

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

(повна назва інституту/факультету)

Кафедра акустики та акустoeлектроніки

(повна назва кафедри)

«На правах рукопису»
УДК 621.391.83

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

В.С.Дідковський
(підпис) (ініціали, прізвище)

“ ” 20__ р.

Магістерська дисертація

зі спеціальності (спеціалізації) 171 Електроніка

(код і назва спеціальності)

на тему: Активний захист мовленнєвої інформації від витоку

Виконав (-ла): студент (-ка) б курсу, групи ДГ-61м

(шифр групи)

Бухта Ксенія Вікторівна

(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Науковий керівник доктор технічних наук, професор кафедри акустики та акустoeлектроніки КПІ ім. Сікорського Продеус А.М

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

(підпис)

Консультант _____

(назва розділу)

(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

(підпис)

Рецензент к.т.н., доцент, професор кафедри КММТ НАУ Мелешко М.А.

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

(підпис)

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

Студент _____

(підпис)

Київ – 2018 року

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

Інститут (факультет) електроніки _____

(повна назва)

Кафедра акустики та акустоелектроніки _____

(повна назва)

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність 171 Електроніка _____

(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ В.С. Дідковський

(підпис)

(ініціали, прізвище)

«__» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

_____ Бухті Ксенії Вікторівні _____

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації Активний захист мовленнєвої інформації від витоку,
науковий керівник дисертації Продеус Аркадій Миколайович, докт. техн. наук,
проф.кафедри А та АЕ,

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

затверджені наказом по університету від «09» лютого 2018 р. №691-с _____

2. Термін подання студентом дисертації «15» травня 2018 р. _____

3. Об'єкт дослідження комплекс програм, створених у середовищі Matlab для
автоматизації суб'єктивного. оцінювання розбірливості української мови.

4. Предмет дослідження: оцінка захищеності інформації за контролем
показника розбірливості мовлення на фоні шумових завад та реверберації.

5. Перелік завдань, які потрібно розробити

1. Провести аналіз літературних джерел
 2. Розробити комп'ютерну програму, що реалізує автоматизований метод оцінки
 3. Провести тестування роботи програми
 4. Провести тестування з оцінки розбірливості
 5. Обробити та проаналізувати результати
 6. Зробити висновки щодо якості розробки та рекомендації до подальшого використання
6. Орієнтовний перелік ілюстративного матеріалу презентація PowerPoint
7. Орієнтовний перелік публікацій

7.1 Бухта К.В. Про можливість покращення розбірливості мовлення шляхом використання акустичних моніторів / XI Міжнародна науково-технічна конференція молодих вчених «Електроніка-2018». К.: «КПІ імені Ігоря Сікорського», 2018. – 14-18 с.

7.2. Prodeus A., Bukhta K., Morozko P., Serhienko O., Kotvytskyi I. Shherbenko I. Automated system for subjective evaluation of the Ukrainian speech intelligibility / Proceedings of IEEE 38th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO), April 24-26, 2018 Kyiv, pp. 533-538

8. Консультанти розділів дисертації*

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

9. Дата видачі завдання 03 травня 2017 р. _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
	Аналіз літературних джерел	01 листопада 2017 р.	
	Розробка матеріалів для дослідження	01 жовтня 2017 р.	
	Розробка комплексу програм	10 жовтня 2017 р.	
	Тестування програм	15 жовтня 2017 р.	
	Проведення першого етапу досліджень	20 грудня 2017 р.	
	Проведення другого етапу досліджень	20 квітня 2018 р.	

	Аналіз отриманих результатів	01 травня 2018 р	
	Оформлення роботи	15 травня 2018р	

Студент

(підпис)

(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

(підпис)

(ініціали, прізвище)

РЕФЕРАТ

В дисертації розглядається розробка та тестування нового комплексу програм для автоматизованого оцінювання української мови артикуляційним методом. Результати двох етапів проведення випробування приведені та проаналізовані.

Результати роботи можуть бути застосовані для акустичної експертизи з метою визначення розбірливості мовлення та винесення висновку щодо захищеності інформації від витoku або якості тракту зв'язку. Дані рекомендації щодо типу спотворення сигналу, що дає найкращий результат захищеності.

Дана магістерська дисертація складається з 90 сторінок основного тексту, 24 ілюстрацій, 32 таблиць, 28 формул та двох додатків. Для написання роботи було використано 37 бібліографічних джерел.

Ключові слова: розбірливість мовлення, артикуляційний метод, суб'єктивне оцінювання розбірливості, автоматизація оцінювання розбірливості.

ABSTRACT

The dissertation connected with the development and testing of a new set of programs for the automated evaluation of the intelligibility of Ukrainian language by using the articulation method. Results of two stages of the the carrying out test are given and analyzed.

Work results can be used for acoustic examination with aim to determine the speech intelligibility and make a conclusion on level of protection of information from the leakage or quality of the communication path. These recommendations are about the type of signal distortion that gives the best protection result.

This master's dissertation consists of 90 pages of main text, 24 illustrations, 32 tables, 28 formulas and two applications. 37 bibliographic sources were used to write the work.

Key words: speech intelligibility, articulation method, subjective evaluation of intelligibility, automation of intelligibility evaluation.

Зміст

Вступ.....	8
1. Методи оцінювання розбірливості мовленнєвої інформації.....	10
1.1. Розбірливість мовлення.....	10
1.2. Суб'єктивні методи оцінювання розбірливості мовлення	17
1.3. Об'єктивні методи	35
2. Програмний комплекс для автоматизації суб'єктивного оцінювання розбірливості української мови	44
2.1. Стандартизована процедура оцінювання розбірливості мовлення	44
2.2. Розробка програмного комплексу	51
2.2.1. Аналіз попередніх розробок	51
2.2.2. Етапи розробки, що пропонується	54
2.3. Удосконалення програмного комплексу	67
3. Тестування запропонованого програмного комплексу	71
3.1. Перший етап тестування	71
3.2. Аналіз факторів, що впливають на розбірливість	77
3.3. Другий етап експерименту	80
4. Стартап-проект	84
Висновки	100
Список використаної літератури	102
Додаток А	106
Додаток Б.....	115

Вступ

Значна частка інформації передається за допомогою спілкування. В багатьох випадках її зміст повинен бути прихований від сторонніх. Це, наприклад, інформація, яку обговорюють в переговорних кімнатах, кабінетах тощо. Забезпечення захисту переговорів є важливим для їх учасників. Щоб визначити, наскільки захищеним є приміщення, в якому ведуться переговори, звертаються до спеціалістів з акустичної експертизи. Для оцінки захищеності приміщення спеціалісти користуються вкрай важливим поняттям розбірливості мовлення. Чим меншою є розбірливість за межами приміщення та у можливих місцях знаходження підслуховувача – тим більш високою є оцінка захищеності. В свою чергу забезпечення високої розбірливості мови в лініях зв'язку є досить актуальною проблемою, з огляду на стрімкий розвиток засобів стільникового зв'язку та IP-телефонії, а також враховуючи необхідність забезпечення високої розбірливості мови в аудиторіях навчальних закладів, концертних залів, офісів тощо [1]. Проте задача зниження розбірливості мови у лініях зв'язку для забезпечення секретності переговорів теж актуальна. Контроль всіх цих задач відбувається за допомогою показника розбірливості мовлення.

На сьогодні існує два підходи до вимірювання розбірливості: суб'єктивний, при якому мовна та слухова системи людини є основними елементами вимірювальної системи, та об'єктивний, при якому процедуру вимірювання автоматизовано. Хоча суб'єктивний підхід є досить обтяжливим в сенсі значних затрат людських, часових та фінансових ресурсів, його безсумнівна та першорядна цінність полягає в можливості одержати еталонні результати, необхідні в подальшому для калібрування об'єктивних систем вимірювання.

Сертифікація ліній зв'язку відбувається після процедур оцінювання розбірливості мови, що передається ними. Еталонний результат отримується за результатами суб'єктивного оцінювання, а в подальшому перевірка відбувається інструментальними методами. У праці [2] відмічено, що відомі об'єктивні методи, реалізовані на сучасній апаратурі, дають набагато кращий результат. Це

означає, що сертифіковані за даними стандартами лінії зв'язку є відповідно менш захищеними.

В Україні відсутній стандарт для оцінювання розбірливості української мови в трактах радіотелефонного зв'язку. Ми вимушені користуватися застарілим радянським ГОСТ 16600-72 [3]. В Росії замість цього вже давно використовують стандарт 50840-95 [4], який осучаснено шляхом надання можливості автоматизації суб'єктивної акустичної експертизи шляхом використання ПК та спеціального програмного забезпечення. На сьогодні він теж є морально застарілим, а в його методиці є недоліки, що впливають на результат. Деякі інші вчені [5, 6, 7] проводили подібні автоматизовані дослідження, але вони мають певні недоліки.

Отже **актуальним** є створення автоматизованої системи для оцінювання розбірливості української мови.

Метою даної роботи є створення прототипу такої системи оцінювання. Це включає наступні пункти:

1. Розробка та тестування програмного комплексу для оцінювання розбірливості української мови;
2. Проведення двох етапів досліджень;
3. Обробка результатів випробувань;
4. Аналіз результатів та висновки про вид оптимальної шумової завади для забезпечення безпеки переговорів.

Об'єктом дослідження є програмний комплекс для автоматизації суб'єктивного оцінювання розбірливості мовлення, створений у середовищі Matlab. **Предмет дослідження** – розбірливість мовлення, що спотворена шумовими завадами та реверберацією.

Отримані результати можуть бути використані насамперед для атестування ліній зв'язку з метою захисту акустичної інформації від витоку та, можливо, послугують основою для створення національного стандарту.

1. Методи оцінювання розбірливості мовленнєвої інформації

1.1. Розбірливість мовлення

У повсякденному житті люди постійно спілкуються. Методи можуть бути різними, але звичайне мовлення все одно залишається найбільш популярним. Найчастіше люди прагнуть досягти найкращого сприйняття учасниками спілкування інформації, що передається. Але не менш часто її хочуть захистити від сторонніх людей. Тобто в першому випадку ми хочемо зробити мову зрозумілою для того, хто її приймає, а в другому – незрозумілою для того, кому вона не призначена. Проте яким чином можна оцінити таке абстрактне поняття? Зрозумілість мовлення можна оцінити, оперуючи поняттям розбірливості.

Розбірливість мовлення – це характеристика усного мовлення, що визначається відношенням правильно сприйнятих слухачем елементів мовлення до переданих [8].

Вид переданої інформації навмисно не специфікується, оскільки елементом мовлення може бути як слова та фрази, так і звуки та склади, навіть цифри. Відповідно до використовуваного для оцінку типу елементу мовлення визначається тип розбірливості: складова, фразова та інші. Найбільш використовуваними є звукова, складова та словесна розбірливість. Причини цього будуть розглянуті у пункті «Суб'єктивні методи оцінювання».

Терміном розбірливості оперують при виконанні задач акустичної експертизи приміщень. Часто під акустичною експертизою розуміють оцінку акустичних властивостей приміщень та зон озвучування, жилих та промислових приміщень. Варто зазначити, що під поняттям об'єктів акустичної експертизи ховаються не лише приміщення, а й все, що пов'язано з музикою - музикальна апаратура, вокальні дані співаків, інструменти. Специфічним напрямом є судова акустична експертиза яка включає в себе фоноскопичну, лінгвістичну, авторознавчу. В даній роботі будуть розглянуті такі об'єкти як канали мовленнєвої комунікації (або канали зв'язку) та, в деякій мірі, приміщення.

В процесі проведення експертизи розбірливість як розраховують, так і вимірюють. Відповідно існує розмаїття методів, які будуть розглянуті нижче. Результат оцінки дозволяє зробити висновок про відповідність властивостей об'єкта вимогам та рекомендації щодо досягнення результату. Звичайно це рекомендації щодо зміни відношення сигнал-шум. Ми говоримо про великі відношення у зв'язку з високою розбірливістю та про малі, коли завади помітно впливають на сприйняття інформації. Шумом може бути будь-який оточуючий: чужі розмови, музика, транспортний, будь-який шум комунікацій. Говорячи про захист інформації, шум зазвичай є шумом у повному сенсі цього слова. Однаково часто використовують різнокольоровий та мовоподібний.

Захист інформації завжди пов'язаний з її втратами. При найвищому рівні захисту у точці прийому будь-які ознаки мовлення мають бути відсутніми. Говорячи просто, найбільш захищеною ми назвемо таку розмову, яку не чути за шумом. Проте це є ідеальним випадком. Зазвичай повідомлення маскують не повністю, а лише у якійсь мірі. Це є результатом взаємодії двох факторів: рівня складності технічної реалізації та економічних. Чим складнішою є розробка заходів по захисту, тим дорожче це обходиться, і тим відповідно важче ввести такий метод для широкого використання.

Каналом передачі мовленнєвої інформації називають фізичне середовище між точками відправлення та прийому мовленнєвої інформації [9].

Канали, або як їх ще називають, тракти, розрізняють за типами фізичного середовища, у якому відбувається передача. Бувають наступні види каналів:

- 1) Акустичні. Якщо середовище – повітря;
- 2) Технічні у випадку, коли канал передачі містить різноманітні технічні пристрої. В свою чергу їх розрізняють за способами перетворення сигналу;
- 3) Електроакустичні. Це ті, що складаються з аналогових пристроїв та систем, що перетворюють коливання струму або напруги в акустичні та навпаки;
- 4) Вібраційні виконують перетворення механічних вібрацій в мовленнєвий сигнал та навпаки;

- 5) Радіоканали – ті, в яких відбувається перетворення акустичних сигналів в електромагнітні хвилі та навпаки;
- б) Цифрові це такі канали, що містять системи перетворення аналогових електричних сигналів в послідовність дискретних електричних імпульсів та навпаки. Цей тип каналів називають також ІР-телефонією.

Вказаний поділ є доволі умовним, оскільки тип каналу часом важко визначити через його змішану природу.

Ми говоримо про передачу мовленнєвої інформації у випадках, коли обмін нею між людьми відбувається з взаємної згоди учасників. Якщо слухач приймає інформацію без згоди диктора, то говорять про витік мовленнєвої інформації. У другому випадку канал є каналом витоку мовленнєвої інформації. Майже завжди вони містять технічні пристрої, тому називаються технічними каналами витоку мовленнєвої інформації.

Технічні канали витоку класифікують майже так само як і звичайні. Розглянемо цю класифікацію у таблиці 1 [10].

