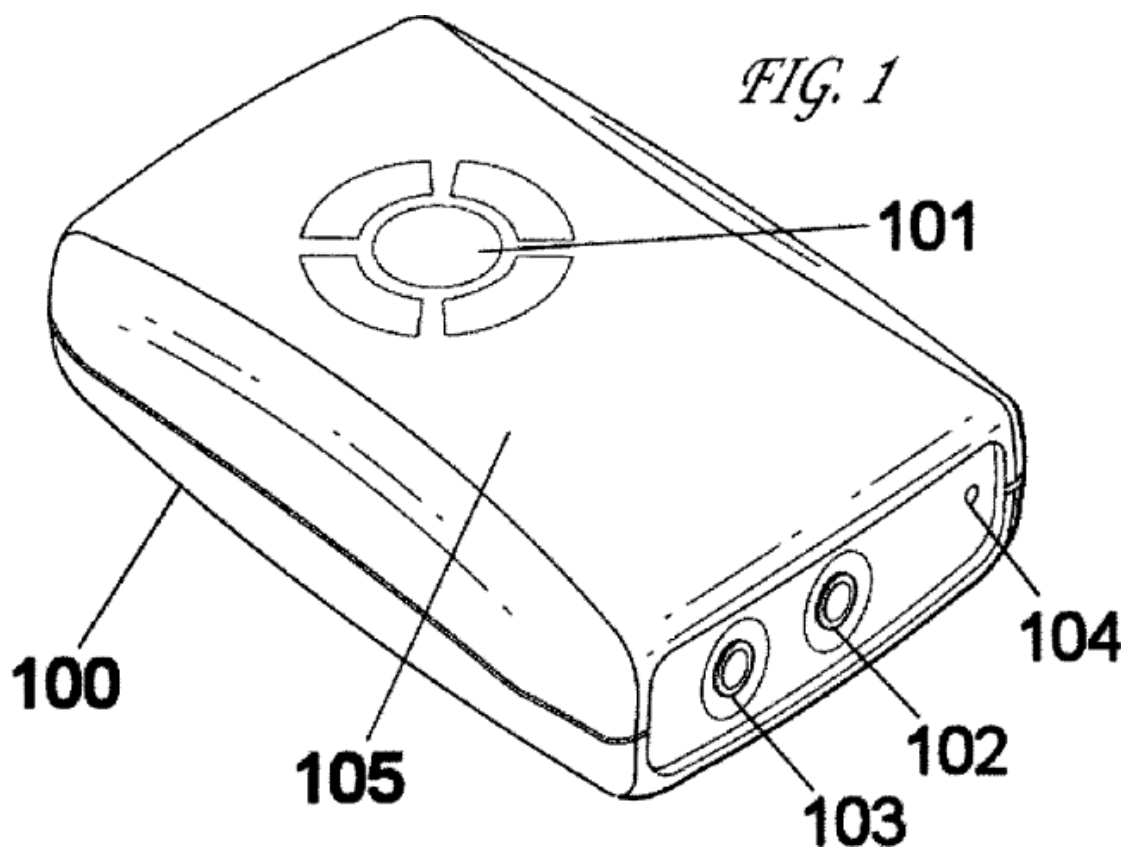


Рисунок 3 – Портативний аудіометр, укладений у корпус механізму реакції пацієнта

Результати тестування зберігаються та відображаються на підключеному комп'ютері, мобільному телефоні або іншому сумісному пристрої. Ця можливість взаємодії дозволяє користувачам керувати, зберігати та відновлювати дані, пов'язані з об'єктом тестування або самим тестом. Інтерфейс користувача на різних пристроях забезпечує однакову функціональність та загальний вигляд, незалежно від розміру екрану, орієнтації чи інших параметрів, які можуть відрізнятися між різними пристроями. Це забезпечує зручність та універсальність використання аудіометра у різних сценаріях та на різних пристроях. Для відтворення звуку використовуються навушники, в патенті не описані додаткові вимоги до них, тому вважаємо що допускається використання будь-яких навушників.

Пристрій відрізняється простотою в експлуатації, проте його алгоритм роботи обумовлений підключеним пристроєм, таким як персональний комп'ютер або мобільний телефон. Це може вважатися недоліком,

оскільки пристрій не є самодостатнім у плані функціональності. Проте цей простий підхід надає можливість виконання різних тестів шляхом зміни налаштувань підключеного пристрою.

Потрібно відзначити, що у патенті не висвітлено процедуру перевірки сумісності навушників та їх амплітудно-частотних характеристик (АЧХ).

## **Патент US3054855A**

Патент US3054855A [4] має назву "Audiometer" ("Аудіометр").

Зазначений патент, датований 1962 роком, представляє собою один із перших виробів у сфері аудіометрії. Представлений аудіометр (рисунок 4), хоча й вважається портативним у контексті стандартів того часу, є великим у порівнянні з сучасними розробками. Використовуючи його, можна здійснити відносно точне вимірювання чутливості та гостроти слуху у пацієнтів в межах основного діапазону частот звуку доступного для сприйняття людиною. Важливо підкреслити, що пристрій має здатність вимірювати втрату слуху на рівні, що становить приблизно 80% від нормального, у діапазоні частот від 100 до 8000 Гц.

Зважаючи на значний прогрес у сфері аудіометрії з моменту патентування даного винаходу, сам прилад залишається вкрай застарілим у сучасному контексті. Він характеризується значними розмірами та відсутністю засобів для збереження результатів тестування. Для його використання обов'язково потрібний кваліфікований спеціаліст, що робить його непрактичним для широкого застосування у сучасній медичній практиці.

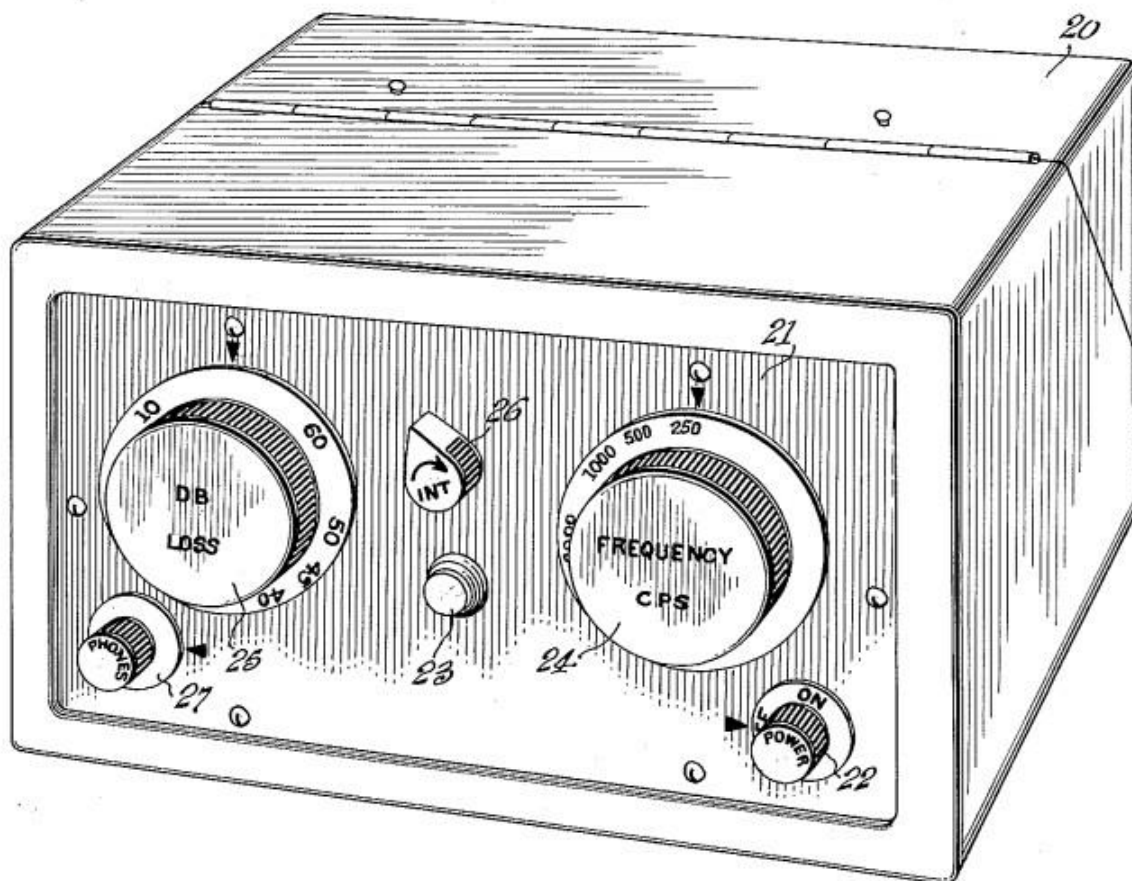


Рисунок 4 – Аудиометр

Що до вже існуючих продуктів – це система онлайн-тестування слуху "HearTest" [5] та мобільний додаток "Mimi Hearing Test" [6].

### **HearTest**

Система онлайн-тестування слуху "HearTest" є інноваційним засобом для оцінки акустичних спроможностей і якості слуху у користувачів. Розроблена на базі сучасних методів обробки сигналів та психоакустичних моделей, HearTest відображає високу точність та надійність у проведенні аудіометричних тестів через Інтернет.

HearTest пропонує ряд тестів, спрямованих на визначення рівня чутливості та діапазону слухової функції користувача. Застосовані аудіометричні процедури відображаються у вигляді спеціалізованих завдань з аудіосигналами, що вимагають від користувача реакції на звукові стимули різної інтенсивності та частоти.

Система забезпечує можливість налаштування параметрів тестування відповідно до потреб дослідження, включаючи вибір мови, рівня складності, та типу тесту. Доступні варіанти включають прості акустичні тести, такі як визначення порогу слухової чутливості, а також більш складні завдання, наприклад, визначення розрізнення між звуками різної частоти та інтенсивності.

HearTest базується на передових алгоритмах обробки сигналів та адаптивних методах, що дозволяють коректно аналізувати результати тестування в реальному часі. Використання передових веб-технологій забезпечує швидкий і стабільний доступ до системи з будь-якого пристрою з Інтернет-підключенням.

HearTest представляє собою потужний інструмент для проведення аудіометричних тестів онлайн, що відкриває нові можливості для дослідження слухових функцій та виявлення порушень слуху. Його висока точність, доступність та зручний інтерфейс роблять HearTest важливим засобом для спостереження за станом слуху в різних областях, включаючи медицину, освіту та дослідницьку діяльність.

Проте, незважаючи на те що ця система основана на онлайн тестуванні для роботи з нею необхідно замовити спеціальні навушники Sennheiser HD 280 Pro Headphones або RadioEar DD450 Headphones через що не можна просто для профілактики пройти тестування, на це доведеться витратити значну сумму грошей. Така система підійде для людей яким вже поставили діагноз та їм потрібно регулярно проводити тестування. Така система дозволить їм зменшити кількість відвідувань лікаря, та проводити тестування вдома.

## **Mimi Hearing Test**

Мобільний додаток "Mimi Hearing Test" представляє інноваційний підхід до оцінки функцій слуху через зручний та доступний інтерфейс мобільного пристрою. Цей додаток використовує передові алгоритми обробки сигналів та психоакустичні моделі для надання користувачам можливості оцінки їх слухових можливостей у зручний для них час та місце.

"Mimi Hearing Test" надає користувачам можливість виконати серію тестів, які вимірюють рівень чутливості слуху та діапазон слухової функ-

ції. Додаток пропонує аудіометричні завдання, що забезпечують виведення звукових сигналів різної інтенсивності та частоти для подальшого аналізу реакції користувача на них.

"Mimi Hearing Test" забезпечує можливість персоналізації тестів у відповідності до індивідуальних потреб користувача, включаючи налаштування рівня складності, типу тесту та мови інтерфейсу. Інтуїтивний дизайн та простота використання роблять додаток доступним для широкого кола користувачів.

"Mimi Hearing Test" використовує передові технології обробки сигналів та машинного навчання для точного аналізу результатів тестування. Додаток використовує навушники підключені до мобільного пристрою для відтворення звукових сигналів та сенсорний дисплей пристрою для реєстрації реакцій користувача на них.

Мобільний додаток "Mimi Hearing Test" є важливим інструментом для самостійної оцінки слухових функцій користувачів з використанням сучасних технологій та аудіометричних методів. Завдяки своїй доступності та точності, "Mimi Hearing Test" відкриває нові можливості для контролю та догляду за слухом, що робить його важливим інструментом у сфері здоров'я та добробуту.

Даний додаток є, на даний момент, кращим з вже розроблених методів проведення тестування, з доступних звичайним людям, не лікарям. Проте він присутній лише на пристроях компанії "Apple", що обмежує доступність цього методу для звичайних людей.

## **Висновок до першого розділу**

На основі проведеного аналізу існуючих патентів та продуктів у сфері аудіометрії можна зробити декілька висновків, які демонструють поточний стан технологій і їхній потенціал для подальшого розвитку.

По-перше, патент EP2793118A1 пропонує зручний та інноваційний підхід до створення аудіограм за допомогою сенсорного екрана. Основними перевагами даного рішення є його компактність, простота у використанні та можливість індивідуального налаштування параметрів для кожного користувача. Однак, обмеженнями є вузька спрямованість пристрою, що ускладнює його популяризацію серед широкої аудиторії, а також від-

сутність автоматизації тестування, що може вплинути на точність результатів.

Патент US20180063618A1 зосереджується на створенні навушників із високою точністю відтворення звуків. Додаткові можливості, такі як вбудовані мікрофони та система бездротового зв'язку, значно розширюють сферу застосування пристрою. Проте висока вартість і спеціалізація пристрою можуть обмежувати його доступність для пересічних користувачів.

Патент US7464595B2 представляє портативний аудіометр із механізмом реакції пацієнта, який забезпечує зручність тестування в будь-якому місці. Водночас його залежність від підключеного обладнання та відсутність універсальності у використанні навушників є суттєвими недоліками.

Патент US3054855A, хоча й є історичним прикладом у галузі аудіометрії, демонструє значні обмеження через застарілість технологій, громіздкість і необхідність залучення спеціалістів для роботи з пристроєм. Цей патент, скоріше, є орієнтиром для оцінки прогресу в розробці сучасних аудіометричних систем.

Із сучасних рішень слід відзначити систему HearTest та мобільний додаток Mimi Hearing Test. HearTest використовує передові алгоритми обробки сигналів і дозволяє проводити тестування слуху онлайн із високою точністю. Водночас додаток Mimi Hearing Test надає зручний інтерфейс і можливість тестування на мобільних пристроях, що робить його доступним для широкого кола користувачів. Однак обидва продукти мають свої обмеження, пов'язані з необхідністю використання спеціалізованих навушників та потенційною похибкою через відсутність стандартизації серед користувацького обладнання.

Загалом, проведений аналіз показує, що існуючі рішення мають значний потенціал для подальшого вдосконалення. Основними напрямками розвитку є підвищення точності тестування, забезпечення автоматизації процесів, зниження вартості пристроїв та інтеграція з сучасними мобільними технологіями для розширення доступності. Отримані результати створюють основу для розробки інноваційного рішення в галузі суб'єктивної аудіометрії, що поєднає зручність, точність і доступність.

## РОЗДІЛ 2. Аналіз методів

У даному розділі проведемо детальний аналіз доступних на сьогодні методів дослідження слуху людини. Розгляд різних методів є важливим для розуміння їх переваг, недоліків і можливостей, що можуть бути використані в подальшій практиці.

### 2.1 Суб'єктивний метод тестування слуху

Суб'єктивні методи тестування слуху [7] базуються на сприйнятті та реакціях пацієнта. Це можуть бути різноманітні тести, які оцінюють сприйняття звуку та здатність особи визначати звукові сигнали. Основним аспектом суб'єктивного методу є те, що результати залежать від активної участі пацієнта, що може бути як перевагою, так і недоліком.

Переваги цього методу полягають у його простоті та доступності. Тестування може проводитися в умовах, наближених до реального життя, що дозволяє отримати точні дані про слухову спроможність у звичайних умовах. Суб'єктивні методи часто використовуються для виявлення суб'єктивних відчуттів пацієнта, таких як шум у вухах або дискомфорт при сприйнятті звуку.

Проте, недоліками суб'єктивного методу є можливість впливу психологічних факторів на результати. Наприклад, стрес, втома або навіть настрої пацієнта можуть істотно змінити результати тестування. Також цей метод не дозволяє точно визначити порогові значення слуху, оскільки пацієнти можуть давати неоднозначні відповіді.

Необхідно також відзначити, що суб'єктивні методи не завжди підходять для всіх пацієнтів, особливо для дітей або осіб з когнітивними розладами. В таких випадках, можливо, доцільніше використовувати об'єктивні методи, які не вимагають активної участі пацієнта.

З огляду на всі ці аспекти, суб'єктивні методи залишаються важливим інструментом в арсеналі аудіології, проте їх результати завжди слід інтерпретувати з обережністю та у поєднанні з іншими методами тестування слуху.

## 2.2 Об'єктивний метод тестування

Об'єктивні методи тестування слуху не залежать від свідомості пацієнта. Вони базуються на фізичних характеристиках звукових сигналів і вимірюють реакції слухового апарату. Одним з основних об'єктивних методів є імпедансометрія, яка дозволяє оцінити стан середнього вуха, а також методи, що аналізують слухову реакцію на звукові стимули.

Об'єктивні методи забезпечують більш точні результати і можуть використовуватися для оцінки слуху у пацієнтів, які не можуть активно співпрацювати під час тестування, таких як маленькі діти або особи з когнітивними розладами. Вони також є корисними для моніторингу слухових функцій у пацієнтів, які проходять лікування.