Таблиця 1 – Класифікація каналів витоку інформації

Тип каналу витоку	Середовище поширення	Засоби перехоплення інформації
Повітряний	Повітря	Високочутливі мікрофони або спеціальні направлені мікрофони, поєднані з диктофонами або передатчиками. Конструкція називається акустичною закладкою.
Вібраційний	Конструкції приміщення	Електронні стетоскопи: поєднання контактного мікрофону та підсилювача.
Електроакустичний	Пристрої, що перетворюють електричні коливання в акустичні та навпаки	Будь-які акустоелектричні пристрої (трансформатори, датчики пожежної сигналізації).
Оптико-електронний	Електронні схеми та поверхні	Інфрачервоні лазери, що використовуються одночасно з прийомною апаратурою, що фіксує відбиття променя від

		поверхонь, так звані лазерні мікрофони.
Параметричний	Електронні схеми пристроїв (телевізорів т.і.)	1) Зміна параметрів електронних схем, що обумовлене впливом акустичних хвиль. 2) Високочастотне опромінення напівактивних вкладок

Отже існують різноманітні способи отримати інформацію, що не призначена для сторонніх. Тому важливо вживати заходів для запобігання цьому.

Всі методи захисту мовленнєвої інформації поділяють на пасивні та активні [10].

Пасивні методи реалізуються за допомогою зміни акустичних властивостей переговорних приміщень. Захисні міри застосовуються до стін, вікон, дверей, вентиляції, навіть підлоги. Станом на 2001 перший рік найбільш популярними для вирішення задач звукоізоляції були плити з назвами «Акмант», «Вініпор», ППМ, «Акмігран», ПП-80. Сьогодні вони поступилися місцем більш новим розробкам, які виготовляють зарубіжні мануфактури. Установка плит наступна: або щільне прилягання до поверхні, або установка на відстані від неї. У другому випадку звукоізоляція краща за рахунок проходження акустичною хвилею більшого числа середовищ та відповідно більшими втратами енергії. За допомогою таких заходів можна «виграти» до 15 дБ. Окрім плит використовують також облицювання, що виконане з пористо-волокнистих матеріалів. Найбільш популярною є базальтова вата. Зазвичай облицювання вкривають захисною оболонкою з металу, тканини, плівки та інших підходящих матеріалів. Зазвичай поверхня плівки перфорована. На підлогу вкладають захисні матеріали на етапі будівництва, щоб отримати так звану плаваючу підлогу.

Для пасивного захисту комунікацій (вентиляція, каналізація, тепlopостачання та інше) виконують акустичну розв'язку: гумові вставки, прокладки, спеціальні глушники тощо. Вентиляційні комунікації рекомендовано

проекувати так, щоб вони знаходилися на даху, а через отвори неможливо було здійснити дистанційний контроль. У випадку неможливості зміни конструкції встановлюють акустичні фільтри та вкладки.

Вікна та двері є потужними джерелами витоку інформації. Раніше використовували вікна спеціальної конструкції, але сьогодні можна встановити двокамерні склопакети. Основна вимога до них – неоднакові проміжки між склом, ідеальним є 1:4. Для додаткового покращення захисних властивостей потрібно використовувати нестандартні гумові прокладки. Звичайні двері мають щілину між дверним полотном та підлогою, що є очевидним джерелом витоку. Для захищених приміщень двері мають бути максимально підігнаними під дверний отвір. Також на полотні мають бути встановлені плити або облицювання як для стін. Ідеальним є використання пари захищених дверей з тамбуром між ними.

Недолік пасивних методів захисту в тому, що вони встановлюються на тривалий час та можуть втратити актуальність з ростом можливостей підслуховування. Також їх потрібно встановлювати заздалегідь.

В свою чергу використання активних методів захисту акустичної інформації передбачають акустичних та вібраційних завад. Вібраційне маскування використовується у оптико-електронних та вібраційних каналах, у інших випадках використовують акустичні завади. Суть такого маскування проста: корисний сигнал (розмова) складається з шумом (завадою) так, щоб утворена суміш мала мале відношення сигнал-шум.

Використовуваними є наступні системи: «Заслон», «Кабинет», «Барон», «Порог-2М», «Фон-В», «Шорох», VNG-012 GL, VNG-006, ANG-2000, NG-101, «Эхо» та інші [10].

Для вібраційного маскування використовують генератори на основі електровакуумних, газорозрядних, напівпровідникових елементів. Найбільш використовуваними є генератори шумових коливань. Проте використовуються не лише шуми, а й мовоподібні сигнали та хаотичні послідовності імпульсів. Окрім генератора шуму, в систему входить 6-25 випромінювачів. Для

найкращого захисту вібродатчики встановлюють на всіх поверхнях, не забуваючи про комунікації [9, 10].

Для акустичного маскування зазвичай використовують акустичні колонки. Найбільш старанно вивченням активного захисту переговорних кімнат займався Бредлі [11]. Він визначав як методи захисту, так і методи вимірювання ступеню цього захисту.

Загальною рекомендацією всіх спеціалістів в даній області є використання колонок у всіх найменш захищених зонах. Тут постає проблема різного рівню зовнішнього шуму, тобто достатнього перекриття колонками. Для цього використовують багатоканальні системи. У багатьох з вище перерахованих систем є можливість плавного або ступінчатого регулювання рівня шуму.

Найбільш популярними шумами є кольорові: білий, коричневий, рожевий та мовоподібний шум. Також завада може бути комбінованою.

Недоліком активного захисту є необхідність прийняття додаткових заходів до захисту сусідніх приміщень від випромінюваного шуму та складність реалізації. Проте і захист забезпечується гарний [9, 10].

Основним показником якості захисту є розбірливість мовлення ззовні.

Для того щоб точно знати, що робити у кожному з випадків, коли потребується захист, потрібно провести акустичну експертизу тракту та дати рекомендації.

Основними вимогами, що висуваються до трактів зв'язку, є наступні:

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

Найголовнішою є перша вимога, оскільки вона забезпечує сам факт обміну інформацією. Гучність повинна бути такою, щоб розбірливість забезпечувалася без напруження зі сторони слухового апарату слухача. Остання вимога оцінює не стільки здатність передавати повідомлення, скільки можливість для слухача відчувати особливості мовлення людини, що говорить: тембр, інтонації та інше. Ця

вимога найбільш актуальна для побутових трактів передачі інформації, таких як телефон, комп'ютер [12].

Наявність критеріїв призводить до необхідності створення методів їх оцінювання. Їх виникла велика кількість, оскільки на кожному етапі розвитку науки та техніки можна було вдосконалити попередні. Всі методи оцінки розділені на два великі групи – суб'єктивні та об'єктивні. Як видно з опису критеріїв, найбільш важливим параметром є розбірливість. На її оцінювання в основному і направлені всі методи.

Покровський визначає метод як суб'єктивний, якщо:

- рішення про якість об'єкта приймає єдиний експерт;
- якість об'єкта оцінюється за допомогою порядкової шкали («умовним балом»).

У свою чергу об'єктивним вважається метод, якщо:

- рішення про якість об'єкта приймає кілька експертів;
- якість об'єкта оцінюється за допомогою шкал більш високого рівня («певної числової величини»).

Важливо зазначити, що створення об'єктивних методів базується на використанні залежностей, що отримані при проведенні суб'єктивних вимірювань.

Як бачимо, даний підхід до поділу методів на суб'єктивні і об'єктивні страждає внутрішньою суперечливістю, оскільки, в кінцевому рахунку, залишається незрозумілою роль вибору виду шкали експертних оцінок. Якщо не конкретизувати тип вимірювальної шкали, тоді визначення зводиться до наступного: метод вважається суб'єктивним, якщо експерт один, і об'єктивним - якщо експертів кілька.

Автор згадує про існування альтернативного підходу до поділу методів на суб'єктивні і об'єктивні. Він має на увазі такий поділ: до суб'єктивних відносять методи, в яких мовний або слуховий апарат людини є складовою частиною вимірювальної системи, а до об'єктивних - методи, в яких весь вимірювальний процес здійснюється приладами без участі органів чуття людини.

Сьогодні згаданий підхід устоявся та широко використовується [12].

Таким чином можна сказати, що перший тип методів є більш примхливим, але неймовірно важливим. Другий же тип спрощує процедуру проведення оцінювання трактів зв'язку. Розглянемо всі відомі методи.

1.2. Суб'єктивні методи оцінювання розбірливості мовлення

Як було зазначено, суб'єктивні методи вимагають безпосередньої участі людей – дикторів та аудиторів (слухачів).

Розглянемо наступні методи:

- оцінка за п'ятибальною шкалою МККР;
- артикуляційний;
- тональний;
- порівняння по гучності;
- вимірювання еквівалента загасання по розбірливості (метод АЕН);
- перепитувань;
- думок.

Метод МККР

Першим розглянемо метод випробування радіостанцій за рекомендаціями Міжнародного Консультативного Комітету з Радіозв'язку (МККР). Диктор читає текст на передавальній стороні, в той час як на приймальній слухач виставляє оцінку розбірливості за п'ятибальною шкалою.

- нерозбірливо;
- часом розбірливо;
- розбірливо насилу;
- розбірливо;
- зовсім розбірливо.

Радіостанція при цьому працює в нормальному режимі.

Метод порівняння по гучності

Даний метод виник завдяки широко відомому пересічній людині явищу: в повній тиші (або при малому рівні шуму) розбірливість тим вища, чим вища гучність сигналу. Так, наприклад, людина збільшує гучність телевізора в кімнаті. При форсуванні (посиленні) мови розбірливість буде знову падати. В цьому і полягає важлива особливість методу: розбірливість не вимірюються безпосередньо. Відповідність встановлюють за графіками, приклад яких зображений на рис. 1.

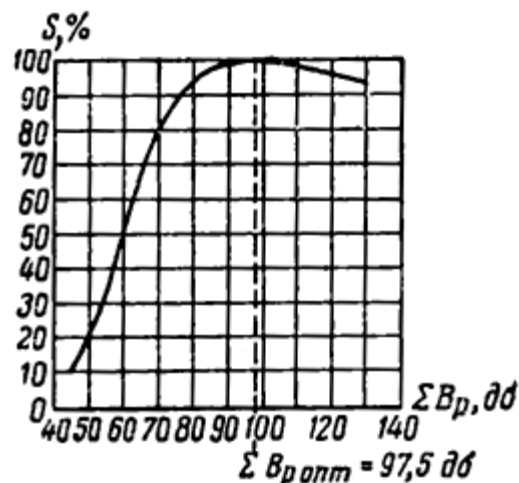


Рис. 1. Залежність словесної розбірливості від сумарного рівня мови [12]

Дане зображення показує, що розбірливість стрімко зростає з ростом гучності, а при великих рівнях – падає. Оптимальним у даному випадку вказано рівень 97.5 дБ.

Розглянемо схему (рис. 2) даного методу.

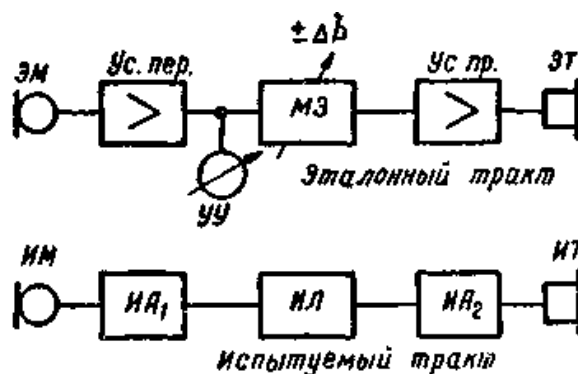


Рис. 2 Схема вимірювання еквівалента затухання по гучності [12]

Тут ЕМ - еталонний мікрофон, ІМ - випробувальний. Одночасно перед ними диктор читає умовну фразу. Вона повинна бути такою, що характерна для мови проведення експерименту. Для російської мови це «Не видали мы такого невода». Фразу можна повторювати неодноразово з приблизно постійною гучністю.

Аудитор знаходиться в іншому приміщенні. Обов'язковою умовою є звукоізоляваність його від приміщення передачі. Слухач поперемінно прослуховує повідомлення, що читає диктор, використовуючи телефон еталонного (ЕТ) або випробуваного тракту (ІТ). У еталонний тракт введений магазин затухання МЗ. На ньому вводиться додаткове згасання в разі більш високій гучності мови на виході еталонного тракту, а в іншому - виводиться. Відповідно знак «+» при Δb використовують коли випробуваний тракт гірше еталонного, знак «-» - коли краще. Говорячи просто, в основу методу покладено порівняння гучності передачі, що досягається на випробуваному тракті, з гучністю передачі по еталонному.

Кількісною характеристикою якості досліджуваної системи слугує еквівалент затухання $\pm \Delta b$. Він визначається як різниця гучності (в дБ) при передачі через еталонний та досліджуваний тракт.

Значення еквівалента загасання регламентуються Міжнародним Консультативним Комітетом по Телефонії та Телеграфії для того, щоб була можливість порівняти їх в різних країнах.

Норми Комітету встановлюють величину Δb , яка не перевищує 40 дБ. На відкритому просторі це буде відповідати десятиметровій відстані між учасниками комунікації.

Метод порівняння за гучністю ефективний при експертизі каналів зв'язку, що використовують однотипну апаратуру. Звідси впливає його недолік - не враховано можливі відмінності технічних характеристик, що в підсумку може вплинути на результат.

Постійний вплив особливостей слуху та мовлення учасників експерименту є недоліком чисто суб'єктивних підходів. Тому виникли «об'єктивізовані»

методи, які використовують усереднення результатів вимірювань по результатам різних слухачів та дикторів.

Метод вимірювання еквівалента затухання по розбірливості (метод AEN)

Цей метод подібний до попереднього. Аббревіатура AEN походить від французького «Affaiblissement Equivalent pour la Nettete» (еквівалентне зменшення розбірливості). Основа методу полягає в співставленні розбірливості мови на виходах випробуваного і еталонного трактив.

Для опису методу можна опиратися на схему, зображену на рис. 2. Використовуючи еталонну систему, вимірюють розбірливість звуків $D_{em} = f_1(b)$ при різній величині загасання b . Для випробуваного тракту процедура повторюється, результат позначимо як $D_{випр} = f_2(b)$. Приклад залежності зображений на рис. 3.

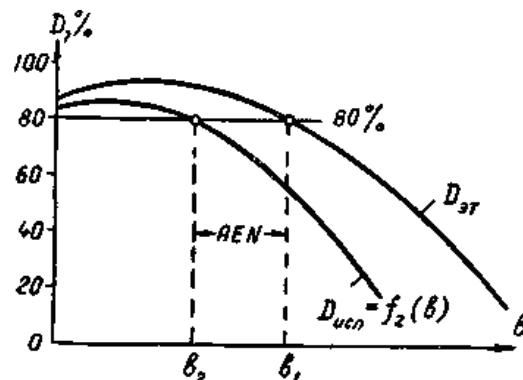


Рис. 3. Визначення величини AEN [12]

Дана ситуація описує випробування тракту якістю нижче еталонного - величиною $D_{випр} = f_2(b)$ забезпечена менша розбірливість і більш швидке падіння при збільшенні загасання (зменшенні гучності)

Досліджувана система тим якісніша, чим меншою є різниця в децибелах в формулі 1.

$$AEN = b_1 - b_2 \quad (1)$$

У випадках, коли еталонний тракт гірше випробуваного, різниця стає від'ємною.

Недоліком методу є складність і велика умовність отриманих результатів. Істотним недоліком методу визнали те, що, зважаючи на умовність прийнятого за контрольне значення $D_N=80\%$, оцінка може варіюватися при інших його значеннях. Тобто випробуваний тракт може виявитися краще або гірше еталонного в залежності від точного значення. Також характеристики трактів можуть перетинатися, що також вводить в розрахунок плутанину.

До числа недоліків можна зарахувати і те, що мірою якості тракту знову є непряма характеристика (загасання), а не розбірливість.

Безумовною перевагою є менший внесок артикуляційної бригади, що призводить до зменшення похибки. У порівнянні зі звичайним методом порівняння за гучністю, перевагою даного є можливість врахувати різницю технічних характеристик трактів.

Після створення метод не використовувався через його складність (в середині 20 століття), а пізніше з'явилися інші.

Метод перепитувань

Ключовою особливістю даного методу є використання живої мови, а не складів, умовних фраз і таблиць звукосполучень. Це ж можна відразу зарахувати до головних переваг, оскільки оцінка розбірливості буде точнішою за рахунок наближення умов проведення тесту до реальних.

Реалізація цього методу проста. Протягом тривалого періоду часу ведеться прослуховування розмов, які проходять по якомусь каналу. Під час прослуховування реєструються всі прохання про повторення недочутих елементів повідомлень. Після цього обчислюється середня кількість перепитувань на 100 сек розмови. Це число і є мірою якості передачі і характеризує її розбірливість.

До переваг варто зарахувати:

- 1) «Живість» мови,
- 2) Оцінка розбірливості відбувається з точки зору реальних абонентів, які користуються апаратурою.

Головний недолік - довготривалість проведення випробувань, і, як наслідок, громіздкість підрахунку результатів. Також не завжди розмови можна слухати, що створює перерви в проведенні випробувань.

Метод думок

Цей метод так само, як і метод перепитувань, ґрунтується на використанні в якості випробувального матеріалу безпосередньо самої мови, тобто звичайних розмов, які, однак, ведуться спеціально виділеними парами операторів.

Суть методу полягає в наступному: 12 або 24 пари операторів, які не повинні бути спеціально натренованими, послідовно і попарно ведуть довільну розмову по випробуваному тракту, всі елементи якого повинні бути поставлені в режим, що відповідає нормальним умовам експлуатації даної апаратури.

Для полегшення вибору тем для розмов і виключення тривалих пауз, які непродуктивно збільшували б загальний час випробувань, передаючому та приймаючому операторам видаються листи із зображеними на них геометричними фігурами. Один з операторів за описом і поясненням, які дає йому інший оператор, повинен знайти необхідну фігуру з числа наявних у нього на контрольному листі (ведеться вибір однієї з 12 фігур). Кодове слово, яким супроводжена кожна фігура, дає тому, хто говорить можливість упевнитися в тому, що слухач дійсно її знайшов. Розмови, що виникають при вирішенні цього завдання, дозволяють кожному з операторів після його вирішення оцінити, на свій погляд, якість тракту. Оцінка якості проводиться по таблиці 2.

Таблиця 2 – Оцінка якості тракту (метод думок)

Оцінка	Характеристика якості розмови	Бал
Відмінно (E)	Повна відсутність напруження в розмові	4
Добре (G)	Потребується деяке зосередження уваги, але без великих зусиль	3

Доволі добре (<i>F</i>)	Для повного розуміння потребуються постійні, але не значні зусилля	2
Посередньо (<i>P</i>)	Розмова можлива, але відчуваються складнощі зі сприйняттям незвичайних слів	1
Погано (<i>B</i>)	Розмова можлива з великими складнощами	0

Як показала практика, тривалість розмов, необхідна для визначення потрібної фігури, становить близько 4 хв, причому виходять відразу 2 оцінки (в балах) - від першого і другого оператора. Виходячи з цієї цифри, можна вважати, що для 12 пар операторів з урахуванням часу, необхідного для зміни їх, потрібно загальний час від 1 до 1,5 години. При цьому виходить 24 оцінки: $U_1, U_2, U_3, \dots, U_{24}$.

З цих даних виводять середнє арифметичне:

$$y = \frac{1}{24} \sum_{k=1}^{24} y_k \quad (2)$$

При 24 парах операторів середня оцінка обчислюється по 48 індивідуальним балам.

Можна отримати залежність середнього балу U від рівня лінійного або акустичного шуму, загасання каналу і т. д. Об'єктивізація результатів вимірювань досягається тут, як і в методі артикуляції, шляхом усереднення досить великого числа суб'єктивних думок.

Перевага методу думок полягає в тому, що якість тракту визначається тут на основі дійсних вражень абонентів, які використовуються в якості операторів, про проходження реальних розмов. Істотним недоліком його є необхідність залучення до випробувань великої числа осіб [9].

Тональний метод

Як згадувалося раніше, важливою особливістю суб'єктивних методів вимірювань розбірливості мови є те, що мовний і слуховий тракти людини є складовою частиною вимірювальної системи. Особливістю ж об'єктивних методів є те, що весь вимірювальний процес здійснюється виключно приладами. У цьому випадку всі органи чуття людини замінюються штучними еквівалентами («штучний голос», «штучний рот», «штучне вухо»).

Кроком до об'єктивності вимірювань є тональний метод, який використовується в ГОСТ № 8031-78 "Апарати телефонні. Тональний метод вимірювання розбірливості мови" [13]. Процедура передбачає заміну дикторів штучним голосом, генеруючим чисті тони.

Що таке штучний голос? Він являє собою гучномовець без дифузора, що порушується за допомогою тонального генератора таким чином, щоб рівень звукового тиску, що створюються на різних частотах, відповідав би кривій спектру формант. Для забезпечення необхідного відношення сигнал-шум, при якому випробовуваний канал передачі повинен нормально функціонувати, цей показник регулюється. Прийом інформації проводить бригада аудиторів, але при цьому їх завдання спрощується: замість того, щоб осмислити і записати почуте звукосполучення, від них вимагається лише визначити, чи чутним є сигнал. Сигнали відтворюються на різних частотах. Завданням операторів є вимірювання рівня відчуття формант шляхом введення позитивного або негативного загасання в тракт зв'язку. Загасання позитивне в тому випадку, коли сигнал чути, в іншому його роблять негативним. В обох випадках зміна згасання проводиться до моменту, коли сигнал перестає сприйматися. Подальше визначення величини розбірливості мови проводять аналітично, використовуючи формули і графіки.

До переваг тонального методу зараховують:

- відсутність необхідності у використанні артикуляційних таблиць;
- не потрібна бригада дикторів;
- скорочення часу вимірювань.

Недоліки:

- вплив «людського фактора» на результат;
- підвищені вимоги до технічної грамотності персоналу, що організовує випробування.

Артикуляційний метод

Останнім розглянемо метод оцінювання розбірливості мовлення. Серед всіх перерахованих він займає почесне місце найбільш використовуваного в

завданнях експертизи. Часом його називають єдиним зручним та повноцінним методом [14].

В основу артикуляційного методу покладено саме оцінку степеню виконання головної вимоги до каналів зв'язку, а саме передачі розбірливого мовлення.

Міра розбірливості – розбірливість згаданих в першому підрозділі елементів мовлення. Оцінювання розбірливості у даному методі базується на використанні великої кількості переданої інформації, а частка правильно почутої записується у долях або відсотках. Дана частка виражає якість передачі в тракті.

Суть методу полягає в проведенні наступної процедури. Як і в попередніх методах, прийомна та передаюча сторона знаходяться в розрізних звукоізованих приміщеннях. В обох приміщеннях створюються комфортні умови для проведення експерименту: забезпечуються відповідні рівні шуму. Диктор зачитує повідомлення, в якості якого використовують спеціально створені таблиці фраз, слів, складів. Слухачі в прийомній кімнаті записують почуте в бланки. Після завершення читання та записування бланки слухачів порівнюються з бланками диктора та вираховують відсоток правильно прийнятих елементів.

Покровський [12] стверджує, що бригади слухачів та дикторів повинні бути натренованими, але у стандарті 50840-95 [4] з цим не погоджуються, адже зазвичай перемовини відбуваються між звичайними людьми, а не тренуваними.

Оцінювання отриманого показника розбірливості Покровський пропонує проводити наступним чином (таблиця 3).

Таблиця 3 – Оцінка показника розбірливості за Покровським

Вид розбірливості	Клас якості								Сумарна ширина діапазону допустимих оцінок, %
	Слаба		Задовільна		Добра		Відмінна		
	Границі діапазон у, %	Ширина, %	Границі діапазон	Ширина, %	Границі діапазон	Ширина, %	Границі діапазон	Ширина, %	
Складова S, %	25-40	15	40-55	15	55-80	25	80 та вище	20	75
Звукова D, %	64-75	11	75-82	7	82-93	11	93 та вище	7	36

Словесна W, %	75-87	12	87- 93	6	93- 98	5	98 та вище		25
Фразова J, %	90-95	5	95- 95	2	97- 99	2	99 та вище	1	10

Границі, що вказані в таблиці, були визначені на основі експериментальної роботи з урахуванням великого числа суб'єктивних вражень абонентів, які оцінювали тракт.

Безсумнівною перевагою артикуляційного методу є його:

- 1) універсальність. В окремих випадках можна не зважати на наявні умови та проводити тест у будь-яких приміщеннях;
- 2) точність – оцінювання проводиться по прямій ознаці (а не по непрямої, як у попередніх методах). Також використовується велика кількість учасників, що позитивно впливає на результат.

Недоліки методу наступні:

- 1) громіздкість артикуляційних вимірювань;
- 2) тривалість проведення випробувань;
- 3) розбірливість, що базується на елементах мовлення, не враховує особливості живої мови: тембру, інтонації, тощо [12].

Через популярність та універсальність артикуляційний метод покладено в основу декількох стандартів:

- державний стандарт СРСР ГОСТ 16600-72 «Передача мови по трактах радіотелефонного зв'язку. Вимоги до розбірливості мови і методи артикуляційних вимірювань»[3];
- державний стандарт СРСР ГОСТ 7153-85 «Апарати телефонні загального застосування. Загальні технічні умови»[15];
- державний стандарт РФ ГОСТ 50840-95 «Передача мови по трактах зв'язку. Методи оцінки якості, розбірливості та впізнаваності»[4];
- державний стандарт РФ ГОСТ 51061-97 «Системи низькошвидкісної передачі мови по цифрових каналах. Параметри якості мови і методи її вимірювання»[16].

В Україні наказом Міністерства транспорту та зв'язку України № 754 від 23.08.2007 «Про затвердження Переліку стандартів и норм, яким повинні відповідати радіоелектронні засоби (РЕЗ), що можуть застосовуватися в Україні» [17]. затверджено Перелік стандартів і норм, яким повинні відповідати радіоелектронні засоби, що використовуються в Україні. До цього переліку включено стандарти СРСР ГОСТ 16600-72 та ГОСТ 7153-85.

Недоліками використання даних стандартів є їх застарілість. У Росії на зміну прийшли стандарти 50840-95 і 51061-97, що враховують все більш широке використання в лініях зв'язку пристроїв, що містять перетворювачі мовленнєвого сигналу в цифрову форму, синтезатори мови. Стандарт 50840-95 є осучасненим, оскільки процедура оцінки автоматизована.

Даний метод у всіх перерахованих вище стандартах регламентуються:

- вибір елементів мовлення для прослуховування, які відображають статистику їх використання найбільш повно (у російській мові);
- підбір складу групи аудиторів та дикторів та ступінь їх тренуваності;
- якість голосу диктора (темп, інтонація, вимова та ін.);
- вимоги до приміщення (рівень шуму та ін.);
- методика проведення вимірювань та методи статистичної обробки результатів [9].

Тут варто зупинитися для зауваження щодо елементів мовлення та розбірливості, що базується на кожному з них. Кожен з типів розбірливості є цінним по-своєму. Наприклад, фразова розбірливість найбільше схожа на живу мову, що ми використовуємо в повсякденні, а результати складової більш цінні за рядом причин. Великим плюсом є те, що кожен вид можна перерахувати в інший, використовуючи графіки відповідності. Один з таких зображено на рис.4.

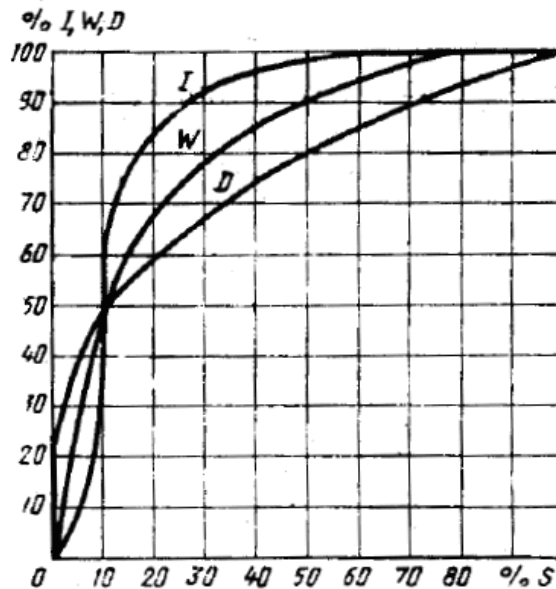


Рис. 4 Залежність розбірливості звуків (D), слів (W) та фраз (I) від розбірливості складів [15]

Розглянувши описані в стандартах СРСР і РФ процедури, можна відзначити їх принципову схожість: для тестування вважається кращим варіантом використання таблиць звукосполучень або таблиці складів. Як сказано в [18], використання їх є перевагою завдяки неможливості вгадати або додумати їх, як це відбувається зі словами або фразами. Крім того спільною особливістю є подібні алгоритми обробки результатів випробувань.

Наявні відмінності розглянутих стандартів (різну кількість дикторів і слухачів, деякі відмінності алгоритмів обробки результатів випробувань) навряд чи слід вважати принциповими.

Найбільш «просунутим» серед розглянутих стандартом для систем зв'язку є РФ ГОСТ 50840-95, що поширюється на тракти (апаратуру) телефонного провідного і радіозв'язку, в яких використовується аналоговий мовний сигнал, а також на пристрої, що містять перетворювачі мовного сигналу в цифрову форму, синтезатори мови. Пізніший стандарт ГОСТ 51061-97, по суті, поширює дію стандарту РФ ГОСТ 50840-95 і на низькошвидкісні кодеки, і дозволяє проведення випробувань із застосуванням методу абонентської оцінки.