Важливою перевагою об'єктивних методів є їх здатність давати інформацію про стан слухового апарату незалежно від суб'єктивних відчуттів пацієнта. Це особливо корисно в ситуаціях, коли пацієнт не може точно оцінити своє сприйняття звуку.

Проте, об'єктивні методи мають і свої обмеження. Наприклад, для їх використання необхідне спеціальне обладнання, що може бути недоступним у деяких медичних закладах. Крім того, результати можуть варіюватися залежно від технічного оснащення та кваліфікації фахівців, що проводить тестування.

Загалом, об'єктивні методи тестування слуху є важливим інструментом в аудіології, оскільки вони забезпечують точні дані про стан слухового апарату, що може бути корисним для встановлення діагнозу та розробки лікувальних стратегій.

## 2.3 Аудіограми

Аудіограма — це графічне представлення слухових порогів пацієнта для різних частот, що зазвичай створюється в процесі тональної порогової аудіометрії. Цей метод дозволяє візуалізувати рівень сприйняття звуку на різних частотах, що є критично важливим для діагностики різних форм втрати слуху. Аудіограми складаються з осі частот і осі інтенсивності звуку, що дозволяє лікарю швидко оцінити стан слуху пацієнта.

Важливим аспектом аудіограм є її здатність показувати не лише нормальний слух, але й відхилення, такі як кондуктивна або сенсоневральна втрата слуху. Залежно від форми втрати слуху, аудіограма може мати різні характеристики, що дозволяє лікарю ставити більш точний діагноз.

Аудіограми також використовуються для моніторингу прогресу слухових втрат або ефективності слухових апаратів. Порівняння аудіограм, отриманих у різний час, може дати змогу виявити зміни в стані слуху, що є важливим для оцінки лікування та подальших заходів.

Аудіограма також вимагає дотримання певних умов тестування: відсутність шуму, адекватна підготовка пацієнта та правильне калібрування апарату. У разі недотримання цих умов результати можуть бути спотворені, тому важливо, щоб тестування проводилось кваліфікованими фахівцями.

## **2.4 Тональна порогова аудіометрія**

Тональна порогова аудіометрія є основним методом оцінки слуху, що дозволяє визначити найнижчий рівень звукового тиску, який сприймає пацієнт. Процедура зазвичай полягає в поступовому зниженні звукових сигналів до тих пір, поки пацієнт не зможе їх почути. Цей метод є стандартом у діагностиці слуху і використовуються для виявлення як кондуктивної, так і сенсоневральної втрати слуху.

Аудіометр може генерувати звуки на різних частотах, що дозволяє створити детальну картину слухових функцій пацієнта. Результати тестування записуються у вигляді аудіограми, яка показує слухові пороги для різних частот.

Тональна порогова аудіометрія є дуже чутливим методом, що дозволяє виявити навіть легкі форми втрати слуху. Цей метод також дозволяє оцінити стан слуху у пацієнтів, які можуть не усвідомлювати свої проблеми зі слухом, особливо у старшому віці.

Проте, як і в усіх методах, існують певні недоліки. Наприклад, результати можуть бути спотворені в умовах шуму або якщо пацієнт не дотримується інструкцій під час тестування. Також варто зазначити, що цей метод не може оцінити функцію середнього вуха або внутрішнього вуха без використання додаткових тестів.

Загалом, тональна порогова аудіометрія є надзвичайно корисним методом для оцінки слуху і виявлення втрат слуху, проте вона має бути використана в поєднанні з іншими методами для отримання найбільш повної інформації.

## **2.5 Надпорогова тональна аудіометрія**

Надпорогова тональна аудіометрія є важливим доповненням до тональної порогової аудіометрії, оскільки дозволяє оцінити, наскільки пацієнт може сприймати звуки, що перевищують поріг слуху. Цей метод полягає в тестуванні звукових сигналів, які є значно гучнішими, ніж порогові значення, щоб визначити, чи пацієнт може їх почути і в якій мірі.

Однією з основних цілей надпорогової тональної аудіометрії є виявлення змін у слуховій функції, які можуть не бути очевидними під час традиційних тестів. Цей метод може бути особливо корисним для осіб, які мають часткову втрату слуху або проблеми з сприйняттям звуку на різних частотах.

Надпорогова тональна аудіометрія також дозволяє оцінити дискомфортні пороги, тобто рівень звуку, при якому пацієнт відчуває дискомфорт. Це може допомогти в підборі слухових апаратів та корекції звуку для покращення слуху пацієнта.

Проте, важливо враховувати, що надпорогова тональна аудіометрія, хоча і є корисним методом, не дає повного уявлення про загальний стан слуху. Для отримання найбільш точних результатів цей метод слід використовувати разом із тональною пороговою аудіометрією та іншими методами.

Таким чином, надпорогова тональна аудіометрія є важливим інструментом для оцінки слухових функцій та підбору адекватних слухових апаратів, особливо у випадках, коли традиційні методи можуть не надати достатньої інформації.

## **2.6 Мовна аудіометрія**

Мовна аудіометрія зосереджена на сприйнятті мовних сигналів, що є критично важливим для оцінки функціонального слуху. Цей метод дозволяє визначити, як пацієнт розуміє мову в умовах фонових шумів, що наближає умови тестування до реального життя.

Мовна аудіометрія включає в себе використання різних мовних тестів, таких як визначення слів у шумі або повторення слів після їх почуття. Цей метод дозволяє оцінити не лише слухову функцію, але й розуміння мови, що є надзвичайно важливим у повсякденному спілкуванні.

Однією з ключових переваг мовної аудіометрії є її здатність оцінювати слух у пацієнтів із різними формами втрати слуху, зокрема в осіб, які можуть не усвідомлювати свої проблеми зі слухом. Це особливо важливо для осіб похилого віку, які можуть стикатися з труднощами у спілкуванні.

Проте, мовна аудіометрія також має свої недоліки. Наприклад, результати можуть залежати від артикуляції мовця або рівня фону, що може спотворити дані. Крім того, не всі пацієнти можуть бути однаково підготовлені до проходження тестування, що може вплинути на результати.

Важливо, щоб мовна аудіометрія проводилася в контрольованих умовах з мінімальними фоновими шумами. Це забезпечить точність результатів та дозволить виявити можливі проблеми зі слухом у пацієнтів.

Загалом, мовна аудіометрія є невід'ємною частиною оцінки слухових функцій, оскільки вона надає цінну інформацію про те, як пацієнт сприймає мову в умовах, наближених до реального життя.

## **2.7 Високочастотна (ВЧ) аудіометрія**

Високочастотна аудіометрія використовується для оцінки слуху в діапазоні високих частот, які можуть бути важливими для розуміння мови та сприйняття звукових сигналів. Цей метод особливо корисний для виявлення ранніх ознак втрати слуху, яка може бути непомітною при традиційних методах тестування.

Високочастотна аудіометрія дозволяє виявити зміни у слуху, які можуть свідчити про патологію у внутрішньому вусі. Це може бути особ-

ливо актуальним для осіб, які піддаються впливу гучного шуму, наприклад, працівників на виробництві або музикантів.

Перевагою високочастотної аудіометрії є її здатність виявляти специфічні порушення слуху, які можуть залишитися непоміченими під час традиційних тестів. Цей метод також може бути корисним для моніторингу прогресу слухових втрат у пацієнтів, які піддаються лікуванню або носінню слухових апаратів.

Проте, високочастотна аудіометрія не є універсальним методом, і результати можуть варіюватися залежно від віку пацієнта та індивідуальних характеристик слухового апарату. Тому важливо використовувати цей метод у поєднанні з іншими тестами для отримання найбільш точних результатів.

Високочастотна аудіометрія вимагає спеціального обладнання та підготовки, оскільки не всі аудіометри здатні вимірювати вищі частоти. Це може обмежити доступність цього методу у деяких медичних установах.

Загалом, високочастотна аудіометрія є важливим інструментом для оцінки слуху та виявлення ранніх ознак втрати слуху, які можуть бути критично важливими для збереження слуху.

## **2.8 Огляд методів акустичної імпедансометрії**

Методи акустичної імпедансометрії використовуються для оцінки функції середнього вуха. Вони вимірюють, як звук передається через вушну раковину, барабанну перетинку та слухові кісточки. Цей метод може дати цінну інформацію про стан середнього вуха, виявляючи такі проблеми, як отит, порушення рухливості барабанної перетинки та інші аномалії.

Акустична імпедансометрія зазвичай включає вимірювання тиску у вусі і реакції барабанної перетинки на зміни тиску. Цей тест дозволяє оцінити, наскільки ефективно середнє вухо передає звукові сигнали до внутрішнього вуха.

Однією з ключових переваг акустичної імпедансометрії є її здатність виявляти проблеми, які можуть бути непомітні при звичайних мето-

дах тестування слуху. Це дозволяє лікарям швидше діагностувати проблеми та розробити відповідні стратегії лікування.

Проте, важливо пам'ятати, що акустична імпедансометрія не є самостійним методом тестування слуху. Для отримання повної картини стану слуху пацієнта слід поєднувати цей метод з іншими тестами, такими як тональна порогова аудіометрія або мовна аудіометрія.

Крім того, акустична імпедансометрія вимагає використання спеціального обладнання, що може бути недоступним у деяких медичних установах. Це може обмежити можливість використання цього методу для деяких пацієнтів.

У підсумку, акустична імпедансометрія є важливим інструментом для оцінки стану середнього вуха та діагностики можливих проблем, які можуть впливати на слух.

## **2.9 Тимпанометрія**

Тимпанометрія є важливим методом, що вимірює реакцію барабанної перетинки на зміну тиску в слуховому проході. Цей тест дозволяє оцінити функцію середнього вуха та виявити можливі аномалії, такі як отит або порушення рухливості барабанної перетинки. Процедура включає введення маленького зонда у вуха, що змінює тиск, і вимірює, наскільки барабанна перетинка рухається у відповідь на ці зміни.

Тимпанометрія може дати змогу виявити проблеми, які не можуть бути визначені іншими методами, і є корисною для діагностики пацієнтів, які скаржаться на болі у вусі або проблеми зі слухом. Цей метод є швидким, безболісним і відносно простим у виконанні.

Один з ключових аспектів тимпанометрії полягає в тому, що вона може виявити наявність рідини у середньому вусі, що може бути ознакою отиту. Це важливо для своєчасного лікування та запобігання серйознішим проблемам зі слухом.

Проте, слід зазначити, що тимпанометрія не є методом оцінки слуху, а швидше способом оцінки функції середнього вуха. Тому результати слід інтерпретувати у поєднанні з іншими тестами слуху, щоб отримати повну картину стану слуху пацієнта.

Важливо також враховувати, що тимпанометрія може дати хибно-позитивні результати у пацієнтів з певними умовами, такими як закупорка вушного каналу або сильний вплив шуму.

У підсумку, тимпанометрія є корисним методом для виявлення аномалій середнього вуха, який може допомогти в діагностиці та лікуванні проблем зі слухом.

## **2.10 Акустична рефлексометрія**

Акустична рефлексометрія є важливим діагностичним методом, який використовується для оцінки функції середнього вуха та слухового нерва. Цей метод заснований на вимірюванні рефлексної реакції м'язів, які знаходяться у середньому вусі, у відповідь на звукові стимули. Акустична рефлексометрія дозволяє виявити наявність або відсутність звукового рефлексу, що може свідчити про різні порушення у слуховій системі.

Процедура акустичної рефлексометрії включає подачу звукових сигналів певної інтенсивності та частоти через вушний канал. У відповідь на ці сигнали, м'язи, які підтримують барабанну перетинку, реагують, зменшуючи її рухливість. Вимірювання цієї реакції дозволяє лікарю оцінити, наскільки добре функціонують слухові структури, а також виявити можливі аномалії.

Акустична рефлексометрія є корисною у діагностиці різних станів, таких як порушення слуху, які пов'язані з ураженнями слухового нерва або середнього вуха. Наприклад, відсутність акустичного рефлексу може свідчити про порушення в слуховій системі, такі як сенсоневральна втрата слуху, тоді як нормальний рефлекс може свідчити про те, що слухова система функціонує належним чином.

Крім того, акустична рефлексометрія може бути корисною у моніторингу пацієнтів, які проходять лікування, що може впливати на слухову систему. Це дозволяє лікарям оцінити ефективність лікування та вчасно вжити необхідних заходів у разі виявлення змін.

Проте, важливо зазначити, що акустична рефлексометрія не є самостійним методом оцінки слуху. Для отримання найбільш точної інформації про стан слухової системи цей метод слід поєднувати з іншими тестами, такими як тимпанометрія або тональна порогова аудіометрія.

Крім того, акустична рефлексоμετрія може дати хибнопозитивні або хибнонегативні результати, залежно від умов проведення тесту або стану пацієнта. Наприклад, у пацієнтів з сильною втратою слуху або обмеженою рухливістю барабанної перетинки результати можуть бути неінформативними.

## **Висновки до другого розділу**

Аналіз методів дослідження слуху людини виявив широкий спектр доступних інструментів, кожен з яких має свої переваги та обмеження. Суб'єктивні методи, такі як тональна порогова і надпорогова аудіометрія, а також мовна аудіометрія, надають цінну інформацію про слухову функцію пацієнта, але можуть бути обмеженими в контексті інтерпретації результатів. Об'єктивні методи, такі як акустична імпедансометрія, тимпанометрія та акустична рефлексоμετрія, дозволяють виявити аномалії середнього вуха та слухового нерва, що важливо для своєчасної діагностики.

Комбінація різних методів дослідження дозволяє отримати більш точну та всебічну оцінку слуху пацієнта, що є критично важливим для вибору адекватних лікувальних стратегій. Однак слід пам'ятати, що жоден з методів не є самостійним і найкращі результати досягаються при комплексному підході до діагностики. Це підкреслює важливість мультидисциплінарного підходу в медицині, що дозволяє лікарям забезпечити пацієнтам найвищий рівень догляду та ефективності лікування.

## РОЗДІЛ 3. Опис алгоритму та роботи скрипта

Даний розділ присвячений детальному опису алгоритму роботи скрипта, який застосовується для проведення тестування чутливості слуху користувачів. Алгоритм реалізує суб'єктивний метод тестування слуху, використовуючи генерацію звукових сигналів та реєстрацію реакції користувача на звуки різних частот і гучності. Такий підхід дозволяє отримати індивідуальні дані про рівень чутливості слуху та зберегти їх для подальшого аналізу. На рисунку 3.1 наведено блок-схему даного скрипта.

### 3.1 Ініціалізація

На початковому етапі роботи скрипта відбувається ініціалізація всіх необхідних змінних і параметрів. Зокрема, встановлюються наступні значення:

- Початкова частота звукового сигналу, яка, зазвичай, складає 1 000 Гц.
- Початкова гучність звуку — мінімальне значення, яке може бути почуте користувачем.
- Кроки зміни частоти та гучності, які будуть використовуватися під час тестування.
- Максимальні значення частоти (20 кГц) та гучності (100%).
- Час очікування реакції користувача після відтворення звукового сигналу, що встановлюється в 2 секунди.

Після ініціалізації цих параметрів скрипт готовий до запуску циклу тестування.

### 3.2 Генерація звуку

На кожному етапі тестування скрипт генерує звуковий сигнал відповідно до поточних значень частоти та гучності. Звукові сигнали створюються за допомогою генератора звукових хвиль або програмних бібліотек для обробки аудіо. Кожен сигнал має певну тривалість та відтворюється через навушники, які підключені до комп'ютера або телефона користувача. Це дозволяє забезпечити точне та контрольоване подання звукового сигналу.



### **3.3 Очікування відповіді користувача**

Після генерації звукового сигналу скрипт переходить у стан очікування реакції користувача. Користувачу надається інструкція натиснути клавішу "а", якщо він чує звук. Скрипт очікує натискання протягом встановленого часу (2 секунди). Якщо користувач не реагує протягом цього часу, це означає, що звук не був почутий, і скрипт переходить до наступного етапу.

### **3.4 Аналіз відповіді**

Якщо користувач натискає клавішу "а", скрипт фіксує, що звуковий сигнал був почутий, та зберігає поточні значення частоти та гучності. Після цього система переходить до наступної частоти звукового сигналу, а гучність повертається на початковий рівень. Якщо ж користувач не реагує на звук, скрипт підвищує гучність звуку на один крок і повторює подачу сигналу.

У випадку, коли максимальна гучність досягнута, а користувач все ще не чує звук, скрипт збільшує частоту звуку на один крок і знову встановлює мінімальну гучність. Таким чином, тестування продовжується до досягнення максимальної частоти звуку (20 кГц).

### **3.5 Адаптація параметрів звуку**

З метою підвищення точності та ефективності тестування до алгоритму роботи скрипта було впроваджено адаптивні механізми. Серед них:

- Якщо користувач не чує звук після 10 підвищень гучності, початкова гучність наступних звукових сигналів збільшується. Це дозволяє уникнути зайвих повторень на тих частотах, які користувач не чує.

- Якщо користувач реагує на звук при мінімальній гучності, цей параметр поступово зменшується, щоб точніше визначити поріг слухової чутливості.

- У випадку, коли користувач не чує звук після 15 кроків підвищення гучності, швидкість наростання гучності збільшується для прискорення тестування.

### **3.6 Повторення циклу тестування**

Цикл тестування повторюється для всіх частот звукового діапазону. Таким чином, скрипт поступово підвищує частоту звукових сигналів, одночасно змінюючи гучність, доки не будуть протестовані всі частоти від мінімуму (1 кГц) до максимуму (20 кГц).