Державний стандарт СРСР ГОСТ 25902-83, призначений в першу чергу для акустичної експертизи глядацьких залів, цілком може використовуватися для

оцінки якості приміщень інших типів: аудиторій, конференц-залів, залів очікування та ін.

Слід констатувати, що на даний момент в Україні відсутні національні стандарти, що враховують особливості звучання української мови. Замість таких використовуються тимчасові документи типу Переліку [17], що дозволяє використовувати стандарти СРСР ГОСТ 16600-72 і ГОСТ 7153-85.

Тим часом, стандарт ГОСТ 16600-72 до теперішнього часу застарів, оскільки:

- містить помилкові рекомендації, що стосуються обчислення нижньої межі довірчого інтервалу оцінки середньої розбірливості звуків;
- процедура випробувань не передбачає оцінки натуральності звучання мови;
- не передбачена можливість автоматизації процедури випробувань за рахунок використання засобів обчислювальної техніки.

У Росії на зміну стандарту ГОСТ 16600-72 прийшли сучасні стандарти 50840-95 і 51061-97, позбавлені зазначених недоліків.

Тому в перспективі, при створенні і модернізації національних стандартів України, доцільним буде, як мінімум, розширення складу тестових таблиць (складових, словесних, фразових), що застосовуються при артикуляційних випробуваннях, шляхом додавання до таблиць російської мови аналогічних таблиць української мови. А завдання максимум - прийняття в Україні національних стандартів, аналогічних російським стандартам 50840-95 і 51061-97.

Говорячи про різноманітні варіації артикуляційний випробувань, не варто забувати й про іноземні версії. Вони вражають більшою різноманітністю. Особливо різноманітним є випробувальний матеріал. Проте недоліком розмаїття є різниця результатів.

Розглянемо основні версії нижче.

Стандартний сегментальний тест (SST - Standard Segmental Test)

Метод SST придатний для будь-яких типів каналів мовної комунікації. Дуже часто його використовують для оцінки систем з синтезом мови. У методі SST використовують списки логатомов, що мають структуру типу CV (приголосний-голосний), VC, VCV або CVC звукосполучень [19]. Тому іноді метод SST називають CVC-методом. Можуть використовуватися і довші слова, типу CVVC, VCCV, або CCCVCCS. Випробувальні слова зазвичай симетричні.

Використання логатомів (не існуючих у мові слів) дає можливість тестувати переходи між голосними і приголосними. Основні елементи випробувального матеріалу - це все приголосні і три голосних звуку / а /, / і /, / у /. Випробувальний матеріал може застосовуватися, щонайменше, для англійської, німецької, шведської, і голландського мов.

Випробування по ідентифікації групи (CLID - CLuster IDentification Test)

Метод CLID використовує статистичний підхід: випробувальний матеріал генерується для кожного випробування окремо [19].

Процедура випробування складається з трьох основних стадій: генерування слів, конвертації фонем в графеми (графемами називають один або кілька символів, які представляють в письмовому вигляді фонему) і автоматичного підрахунку. На стадії генерування слова створюється випробувальний матеріал в фонетичному поданні. Користувач може визначати число генеруються слів, структуру складу (наприклад, CCVC, VC тощо) і частоту виникнення, окремо для початкової, серединній і заключній груп. Структури складів можуть також бути згенеровані відповідно їх статистичним розподілом. Наприклад, структура CCVC зустрічається частіше, ніж CCCVCCS. Використовувані слова зазвичай позбавлені сенсу. В ролі диктора використовується комп'ютерний синтезатор мови.

Підрахунок результатів для початкових, серединних і заключних груп ведеться окремо. Застосовується відкритий лист відповідей, аудитор може використовувати фонемну або графемну транскрипцію.

Діагностичні римовані тести (DRT - Diagnostic Rhyme Test)

У методі DRT, призначеному для випробування розбірливості приголосних на початку слів, використовується набір осмислених слів [20]. Тестовий матеріал складається з 96 пар слів, що відрізняються тільки початковим згодним звуком і розділених на категорії по шести відмінних рис (характеристик). Результати, отримані для кожної з цих 6-ти категорій, усереднюють, в результаті чого отримують оцінку загальної розбірливості. В процесі випробувань несучі пропозиції не використовуються. Завдання слухача наступне: визначити, яке з двох представлених у листі відповідей слів було відтворено.

Результатом DRT, є відсоток швидше правильно вгаданих слів, ніж коректно ідентифікованих. Таким чином, 50% правильно ідентифікованих слів відповідає рівню $DRT = 0$; 75% слів - рівню $DRT = 50$; 100% слів - рівню $DRT = 100$.

DRT - доволі широко використовуваний метод, який має велику діагностичну інформативність щодо розбірливості приголосних. Випробування може бути здійснено за малий час і декількома різними способами. До позитивних якостей римованих випробувань можна віднести можливість залучення ненавчених дикторів і аудиторів і невеликого їх числа (зазвичай 10 - 20 людей) без загрози для достовірності результатів; легкість і швидкість проведення випробування.

Модифіковане римоване випробування (MRT - Modified Rhyme test)

Метод MRT є своєрідним розширенням методу DRT [19], дозволяючи випробувати розбірливість приголосних, що знаходяться і на початку, і в кінці слів.

Випробувальні матеріали складаються з 50 наборів по шість римуємих односкладових слів (наприклад PIN, SIN, TIN, FIN, DIN, WIN) в кожному. Набори підібрані так, що в них половина слів відрізняється за початковими приголосними, а інша половина - по заключним. Відповідно

перша половина слів використовується для випробування розбірливості початкових приголосних, а друга - заключних.

Зазвичай використовуються несучі речення. Завдання аудитора полягає в тому, щоб вказати, що це за слово, з шести представлених йому у відповідному листі слів, було відтворено. Результати випробування представляються як відсоток вірно або невірно ідентифікованих слів. Логан в 1989 р [21] виконав випробування з відкритими відповідними листами і з'ясував, що відсоток вірно ідентифікованих слів значно зменшується, якщо у відповідь лист не пред'являється аудиторам (в результаті чого виключається можливість вгадування слів).

Тест по серединній приголосній (DMCT - Diagnostic Medial Consonant Test)

DMCT - це ще одна модифікація методу DRT. В даному випадку випробувальні матеріали складаються з 96 пар двоскладових слів (таких як STOPPER-STOCKER, BOBBLE-BOTTLE), відібраних так, щоб відрізнитися тільки по серединній приголосній. Як і в методі DRT, ці слова розділені на категорії. Підрахунок результатів проводиться аналогічно тому, як це робиться в методі DRT [9].

Діагностичне алітераційне випробування (DALT - Diagnostic Alliteration Test)

Це чергова модифікація методу DRT. Випробувальні матеріали DALT складаються з 96 пар односкладових слів (таких як PACK-PAT, ART-ARC) відібраних так, щоб відрізнитися тільки по заключним приголосним. Ці слова розділені на категорії, як і в методі DRT. Аналогічним чином проводиться і підрахунок результатів [9].

Фонетично збалансовані списки слів (PBWL - Phonematically Balanced Word List)

Випробувальні матеріали складаються з двадцяти списків по 50 або 100 фонетично збалансованих слів [16].

Сенс терміну «фонетично збалансований» полягає в наступному: слова підібрані так, що частота зустрічі складових їх фонем та ж, що і в нормальній повсякденній мові. Іноді аудитору зачитуються слова з різних списків у випадковому порядку, щоб він не міг вгадати, що це за слово почує. Результати випробування визначаються, як відсоток коректно ідентифікованих слів від числа всіх відтворених слів.

Метод випробування розбірливості із застосуванням PBWL вимагає більшої кількості навчених аудиторів і дикторів, ніж інші статистичні випробування. Крім того, цей метод дуже чутливий до значення відношення сигнал / шум (S / N): невелика зміна S / N призводить до значних змін результатів випробувань [9].

Гарвардські психоакустичні речення (HPAST)

При тесті розбірливості слів у реченнях, на відміну від сегментального випробування, деякі елементи можуть бути пропущені аудитором. Незважаючи на це, дана ним відповідь може бути коректною, особливо, якщо використовуються осмислені речення. Пояснюється це тим, що контекстні і граматичні ключі дають можливість вгадувати пропущені елементи.

Гарвардські психоакустичні пропозиції - це закритий набір з 100 пропозицій, розроблений таким чином, щоб перевірити словесну розбірливість в контексті пропозиції. Пропозиції обрані так, щоб різні фонеми англійської мови були представлені відповідно до частоти їх виникнення.

Випробування HPAST виконується легко, не вимагає ніякого навчання, і підрахунок його результатів простий. Однак, при використанні фіксованого набору пропозицій, проявляється ефект впізнавання. Як наслідок, результати даного випробування можуть бути надмірно оптимістичні [9].

Речення Хаскінса (HST - Haskins Sentence Test)

Пропозиції методики Хаскінса також розроблені для випробування словесної чіткості в реченнях [19]. На відміну від Гарвардських пропозицій, вони безглузді, тому припущення, в силу своєї нерозбірливості, елементи не

можна вгадати по контексту. Як і в Гарвардському випробуванні, використовується певний набір речень - однак цей набір використовується тільки один раз, що підвищує достовірність результатів і нейтралізує ефект впізнавання. Випробувальні пропозиції формуються в ході самого випробування.

Семантично непередбачувані речення (SUS - Semantic Unpredictable Sentences)

Використовувані в даному випадку слова в основному односкладові, відібрані у випадковому порядку з визначеного списку можливих слів, тому речення позбавлені сенсу [19]. Випробування містить пропозиції п'яти граматичних структур: підмет - присудок - обставина, підмет - присудок - прямий додаток, обставина - присудок - прямий додаток, питальне. слово - перехідний присудок - підмет - пряме доповнення, яке підлягає - присудок - складне пряме доповнення. Як і в реченнях Хаскінса, пропущені елементи не можна вгадати.

В ході випробування, 50 речень (по 10 для кожної граматичної структури), відтворюються аудитором у випадковому порядку. Так як набір речень не фіксований, в даному методі відсутній ефект впізнавання.

Поріг сприйняття мови (SRT - Speech Reception Threshold)

Даний метод, аббревіатуру якого іноді розшифровують також як Speech-Recognition Threshold (поріг розпізнавання мови) запозичений з розділу медицини, іменованого «мовної заудиометрія». Він базується на концепції досягнення 50% розбірливості мови при деякому розумному середньому значенні відносини сигнал-шум. Через відмінності в чутливості слуху у різних людей, що досягають 5 дБ, а також через залежність від виду шуму, відповідне значення відношення сигнал-шум знаходиться в діапазоні від мінус 9 до плюс 2 дБ. При тестуванні застосовують короткі прості речення [9].

1.3. Об'єктивні методи

Цей тип методів для оцінювання розбірливості мовлення представлено різноманітними варіаціями. Основні відображені на схемі рис. 5.

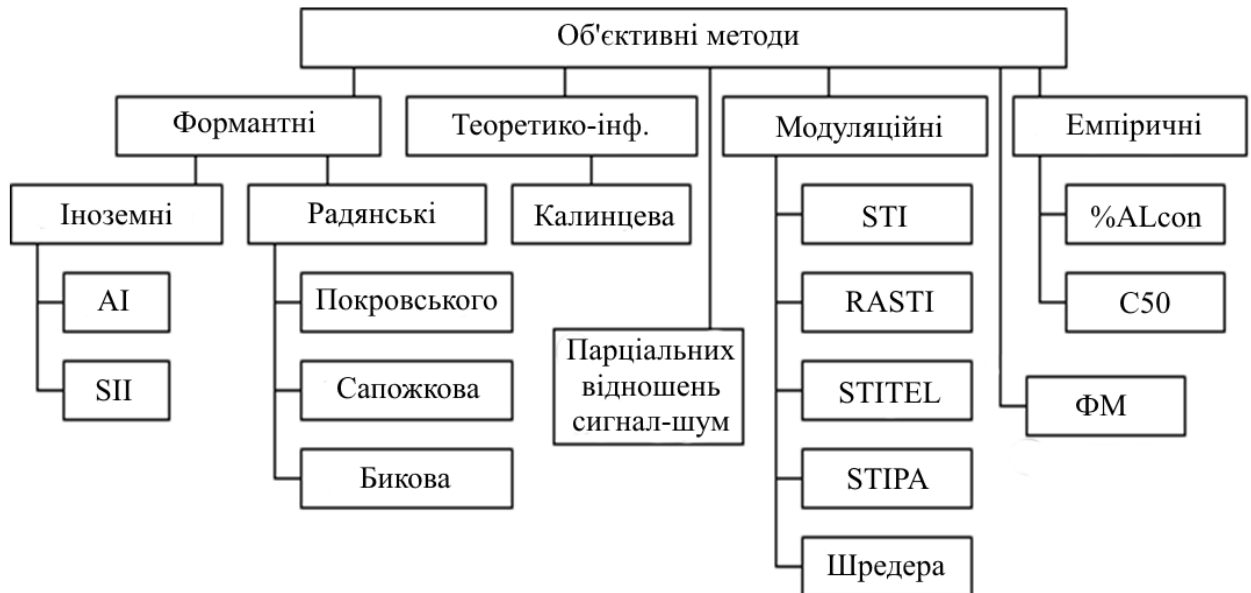


Рис. 5 Класифікація методів об'єктивного оцінювання розбірливості

В цьому розділі розглянемо роботу перерахованих методів в загальному, не зупиняючись окремо на особливостях різновидів.

Формантний підхід

Формантний підхід був запропонований в 1929 і поступово розвивався з плином часу. Інтерес до цього підходу не зник і понині, зокрема, при розробці засобів захисту технічних каналів від витoku акустичної (мовної) інформації.

До розглянутих вище видів розбірливості мови причляють ще один - розбірливість формант A .

Для втілення методу в життя насамперед розраховують формантного розбірливість:

$$A = \sum_{i=1}^N \Delta A_i \quad (3),$$

де ΔA_i - формантна розбірливість в i -тій смузі частот.

Після отримання чисельного результату величину формантної розбірливості переводять в звукову, складову, словесну чи фразову, користуючись відомими кривими залежності.

Як впливає з наведеної вище формули, формантна розбірливість має властивість адитивності: формантна розбірливість у всій смузі частот дорівнює сумі формантних розбірливостей в кожній зі смуг частот. Цією властивістю не володіють інші види розбірливості - звуків, складів, слів, фраз.

Розглянемо, як розраховують формантну розбірливість ΔA_i в i -тій смузі частот. Для цього ΔA_i представляють в виді:

$$\Delta A_i = P_i \cdot \Delta A_{im} \quad (4)$$

де ΔA_{im} - формантна розбірливість при відсутності вагових факторів (шуму); P_i - коефіцієнт сприйняття, який враховує втрати розбірливості через наявність факторів, що заважають.