### **3.7 Збереження результатів**

Після завершення тестування скрипт зберігає результати у файл. У цьому файлі містяться дані про частоти звуку та гучності, при яких користувач чув або не чув звуковий сигнал. Ці дані можуть бути використані для подальшого аналізу або побудови аудіограми користувача.

### **3.8 Відображення результатів**

Результати дослідження представлені у вигляді таблиці та графіка. Таблиця містить такі дані, як частоти звукових сигналів та відповідні гучності, при яких користувач почув звук. Графік демонструє залежність чутливості слуху від частоти. Ці дані дозволяють візуалізувати порогові значення слухової чутливості користувача для кожної частоти.

Також скрипт може показувати порівняння отриманих результатів з нормальними значеннями слухової чутливості для відповідної вікової категорії. У разі виявлення значних відхилень від норми користувачеві може бути запропоновано звернутися до лікаря для подальшого діагностування.

### **3.9 Веб-застосунок для тестування слуху**

Хоча скрипт може бути реалізований як окреме програмне забезпечення для локального використання, більш зручним та доступним для користувачів рішенням є створення веб-застосунку. Веб-застосунок надає можливість проводити тестування слуху без необхідності встановлення спеціалізованого програмного забезпечення, що спрощує доступ до тесту для більш широкої аудиторії.

Основною перевагою веб-застосунку є можливість порівняння результатів тестування між різними користувачами. Це дозволяє не тільки визначати індивідуальні порогові значення чутливості слуху, але й порівнювати їх із середніми показниками інших користувачів з тієї ж вікової

групи, статі, або інших категорій. Наприклад, результати 20-річного чоловіка можна порівняти з середніми показниками слуху чоловіків у віковому діапазоні 18-25 років, а 40-річної жінки — з результатами жінок віком 35-45 років.

Враховуючи що кожен користувач може використовувати навушники з різними акустичними властивостями, а також різні пристрої для відтворення звуку з невідомими рівнями потужності. У зв'язку з цим, порівняння результатів за абсолютними показниками гучності не є доцільним. Натомість доцільніше використовувати відносні показники чутливості слуху. Це дозволить враховувати індивідуальні відмінності в обладнанні і при цьому порівнювати слух користувача з іншими людьми в межах однієї категорії.

В майбутньому, веб-застосунок може розширитися функціоналом, включаючи не лише індивідуальні тести, але й анонімізовані дані інших користувачів, які надають більш детальну статистику для порівняння. Крім того, застосунок може пропонувати рекомендації для користувачів, чий результат суттєво відхиляється від норми, пропонуючи звернутися до лікаря для подальшого обстеження.

## **Висновки до третього розділу**

У цьому розділі було детально розглянуто алгоритм роботи скрипта для суб'єктивного тестування слуху, який є основою реалізації методу оцінки слухової чутливості. Розкрито ключові етапи роботи скрипта, такі як ініціалізація параметрів, генерація звукових сигналів, очікування відповіді користувача, аналіз реакцій, адаптація параметрів звуку та збереження результатів.

Описаний алгоритм демонструє ефективність використання адаптивних підходів, що дозволяють оптимізувати процес тестування і підвищити точність отриманих даних. Завдяки використанню циклічної перевірки на всьому діапазоні частот, результати тестування забезпечують формування індивідуального профілю слухової чутливості користувача.

Особливу увагу було приділено збереженню та візуалізації результатів тестування, що створює можливість для подальшого аналізу, побудови аудіограм та виявлення відхилень від норми. Крім того, реалізація алгоритму у вигляді веб-застосунку забезпечує доступність тестування для широкої аудиторії, спрощує його використання та дозволяє інтегрувати статистичний аналіз результатів.

Розглянутий алгоритм роботи скрипта створює основу для впровадження сучасних підходів до діагностики слуху, а також відкриває перспективи для подальшого розвитку і вдосконалення системи суб'єктивного тестування.

## РОЗДІЛ 4. Практична частина

### 4.1 Реалізація веб-інтерфейсу для тестування слуху

Реалізація веб-інтерфейсу для тестування слуху була виконана за допомогою HTML та JavaScript. HTML забезпечує базову структуру веб-сторінки, тоді як JavaScript реалізує функціональність скрипта, включаючи генерацію звуків, обробку результатів тестування та взаємодію з користувачем.

#### Структура веб-сторінки та дизайн інтерфейсу

Веб-сторінка має простий інтерфейс, що містить елементи для взаємодії користувача з тестом:

- Кнопка "Старт", яка запускає тестування.
- Повідомлення та кнопки, що допомагають користувачеві виконати інструкції: налаштувати гучність, повторити звук чи перейти до наступного кроку тестування.
- Функціонал для відображення завершення тесту та завантаження результатів.

Основним принципом дизайну є мінімалізм і доступність, що дозволяє користувачеві легко орієнтуватися в процесі тестування.

#### Логіка роботи скрипта

Скрипт, написаний на JavaScript, використовує Web Audio API для генерації звуку. Основні етапи його роботи включають:

##### 1. Налаштування гучності системи користувача

Для зменшення впливу особливостей аудіосистем користувачів виконується попереднє налаштування гучності, яке складається з наступних кроків.

Генерація звуку здійснюється за допомогою генератора сигналу (осцилятора), який створює синусоїдальні хвилі певної частоти. Інтенсивність звуку (гучність) регулюється через вузол посилення (gain node). Звук відтворюється протягом однієї секунди, після чого осцилятор зупиняється.

Користувачеві пропонується налаштувати гучність пристрою так, щоб ледве чути тестовий звук із частотою 200 Гц і гучністю 50%.

## 2. Тестування слуху

На цьому кроці починається тестування на різних частотах, починаючи з 440 Гц. Частота поступово збільшується, а гучність стартує з мінімального рівня і підвищується на заданий крок, поки користувач не повідомить, що чує звук натиснувши кнопку "Почув", або гучність досягне максимального рівня.

## 3. Збереження результатів

Дані тестування, такі як частота та мінімальна гучність, за якої користувач почув звук, зберігаються в масиві. Після завершення тестування користувач може завантажити результати у форматі CSV.

## **Взаємодія користувача зі скриптом**

Користувач взаємодіє зі скриптом через кнопки, розташовані на сторінці:

- "Старт" — запускає процес тестування.
- "ОК" — підтверджує готовність до тестування та активує основний цикл генерації звуків.
- "Почув" — сигналізує, що користувач почув звук. Це дозволяє зафіксувати поточні дані (частоту та гучність) і перейти до наступного кроку.
- "Закінчити" — завершує тестування достроково.
- "Повторити звук" — дозволяє повторити тестовий звук для налаштування гучності.

## **Налаштування звуку та інструкції для користувача**

На початку тестування користувач отримує інструкцію налаштувати гучність пристрою таким чином, щоб ледве чути тестовий звук. Цей етап є критично важливим для точності результатів, оскільки він дозволяє уникнути помилок, спричинених занадто високою або низькою гучністю аудіосистеми користувача.

Протягом тесту користувач поступово оцінює свою чутливість до звуків різних частот, взаємодіючи зі скриптом через зрозумілі текстові підказки та кнопки. Завершивши тест, користувач може зберегти результати для подальшого аналізу.

Таким чином, розроблений скрипт забезпечує простий і зрозумілий процес тестування слуху, що може використовуватися як у домашніх умовах, так і для більш формальних досліджень.

Нижче наведена функція генерації звуку с заданою частотою та гучністю.

```
function generateSound(frequency, volume) {
    var oscillator = context.createOscillator();
    var gainNode = context.createGain();

    oscillator.type = 'sine';
    oscillator.frequency.value = frequency;
    gainNode.gain.value = volume;

    oscillator.connect(gainNode);
    gainNode.connect(context.destination);

    oscillator.start();

    setTimeout(function() {
        oscillator.stop();
    }, 1000);
    console.log("Playing sound with frequency " + frequency + " Hz
and volume " + volume);
}
```

Даний фрагмент коду реалізує функцію `generateSound`, яка відповідає за генерацію звукового сигналу заданої частоти та гучності. Її використання дозволяє динамічно створювати звуки для тестування слуху користувачів. Алгоритм функції складається з таких основних етапів:

#### 1. Створення осцилятора та вузла посилення

У межах аудіоконтексту `context` створюється осцилятор (`OscillatorNode`) для генерування звукових хвиль та вузол посилення (`GainNode`) для управління рівнем гучності.

#### 2. Встановлення параметрів звукового сигналу

Осцилятору присвоюється тип сигналу `sine`, що відповідає синусоїдальній формі хвилі, найбільш типовій для аудіометричних тестів. Частото-

та осцилятора задається через параметр `frequency`, а гучність регулюється параметром `volume`, який задається для вузла посилення.

### 3. Підключення вузлів до аудіоконтексту

Осцилятор підключається до вузла посилення, а вузол посилення — до виходу аудіоконтексту (`context.destination`). Це забезпечує коректне формування та передачу звукового сигналу до кінцевого пристрою відтворення (наприклад, навушників).

### 4. Запуск та зупинка генерації звуку

Звук починає відтворюватися після виклику методу `start()` для осцилятора. Для обмеження тривалості звучання використовується функція `setTimeout`, яка зупиняє осцилятор через 1 секунду за допомогою методу `stop()`.

### 5. Логування параметрів звуку

Для зручності відстеження параметрів роботи функції в консоль виводиться повідомлення з інформацією про частоту та гучність генерованого звуку.

Дана функція забезпечує точний контроль над параметрами звукового сигналу. Гнучкість функції дозволяє використовувати її в різних сценаріях, адаптуючи частоту та гучність звуку під потреби тестування.

Нижче наведена функція тестування адитивного сприйняття.

```
function testVolume(frequency) {
  generateSound(200, 0.5);
  var message = $('<p>Використовуючи регулювання гучності
на навушниках, налаштуйте гучність так, щоб ледве чути цей звук</p>');
  var TryButton = $('<button>Повторити звук</button>');
  var okButton = $('<button>ОК</button>');

  TryButton.click(function() {
    generateSound(200, 0.5);
  });
  okButton.click(function() {
    var MinVolume = 0.001;
    var currentVolume = MinVolume;
    var maxVolume = 1.0;
    var stepVolume = 0.003;
```

```

var interval = setInterval(function() {
    if (currentVolume >= maxVolume) {
        currentVolume = MinVolume;
        frequency *= 1.3;
        if (frequency > 20000) {
            clearInterval(interval);
            showCompletionMessage();
            downloadCSV();
            return;
        }
        generateSound(frequency, currentVolume);
    } else {
        currentVolume += stepVolume;
        generateSound(frequency, currentVolume);
    }
}, 500);

```

```

message.remove();
okButton.remove();
TryButton.remove();

```

```

var feelButton = $('<button>Почув</button>');
var endButton = $('<button>Закінчити</button>');
$('body').append(feelButton, endButton);

```

```

feelButton.click(function() {
    clearInterval(interval);
    results.push({ frequency:      frequency,      volume:
currentVolume });

```

```

    frequency *= 1.3;
    if (frequency > 20000) {
        showCompletionMessage();
        downloadCSV();
        return;
    }

```

```

currentVolume = MinVolume;

interval = setInterval(function() {
    if (currentVolume >= maxVolume) {
        currentVolume = MinVolume;
        frequency *= 1.3;
        if (frequency > 20000) {
            clearInterval(interval);
            showCompletionMessage();
            downloadCSV();
            return;
        }
        generateSound(frequency, currentVolume);
    } else {
        currentVolume += stepVolume;
        generateSound(frequency, currentVolume);
    }
}, 1000);
});

endButton.click(function() {
    clearInterval(interval);
    downloadCSV();
    showCompletionMessage();
});
});

$('startButton').remove();
$('body').append(message, okButton, TryButton);
}

```

Функція `testVolume` реалізує логіку для тестування гучності в процесі аудіометрії. Її призначення полягає в оцінці здатності користувача розрізняти звуки різних частот і гучностей, а також зборі результатів для подальшого аналізу. Основні етапи роботи функції наведено нижче:

1. Ініціалізація початкового сигналу

Викликається функція `generateSound`, яка генерує звук з частотою 200 Гц і гучністю 0.5. Це дозволяє користувачу налаштувати гучність навушників, використовуючи додане текстове повідомлення та кнопки для повторного відтворення звуку або підтвердження готовності (`TryButton` та `okButton`).

## 2. Створення інтерфейсу взаємодії

При натисканні кнопки `okButton` запускається основний цикл тестування. Інтерфейс оновлюється: додаються кнопки для позначення почутого сигналу (`feelButton`) і завершення тестування (`endButton`), а початкове повідомлення та кнопки видаляються.

## 3. Циклічне тестування гучності

Алгоритм починає тестування з мінімальної гучності (`MinVolume`) та поступово збільшує її з кроком (`stepVolume`) до максимального значення (`maxVolume`). Звуковий сигнал генерується через рівні інтервали часу.

- Якщо гучність досягає максимального значення, частота сигналу збільшується на 30% (`frequency *= 1.3`). У разі перевищення 20 кГц тестування завершується, результати зберігаються, і викликаються функції `showCompletionMessage` та `downloadCSV`.

- У будь-який момент натискання кнопки `feelButton` дозволяє зупинити поточний цикл, зберегти результати для поточної частоти та продовжити тестування з наступною частотою.

## 4. Завершення тестування

Натискання кнопки `endButton` завершує тестування, зупиняє активний інтервал і викликає функції для збереження результатів і завершення процедури.

## 5. Робота з результатами

Результати кожного вимірювання (частота та мінімальна гучність, при якій користувач почув сигнал) додаються до масиву `results`, який пізніше експортується у вигляді CSV-файлу для аналізу.

Функція `testVolume` забезпечує адаптивний підхід до тестування слуху, що дозволяє динамічно змінювати параметри сигналу (частота, гучність) та інтерактивно отримувати зворотній зв'язок від користувача. Це робить її ефективним інструментом для збору даних у задачах суб'єктивної аудіометрії.

## 4.2 Результати тестування слуху

На рисунку 4.2.1 представлені результати тестування слуху автора, де видно, що автор виявляє кращу чутливість до низькочастотних звуків, тоді як реакція на високочастотні звуки є меншою. Це може свідчити про індивідуальні особливості слухової сприйнятливості.

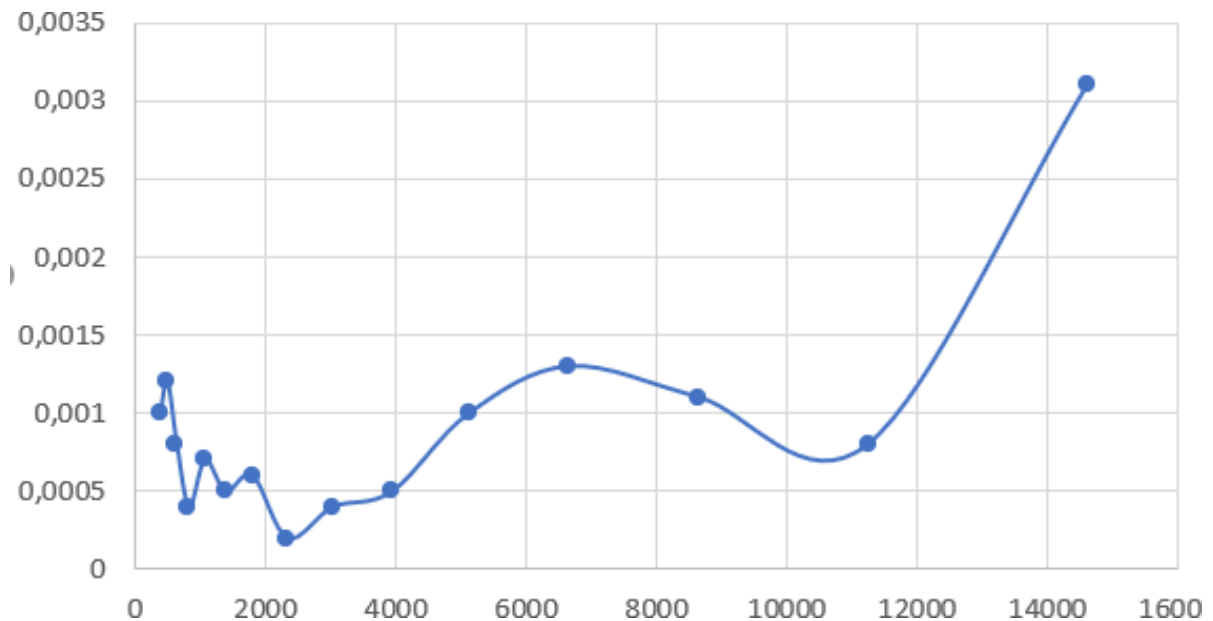


Рисунок 4.2.1 – Результат тестування слуху автора

З метою підвищення точності тестування рекомендується зменшити крок частоти. Це призведе до підвищення точності в діапазоні частот, на яких проводиться тест і відповідно, до зменшення можливих похибок. Рисунок 4.2.2 демонструє результати тестування зі зменшеним кроком частоти, але з одночасним збільшенням кроку гучності для оптимізації часу проведення тесту. Збільшення кроку гучності може бути корисним для ефективного використання часу, зменшуючи загальний час тривалості експерименту.

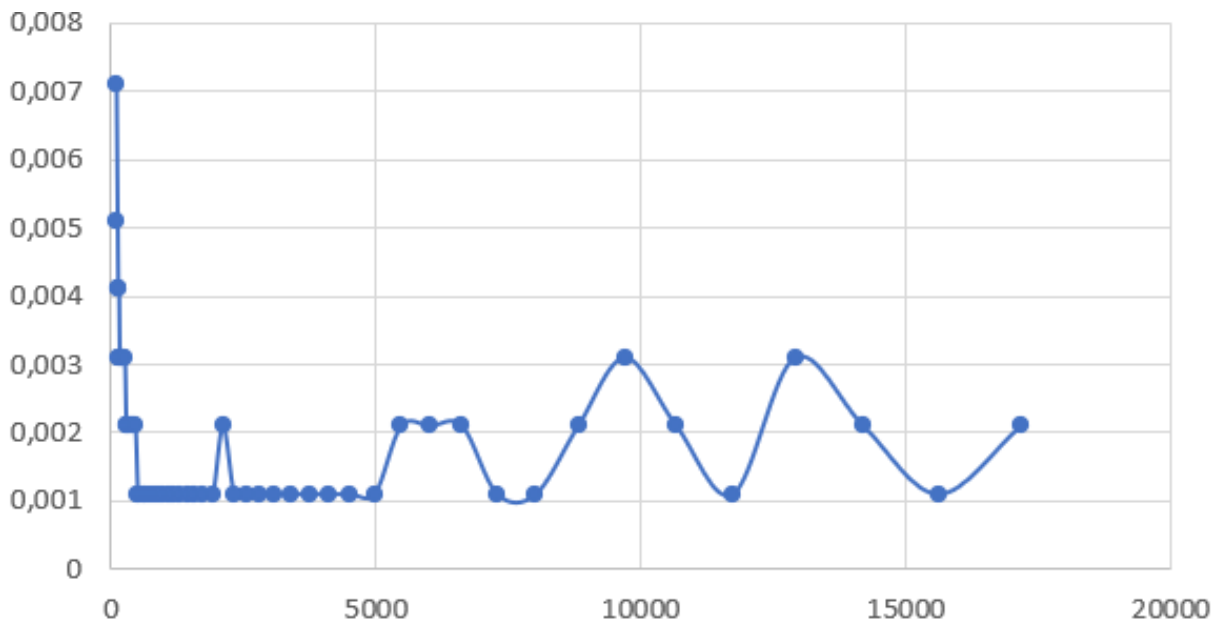


Рисунок 4.2.2 – Результат тестування слуху автора

На рисунку 4.2.3 відображено результат тестування зі зменшеними кроками як по частоті, так і по гучності. Це може призвести до отримання більш деталізованої інформації щодо чутливості слуху на різних рівнях.

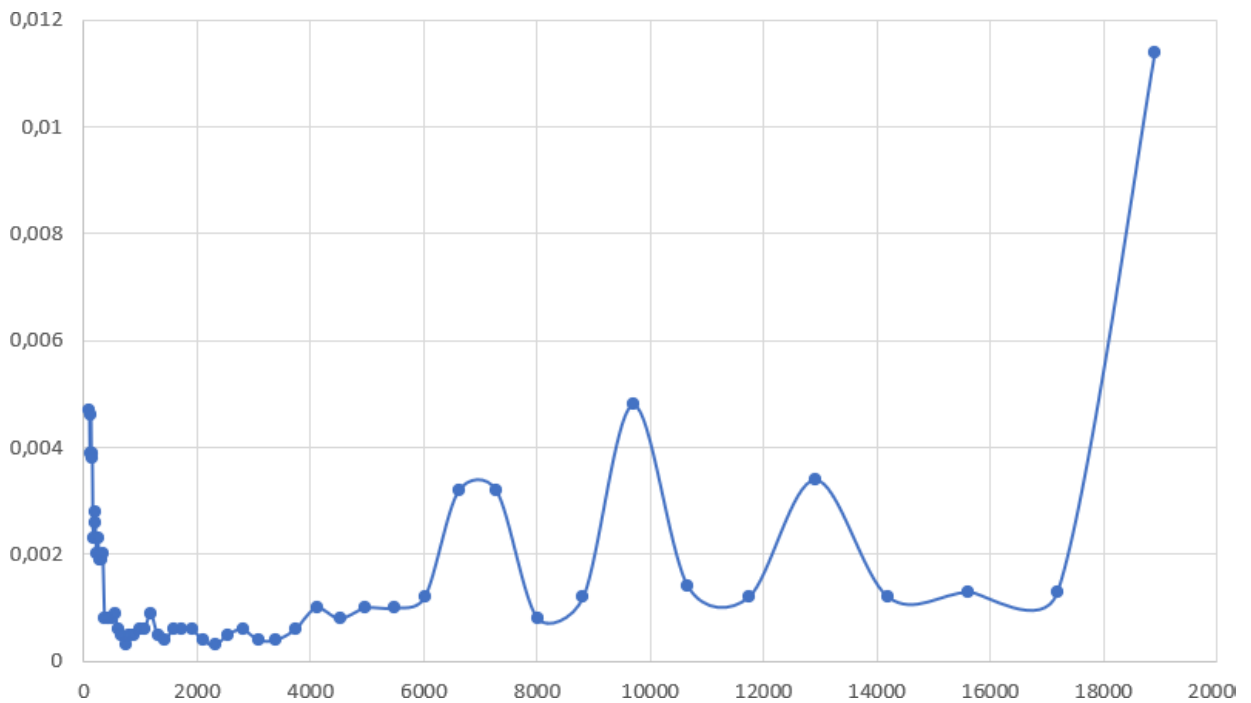


Рисунок 4.2.3 – Результат тестування слуху автора

Важливим аспектом є амплітудо-частотна характеристика навушників, в яких проводилось тестування, що може значно вплинути на результати. Однак це залишається неминучою проблемою, оскільки тестування проводиться в домашніх умовах, де доступ до спеціалізованого обладнання обмежений [8].

Додатково тестування пройшли ще декілька людей, на своїх комп'ютерах, без нагляду розробника, що дозволило провести тести максимально об'єктивно.

На рисунках 4.2.4 – 4.2.5 наведено результати тестів, де користувачі вірно налаштували свої прилади і результати можна вважати вірними.

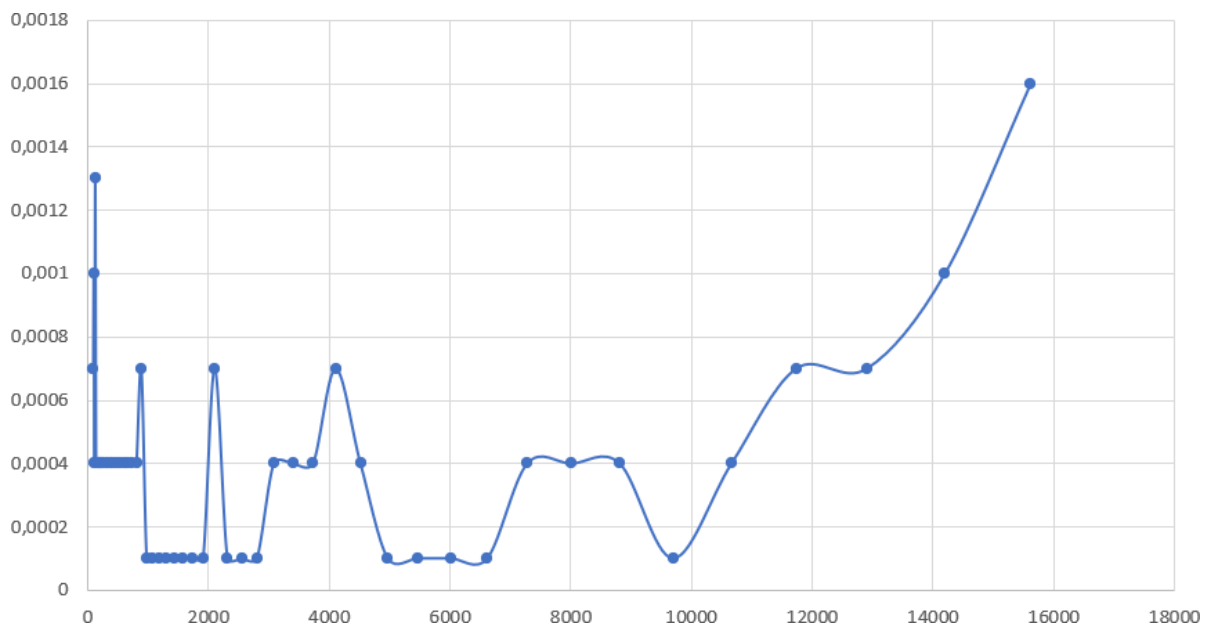


Рисунок 4.2.4 – Тест користувача 1

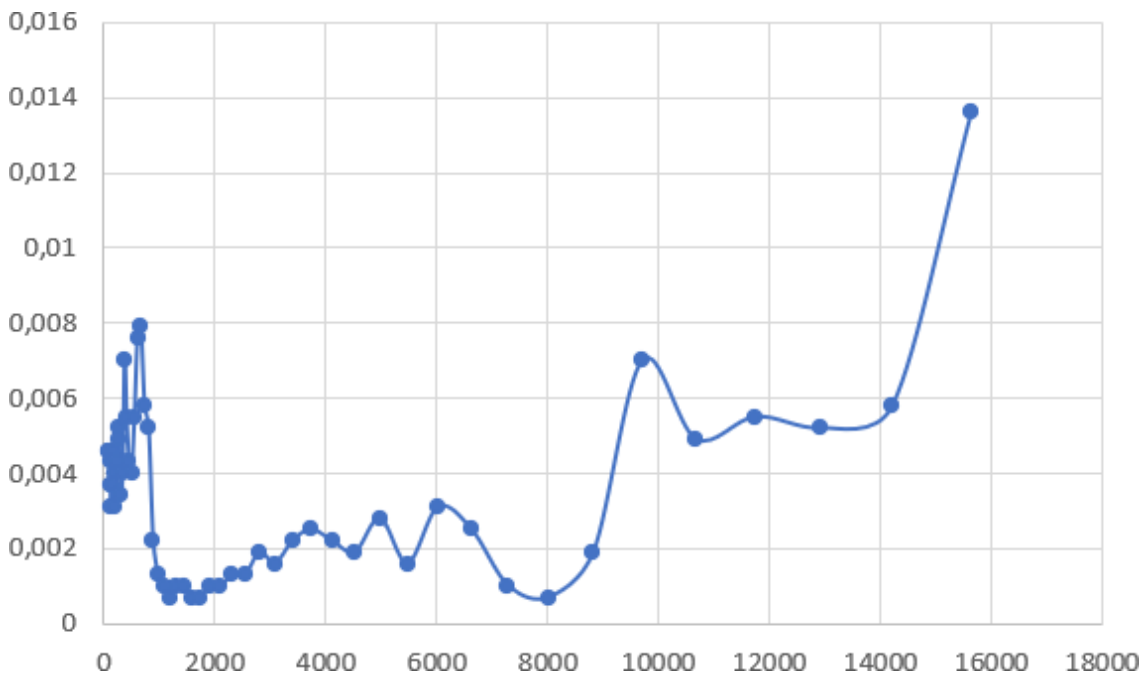


Рисунок 4.2.5 – Тест користувача 2

На рисунках 4.2.6 – 4.2.9 наведено результати, коли користувачі виставили на своїх пристроях занадто велику гучність, в наслідок чого вони чули будь яку частоту на мінімальній гучності, через що скрипт не мав змоги вірно оцінити їх аудитивне сприйняття.

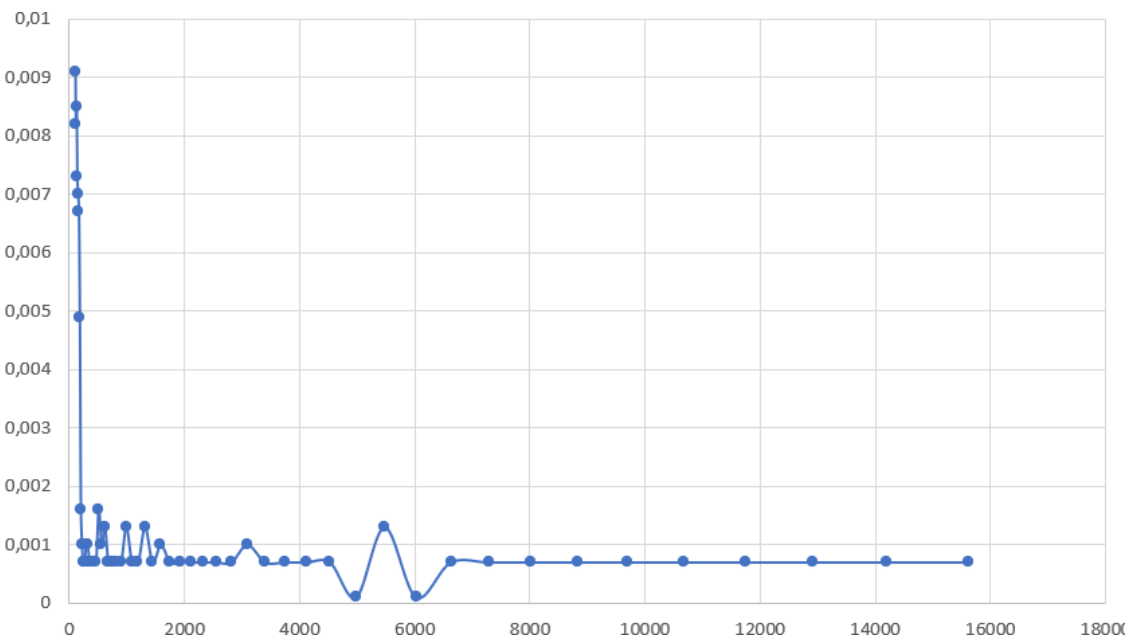


Рисунок 4.2.6 – Тест користувача 3

Для уникнення таких помилок в майбутньому додано початкове налаштування гучності. В якому користувачу пропонується виставити гучність пристрою так, що він ледве чув звук певної частоти, який генерується не на мінімальній гучності.