Поділ діапазону частот мовного сигналу на смуги можна проводити по-різному. В [22] вказується два способи:

- розділ на смуги однакової ширини;
- розділення на рівноартикуляційні смуги.

Другому способу віддавалася перевага, оскільки він дозволяв спростити розрахунки. Цей метод обирали раніше з тієї причини, що розрахунки проводилися за відсутності комп'ютерів. Сьогодні вважають кращими інший спосіб - поділ на октавні або третиннооктавні смуги, які зменшують кількість смуг аналізу з 20 до 7 а розрахунки розбірливості проводять із застосуванням ПК З цього можна зробити висновок, що основні критерій поділу на смуги - бажання дослідника і можливості техніки.

Взагалі кажучи, вибір способу розподілу на смуги частот - питання не стільки важливе, скільки залежить від «смаку» дослідника і технічної оснащеності. В [22] з цього приводу зазначається, що єдиною вимогою тут є те, щоб значення частотно-залежних величин (довготривалого спектра мови, формантного розподілу) на середній частоті смуги досить близько відповідало б середнім значенням цих величин в межах смуги.

Коротко розглянемо ідею розрахунку розбірливості мови, виходячи з принципу поділу на рівноартикуляційні смуги і дотримуючись версії формантного методу, викладеної в роботі[6]. При цьому

$$\Delta A_{im} = \frac{1}{20} \quad (5),$$

оскільки, в силу імовірнісного підходу до визначення формантної розбірливості, справедливе співвідношення

$$\sum_{i=1}^N \Delta A_{im} = 1 .$$

Таким чином,

$$A = 0.05 \sum_{i=1}^{20} P_i \quad (7)$$

Величини P_i визначають, виходячи з емпіричної функціональної залежності $P(E')$ (функцію $P(E'_i)$ називають «постійною артикуляційною характеристикою мовлення»), де рівень відчуття формант E' розраховують за формулою:

$$E' = B'_p + k - (b + M) - \beta_0 \quad (8),$$

де B'_p - значення спектра формант на вході тракту; β_0 - межа слухового відчуття;

M - маскування від шумів всіх видів; $b = 20 \lg \frac{P_{\text{вх}}}{P_{\text{вхх}}}$ - загасання в тракті; k -

логарифмічна ширина критичної смуги слуху.

Ефективний рівень відчуття шуму визначається співвідношенням:

$$Z = B_u + k - \beta_0. \quad (9)$$

Можна показати, що для достатньо високих рівнів шуму (при $Z > 10\text{дб}$) справедливо наближене рівняння $M \approx Z$, так що вираз для рівня відчуття E' спрощується:

$$E' = B'_p - b - B_u \quad (10).$$

Неважко побачити, що E' це не що інше як відношення сигнал-шум q в точці прийому сигналу:

$$E' = q ,$$

тому представлену залежність $P(E')$ можна трактувати як залежність формантної розбірливості від відношення сигнал-шум: $P = P(q)$. Взагалі кажучи, ця залежність різна для різних смуг частот. Однак, з метою спрощення обчислень, іноді цією залежністю нехтують.

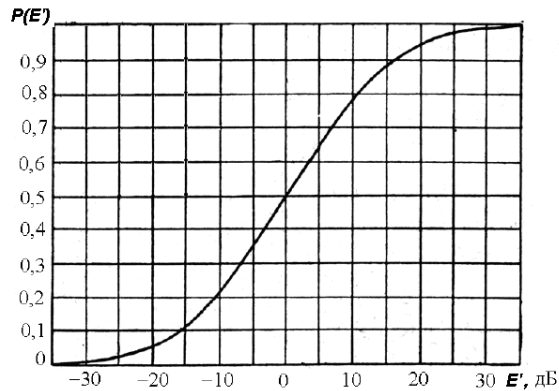


Рис. 6. Вид залежності $P(E')$ [22]

Таким чином, при формантному підході оцінка розбірливості мови зводиться до оцінки відношення сигнал-шум в різних смугах частот, з подальшими обчисленнями формантної розбірливості. Решта видів розбірливості (звуків, складів, слів, фраз) розраховують, виходячи із значення формантної розбірливості.

Відзначимо, що в рамках досліджень формантного підходу існує декілька його модифікацій. Витоки цих модифікацій головним чином кореняться в розходженні точок зору на поняття «спектра формант». Як уже згадувалося вище, в роботі Ю. С. Бикова [22] під спектром формант мається на увазі такий спектр шуму, на тлі якого досягається нульова розбірливість формант - при такому визначенні спектр формант на всіх частотах перевищує спектр мови, а в роботах М. А. Сапожкова [23] спектр формант збігається зі спектром мови.

Таким чином, відмінність визначень поняття спектра формант є однією з найважливіших причин відмінності версій формантного методу, оскільки інше визначення спектра формант неминуче призводить до іншому значенню рівня сигналу. Ще одним важливим джерелом відмінності версій формантного методу

є відмінність методик формування коефіцієнтів сприйняття. Нарешті, не слід забувати, що в сучасних зарубіжних версіях замість ефективного рівня сигналу використовують піковий рівень [14].

Модуляційний підхід

Модуляційний підхід виник 70-х роках. Його суттєвою перевагою є можливість розрахунку розбірливості не тільки за впливу шумової завади, а й за впливу реверберації. Завдяки цьому можливості його застосування більш широкі.

Ідею модуляційного підходу можна коротко пояснити наступним чином. По-перше, той факт, що розбірливість мови спадає з ростом впливу перешкод, автори модуляційного методу представляють у вигляді лінійної залежності між «індексом передачі мови» і ставленням сигнал-шум (рис. 7).

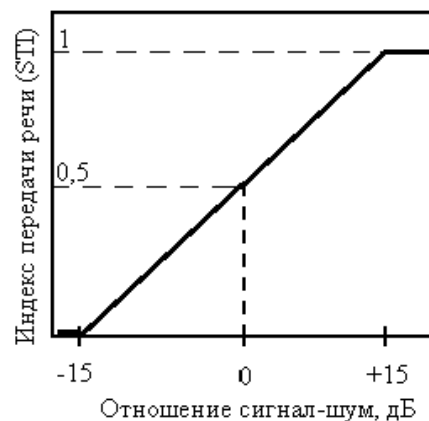


Рис. 7. Залежність між індексом передачі мовлення та відношенням сигнал-шум

Неважко помітити подібність між цією залежністю і коефіцієнтами сприйняття, застосовуваними при формантному підході.

Разом з тим, є й відмінності:

- при формантному підході значення кривих сприйняття використовуються як проміжні при оцінці (обчисленні або вимірі) формантної розбірливості, тоді як індекс передачі мови STI є «кінцевим продуктом» оцінки розбірливості;
- криві сприйняття нелінійно залежать від відношення сигнал-шум, тому їх лінійна апроксимація гарантує невелику похибку оцінювання

розбірливості мови лише при не дуже малих і не дуже великих значеннях відносин сигнал-шум;

- різні криві сприйняття мають різний динамічний діапазон значень сигнал-шум.

Зазначені відмінності, однак, носять «зовнішній», непринциповий характер. Принциповими ж є такі відмінності модуляційного підходу від формантного:

- тип використовуваного тестового сигналу;
- спосіб вимірювання відношення сигнал-шум.

Розглянемо ці відмінності, одночасно знайомлячись з ідеєю модуляційного підходу. При формантному підході тестовий сигнал являє собою стаціонарний випадковий процес у вигляді гармоніки або шуму. При модуляційному підході тестовий сигнал являє собою нестационарний випадковий процес - шум зі спектром, ідентичним спектру довготривалої мови (рис. 8). Цей шум в кожній октавній смузі частот (на рис. 8 розглянуто випадок октавної смуги частот з центральною частотою 250 Гц) модулюється періодичним сигналом таким чином, щоб огинаюча миттєвої потужності сигналу мала форму синусоїди (технічно такий закон модуляції легко здійснити із застосуванням комп'ютерних засобів). Індекс модуляції такого сигналу $m = 1$ відповідає точці випромінювання тестового сигналу.

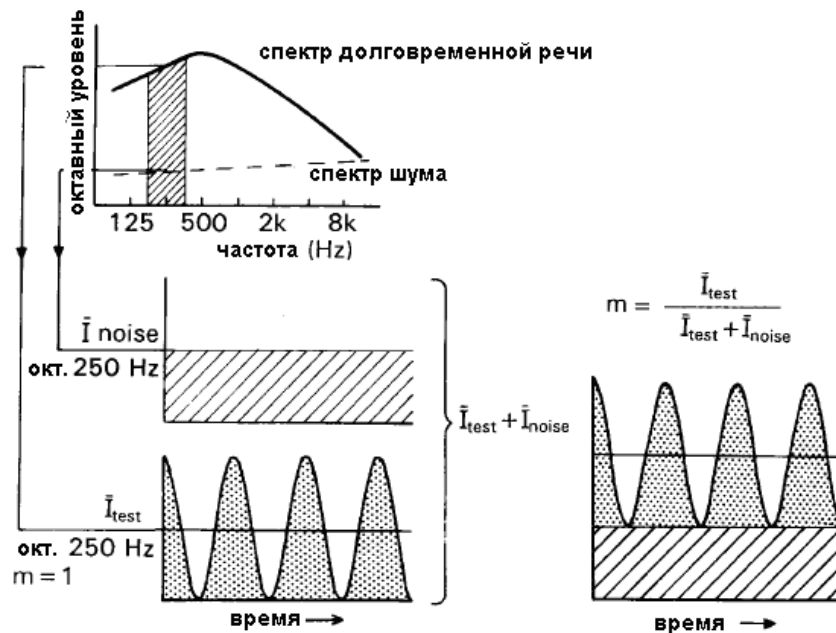


Рис. 8. Обчислення індекса модуляції

Припустимо, що в точці прийому мова маскується тільки шумовою завадою. Оскільки тестовий сигнал і шумова завада статистично незалежні, огинаюча адитивної суміші сигналу і шуму є сумою огинаючих тестового сигналу і шуму. Вважаючи інтенсивність шумової перешкоди постійною (що досить добре відповідає реальній ситуації), неважко прийти до висновку, що в точці прийому індекс модуляції дорівнює:

$$m = \frac{\bar{I}_{test}}{\bar{I}_{test} + \bar{I}_{noise}} = \frac{\bar{I}_{test} / \bar{I}_{noise}}{\bar{I}_{test} / \bar{I}_{noise} + 1} = \frac{SNR}{1 + SNR} \quad (11),$$

де \bar{I}_{test} - середній рівень тестового сигналу; \bar{I}_{noise} - рівень шумової завади; $SNR = \bar{I}_{test} / \bar{I}_{noise}$ - відношення сигнал-шум «в разях по потужності».

Простими перетвореннями цього відношення можна отримати зворотню залежність:

$$SNR = \frac{m}{1 - m} \quad (12)$$

або, виражаючи відношення сигнал-шум в дБ:

$$SNR_{dB} = 10 \log \frac{m}{1 - m} \quad (13).$$

Останнє відношення є базовим для модуляційного підходу, визначаючи стратегію вимірювань розбірливості у вигляді наступних етапів:

- 1) вимірюють коефіцієнт m в точці прийому.
- 2) Визначають відношення сигнал-шум в точці прийому.
- 3) перераховують відношення сигнал-шум в індекс передачі мовлення STI (RASTI, STITEL, STIPA).
- 4) Орієнтуючись на шкалу градацій розбірливості мовлення (таблиця 4), приймають рішення про якість тракту, що перевіряється.

Таблиця 4 – Шкала градацій розбірливості мовлення

Значення STI, RASTI, STITEL, STIPA	0...0,3	0,3...0,45	0,45...0,6	0,6...0,75	0,75...1
Оцінка розбірливості	Дуже погана	Погана	Посередня	Добра	Відмінна

Очевидно, четвертий етап - це етап класифікації об'єкта, властивий акустичній експертизі.

Наведені вище пояснення сутності модуляційного підходу базувалися на прикладі врахування впливу тільки шумовий перешкоди. Особливістю модуляційного підходу є те, що в разі дії перешкод інших типів (реверберація, луна, нелінійні спотворення) стратегія вимірювань залишається такою як була: в точці прийому вимірюють, а потім, використовуючи формулу, обчислюють ефективне відношення сигнал-шум за формулою 13. Яке потім перераховують в індекс передачі мовлення STI (RASTI, STITEL, STIPA), і, орієнтуючись на шкалу таблиці 4, приймають рішення про якість тракту.

Таким чином, відношення сигнал-шум при застосуванні модуляційного методу отримують не напряму, а за допомогою проміжних обчислень коефіцієнту модуляції в точці прийому з наступним обрахуванням ефективного відношення сигнал-шум [9].

Формантно-модуляційний метод

Даний підхід поєднує в собі сильні сторони згаданих вище підходів. Від формантного він взяв обчислення ймовірності сприйняття формант, а від модуляційного - ефективне врахування впливу не тільки шумової, але і ревербераційної завади.

Коротко новий процес оцінювання розбірливості можна описати в двох кроках:

- 1) Використовуючи модуляційний метод, оцінюють ефективні відношення сигнал-шум, не проводячи звуження області значень відношення (дБ) до інтервалу [-15 дБ; 15 дБ] на Етапі 2.
- 2) формантну розбірливість оцінюють у відповідності з виразом для розрахунку формантної розбірливості, вважаючи що рівень сприйняття відповідає ефективному значенню відношенню сигнал-шум. [24]

Подальша процедура оцінки відповідає відомій. Результати використання такого методу представлені в [2].

Висновки до розділу

- 1) Вимірювання розбірливості мовлення є важливою задачею, застосування рішень якої на практиці вкрай широке. В даній роботі розглядається акустична експертиза з метою оцінки захищеності мовленнєвої інформації від витоку.
- 2) Існує декілька основних видів трактів зв'язку, для кожного з яких підслуховувачі мають свої методи викрадення інформації. Є два підходи до захисту інформації – активний та пасивний. Перший передбачає підвищення рівня шуму на границі приміщення, другий – зниження.
- 3) Розбірливість як міру оцінювання захищеності інформації можна виміряти великою кількістю методів, які в загальному поділяються на суб'єктивні та об'єктивні. Перші мають недолік у тривалості проведення процедури та деякій застарілості, але вони є універсальними та їх результати найбільш важливі. Другі значно швидші у використанні, але можуть бути використані не для всіх видів трактів.
- 4) Найпопулярнішим суб'єктивним методом є артикуляційний. Він є основою для багатьох національних стандартів, загальним недоліком яких є застарілість та непристосованість до української мови.