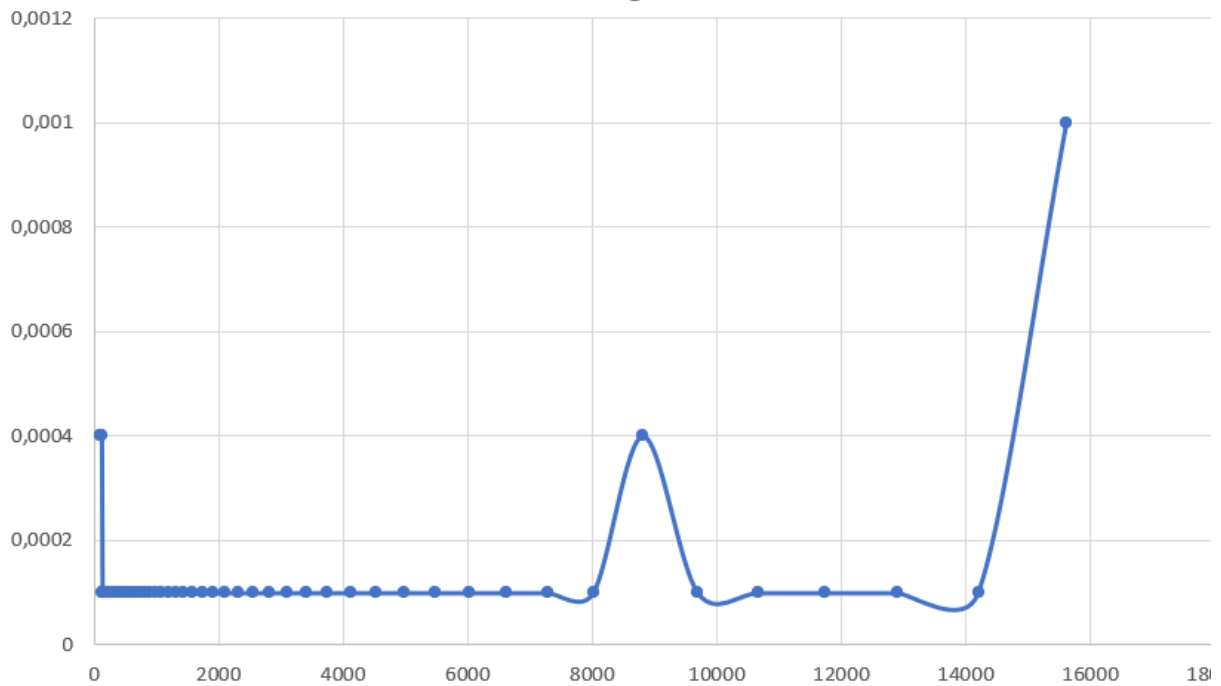


Рисунок 4.2.7 – Тест користувача 4

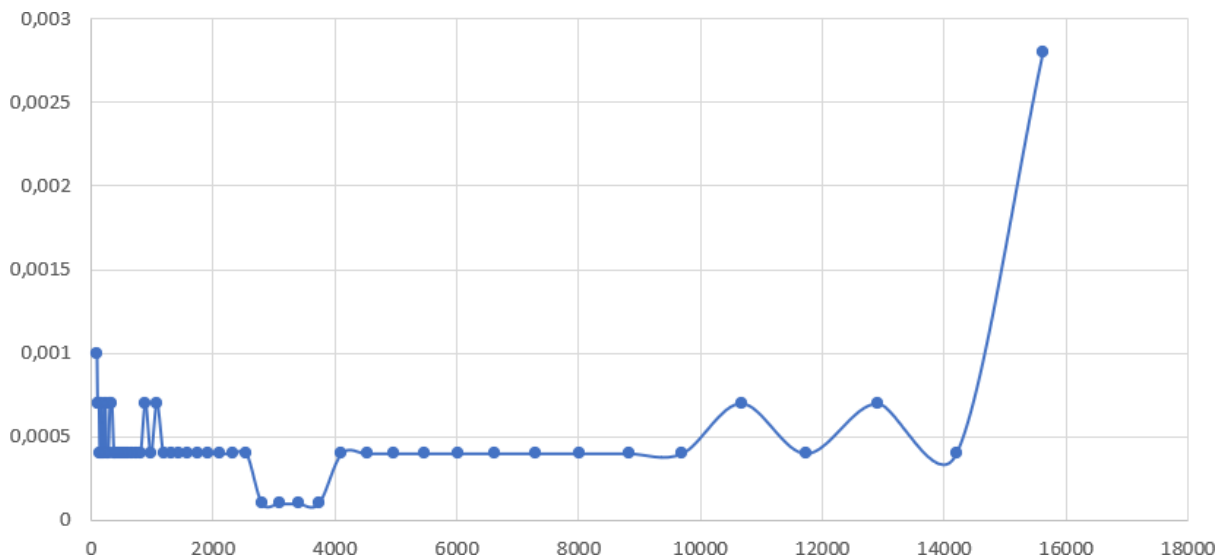


Рисунок 4.2.8 – Тест користувача 5

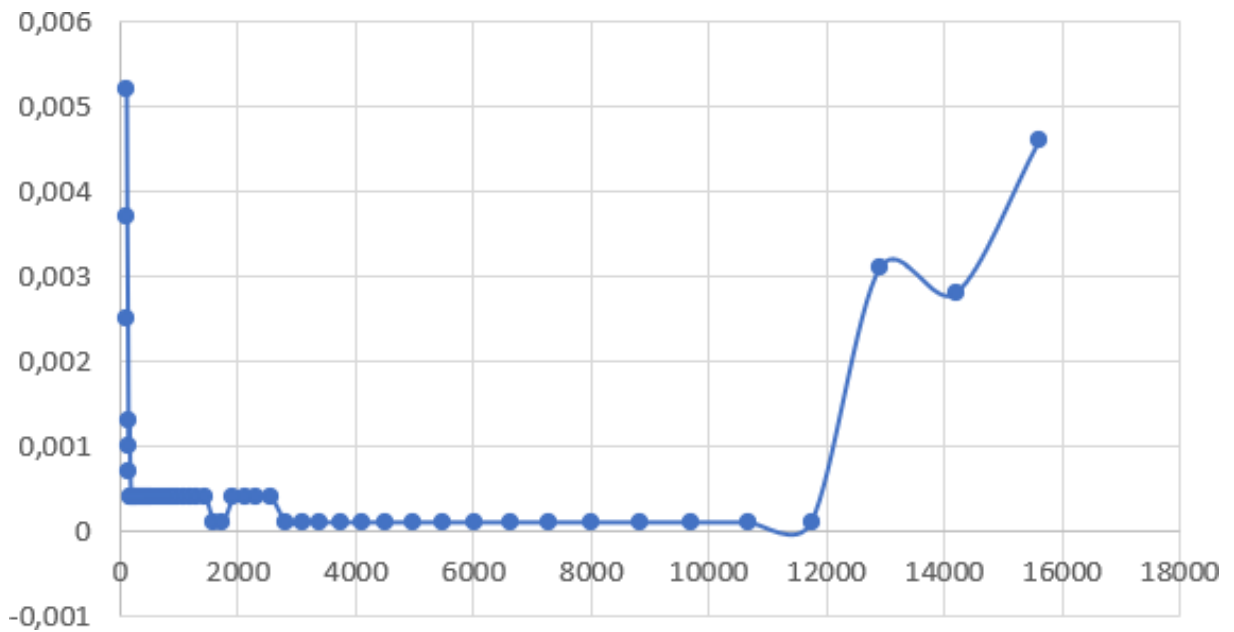


Рисунок 4.2.9 – Тест користувача б

### 4.3 Перспективи вдосконалення функціоналу

#### Поточний стан аналізу результатів

На даному етапі реалізації результати тестування слуху зберігаються у вигляді файлу, який завантажується на комп'ютер користувача. Надані дані можуть бути проаналізовані самим користувачем або передані спеціалісту для професійного висновку. Такий підхід забезпечує базову функціональність, однак він обмежує можливості використання отриманих результатів у ширшому контексті, наприклад, для статистичного аналізу чи надання індивідуальних рекомендацій.

## **Заплановані вдосконалення**

Для підвищення ефективності використання системи в майбутніх версіях планується реалізувати кілька важливих функцій:

### **1. Відправка результатів на сервер**

Результати тестування користувача будуть автоматично передаватися на сервер, де вони анонімно зберігатимуться в базі даних. Це дозволить:

- Агрегацію даних для загальної статистики: дані зможуть використовуватися для формування середніх показників для різних груп користувачів (залежно від віку, статі, професії тощо).

- Індивідуалізоване порівняння: користувач зможе отримати порівняльний аналіз свого результату із середніми показниками групи, до якої він належить. Наприклад, чоловіка віком до 30 років.

### **2. Додавання еталонних даних**

У систему будуть додані еталонні аудіограми[9,11], які вважаються ідеальними для здорової людини. Якщо результати користувача значно відрізняться від еталону, система надасть рекомендацію звернутися до лікаря. Це спростить попередню діагностику та допоможе вчасно виявити потенційні проблеми.

## **Використання штучного інтелекту**

Додатковим кроком у вдосконаленні функціоналу стане інтеграція штучного інтелекту (ШІ) для аналізу результатів тестування слуху. Використання ШІ матиме наступні переваги:

### **1. Покращення точності діагностики**

ШІ, навчений на великій кількості зібраних та проаналізованих даних, зможе з високою точністю визначати можливі порушення слуху, такі як:

- Зниження чутливості на певних частотах.
- Аномальні характеристики, що свідчать про початкові стадії втрати слуху.

## 2. Виявлення проблем із налаштуванням аудіосистеми

На основі аналізу отриманих даних ШІ зможе розпізнати, чи були результати тестування викривлені через неправильне налаштування аудіообладнання. Наприклад, надмірно низька чи висока гучність або нерівномірна амплітудно-частотна характеристика пристрою.

## 3. Автоматизовані рекомендації

- ШІ зможе генерувати персоналізовані поради користувачам, включаючи рекомендації щодо налаштування пристроїв.
- У разі значних відхилень від еталонних даних система автоматично запропонує звернутися до спеціаліста.

## **Висновки до четвертого розділу**

У розділі 4 було реалізовано практичну частину дослідження, яка включає розробку веб-інтерфейсу для тестування слуху, проведення тестування, аналіз отриманих результатів та обговорення перспектив вдосконалення функціоналу системи. Основні результати та висновки можна узагальнити наступним чином:

### 1. Розробка веб-інтерфейсу:

- Реалізовано простий та інтуїтивно зрозумілий інтерфейс для проведення тестування слуху, що базується на HTML та JavaScript із використанням Web Audio API.

- Запропоновано мінімалістичний підхід до дизайну, що забезпечує доступність і легкість у використанні.

## 2. Функціональність скрипта:

- Розроблено алгоритм, що дозволяє генерувати звуки різних частот та інтенсивності, а також фіксувати чутливість користувача.

- Запроваджено функціонал для збереження результатів тестування у форматі CSV, що спрощує подальший аналіз.

## 3. Результати тестування:

- Проведено тестування слуху на різних користувачах, що виявило важливість початкового налаштування гучності пристроїв для отримання достовірних даних.

- Зроблено висновок, що точність тестування залежить від налаштувань аудіосистеми, а також від кроків змін частоти та гучності.

## 4. Перспективи вдосконалення:

- Заплановано реалізацію відправки даних на сервер для створення бази статистичних даних та надання користувачам індивідуального порівняльного аналізу.

- Передбачено інтеграцію еталонних даних для попередньої діагностики, а також використання штучного інтелекту для покращення точності аналізу та автоматизації рекомендацій.

Таким чином, реалізований функціонал створює основу для подальшого розвитку системи тестування слуху. Вдосконалення, такі як інтеграція серверної обробки та використання штучного інтелекту, дозволять

підвищити ефективність, точність і доступність тестування для ширшого кола користувачів.

## РОЗДІЛ 5. РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ

### 5.1 Опис ідеї проекту

Стартап-проект спрямований на розробку та впровадження інноваційного веб-додатку для суб'єктивної діагностики слуху. Основна ідея проекту полягає у створенні сучасного, доступного і простого у використанні інструменту, що дозволяє людям проводити тестування стану слуху самостійно, у комфортних умовах свого дому, без необхідності використання складного медичного обладнання. Для проведення тесту користувачам знадобляться лише базові технічні пристрої, такі як комп'ютер, смартфон та навушники.

Головною особливістю цього проекту є розробка алгоритма який забезпечує адаптацію звукових сигналів до індивідуальних характеристик слуху кожного користувача. Це дозволяє не лише підвищити точність тестування, але й створити персоналізований досвід, який враховує особливості сприйняття звуку для кожної людини. Такий підхід робить процес діагностики слуху більш ефективним та інформативним.

Веб-додаток матиме широкий набір функцій, які роблять його інтуїтивно зрозумілим і корисним для користувачів:

**Генерування звукових сигналів** різної частоти, амплітуди та інших параметрів, необхідних для якісної діагностики, що дозволяє охопити широкий спектр аудіочастот. Це дозволить додатку відповідати реальним умовам відтворення звуку.

**Інтерактивний інтерфейс**, який дозволяє користувачам вводити інформацію про те, як вони сприймають запропоновані звукові сигнали, за допомогою чого створюється можливість гнучкого налаштування тестування під потреби кожного користувача.

**Автоматичний аналіз отриманих даних**, який дає змогу оперативно сформулювати звіт про стан слуху. Використання цього підходу повинно мінімізувати людський фактор у процесі аналізу результатів, підвищуючи його точність.

**Надання рекомендацій** користувачеві на основі результатів тестування. Залежно від виявлених показників, додаток може запропонувати подальші кроки, такі як звернення до лікаря-отоларинголога чи спеціаліста з аудіології.

Ключова мета проекту – зробити процес діагностики слуху максимально доступним, зручним і точним. Інноваційні технології, які будуть інтегровані в проєкт, відкривають нові можливості для масового використання слухової діагностики поза межами спеціалізованих медичних закладів.

Напрямки у яких може розвиватись стартап-проекту наведені в таблиці 5.1

Проєкт створюється заради якості оцінювання слуху людини , але для його подальшого існування та збирання даних у цій галузі потрібне додаткове фінансування, яке може забезпечити реклама та продаж медичних даних у дослідницьких цілях. Технологічні параметри наведені в таблиці 5.2.

Таблиця 5.1 – Напрямки використання стартап-проекту

<b>Апаратні засоби</b>	<b>Сфери застосування</b>	<b>Напрямки застосування</b>
Користувацькі засоби виходу в мережу з можливістю під'єднання до них навушників	Збір науково-дослідницької інформації Реклама	Створення наукових баз даних з аналізом слуху користувачів Реклама медичних закладів, пов'язаних з лікуванням слуху Реклама

Таблиця 5.2 – Технологічні рішення

<b>Технологічна ідея</b>	<b>Реалізація рішення</b>	<b>Наявність технології</b>
Існування веб-додатку без прив'язки його до конкретного фізичного серверу.	Використання незалежних веб-хостингів які можуть забезпечити постійну роботу веб-додатку	Наявна
Автономність збирання та аналізу даних о медичному стані користувача з мінімальним залученням людини	Використання алгоритмів для аналізу слуху	Наявна
Рекламування відповідних медичних закладів та платформ для надання медичних послуг користувачу	Використання окремих рекламних фреймворків з подальшим створення рекламної бази даних	Наявна

**Висновки:** Проєкт має великий потенціал для поширення як на локальному, так і на міжнародному ринках, сприяючи підвищенню рівня обізнаності людей про важливість піклування про стан свого слуху.

## **5.2 Техніко-економічна характеристика продукції**

У таблиці 5.3 наведені унікальні особливості проєкту. До технічних характеристик можна віднести можливість онлайн оцінки слуху , точність результатів оцінки, можливість підтримки нейромережі

До економічних відносяться собівартість використання веб-додатку для користувача, вартість підтримки веб-холдингу та сам факт обслуговування веб-додатку спеціалістами.

Оскільки подібний веб-додаток має в собі досить оригінальну концепцію на нашому ринку вибір конкурентів впав на розробників апаратів для поліпшення слуху.

Таблиця 5.3 – Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик

№	Техніко- економічні характеристи- ки ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів				W	N	S
		Проект	Конкурент 1	Конкурент 2	Конкурент 3			
1	Онлайн оцінка слуху	Є	Нема	Нема	Нема			+
2	Точність	87%	76%	89%	94%		+	
3	Підтримка ней- ромережі	Є	Нема	Нема	Нема			+
4	Собівартість	0	500	450	500			+
5	Веб-холдінг	Є	Є	Є	Є		+	
6	Обслуговування	Є	Є	Є	Нема		+	

**Висновки:** Розглянувши різного роду додатки конкурентів для оцінки слуху було виявлено що вони можуть потребувати спеціальної апаратури та мають бути завантажені на окремий пристрій й не мають веб-холдінгу,

### 5.3. Актуальність проекту та аналіз ринку

Проблема порушень слуху є однією з найактуальніших у сучасному світі, зважаючи на зростаючий вплив шуму в урбанізованому середовищі. За даними ВООЗ, близько 5% світового населення має різні ступені втрати слуху, і ця цифра зростає щороку.

Аналіз ринку показує, що існуючі рішення або потребують дорогого обладнання, або не забезпечують належної точності результатів. Розроблений додаток займає нішу між професійними діагностичними інструментами та безкоштовними онлайн-тестами, пропонуючи високу якість за доступною ціною.

Таблиця 5.4 – Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	5
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	–
3	Динаміка ринку	Поступово зростає
4	Наявність обмежень для входу	Немає
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Відповідність до : - IEC 60601 - GDPR - ДСТУ ISO/IEC 27001
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	83%

(Загальний обсяг продаж розрахувати неможливо у поточний час, оскільки веб-додаток може використовуватись як платформа для розміщення реклами та продажу медичних даних про слух користувача за його згоди. Подібні ціни розраховуються динамічно)

**Висновок:** Незважаючи на те що подібна галузь сильно регулюється у межах безпеки даних користувача та його здоров'я, а сам веб-додаток безкоштовний, його можна використовувати для реклами певних послуг та апаратів та отримувати частину доходу від цього.

Таблиця 5.5 – Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Безкоштовний аналіз слухових можливостей організму	Користувачі інтернету	Можливість незалежно та безкоштовно оцінити свій слух та знайти методи його покращення	Точність, дешевизна, легкість використання
2	Розміщення реклами свого товару який створений для допомоги зі слухом	Приватний сектор	Знаходження потенційних клієнтів для своїх товарів та послуг	Дешевизна, велика клієнтська база
3	Пошук наукових даних слуху користувачів у різних регіонах	Держава \ приватний сектор \ науковці	Пошук відповідних медичних даних	Точність, легкість отримання даних, велика наукова вибірка, постійне надходження даних

**Висновок:** Даний проект при достатньо великій базі користувачів зможе задовільнити одразу декілька цільових аудиторій, що дозволить йому існувати самостійно та продовжувати розвиватись.

Таблиця 5.6 – Фактори загрози

№	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Політичний	Політична ситуація країни розробника	Зміна країни розробника
2	Кількісний	Недостатня кількість користувачів які б використовували веб додаток	Реклама на платформах, таких як Facebook, Instagram та YouTube.
3	Якісний	Невідповідність результатів оцінки слуху користувача	Переробка алгоритмів та поліпшена інтеграція ШІ

**Висновок:** Незважаючи на те що головною ціллю веб-додатку це створення якісної платформи для аналізу слуху її можуть спіткати проблеми при недостатній окупності та непопулярності.

Таблиця 5.7 – Фактори можливостей

№	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Поширення	Поява спросу у інших сегментах інтернету та регіонах світу	Інтеграція веб додатку на локальні ринки їх країн та можливість співпраці з регіональними клініками
2.	Поліпшення функціоналу	Можливість поліпшення функціоналу за допомогою сучасних технологій , таких як ШІ та медичної безпеки	Залучення незалежних розробників з відповідними спеціалізаціями у галузях.
3	Індивідуальні партнерські програми	Пропозиція рекламування певної групи товарів для користувачів з вадами слуху	Розміщення додаткових рекламних сервісів та покращення послуг рекламування
4	Наукові дослідження та гранти	Пропозиція співпраці з НДІ або приватними дослідниками за відповідні кошти	Надання доступних баз досліджень та можливе проведення додаткових досліджень за згоди користувача

**Висновок:** У сфері аналізу слуху людини незалежна платформа з достатньо великим об'ємом оброблених даних може слугувати як гарне місце для реклами певної категорії товарів та послуг а також надавати якісні дані у відповідні центри досліджень.

Таблиця 5.8 – Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

<b>Особливості конкурентного середовища</b>	<b>В чому проявляється дана характеристика</b>	<b>Вплив на діяльність підприємства</b>
1. Тип конкуренції – олігополія	Розробка окремого додатку дослідження слуху	Створення безкоштовного додатку який би міг надавати рекламні послуги
2. За рівнем конкурентної боротьби – міжнародна	Можливість завантажити у різних сегментах інтернету	Розміщення додатку реклами на відповідних рекламних платформах для залучення нових користувачів
3. За галузевою ознакою – внутрішньогалузева	Системи залучені у медичній галузі	Є можливість покращення функціоналу у порівнянні з конкурентами
5. Конкуренція за видами товарів – галузевою	Система застосовується в конкретних галузях.	Поглибити вплив на конкретну галузь.
5. За характером конкурентних переваг - нецінова	Залучення нових користувачів можливістю отримати аналіз слуху	Поліпшення функціоналу платформи з можливістю вдосконалення тестів
6. За інтенсивністю- не марочна	Конкуренція між можливостями товару	Розширення функціоналу тесту та залучення спеціалістів через рекламу для надання послуг.

**Висновок:** Проаналізувавши пропонування були визначені риси конкуренції у сфері слухових тестів на надання необхідних консультацій. Здебільшого на ринку продаються достатньо дорогі для користувача послуги які не модернізуються під сучасний запит.

Таблиця 5.9 – Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

	<b>Прямі конкуренти в галузі</b>	<b>Потенційні конкуренти</b>	<b>Клієнти</b>	<b>Товари замітники</b>
Складові аналізу	HearTest Mimi Hearing Test	Медичні заклади та виробники медичної апаратури для поліпшення слуху	Держава /приватний сектори/ користувачі інтернету	Пряма консультація у відповідному закладі
Висновки	Існують прямі конкуренти , що спеціалізуються на дослідженні слуху	Конкуренти які в цілому можуть стати партнерами за допомогою розміщення їх товарів та послуг на платформі	Умови ринку на пряму залежать від зацікавленості користувачів платформи.	Безкоштовний аналіз слуху на незалежній платформі може замінити консультацією у відповідного лікаря

Таблиця 5.10 – Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування
1	Безкоштовність	Доступність додатку для кожного й можливість його швидкого поширення
2	Точність	Відповідна до норм точність надання аналізу слуху на рівні конкурентів
3	Динамічне розширення баз	Можливість залучити базу даних додатку до світових дослідів

**Висновки:** При огляді конкуренції, вимоги клієнтів і ідеї проекту були визначені основні конкурентні фактори. Безкоштовність можливість швидкого залучення великої кількості клієнтів. точність та динамічне розширення баз дозволить прийняти участь усвітових дослідах та отримати додаткове фінансування від світові інститутів та держав.

Таблиця 5.11 - Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін проекту

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг веб-додатку у порівнянні з додатками конкурентів						
			-3	-2	-1	0	1	2	3
1	Безкоштовність	15			-1				
2	Точність	14				0			
3	Динамічне розширення баз	18	-3						

**Висновки:** За рейтингом сильних та слабких сторін проекту, розроблювальне рішення перевершує конкурентні за безкоштовність та точність, а можливість динамічне розширення баз є досить актуальним фактором.

Таблиця 5.12 – SWOT-аналіз стартап-проекту

<p><b>Сильні сторони:</b></p> <p>Точність</p> <p>Доступність</p>	<p><b>Слабкі сторони:</b></p> <p>Потреба в постійному поліпшенні функціоналу</p> <p>Можлива залежність від партнерів</p>
<p><b>Можливості:</b></p> <p>Залученість у світові дослідження</p> <p>Надання відповідної реклами медичних товарів та послуг</p>	<p><b>Загрози:</b></p> <p>Конкуренція</p> <p>Ігнорування користувачами стану слуху свого здоров'я</p>

**Висновки:** SWOT-аналіз дозволив виявити сильні та слабкі сторони проекту, а також визначити можливі можливості та загрози, які можуть виникнути за умови їх врахування.

Таблиця 5.13 – Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№ п/п	Альтернатива ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Рекламна кампанія	Висока	3 місяці
2	Залучення міжнародних та локальних клінік	Середня	9 місяців

**Висновки:** З огляду на проведений SWOT-аналіз, обрані альтернативні заходи впровадження стартап-проекту.

Таблиця 5.14 – Вибір цільових груп потенційних споживачів.

№	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Наукові установи по дослідженню слуху	+	+	Низька	-
2	Центри лікування слуху	+	+	Середня	+

**Висновки:** Наукова сфера та медична галузь обрані як цільові групи споживачів, оскільки вони зацікавлені у сприянні розвитку додатку для досягнення власних цілей та покращення здоров'я користувачів.

Таблиця 5.15 – Визначення базової стратегії розвитку

№	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
1	Рекламна кампанія	Стратегія диференціації	Задоволення більшої кількості користувачів при наданні їм відповідних послуг	Стратегія спеціалізації

**Висновки:** Основна стратегія розвитку передбачає спеціалізацію, спрямовану на конкретний цільовий сегмент. Альтернативною стратегією є диференціація, яка передбачає надання продукту унікальних властивостей, важливих для споживача, що виділяють його серед товарів конкурентів.

Таблиця 5.16 – Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№	Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки
1	Не є «першопрохідцем»	Й шукати нових споживачів, й забирати існуючих	Відповідні алгоритми аналізу слуху	Стратегія наслідування лідера

**Висновки:** Проект не є новаторським і використовує алгоритми аналізу слуху з можливістю інтеграції нейромереж. Як оптимальну було обрано стратегію наслідування лідера.

Таблиця 5.17 – Визначення стратегії позиціонування

№	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту
1	Точність	Стратегія спеціалізації	Якість	Якісний аналіз слуху
2	Доступність	Стратегія спеціалізації	Доступність	Безкоштовний доступний аналіз

**Висновки:** Стратегія позиціонування базується на ефективності та точності, які визначають основні переваги стартап-проекту – точність та доступність.

Таблиця 5.18 – Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1	Точність	Якісний аналіз	Точність, ефективність, легкість використання, безкоштовний доступ до тестування.
2	Доступність	Можливість використовувати безкоштовно	

**Висновки:** Аналіз результатів конкурентоспроможності товару дозволяє розпочати розробку маркетингової концепції.

Таблиця 5.19 – Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
<b>Товар за задумом</b>	Веб-додаток для аналізу якості слуху користувача.		
<b>Товар у реальному виконанні</b>	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх/Тл/Е/Ор
	Точність	НМ	Тх
	Доступність	НМ	Тх
	Якість: відповідає нормам ІЕС 60601 - Вироби медичні електричні. Загальні вимоги щодо безпеки та основних робочих характеристик.		
Пакування: Ізольований скрипт на веб-хостінгу			
<b>Товар із підкріпленням</b>	До продажу - Сервіс який надає можливість проаналізувати слух		
	Після продажу – Сервіс який надає можливість проаналізувати слух без реклами		

**Висновки:** Після формування маркетингової моделі товару буде визначено спосіб його захисту від копіювання. Послуги веб-додатку будуть розповсюджуватись на безкоштовній основі а основний дохід поступатиме від реклами.

Таблиця 5.20 – Визначення меж встановлення ціни

№	Рівень цін на товари за-мінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
1	300-500 у.о.	25-150 у.о./місяць	250-2000 у.о	0-500 у.о

**Висновки:** Аналіз цінових меж подібних послуг на ринку показав, що наразі представлені лише дорогі аналоги додатку, які потребують використання спеціального медичного обладнання.

Таблиця 5.21 – Формування системи збуту

№	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1	Безкоштовний доступ до програми	Вільний доступ у інтернеті	Нульового	Прямий, через сайт виробника

**Висновки:** основний спосіб отримання доступу до додатку напряму через інтернет.

Таблиця 5.22 – Концепція маркетингових комунікацій

№	Специфік поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
1	Бажання отримати якісні послуги безкоштовно	Соціальні мережі, засоби масової інформації, партнерства, email-розсилки, а також рекомендації.	Швидкість отримання результатів, точність тесту, легкість користування, доступність	Поширення інформації про продукт.	Презентація принципу роботи системи в доступному для людей стилі, а також відео, яке показує процес тестування

**Висновки:** Головним каналом комунікації з потенційними клієнтами стануть соціальні мережі, в розвиток яких буде вкладено більше зусиль та коштів.

### Висновки до п'ятого розділу

За результатами розділу розробки стартап-проекту можна зробити такі висновки:

Сам продукт це безкоштовний веб-додаток який розрахований на залучення дуже великої частки інтернет-аудиторії, а основний джерелом доходу це партнерські програми та реклама.

Представлені можливі класифікації ринку за територіальною ознакою (глобальний) та за суб'єктами, які можуть бути потенційними замовниками (ринок споживачів, виробників і наукових установ).

Було розроблено початкову маркетингову стратегію, що включає стратегії розвитку та позиціонування, а також опис трьох рівнів моделі, визначення цінових меж та методів збуту.

## ВИСНОВКИ

У цій магістерській роботі на тему "Реалізація суб'єктивного методу діагностики слуху на основі веб-додатку" було розглянуто проблему розробки сучасного інструменту для оцінки слухової чутливості користувачів. Робота охоплює аналіз існуючих методів, обґрунтування вибору досліджуваного підходу та реалізацію практичного рішення з подальшими перспективами вдосконалення. Основні результати роботи можна узагальнити наступним чином:

### 1. Теоретичний аналіз

У ході дослідження було здійснено огляд наукової літератури, існуючих рішень та патентів у галузі аудіометрії. Виявлено, що більшість методів діагностики слуху вимагають використання спеціалізованого обладнання або значних ресурсів, що обмежує їх доступність для широкого використання. Ці обмеження підкреслюють актуальність і новизну досліджуваного підходу.

### 2. Розробка методу та алгоритмів

Розроблено суб'єктивний метод тестування слуху, що базується на індивідуальній взаємодії користувача з веб-додатком. В основу покладено використання Web Audio API для генерації звуків різної частоти та інтенсивності, з можливістю фіксації порогів чутливості слуху.

### 3. Реалізація веб-додатку

Реалізовано функціональний прототип веб-додатку з інтуїтивно зрозумілим інтерфейсом, що дозволяє користувачеві:

- пройти тестування слуху;
- зберегти результати у форматі CSV для подальшого аналізу.

### 4. Експериментальна перевірка

Проведено тестування веб-додатку на різних користувачах, що дозволило:

- оцінити точність запропонованого методу;
- визначити вплив налаштувань аудіосистем на результати тестування;
- розробити рекомендації для запобігання можливим похибкам.

## 5. Перспективи розвитку

Запропоновано вдосконалення системи, включаючи:

- автоматичну відправку результатів на сервер для формування бази даних;
- використання штучного інтелекту для аналізу даних і надання рекомендацій;
- інтеграцію еталонних аудіограм для попередньої діагностики слуху.

### Загальний висновок

Результати роботи підтверджують ефективність розробленого веб-додатку як інструменту для суб'єктивної діагностики слуху. Впровадження запропонованих вдосконалень дозволить розширити функціонал додатку, підвищити його точність та зробити доступним для широкого кола користувачів. Дослідження закладає основу для подальшого розвитку інноваційних методів у галузі аудіометрії.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

- [1] Патент EP2793118A1. Отримано з <https://patents.google.com/patent/EP2793118A1/de?oq=EP2793118A1+>
- [2] Патент US20180063618A1. Отримано з <https://patents.google.com/patent/US20180063618A1/en?oq=US20180063618A1+>
- [3] Патент US7464595B2. Отримано з <https://patents.google.com/patent/US7464595B2/en?oq=US7464595B2+>
- [4] Патент US3054855A. Отримано з <https://patents.google.com/patent/US3054855A/en?oq=US3054855A+>
- [5] HearX Group. (невідома дата). hearTest. Отримано з <https://hearxgroup.com/heartest/>
- [6] Додаток "Mimi Hearing Test" [Мобільний додаток]. (2014). Отримано з <https://apps.apple.com/us/app/mimi-hearing-test/id932496645>
- [7] Лисенко О.М. 2012. [Методи і засоби аудіометрії та акустичної імпедансометрії]. "Спринт-Сервіс".
- [8] Лебедев Д.Ю., Лисенко О.М. Проблеми метрологічного забезпечення засобів реєстрації отоакустичної емісії (ОАЕ). Медична інформатика та інженерія. – Київ. - №1. – 2008. – С. 61 – 65.

[9] Аудиометрія [Електронний ресурс] // Вікіпедія : вільна енциклопедія. — 2021. — Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D1%83%D0%B4%D1%96%D0%BE%D0%BC%D0%B5%D1%82%D1%80%D1%96%D1%8F>

[10] Аудиометр [Електронний ресурс] // Вікіпедія : вільна енциклопедія. — 2021. — Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D1%83%D0%B4%D1%96%D0%BE%D0%BC%D0%B5%D1%82%D1%80>

[11] Аудиограма [Електронний ресурс] // Вікіпедія : вільна енциклопедія. — 2021. — Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D1%83%D0%B4%D1%96%D0%BE%D0%B3%D1%80%D0%B0%D0%BC%D0%B0>

[12] Що таке веб-додаток? Усі види [Електронний ресурс] // Webcase : блог компанії. — Режим доступу: <https://webcase.com.ua/uk/blog/cho-takoe-web-prilozhenie-vse-vidy/>

## **Додаток А – Копія публікації у науковому виданні**

Радіотехніка та телекомунікації

**УДК 616.2**

***Загреба А.Я.***

Студент 2го курсу магістратури кафедри конструювання електронно обчислювальної апаратури, Національного технічного університету України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

***Лебедев Д.Ю.***

кандидат технічних наук, доцент,

доцент кафедри конструювання електронно обчислювальної апаратури

Національного технічного університету України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

## **РЕАЛІЗАЦІЯ ПРОГРАМНОГО ЗАСТОСУНКУ ДЛЯ ОЦІНКИ АУДІТИВНОГО СПРИЙНЯТТЯ У КОРИСТУВАЧІВ**

*Темою цього дослідження є розробка програмного скрипта для оцінки аудітивного сприйняття у користувачів. В сучасному інформаційному суспільстві, де технології вплетені у всі аспекти нашого життя, здатність взаємодіяти з різноманітними аудіовмісними вмістами має велике значення. Дослідження аудітивного сприйняття користувачів є актуальним завданням, оскільки воно може відкрити шлях до подальших покращень в розробці методик покращення аудітивного сприйняття.*

*Задача оцінки аудітивного сприйняття користувачів вимагає високоточних методик та ефективних інструментів. У цьому дослідженні буде розглянуто розробку програмного скрипта, який дозволяє систематично вивчати та аналізувати рівень аудітивного сприйняття в різних умовах. Використання такого скрипта може надати важливі дані для розуміння і покращення сприйняття звукової інформації користувачами.*

*Для поліпшення точності та надійності дослідження вводяться алгоритми, які адаптують параметри звуку до індивідуальних особливостей користувача. Ці алгоритми враховують реакцію користувача та оптимізують процес тестування.*

*Підхід до створення програмного скрипта не лише створює умови для детального аналізу аудітивного сприйняття, але також відкриває шлях до подальших досліджень та розвитку в області аудіоінтерфейсів. В цій статті буде представлено основні принципи роботи такого скрипта, а також обговорено можливості його застосування та перспективи для майбутніх досліджень.*

*Загальні результати дослідження можуть бути корисні для розуміння впливу різних факторів на якість слуху та розвитку методик для діагностики захворювань слуху. За результатами даного дослідження може бути розроблено онлайн сервіс для самостійного аналізу стану слуху – що дасть можливість виявити проблеми на ранній стадії, або відслідковувати змінення стану слуху користувача.*

**Ключові слова:** *аудітивне сприйняття, технологічні інструменти, розробка інтерфейсів, взаємодія зі звуковим середовищем, інтерактивні дослідження, аудіотехнології, аудіосприйняття.*

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Тональна порогова аудіограма - графічне зображення порогів (рівнів) чутності тонів в децибелах у функції частоти стимулюючого тону, отриманих за допомогою діагностичного приладу – аудіометр[10].

Аудіограми є важливим методом аналізу слуху, який зазвичай використовується в лікарнях для діагностики стану аудітивного сприйняття, і має назву - тональна порогова аудіометрія. Ці графічні представлення результатів аудіометричного обстеження дозволяють фахівцям оцінити чутливість пацієнта до різних частот, відображаючи пороги чутності тонів в децибелах відповідно до частот стимулюючого тону, і виявити можливі порушення слуху [1, 2].

Однак у даній статті розглядається інноваційний підхід до аналізу слуху за допомогою спеціально розробленого скрипта, який може бути використаний в домашніх умовах. Скрипт дозволяє виконувати самостійні перевірки слуху, допомагаючи користувачам завчасно виявляти відхилення від норми [3]. Такий підхід сприяє ранній діагностиці та може слугувати основою для звернення до фахівця у випадках виявлених відмінностей в аудіотестуванні.

Загалом, об'єднання традиційного методу аудіограм та інноваційного скрипта для домашнього аудіотестування створює можливості для більш широкого контролю над станом слуху. Це може виявитися важливим елементом у підтримці аудітивного здоров'я та своєчасному виявленні можливих проблем.

**Постановка проблеми.** Постійне навантаження на слух є важливою складовою сучасного життя, і внаслідок цього багато людей стикаються з суттєвим погіршенням їхнього слухового здоров'я. Розповсюджен-

ність аудіотехнологій та високий рівень шумового забруднення можуть впливати на чутливість слуху та сприяти розвитку аудіальних проблем.

Завдяки постійній зайнятості та швидкому ритму сучасного життя, люди часто відкладають візит до лікаря для перевірки свого слуху. Нестача часу стає значущою перешкодою для вчасної діагностики та вирішення можливих аудіальних проблем. Внаслідок цього виникає потреба в доступних та зручних методах самостійної перевірки слуху без візиту до медичного закладу.

Відсутність можливості швидко перевірити слух в домашніх умовах стає важливим аспектом в умовах сучасного ритму життя. Розробка ефективних та простих у використанні засобів для домашньої аудіометрії може сприяти збереженню та відновленню слухової функції у людей.