2. Програмний комплекс для автоматизації суб'єктивного оцінювання розбірливості української мови

2.1. Стандартизована процедура оцінювання розбірливості мовлення

У першому розділі було розглянуто загальні поняття розбірливості мовлення, трактів зв'язку та каналів витоку інформації, а також методи, що використовуються для захисту інформації.

Було вказано, що розбірливість мовлення є єдиною мірою, за допомогою якої можна точно оцінити якість каналу зв'язку та рівень його захищеності. Чим вища розбірливість у каналі – тим вища його якість; чим нижча розбірливість для несанкціонованого приймача інформації – тим краще канал захищено.

На сьогодні в Україні процедура проведення акустичної експертизи регламентується радянським ГОСТ 16600-72 «Передача речі по трактам радиотелефонной связи. Требования к разборчивости речи и методы артикуляционных измерений» [3]

Цей стандарт описує наступні розділи:

- Вимоги до розбірливості мовлення;
- Методи артикуляційних випробувань ;
- Вимірювання розбірливості фраз;
- Додатки.

Встановлення класу якості апаратури передбачається за врахування встановлених в технічній документації та за таблицею 5.

Таблиця 5 – Оцінка класу якості апаратури за показником розбірливості за ГОСТ 16600-72

Клас якості	Характеристика класу якості	Норми розбірливості, %		
		Звуків (<i>D</i>)	Слів (<i>W</i>)	Складні слова (<i>W_M</i>)
I	Розуміння мови, що передається, без найменшого напруження уваги	>90	>95	>98

II	Розуміння мови, що передається, без ускладнень	85...90	92...95	94...98
III	Розуміння мови, що передається, з напруженням уваги без перепитувань та повторень	78...85	87...92	89...94
IV	Розуміння мови, що передається, з великими напруженнями уваги, перепитуваннями та повтореннями	60...78	62...87	70...89
V	Повна нерозбірливість зв'язного тексту (зрив зв'язку)	<60	<62	<70

У таблиці 3 (за Покровським) класифікація подібна, але нижні границі слабкої розбірливості для звуків та слів складають 64 та 75 відповідно, в той час як у даному стандарті слабка розбірливість четвертого класу має нижні границі у 60 та 62 відсотки відповідно. Неоднаковість трактування може бути пояснена розбіжностями у умовах проведення експериментів, та сприйняттям слухачами напруження при розмові.

У другому розділі вказують:

1) Прилади та оснащення

Вказані вимоги до камери акустичного шуму, об'єктивного шумоміру та контрольного артикуляційного тракту.

2) Підготовка до вимірювань в стаціонарних умовах

Передбачається контроль рівню шуму за допомогою шумоміру та тренування артикуляційної бригади з 3-4 людей.

3) Тренувальні вимірювання за таблицями звукосполучень

4) Тренувальні вимірювання за таблицями слів

Тренування вимагає проведення тестування до тих пір, поки результати бригади не припинять постійно покращуватися.

5) Проведення артикуляційних вимірювань по таблицям звукосполучень в стаціонарних та об'єктових умовах

- б) Проведення артикуляційний вимірювань по таблицям звукосполучень в стаціонарних та об'єктових умовах

Процедура випробувань визначає час роботи бригади (не більше чотирьох годин з перервами), підготовку бригади перед вимірюваннями (2-3 хвилини), порядок та швидкість читання таблиць, а також забороняє слухачам самостійно перевіряти свої роботи.

- 7) Обробка результатів за таблицями звукосполучень

- 8) Обробка результатів за таблицями слів

Обробка результатів артикуляційних випробувань проводиться за однаковими алгоритмами – як для таблиць звукосполучень, так і для таблиць слів. Порядок дій наступний: спочатку диктор передає по досліджуваному тракту чотири таблиці, а два-три слухача ведуть запис. Для кожного слухача визначається відсоток правильно сприйнятих звукосполучень за кожною таблицею та визначають середнє значення розбірливості звуків D_{cp} та середньоквадратичне відхилення σ_D .

$$D_{cp} = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K D_i ; \quad (14)$$

$$\sigma_D = \sqrt{\frac{1}{K-1} \sum_{i=1}^K (D_i - D_{cp})^2} , \quad (15)$$

де D_i - розбірливість прийому однієї таблиці одним слухачем.; $K = m \cdot n$ - загальне число таблиць, прийнятих всіма слухачами; m - число слухачів; n - число переданих таблиць.

Якщо $|D_i - D_{cp}| \geq 3\sigma_D$, то даний результат вимірювань виключають та розраховують D_{cp} и σ_D повторно з врахуванням зменшеного числа вимірювань.

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

$$D_n = D_{cp} - C_K \sigma_D , \quad (16)$$

де C_K - коефіцієнт, який враховує довірчу ймовірність, знаходять з таблиці 6.

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

Таблиця 6 – Коефіцієнти C_K

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

Якщо $D_u \leq D_0 \leq D_{cp}$, то вимірювання продовжують. В цьому випадку розраховують відношення $(D_{cp} - D_0)/\sigma_D$ і знаходять найближче значення C_K з таблиці 6 та відповідне йому K . Якщо після передачі додаткових таблиць значення розбірливості не відповідає заданому класу, випробування зупиняють та з'ясовують причини невідповідності.

Звернемо увагу на деякі сумнівні значення у таблиці 6. При $C_K = 0,3$ значення $K = 28$, але добре відомо, що у випадку 95% довірчого інтервалу коефіцієнт $C_K \approx 2$ при $K \approx 30$. [9] Можливо це помилка набору, але важливо враховувати це при проведенні вимірювань.

9) Оформлення результатів вимірювань

За стандартним бланком.

Третій розділ визначає розбірливість фраз (команд) і містить посилання на відповідний додаток з тестовим матеріалом.

В додатках наведені артикуляційні таблиці звукосполучень та слів, форма протоколу випробувань, випробувальні тести для аудиторів та дикторів, тестові фрази

Очевидними недоліками артикуляційного методу та відповідно застосування стандарту методу є трудомісткість та незручність. Адже кожного разу потрібно запрошувати дикторів та слухачів, перевіряти великий об'єм відповідей та підраховувати результат. В наш час процедуру можна автоматизувати, що відповідно зробить вимірювання більш зручним, а перевірка даних слухачами відповідей буде віддана на розсуд програми.

Спробу автоматизувати суб'єктивне вимірювання розбірливості вже проводили у Росії у 1995 році, результат викладено у ГОСТ 50840-95 [4].

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

Стандарт складається з розділів, що визначають сферу застосування, нормативні посилання, використовувані поняття, рекомендації щодо обладнання, підготовку до вимірювань, процедуру оцінювання розбірливості кількома методами (артикуляційним та парних порівнянь) за використання різного тестового матеріалу. В додатках знаходяться вказівки щодо електричних параметрів контрольного тракту, варіанти артикуляційних таблиць звукосполучень, методика обробки вимірювань та таблиці фраз.

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

Методика вимірювання, яка цікавить нас, описана у пунктах 5 «Загальні вимоги та підготовка до вимірювань», 6 «Вимірювання розбірливості мовлення артикуляційним методом» та 7 «Вимірювання розбірливості мовлення артикуляційним методом за таблицями неповних складів». Вона передбачає наступні етапи:

1. Підготовку або вибір приміщення з рівнем шуму, що не перевищує 50 дБ та підготовку апаратури вказаного типу (шумомір за ГОСТ 17187, 3 клас точності; ПЕОМ з можливістю введення-виведення мовленнєвої

інформації; магнітофони, головні телефони; контрольний тракт або телефонний апарат; пакет програм; дискети).

2. Набір команд дикторів та аудиторів, що не мають значних дефектів мовлення або слуху. Склад команди має містити не менше трьох дикторів (два чоловіки та жінка) та трьох слухачів. Але слухачі можуть бути дикторами. Вікові обмеження – 18-30 років.
3. Запис артикуляційних таблиць голосами дикторів на магнітофон або у пам'ять ЕОМ. При цьому контролюється темп мовлення
4. Підготовка бригади слухачів. На першому етапі їм дають звикнути до манери передачі інформації по тракту. На другому тих з них, чий результат стабільно відрізняється від інших, замінюють або усувають. Тренування ведеться до досягнення стабільних результатів та займає декілька днів.
5. Проведення вимірювань, при яких аудитори прослуховують по 5*к таблиць звукосполучень, де $k=1,2,3\dots$. На екрані ЕОМ відображаються неповні звукосполучення. Після прослуховування потрібно їх доповнити відсутнім приголосним.
6. Програма сама формує склад таблиць та формує матрицю помилок з подальшою обробкою та поверненням результату вимірювань.

Методика обробки результатів наступна:

Визначають середнє значення та середньоквадратичне відхилення оцінки розбірливості за формулами:

$$S = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N S_i, \quad (17)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (S_i - S)^2}, \quad (18)$$

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

Далі проводять відбраковку за критерієм $|S_i - S| > 2\sigma$. Після відсіювання результатів нове значення визначають за формулою:

$$S = \frac{1}{N-k} \sum_{i=1}^{N-k} S_i, \quad (19)$$

де k - число відбракованих вимірювань.

Класи якості та норми розбірливості мовлення відрізняються від використовуваного в Україні ГОСТ 16600-72 (таблиця 7).

Таблиця 7 – Оцінка класу якості апаратури за показником розбірливості за ГОСТ 16600-72

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

Бачимо, що у даному стандарті міри розбірливості для класифікації знижено як у порівнянні з нині використовуваним в Україні стандартом, так і в порівнянні з роботою Покровського. Те, що обидві ці класифікації визначають як повністю нерозбірливе мовлення, в даному випадку відноситься до третього класу.

Даний метод був рекомендований до використання в умовах низької розбірливості. Автори запевняли, що цим досягається автоматизація процедури вимірювань, скорочення часу на тренування бригади аудиторів та загальне прискорення результатів вимірювань.

Отже цей стандарт є дійсно більш сучасним за рахунок спроби автоматизації процедури вимірювань, але водночас з тим у 2018 році процедура з матеріальною базою 1995 теж застаріла. Тепер доступ до комп'ютерів є у кожного, а кожен ПК має здатність до вводу та виводу мовленнєвої інформації.

Перерахуємо недоліки розглянутих стандартів:

- 1) Застаріла рекомендована матеріальна база для проведення вимірювань;
- 2) Використання таблиць неповних звукосполучень (може вплинути на результат у несправедливо кращу сторону);
- 3) Всі тестові матеріали представлені лише для російської мови.

Отже актуальним є створення автоматизованої процедури для оцінювання розбірливості української мови.

2.2. Розробка програмного комплексу

2.2.1. Аналіз попередніх розробок

Спочатку розглянемо особливості деяких вже існуючих автоматизованих систем.

Польський дослідник Стефан Брахманські представив розроблений ним метод «Модифікований тест розбірливості з примусовим вибором (Modified Intelligibility Test With Forced Choice) [5]. Вчений спирався на ті ж недоліки у тривалості проведення суб'єктивного дослідження, що вказані у попередньому підрозділі.

У методі MIT-FC комп'ютер керує всіма експериментами. Автоматизація суб'єктивного вимірювання пов'язана з основною зміною генерації логатомів і прийняттям рішення слухачем. Комп'ютер створює список висловлювань (для тесту логатомів список складається з 100 фонетично збалансованих абсурдних слів), згодом видає промовлені логатоми слухачам, і для кожного запису є декілька візуально представлених (у орфографічній формі) логатомів, які раніше були обрані як перцептивно подібні. Тобто слухачу потрібно обрати серед

багатьох схожих транскрипцій вірну. Встановлено, що оптимальне число візуально представлених для слухачів логатом є сім (шість альтернативних і один переданий варіант). Слухач вибирає один логатом зі списку, який представлений на моніторі комп'ютера. Комп'ютер підраховує правильні відповіді та обчислює середню розбірливість логатому та стандартне відхилення. Час вимірювання для одного списку логатомів (що складається зі 100), становить 8-9 хвилин. Всі процедури вимірювання повністю автоматизовані, а оператор має гнучкі можливості для встановлення параметрів та опцій вимірювання. Також можна оновити програму, яка реалізує метод MIT-FC з більш складною обробкою балів.

Експеримент показав, що при проведенні класичного варіанту тесту та MIT-FC результати співпадають. Дослідження проводились для польської та англійської мов та обидві отримали гарні результати.

Цей метод був би непоганим для використання, але він має відхилення від стандартної для нас процедури проведення оцінювання (є варіанти логатом). І тест все одно потрібно адаптувати під українську мову.

Вкрай цікавою є робота трьох американських авторів: Кетрін Йоркстон, Девіда Боклмана та Марка Хакеля за технічної підтримки програмістом Меттом Дорсі. Їх праця представляє собою програмне забезпечення та керівництво користувача під назвою «Тест для розбірливості мовлення для Windows». [6].

Результат їх роботи успішно застосовують у госпіталях Madonna Rehabilitation Hospitals для перевірки мовлення пацієнтів, хворих на дизартрію (порушення функцій мовлення).

Програмне забезпечення встановлюється на комп'ютер з диска. Робоче вікно представляє собою звичайне вікно програми з можливістю вибору типу тесту, ролі оператора ПК (суддя або екзаменатор) та деяких налаштувань зовнішнього вигляду. Можливі функції отримання результатів та генерування звіту.

Найбільшу цікавість представляє система оцінювання. Вона включає в себе суддю, екзаменатора та досліджуваного (диктора).

Запис тестових сигналів представляє унікальну проблему в тому, що особи, які судять, не повинні мати чіткого передбачення того, що говорить спікер. Були зроблені зусилля для того, щоб обійти проблему знайомства суддів з вибіркою мови двома різними способами. По-перше, зразки мовлення створюються випадковим чином за допомогою комп'ютерної програми. По-друге, особи, які виконують функції суддів за конкретну вибірку, не повинні брати участь у реєстрації цього зразка. Всі записи робить екзаменатор.

Тестові сигнали записують в «умовах найбільшої тиші», що вказує на те, що обов'язково використовувати заглушену кімнату в умовах даного тесту. Або ж автори не мають такої можливості. Рекомендується проводити запис з постійною відстанню до мікрофона для забезпечення постійного рівня.

Конкретні ролі екзаменатора та судді абсолютно різні. Екзаменатор несе відповідальність за використання комп'ютера, щоб генерувати зразки речення для запису. Екзаменатор стрічкою записує динамік, коли він або вона читає або імітує речення або з екрана комп'ютера, або з друкованого аркуша, створеного комп'ютером. Екзаменатор не коментує зразки. Суддя не бере участі в реєстрації зразка мовлення, але слухає записаний зразок і передає речення. Комп'ютерна програма оцінює вибірку, обчислює оцінку розбірливості та швидкості мовлення та відображає або друкує звіт про результати.