**Постановка завдання.** Із зростанням обтяжливості аудіальних подразників у повсякденному житті і поширенням факторів, що негативно впливають на слух, зростає необхідність в створенні доступних користувачам-непрофесіоналам засобів для аналізу стану їхнього слуху. Відповідаючи на цей виклик, важливо розробити скрипт, що дозволить звичайним людям, які не є програмістами чи лікарями, самостійно проводити аналіз слуху.

Цей скрипт повинен бути максимально простим та інтуїтивно зрозумілим для кінцевого користувача. Його основна функція полягає в проведенні аудіометрії та виявленні відхилень від норми. Додатково, для зручності користувача, результати аналізу повинні надаватися в зрозумілому форматі та повідомляти про будь-які потенційні проблеми зі слухом.

Створення такого скрипта може сприяти ранньому виявленню аудіальних проблем та допомагати користувачам у збереженні свого слухово-

го здоров'я. Враховуючи різноманітність та доступність аудіотехнологій, створення інструменту, який може бути використаний без спеціалізованих навичок, є кроком у напрямку підтримки глобального здоров'я слуху населення.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Методика дослідження чутливості слуху базується на використанні скрипта, який генерує звук певної частоти та гучності та фіксує реакцію користувача. Скрипт запускається на комп'ютері з підключеними навушниками. Користувачу пропонується слухати звук та натискати клавішу “а”, якщо він його чує. Якщо протягом певного часу (2 секунди) користувач не натиснув клавішу “а”, гучність звуку збільшується на один крок (1%). Якщо гучність дійде до максимальної (100%), частота звуку збільшиться на один крок (наприклад, на 100 герц), а користувачу буде виведено повідомлення, що він не почув попередню частоту. Якщо ж користувач в певний момент натисне кнопку “а”, скрипт збереже поточну частоту та гучність та повторить цикл для наступної частоти. Коли цикл дійде до максимальної частоти (20 кілогерц), він обробить отримані дані та збереже їх в файл, і користувач вже буде мати можливість подивитися на результати.

Метою цього дослідження є визначення рівня чутливості слуху користувачів, що може бути корисним для діагностики різних захворювань слуху, а також для оцінки впливу різних факторів, таких як шум, музика, навантаження, тощо, на якість сприйняття звуку. Дослідження проводиться у зручних для користувача умовах, без необхідності відвідувати лікарню або лабораторію. Дослідження не вимагає від користувача спеціальних навичок або знань, а лише здатності чути звук та натискати клавішу.

Для збільшення точності та надійності дослідження введено декілька алгоритмів, які адаптують параметри звуку до індивідуальних особливостей користувача. Алгоритми такі:

а. Якщо користувач почув звук після 10го підвищення гучності, буде збільшено початкову гучність тестування, для уникнення довгих перевірок на гучності, яку користувач не чує. Це дозволить скоротити час тестування та зменшити нудоту користувача від постійного слухання тихого звуку.

б. Якщо користувач почує звук на мінімальній гучності, вона буде поступово зменшуватися, так, щоб користувач не чув на мінімальній гучності, але приблизно через 5-10 кроків підвищення гучності, він чув. Це дозволить визначити мінімальну гучність, при якій користувач чує звук, що є важливим показником якості слуху.

с. Якщо користувач не почує звук після 15 кроків підвищення гучності, швидкість наростання гучності збільшується. Це допоможе прискорити процес тестування.

Результати дослідження представлені у вигляді таблиці та графіка, які показують залежність чутливості слуху від частоти звуку для кожного користувача. Таблиця містить такі дані: частота звуку, гучність звуку, яку почув користувач. Графік має дві осі: по осі X - частота звуку, по осі Y - гучність звуку. Графік демонструє, які частоти звуку були почуті користувачем при різних рівнях гучності.

Варіанти для подальшого вдосконалення скрипта та дослідження полягають у наступному:

Збільшити кількість користувачів, які беруть участь у дослідженні, для отримання більш репрезентативної вибірки.

Зменшити кроки зміни гучності та частоти звуку, для отримання більш точних даних про чутливість слуху.

Врахувати додаткові фактори, які можуть впливати на чутливість слуху, такі як вік, стать, професія, захворювання тощо.

Використовувати різні типи звуків, не лише синусоїдальні, але й інші, наприклад, білий шум, музика, мова тощо.

Вбудувати скрипт на веб-сторінку[12] так, щоб будь-хто міг протестувати слух без встановлення додаткових засобів.

Показувати користувачу не тільки його дані, а й анонімізовані дані інших користувачів.

Дані користувачів можна розбити на групи, наприклад, за віком, щоб користувачі могли оцінити свій стан в порівнянні з іншими.

Додати дані, які спеціалісти вважають ідеальними, і крім їх відображення, якщо дані користувача значно відрізняються, пропонувати відвідати лікаря.

**Алгоритм роботи скрипта.** В даному розділі описано алгоритм роботи скрипта. Блок схему скрипта наведено на рисунку 1. Даний скрипт є основою для розробки програми для тестування аудітивного сприйняття і може доповнюватися, або модифікуватися для підвищення точності тестування або зручності користувача.

#### 1. Ініціалізація:

- Скрипт оголошує та ініціалізує всі необхідні змінні, такі як:
- Початкова частота та гучність звуку.
- Кроки зміни частоти та гучності.
- Максимальна частота та гучність.
- Час очікування відповіді користувача.

#### 2. Генерація звуку:

- Скрипт генерує звук з заданою частотою та гучністю.

- Цей процес може бути реалізований різними способами, наприклад, за допомогою генератора звукових сигналів або програмного забезпечення для обробки звуку.

### 3. Очікування відповіді:

- Скрипт очікує протягом заданого часу (наприклад, 1 секунди), щоб користувач відреагував на звук.

### 4. Аналіз відповіді:

- Якщо користувач протягом заданого часу натиснув клавішу "а", це означає, що він почув звук.

- Скрипт записує поточну частоту та гучність звуку.

- Скрипт, якщо це була максимальна частота переходить до кроку

8.

- Скрипт збільшує частоту звуку на один крок, а гучність виставляє на мінімум.

- Скрипт переходить до кроку 2.

- Якщо користувач протягом заданого часу не натиснув клавішу "а", це означає, що він не почув звук.

- Скрипт збільшує гучність звуку на один крок.

- Якщо гучність звуку досягла максимального значення, скрипт збільшує частоту звуку на один крок.

- Скрипт переходить до кроку 2.

### 5. Адаптація параметрів:

- Скрипт може використовувати алгоритми для адаптації параметрів звуку до індивідуальних особливостей користувача та пришвидшення проходження тесту:

- Якщо користувач не почув звук після 10 кроків підвищення гучності, початкова гучність тестування буде збільшена.

- Якщо користувач почує звук на мінімальній гучності, вона буде поступово зменшуватися.

- Якщо користувач не почує звук після 15 кроків підвищення гучності, швидкість наростання гучності буде збільшена.

#### 6. Повторення циклу:

- Скрипт повторює цикли 2-5 для всіх частот звуку в заданому діапазоні.

#### 7. Збереження результатів:

- Після завершення тестування скрипт записує результати в файл.
- Результати можуть бути представлені у вигляді таблиці та графіка, які показують залежність чутливості слуху від частоти звуку.

#### 8. Відображення результатів:

- Скрипт може показувати користувачу його результати у вигляді таблиці та графіка та усереднені дані інших користувачів для порівняння.

- Скрипт може давати рекомендації користувачам, наприклад, рекомендувати відвідати лікаря, якщо його дані значно відрізняються від норми.

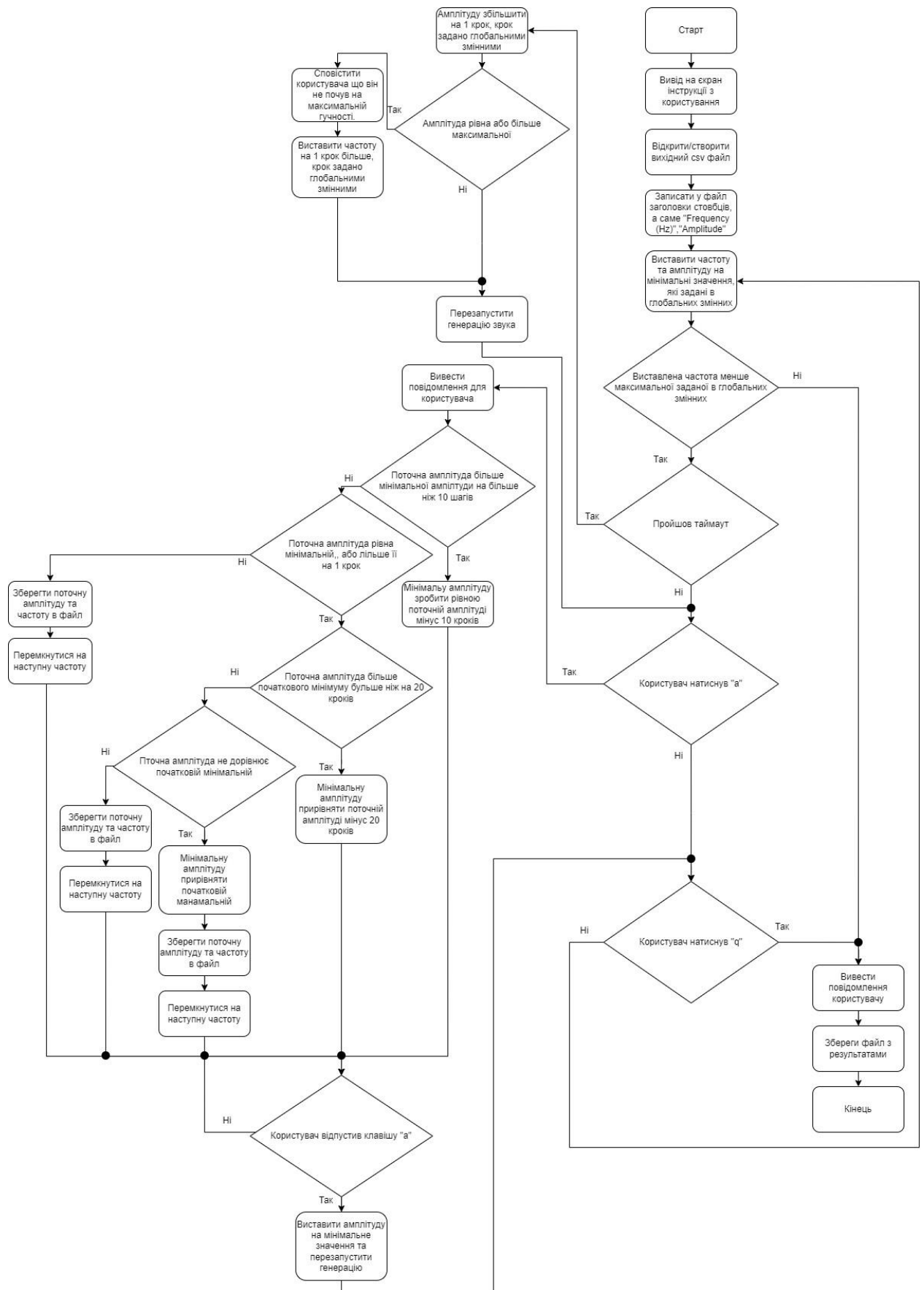


Рис. 1 – Блок-схема скрипта

**Результати тесту скрипта.** На рисунку 2 представлені результати тестування слуху автора, де видно, що автор виявляє кращу чутливість до низькочастотних звуків, тоді як реакція на високочастотні звуки є меншою. Це може свідчити про індивідуальні особливості слухової сприйнятливості.

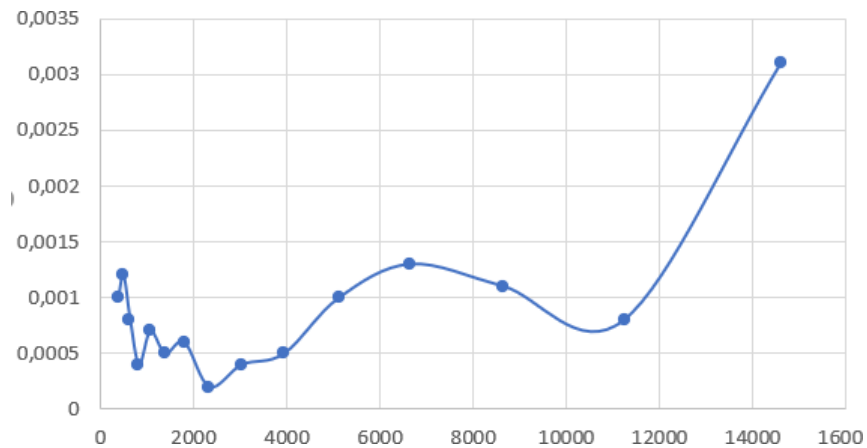


Рисунок 2 – Результат тестування слуху автора

З метою підвищення точності тестування рекомендується зменшити крок частоти. Це призведе до підвищення точності в діапазоні частот, на яких проводиться тест і відповідно, до зменшення можливих похибок. Рисунок 3 демонструє результати тестування зі зменшеним кроком частоти, але з одночасним збільшенням кроку гучності для оптимізації часу проведення тесту. Збільшення кроку гучності може бути корисним для ефективного використання часу, зменшуючи загальний час тривалості експерименту.

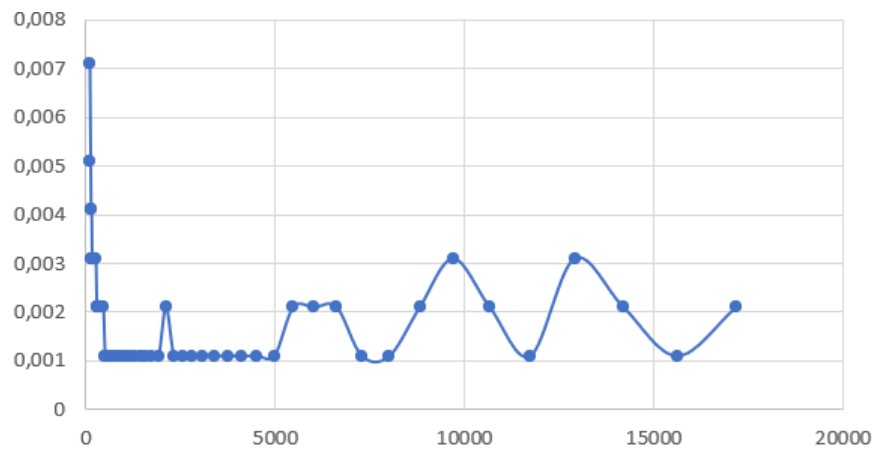


Рисунок 3 – Результат тестування слуху автора

На рисунку 4 відображено результат тестування зі зменшеними кроками як по частоті, так і по гучності. Це може призвести до отримання більш деталізованої інформації щодо чутливості слуху на різних рівнях.

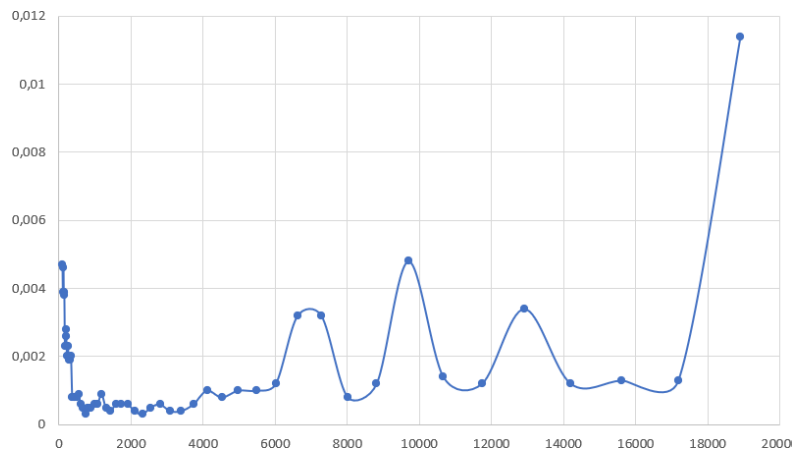


Рисунок 4 – Результат тестування слуху автора

Важливим аспектом є амплітудо-частотна характеристика навушників, в яких проводилось тестування, що може значно вплинути на результати. Однак це залишається неминучою проблемою, оскільки тестування проводиться в домашніх умовах, де доступ до спеціалізованого обладнання обмежений [4].

Додатково тестування пройшли ще декілька людей, на своїх комп'ютерах, без нагляду розробника, що дозволило провести тести максимально об'єктивно.

На рисунках 6 – 7 наведено результати тестів, де користувачі вірно налаштували свої прилади і результати можна вважати вірними.

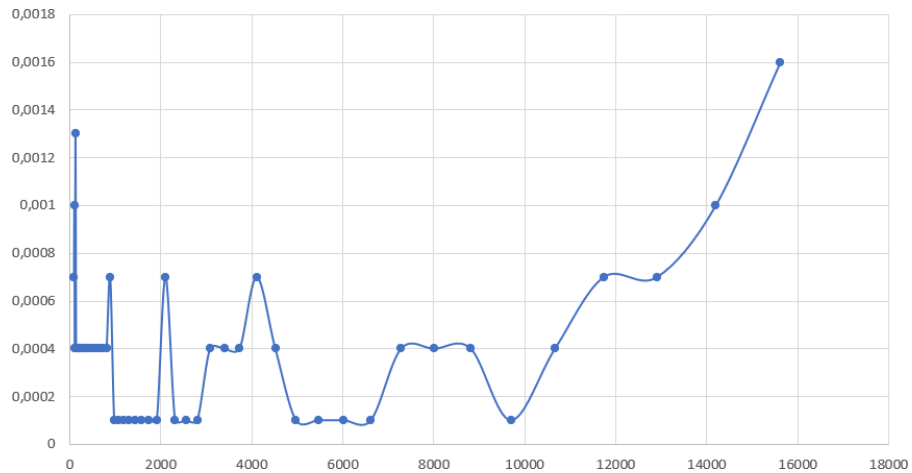


Рисунок 5 – Тест користувача 1

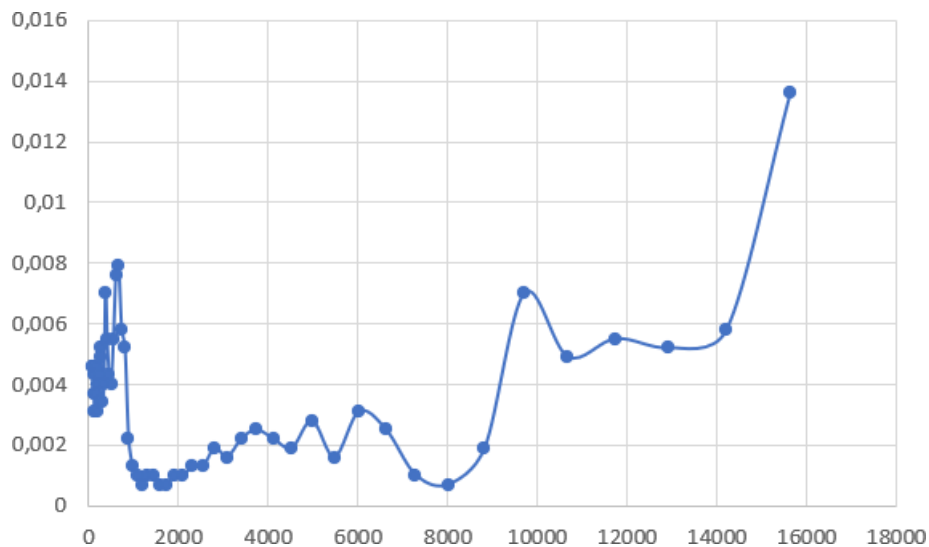


Рисунок 6 – Тест користувача 2

На рисунках 7 – 10 наведено результати, коли користувачі виставили на своїх пристроях занадто велику гучність, в наслідок чого вони чули будь яку частоту на мінімальній гучності, через що скрипт не мав змоги вірно оцінити їх аудитивне сприйняття.

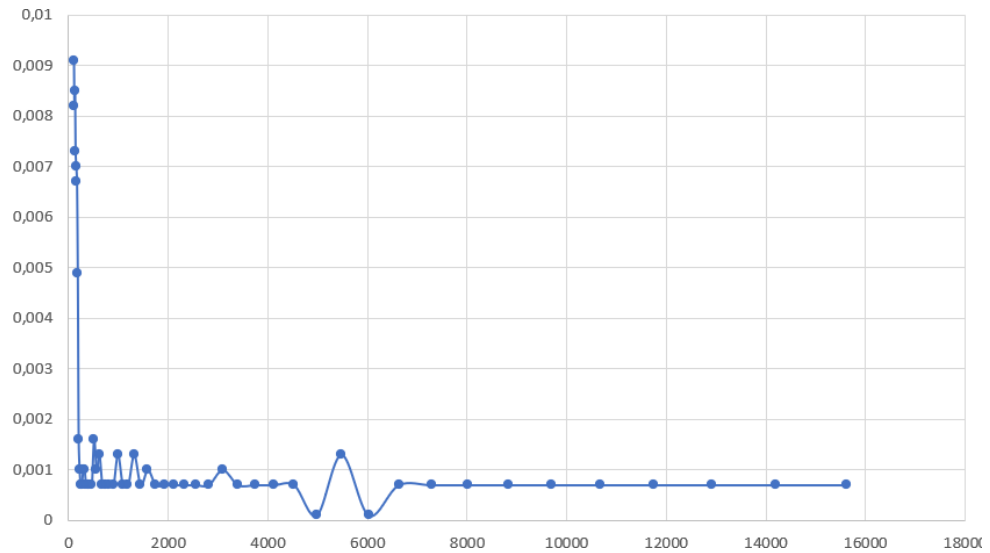


Рисунок 7 – Тест користувача 3

Для уникнення таких помилок в майбутньому буде додано початкове налаштування гучності. Користувачу буде запропоновано виставити гучність пристрою так, що він ледве чув звук певної частоти, який генерується не на мінімальній гучності. Наприклад на 30%. Такою дією буде виключено випадки коли користувачі випадково налаштовують свої пристрої на дуже велику гучність.

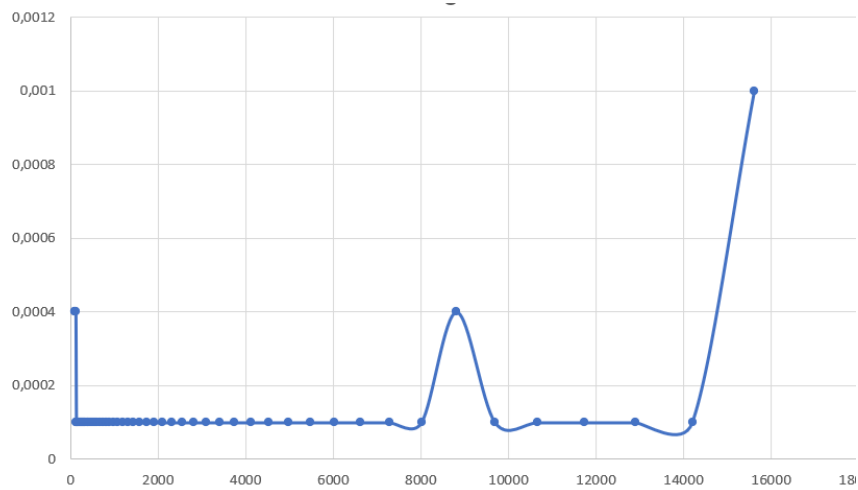


Рисунок 8 – Тест користувача 4

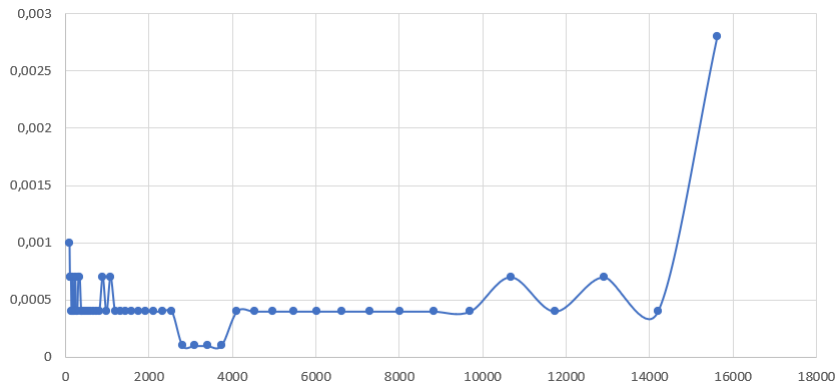


Рисунок 9 – Тест користувача 5

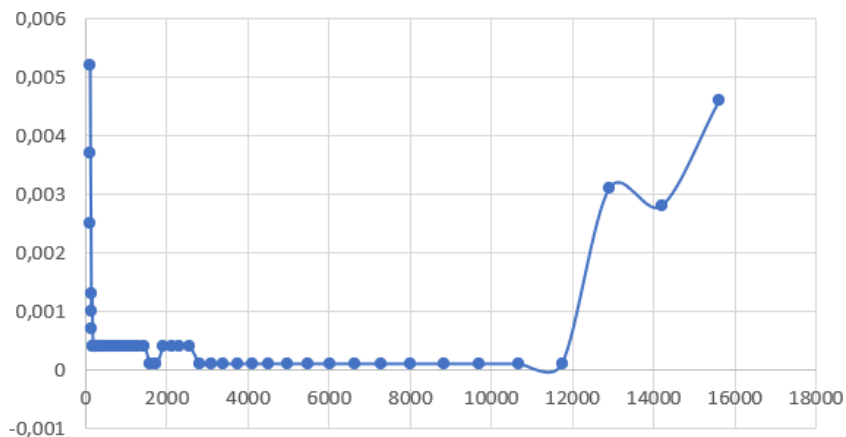


Рисунок 10 – Тест користувача 6

**Висновки.** У даній роботі була розроблена методика дослідження чутливості слуху, основана на використанні скрипта, що генерує звук різної частоти та гучності. Розроблений скрипт дозволяє ефективно визначити рівень чутливості слуху користувача, а також підтримує зручні умови для проведення тестування, не вимагаючи від користувача спеціальних навичок чи знань.

Метою нашого дослідження було визначення рівня чутливості слуху, яке може служити діагностичним показником різних захворювань слуху. Результати дослідження, представлені у вигляді таблиць та графіків, надають важливу інформацію щодо залежності чутливості слуху від частоти звуку для кожного учасника тестування.

Для поліпшення точності та надійності дослідження введено алгоритми, які адаптують параметри звуку до індивідуальних особливостей користувача. Ці алгоритми враховують реакцію користувача та оптимізують процес тестування.

У майбутньому можливі вдосконалення методики та скрипта, такі як збільшення кількості учасників дослідження, зменшення кроків зміни параметрів звуку, врахування додаткових факторів, і використання різних типів звуків. Також, інтеграція скрипта на веб-сторінку може значно розширити можливості та доступність тестування, дозволяючи будь-кому протестувати свій слух без встановлення додаткових засобів.

Загальні результати дослідження можуть бути корисні для розуміння впливу різних факторів на якість слуху та розвитку методик для діагностики захворювань слуху.

#### **Список літератури:**

1. Аудиометрія [Електронний ресурс] // Вікіпедія : вільна енциклопедія. — 2021. — Режим доступу:

<https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D1%83%D0%B4%D1%96%D0%BE%D0%BC%D0%B5%D1%82%D1%80%D1%96%D1%8F>

2. Аудиометр [Електронний ресурс] // Вікіпедія : вільна енциклопедія. — 2021. — Режим доступу:

<https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D1%83%D0%B4%D1%96%D0%BE%D0%BC%D0%B5%D1%82%D1%80>

3. Вправи для розвитку фонематичного слуху [Електронний ресурс] / Інститут дитячого інтелекту. — 2019. — Режим доступу:

<https://idi.in.ua/vpravi-dlya-rozvitku-fonematichnogo-sluxu/>

4. Лебедев Д.Ю., Лисенко О.М. Проблеми метрологічного забезпечення засобів реєстрації отоакустичної емісії (ОАЕ). Медична інформатика та інженерія. – Київ. - №1. – 2008. – С. 61 – 65.

#### ZAGREBA A.Y., LEBEDEV D.Y. IMPLEMENTATION OF A SOFTWARE APPLICATION FOR ASSESSING AUDITORY PERCEPTION IN USERS

This study focuses on the development of a software script for assessing auditory perception in users. In today's information society, where technologies are deeply integrated into all aspects of our lives, the ability to interact with various audio content is of great importance. Research on users' auditory perception is a relevant task, as it can pave the way for further improvements in methods of enhancing auditory perception.

The evaluation of users' auditory perception requires highly accurate methods and effective tools. This study explores the development of a software script that systematically studies and analyzes the level of auditory perception under various conditions. The use of such a script can provide valuable data for understanding and improving the users' auditory experience.

To enhance the accuracy and reliability of the research, algorithms are introduced that adapt sound parameters to the individual characteristics of the user. These algorithms take into account the user's reactions and optimize the testing process.

The approach to creating the software script not only enables a detailed analysis of auditory perception but also opens the door to further research and development in the field of audio interfaces. This article presents the main

principles of the script's functionality and discusses its potential applications and future research prospects.

The overall results of this study may contribute to understanding the impact of various factors on hearing quality and to the development of methods for diagnosing hearing disorders. Based on the research findings, an online service could be developed for self-assessment of hearing, enabling early detection of problems or tracking changes in the user's hearing condition.

Keywords: auditory perception, technological tools, interface development, interaction with sound environments, interactive research, audio technology, audio perception.

## Додаток Б – Лістинг програми

```
<!DOCTYPE html>
<html lang="uk">
<head>
  <meta charset="UTF-8">
  <meta name="viewport" content="width=device-width, initial-scale=1.0">
  <title>Веб-сторінка з генератором звуку</title>
</head>
<body>
  <script
src="https://ajax.googleapis.com/ajax/libs/jquery/3.5.1/jquery.min.js"></script>
  <script>
    $(document).ready(function() {
      var context = new AudioContext();
      var results = [];

      function generateSound(frequency, volume) {
        var oscillator = context.createOscillator();
        var gainNode = context.createGain();

        oscillator.type = 'sine';
        oscillator.frequency.value = frequency;
        gainNode.gain.value = volume;

        oscillator.connect(gainNode);
        gainNode.connect(context.destination);

        oscillator.start();

        setTimeout(function() {
          oscillator.stop();
        }, 1000);
        console.log("Playing sound with frequency " + frequency + " Hz and
volume " + volume);
      }

      function testVolume(frequency) {
        generateSound(200, 0.5);
        var message = $('<p>Використовуючи регулювання гучності на на-
вушниках, налаштуйте гучність так, щоб ледве чути цей звук</p>');
      }
    });
  </script>
</body>
</html>
```

```
var TryButton = $('<button>Повторити звук</button>');
var okButton = $('<button>ОК</button>');
```

```
TryButton.click(function() {
    generateSound(200, 0.5);
});
```

```
okButton.click(function() {
    var MinVolume = 0.001;
    var currentVolume = MinVolume;
    var maxVolume = 1.0;
    var stepVolume = 0.003;
```

```
var interval = setInterval(function() {
    if (currentVolume >= maxVolume) {
        currentVolume = MinVolume;
        frequency *= 1.3;
        if (frequency > 20000) {
            clearInterval(interval);
            showCompletionMessage();
            downloadCSV();
            return;
        }
        generateSound(frequency, currentVolume);
    } else {
        currentVolume += stepVolume;
        generateSound(frequency, currentVolume);
    }
}, 500);
```

```
message.remove();
okButton.remove();
TryButton.remove();
```

```
var feelButton = $('<button>Почув</button>');
var endButton = $('<button>Закінчити</button>');
$('body').append(feelButton, endButton);
```

```
feelButton.click(function() {
    clearInterval(interval);
    results.push({ frequency: frequency, volume: currentVolume });
```

```

    frequency *= 1.3;
    if (frequency > 20000) {
        showCompletionMessage();
        downloadCSV();
        return;
    }

    currentVolume = MinVolume;

    interval = setInterval(function() {
        if (currentVolume >= maxVolume) {
            currentVolume = MinVolume;
            frequency *= 1.3;
            if (frequency > 20000) {
                clearInterval(interval);
                showCompletionMessage();
                downloadCSV();
                return;
            }
            generateSound(frequency, currentVolume);
        } else {
            currentVolume += stepVolume;
            generateSound(frequency, currentVolume);
        }
    }, 1000);
});

endButton.click(function() {
    clearInterval(interval);
    downloadCSV();
    showCompletionMessage();
});
});

$('startButton').remove();
$('body').append(message, okButton, TryButton);
}

```

```

function downloadCSV() {
    let csvContent = "data:text/csv;charset=utf-8,Frequency
(Hz);Volume\n";
    results.forEach(function(row) {
        csvContent += row.frequency + ";" + row.volume + "\n";
    });

    var encodedUri = encodeURI(csvContent);
    var link = document.createElement("a");
    link.setAttribute("href", encodedUri);
    link.setAttribute("download", "hearing_test_results.csv");
    document.body.appendChild(link);
    link.click();
    document.body.removeChild(link);
}

function showCompletionMessage() {
    alert("Тест закінчено");
    $('button').remove();
    $('body').append('<p>Щоб повторити тест, перезавантажте сторін-
ку</p>');
}

$('body').append('<button id="startButton">Старт</button>');

$('body').on('click', 'startButton', function() {
    var frequency = 440;
    testVolume(frequency);
});
</script>
</body>
</html>

```

Додаток В – АКТ

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.О. Декан факультету електроніки  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

\_\_\_\_\_ С.А. Найда

(підпис)

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 р.

А К Т

про використання результатів наукових досліджень студента групи ДК-31-МП  
кафедри конструювання електронно-обчислювальної апаратури (КЕОА)

факультету електроніки КПІ ім. Ігоря Сікорського

Загреби Арсена Ярославовича

на тему «Програмний застосунок для оцінки аудитивного сприйняття користувачів»

в навчальному процесі

Даний акт складено про те, що результати наукових досліджень на тему «Програмний застосунок для оцінки аудитивного сприйняття користувачів» студента групи ДК-31-МП кафедри КЕОА факультету електроніки КПІ ім. Ігоря Сікорського **Загреби Арсена Ярославовича** (програмні рішення) використані при викладанні навчального модулю «Методи веб-програмування» для студентів спеціальності 172 «Електронні комунікації та радіотехніка» освітньо-професійної програми «Інформаційно-обчислювальні засоби радіоелектронних систем» на кафедрі КЕОА факультету електроніки КПІ ім. Ігоря Сікорського.

Завідувач кафедри КЕОА

\_\_\_\_\_

(підпис)

О. М. Лисенко

Секретар кафедри КЕОА

\_\_\_\_\_

(підпис)

О.І. Білявська