Хоча як екзаменатор, так і суддя можуть бути патологом мови, вони не повинні виконувати цю роль. Наприклад, суддя може бути будь-яким грамотним дорослим з нормальним слухом. Кількість необхідних суддів залежить від цілей вимірювань розбірливості. Якщо метою є спостереження за змінами окремого доповідача протягом певного періоду часу, достатньо одного судді, за умови, що суддя - це одна особа кожного разу. Проте, коли вимірювання зрозумілості використовуються для встановлення функціональних рівнів або для порівняння осіб, рекомендуються кілька суддів.

Через специфічність призначення даної програми її не можна використовувати для перевірки якості ліній зв'язку. Але складна система оцінки

є цікавою для застосування. Також це дає перспективи для розширення функціонування оцінювання, яка буде розроблена.

Отже, ні один з існуючих аналогів не може бути використаним для оцінки розбірливості української мови у лініях зв'язку.

2.2.2. Етапи розробки, що пропонується

Розробка проводилася у середовищі Matlab.

Методика проведення тесту була прийнята відповідною до головної ідеї артикуляційного тесту (рис. 9) та базується на процедурі, що описана в ГОСТ 50840-95.

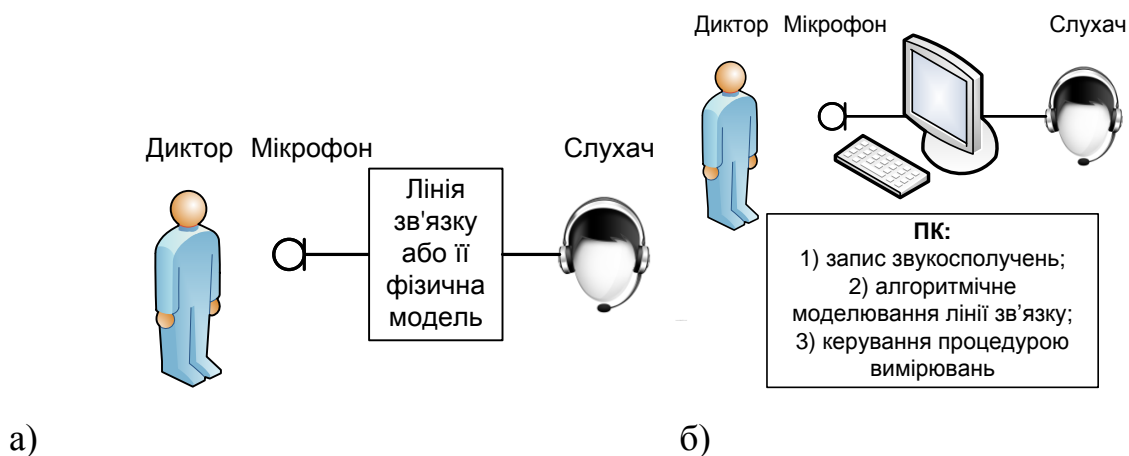


Рис. 9 . Традиційна схема артикуляційних випробувань (а) та схема із застосуванням ПК (б)

Підготовчий етап розробки

Перше завдання, що постало перед розробниками – пошук або створення тестового матеріалу. Для вибору оптимальної форми тестового матеріалу було переглянуто переваги та недоліки різних його типів. У дослідженні [18] сказано наступне.

«Основними видами розбірливості є складова і словесна, вимірювання яких проводиться з використанням спеціально складених таблиць складів і слів. Основне призначення таблиць слів - вимірювання розбірливості в каналі

мовленнєвої комунікації в умовах дії сильних акустичних завад і спотворень. Через обмежену кількість таблиць і високу запам'ятовуваність часте вживання цих таблиць неприпустимо. Можливі також артикуляційні вимірювання за допомогою таблиць фраз і двозначних цифр. Перший тип таблиць практично не застосовується через властиву їм великий надмірності і внаслідок цього низької чутливості до спотворень в тракці зв'язку. Таблиці двозначних цифр використовуються в специфічних умовах надзвичайно низької розбірливості (близько 25%), неприпустимої для телефонного зв'язку. Таблиці складів мають ряд недоліків: в таблицях складів не відображені просодичні та структурні характеристики мови; спектральні характеристики звуків у складі складів мають підсилену форму; для отримання необхідної величини коефіцієнта експериментальної практики артикуляційної бригади потрібне тривале тренування, особливо при сприйнятті синтезованої мови. В цьому відношенні певними перевагами володіють словесні таблиці. Ці таблиці містять слова з ритмічними структурами різного типу за кількістю складів і місця наголосу; забезпечується природність промови; необхідний час тренування артикуляції бригади слухачів є малим. Однак таблиці слів мають великий надмірністю і вимагають для проведення випробувань значних часових затрат» [18].

Хоча автор вважає таблиці слів найкращим варіантом, для використання у даному комплексі були обрані таблиці складів (звукосполучень) саме через їх важкість до сприйняття. Це має підвищити достовірність результатів.

Оскільки розробляється тест саме для української мови, то весь матеріал повинен відповідати тим звукосполученням, що ми чуємо в ній.

Автори статті [25] проводили тест для оцінки розбірливості мовлення, в якому ними було запропоновано десять артикуляційних таблиць українських слів. Результати тестування цих таблиць шляхом суб'єктивних вимірювань розбірливості мови на тлі білого та забарвленого шумів представлено в [26]. На жаль, при цьому не вказано режим використання генератору забарвленого шуму ANG 2200 [27], а за представленим в [26] графіком спектру забарвленого шуму важко збагнути, який тип забарвлених шумів (рожевий, коричневий тощо) було

використано. Крім того, очевидно, що окрім таблиць слів потрібно мати ще й таблиці звукосполучень, перевагою яких є утруднення розпізнавання фонем, не сприйнятих слуховою системою через дію завад. Нарешті, зазначимо, що в згаданих роботах [25, 26] не робилася спроба автоматизувати процедуру суб'єктивного оцінювання розбірливості мови.

Розробниками було прийняте рішення адаптувати таблиці з ГОСТ 50840-95 до української мови. Учасниками адаптації були студенти шостого курсу кафедри акустики та акустoeлектроніки КПІ. Результатом роботи стали дев'ять артикуляційних таблиць звукосполучень української мови. Кожна таблиця містить 50 звукосполучень. Одна з них приведена в таблиці 8.

Таблиця 8

НЯК ^Г	ПУЛЬ	БУЩ	М'ЯТ ^Д	СВУМ	СОС	ПЦ	ЧТАЛ	ДЮР	ХАЧ
МЮФ ^В	ЗОШ ^Ж	ПЛИСЬ ^З	РИЦ	ДУМ	НИСЬ ^З	ЛУТ ^Д	СІЧ	ВІСТЬ	ДИС ^З
Ф ^В СЕН	РАЙ	БОР	ЧАТ ^Д	ВИС ^З	ГУМ	ПРЮХ	ШЕТЬ ^Д	ТЮТ ^Д	ЙОФ ^В
ЙОК ^Г	СТЯЛ	ТИП ^Б	ГЕФ ^В	БАЦ	ТРИТ ^Д	ШИСЬ ^З	ДЕП ^Б	СЕС ^З	ТОР
ВОХ	ЖОФ ^В	ТЕФ ^В	ТРУХ	ФЕК ^Г	ЛЕФ ^В	ВІК ^Г	ЩОХ	КАСЬ ^З	ЗЕХ

Програмні варіанти текстових таблиць звукосполучень, які далі називатимемо «еталонними таблицями звукосполучень», створено у вигляді файлів-структур (мають розширення mat), що містять 50 полів. Імена полів s1,...,s50 утворювалися шляхом конкатенації символу «s» із номером звукосполучення. Значення полів представляли собою значення строкової змінної, яке вводиться слухачем із клавіатури за вимогою керуючої комп'ютерної програми. Як і в таблицях стандарту 50840-95, було враховано можливість подвійної інтерпретації окремих почутих звуків, таких як м'яке «г» та «х», «з» та «с» тощо. З цією метою було створено другу версію кожної текстової таблиці шляхом копіювання та редагування першої (основної) версії.

Для створення еталонних таблиць звукосполучень розроблено дві Matlab-програми, `make_rfr_table.m` та `redact_table.m`, перша із яких призначена для створення еталонних таблиць, а друга дозволяє редагувати створені таблиці. Оскільки від форми імен файлів, що формуються в результаті використання цих програм, залежить зручність подальшого їх використання, імена таблиць вирішено формувати із двох частин – словесної та числової. Перша частина імен інформує про зміст таблиць, а друга частина вказує на номер таблиці та її версії. Наприклад, перша версія еталонної таблиці під номером 13 має ім'я `rfr_table_13_1.mat`.

Програмні варіанти звукових таблиць створювалися шляхом запису голосу диктора в заглушеному приміщенні кафедри акустики та акустoeлектроніки НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського». Для запису використовувалися мікрофон Behringer ECM800, зовнішня звукова карта PRESONUS AudioBox USB та комп'ютерна програма Audacity версії 2.1.3. Звукосполучення зачитувалися із застосуванням словесного оточення. Наприклад, звукосполучення «няк» зачитувалося як «Запишіть няк тепер». Запис виконувався із частотою дискретизації 44100 Гц та глибиною квантування 16 біт.

Дикторами та слухачами виступали студенти та викладачі кафедри без явних дефектів слуху та мовлення. Всього було створено сім таблиць, записаних чоловічими голосами, та дві – жіночими.

Слід зазначити, що зробити якісні записи досить непросто. Так, перша спроба запису видалася невдалою з-за невірної встановлення режиму роботи драйвера звукової карти. Як наслідок, відношення сигнал-шум становило лише 20 дБ, а окремі мовні сигнали були помітно спотворені.

При повторенні запису зазначені недоліки були усунені, але виявився інший недолік, спричинений відсутністю необхідного досвіду: диктори здебільшого намагалися якось підкреслити голосом звукосполучення із словесного оточення. Робилося це шляхом створення пауз перед та після звукосполучення, а також шляхом підсилення гучності вимови звукосполучення. Оскільки таке підсилення гучності було незначним, цю ваду було вирішено

залишити, а от вищезгадані паузи були піддані скороченню шляхом ручного редагування (використано звуковий редактор Audacity).

Звукові таблиці звукосполучень із іменами типу `wav_table_13.mat`, де перша частина імені вказує на зміст файлу, а число вказує на номер таблиці, було сформовано за допомогою розробленої програми `make_wav_table.m`. Ці таблиці мали вигляд файлів-структур, та містили 50 полів, імена яких формувалися шляхом конкатенації символу «w» та номеру звукосполучення - в результаті імена полів кожної таблиці змінювалися в діапазоні w_1, \dots, w_{50} . Значення полів представляли собою числові масиви вибірок відповідних звукових сигналів.

Результатом підготовчого етапу розробки стали дев'ять записів артикуляційних таблиць, кожній з яких відповідали файли еталонних таблиць та файли-структури, збережені в Матлаб.

Подальша розробка складалася з написання програм.

Структура програмного комплексу

Було зрозуміло, що лише однією програмою не обійтись. Тому комплекс складається з пари головних програм та шістьох допоміжних. Головною програмою комплексу є програма `table_reading_assist.m` (Додаток А), яка призначена для обчислення розбірливості мови шляхом порівняння звукосполучень, сприйнятих на слух та введених із клавіатури, із звукосполученнями еталонних текстових файлів. Суфікс `assist` в імені програми вказує на те, що дана програма працює в парі із програмою `assistant.m` (Додаток Б), яка забезпечує контроль за повнотою виконання набору тестових завдань.

Набір додаткових програм складається з програм та програм-функцій, представлених в таблиці 9:

Таблиця 9 – Функції допоміжних програм

Назва програми	Функції
<code>distorSystem.m</code>	Програма-функція, призначена для контрольованого спотворення мовних сигналів шумом та реверберацією.

noise_generation.m	Програма формування файлу-структури noises_table.mat, що містить вибірки забарвлених шумів трьох видів забарвленості: білого, рожевого та коричневого.
filter_band_7_func.m	Програма-функція гребінки із 7 смугових нерекурсивних октавних фільтрів, що забезпечує генерування забарвлених шумів.
vad_LP.m	Програма-функція, що моделює функції детектору голосової активності.
rzlts_processing.m	Програма для обробки окремим слухачем своїх результатів тестування.
averaging_rzlts.m	Програма усереднення за слухачами результатів тестування.

Розглянемо деякі подробиці функціонування програмного комплексу. Блок-схема керуючої програми комплексу table_reading_assist.m представлена на рис. 10. На початку роботи робиться запит про вибір режиму роботи: тренувального або робочого. В тренувальному режимі слухачеві пропонується прослухати лише по 3 звукосполучення із кожної таблиці, що дозволяє призвичаїтися до особливостей завдання, що розв'язується. В робочому режимі таблиці мають бути прослуханими повністю.

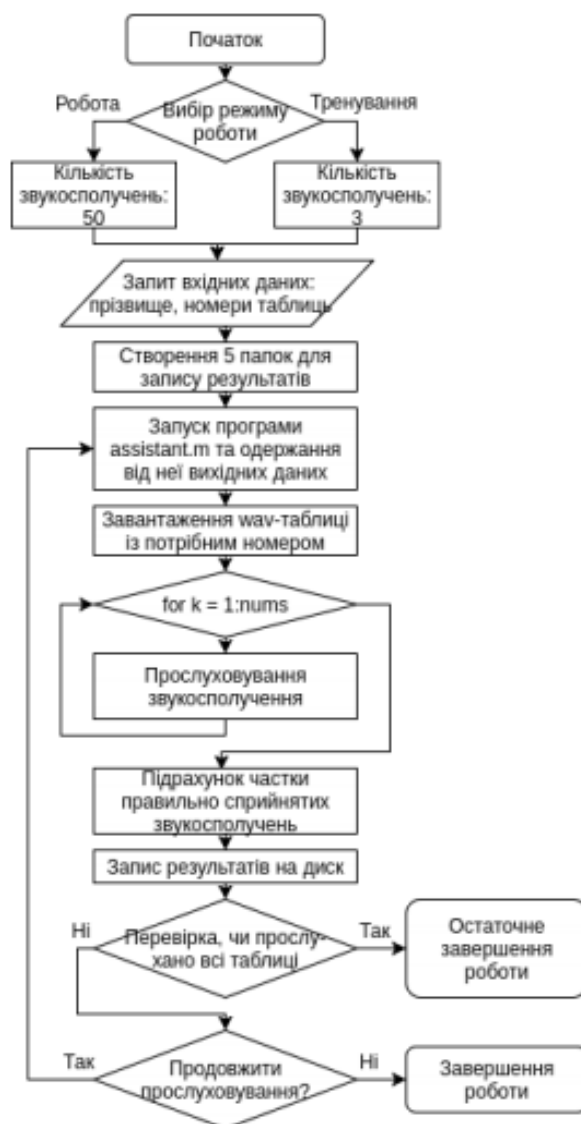


Рис. 10. Блок-схема керуючої програми комплексу

Після вибору режиму роботи користувачу пропонують ввести своє прізвище та номери артикуляційних таблиць для прослуховування. Знімок екрану під час цього вибору зображено на рисунку 11. Зазначимо, що це відповідає першій версії програми.

```

1 % === table_reading_assist.m === слухання таблиць із "асистентом" ===
2 %
3 % Мета даної програми - автоматизація оцінювання розбірливості звукосполучень
4 % за результатами прослуховування 3-х наборів (таблиць) таких звукосполучень
5 % Завдяки підпрограмі-функції assistant.m, яка контролює повноту виконання
6 % поставленого завдання, вам не треба пам'ятати, що зроблено і що
7 % залишилося зробити...

```

Command Window

```

При ТРЕНУВАННІ прослуховується по 3 звукосполучення із кожної таблиці
При РОБОТІ прослуховується по 50 звукосполучень

Оберіть режим роботи? 1 - РОБОТА; 0 - ТРЕНУВАННЯ: 0

ІСНУЄ ЧОТИРИ ГРУПИ ДОСЛІДІВ:
Група 1 - чистий сигнал:
Група 2 - сигнал спотворений шумом:
Група 3 - сигнал спотворений реверберацією:
Група 4 - сигнал спотворений шумом та реверберацією:

Вкажіть ваше прізвище (без лапок): Бухта_К
Вкажіть в порядку зростання номери трьох таблиць для слухання :
Вкажіть номер першої таблиці: N1 = 1
Вкажіть номер другої таблиці: N2 = 7
Вкажіть номер третьої таблиці: N3 = 13

```

Рис. 11 Вибір режиму роботи програми

Після прослуховування запису звукосполучення слухач вводить почуте у вікно програми. Після завершення прослуховування 3 або 50 звукосполучень з'являється запис з результатом (рис. 12). У першій версії програми відображались також альтернативні версії написання.

```

table_reading_assist.m x +
1 % === table_reading_assist.m === слухання таблиць із "асистентом" ===
2 %
3 % Мета даної програми - автоматизація оцінювання розбірливості звукосполучень
4 % за результатами прослуховування 3-х наборів (таблиць) таких звукосполучень
5 % Завдяки підпрограмі-функції assistant.m, яка контролює повноту виконання
6 % поставленого завдання, вам не треба пам'ятати, що зроблено і що
7 % залишилося зробити...

```

Command Window

```

НАОЧНО СПІВСТАВТЕ РЕЗУЛЬТАТ ІЗ ЕТАЛОНАМИ

Еталон 1  Еталон 2   Результат
няк       няг       няу
пуль     пуль     пуль
буш      бушь     буш

Правильно сприйнято: 2 із 3
Оцінка розбірливості становить: 0.66667

Подовжити досліді? Так - 1, Ні - 0

```

Рис. 12. Вікно результатів прослуховування

Після прослуховування результат записується у файл-структуру у відповідну папку, а програма-асистент слідкує за виконанням роботи. Після завершення прослуховування на екрані з'являється привітання та результати роботи: розбірливість чистої мови у відсотках та три графіки, що відображають розбірливість спотвореної мови. Дані усереднюють за результатами тих трьох таблиць, які слухає дослідник.

Дуже зручною функцією є можливість перервати дослідження та повернутись до того місця, де воно було перерване.

До найбільш цікавих програм комплексу можна віднести програму-функцію `distorSystem.m`, призначену для контрольованого спотворення мовних сигналів шумом та реверберацією (рис. 11) при тестуванні розробленого комплексу. Математична модель спотвореного мовного сигналу має вигляд:

$$y(t) = x(t) \otimes h(t) + n(t) \quad (20)$$

де $x(t)$ - мовний сигнал; $h(t)$ - імпульсна характеристика приміщення; \otimes - символ згортки; $n(t)$ - шумова завада. Вибірки сигналу $x(t)$ є вхідними даними, а вибірки сигналу $y(t)$ є вихідними даними програми `distorSystem.m`. Вибірки реалізацій кольорових шумів трьох видів – білого, рожевого та коричневого – є заздалегідь сформованими та зберігаються в окремому файлі-структурі, що дозволяє суттєво скоротити час обчислень за формулою (20). З цією ж метою заздалегідь сформовано файл-структуру із вибірками семи функцій $h(t)$.

Варто окремо відмітити вибір типу спотворення сигналу для даного дослідження. Оскільки початковою ціллю дослідження є захист інформації, то розглядаються можливі спотворення як для ліній зв'язку, так і для кімнат. Тому обрані варіанти як спотворення шумами, так і реверберацією. Для врахування випадку використання IP-телефонії було передбачено ввести дослідження спільної дії шуму та реверберації.

У системах акустичного і віброакустичного маскування використовують шумові, "мовоподібні" і комбіновані перешкоди [28].

Найбільш часто з шумових використовують:

- "білий" шум (постійна спектральна щільність в мовному діапазоні частот);

- "рожевий" шум (спад спектра 3 дБ на октаву в бік високих частот);
- «коричневий» шум (спад спектра 6 дБ на октаву в бік високих частот);
- шумова "мовоподібна" перешкода (шум з обвідної амплітудного спектра, подібної мовному сигналу).

"Мовоподібні" завади формуються (синтезуються) з мовних сигналів. При цьому можливе формування завади як з приховуваного сигналу, так і з некорельованих із сигналом, що маскується, мовних фрагментів (відрізків).

Характерним представником завад, що формуються з мовних фрагментів, некорельованих із приховуваним сигналом, є перешкода типу "мовний хор". Така завада формується шляхом змішування фрагментів мови кількох дикторів. Серед перешкод, що формуються з приховуваного сигналу, можна виділити два типи: "мовоподібну" ревербераційну та "мовоподібну інверсійну".

"Мовоподібна" ревербераційна перешкода формується з фрагментів приховуваного мовного сигналу шляхом багаторазового їх накладення з різними рівнями. "Мовоподібна інверсійна" перешкода формується з приховуваного мовного сигналу шляхом складної інверсії його спектру.

Комбіновані перешкоди формуються шляхом змішування різноманітних перешкод, наприклад перешкод типу "мовний хор" і "білий" шум, "мовоподібної" ревербераційної та інверсійної перешкод і т.п.

На цей час є інформація про використання мовоподібних завад в системах захисту мовної інформації. Так, наприклад, "мовоподібна" завада типу "мовний хор" і комбінована перешкода типу "мовний хор" і "білий" шум реалізовані в комплексі "Барон". "Мовоподібна" комбінована (ревербераційна і інверсійна) завада використовується в системі акустичного маскуванню "Ехо" [28].

Для використання у даному комплексі були обрані «традиційні», доступні у генераторах попередніх поколінь, кольорові шуми.

Оскільки в другій частині тестування моделюється випадок спотворення сигналів виключно шумом із потрібним відношенням сигнал-шум SNR_0 , спотворений мовний сигнал формується поетапно:

- 1) за допомогою детектора пауз виділяють ділянки, що містять сигнал або шум;
- 2) за даними, що містяться на виділених ділянках, обчислюють стандартні відхилення σ_x та σ_n мовного сигналу та шуму, відповідно;
- 3) оцінюють наявне відношення сигнал шум

$$SNR = 20\lg(\sigma_x/\sigma_n) \quad (21)$$

- 4) входячи із наявного та потрібного відношень сигнал-шум, обчислюють коригувальний коефіцієнт

$$k = 10^{0,05(SNR-SNR_0)} \quad (22)$$

- 5) формують сума сигналу і шуму із потрібним відношенням сигнал-шум SNR_0 :

$$y(t) = x(t) + k \cdot n(t) \quad (23)$$

Наочно робота цієї програми представлена на рис. 13.

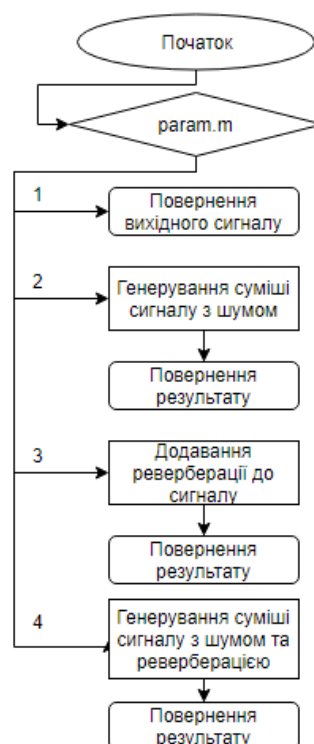


Рис. 13. Блок-схема програми спотворення мовних сигналів

Більш складним є алгоритм одночасного спотворення сигналу шумом та реверберацією, де враховується той факт, що перші 50 мс імпульсної характеристики $h(t)$ є корисними, оскільки підсилюють сигнал:

- 1) функцію $h(t)$ розщеплюють на дві частини: початкову дискретну частину $h_e(t)$ довжиною 50 мс, що містить інформацію про ранні відлуння й тому є корисною, оскільки призводить до підсилення сигналу, і хвостову частину $h_l(t)$, яка має дифузний характер та є шкідливою, оскільки спотворює сигнал:

$$h(t) = h_e(t) + h_l(t) \quad (24)$$

- 2) чистий сигнал $x(t)$ згортають із початковою частиною:

$$x_e(t) = x(t) \otimes h(t) \quad (25)$$

- 3) оцінюють наявне відношення сигнал шум

$$SNR_e = 20 \lg(\sigma_{x_e} / \sigma_n) \quad (26)$$

- 4) входячи із наявного та потрібного відношень сигнал-шум, обчислюють коригувальний коефіцієнт

$$k = 10^{0,05(SNR_e - SNR_0)} \quad (27)$$

- 5) чистий сигнал $x(t)$ згортають із $h(t)$, й до результату додають шум, зважений корегувальним коефіцієнтом:

$$y(t) = x(t) \otimes h(t) + k \cdot n(t) \quad (28)$$

В першому етапі проекту слухачам були запропоновані наступні види сигналів (таблиця 10).

Таблиця 10 – Види спотворень сигналів на першому етапі

Група дослідів	Кількість дослідів	Вид спотворення
1	1x3	Відсутнє
2	9x3	Шум: білий, рожевий та коричневий з SNR (dB) = +10; 0; -10

3	7x3	Реверберація: T60 (с) = 0.3; 0.6; 0.9; 1.1; 1.4; 2; 2.7
4	9x3	Шум (рожевий) та реверберація: T60(с) = 0.3; 0.9, 1.4 при SNR(dB) = -10; 0; +10

Всього кожен слухач прослуховував 26 видів сигналів, кожен вид спотворення прослуховувався з кожною з трьох артикуляційних таблиць. Всього слухачу було запропоновано 78 таблиць для одного експерименту.

В програмі-функції `vad_LP.m`, до якої звертається програма спотворення `distorSystem.m`, моделюється детектор голосової активності, виконаний за схемою «лінійний детектор – інтегратор – порогова функція». Вхідними даними до програми є функція $x(t)$ або $x_e(t)$, вихідними даними є вибірки із значеннями 1 («сигнал») та 0 («пауза»).

Обчислення результату відбувається за схемою, що використана у ГОСТ та визначена формулами 17-19.

Розробники спочатку перевірили комплекс у тестовому режимі для визначення можливих несправностей та збоїв у роботі, а потім передали його учасникам експерименту – студентам 5 та 6 курсу кафедри акустики та акустoeлектроніки КПІ.

За результатами роботи розробників була складена методика проведення експерименту, що складається з етапів підготовки та власне проведення.

Методика проведення вимірювань

1. Підготовка до проведення експерименту:

- 1.1. Обираються диктори (не менше двох чоловіків та однієї жінки) та не менше трьох аудиторів. Жоден не має мати явних дефектів слуху та мовлення. Диктори та аудитори можуть виконувати ролі одне одного.
- 1.2. Начитування відбувається в заглушеній кімнаті. Запис відбувається за допомогою мікрофону з вітрозахистом, звукової карти та комп'ютера з програмою запису. Отримані дані зберігаються у пам'яті комп'ютера.

- 1.3. Начитування таблиць звукосполучень диктором відбувається рівним голосом, чітко, без виділення окремих звуків, з постійним рівнем мови, який контролюється програмою запису. Звукосполучення вимовляють в словесному оформленні «запишіть _ тепер» .
- 1.4. Імпульсні характеристики приміщень записуються за допомогою обладнання, вказаного в п. 1.2.
- 1.5. Шуми генеруються за допомогою спеціального програмного забезпечення, що входить в комплекс.
2. Проведення експерименту:
 - 2.1. Дослід проводять в приміщенні з рівнем шуму не більше 50 дБ (шкала А ГОСТ 13107).
 - 2.2. Аудитори прослуховують звукосполучення за допомогою навушників.
 - 2.3. Прийняті сигнали записують у вікно комп'ютерної програми.
 - 2.4. На наступних етапах диктори прослуховують записи сигналів, спотворених шумом, реверберацією та одночасно шумом та реверберацією.
 - 2.5. Програма порівнює отримані відповіді з еталонними значеннями та видає відсоток вірно сприйнятих звукосполучень по кожному етапу (оцінювання відповідно до ГОСТ 50840-95).
 - 2.6. Відкидаються результати з великим відхиленням від середнього значення розбірливості.
 - 2.7. За потреби складова розбірливість перераховується в словесну згідно ГОСТ 50840-95.

2.3. Удосконалення програмного комплексу

Отже було створено програмний комплекс для автоматизації суб'єктивного оцінювання української мови, який виконує всі поставлені на початку розділу завдання.

За результатами прослуховування кожен учасник писав звіт, де вказував як свої висновки, так і побажання до покращення та зауваження. Останні мали деякі спільні пункти:

- 1) Всі учасники вказували на те, що з часом порядок звукосполучень у таблицях запам'ятовується. Відчуваючи підсвідоме бажання покращити результат, вони вводили не те, що дійсно було розчуто на тлі шуму, а правильно запам'ятовану відповідь.
- 2) Порядок запам'ятовувався не лише завдяки слуху, а й через відображення правильних відповідей.
- 3) Окремі звукосполучення звучали як короткі слова («пес», «жуть»), через що на них звертали увагу і запам'ятовували їх приблизне розташування.
- 4) Використання звуків [дж], [дз], [ї] не враховано.
- 5) З часом слухова система адаптувалася до дії шуму і учасники експерименту відчували деяке полегшення у процесі розпізнавання.
- 6) Іноді слухач робив помилку набору при введенні почутого. Через неможливість виправлення результат погіршувався.
- 7) Деякі слухачі відмічали, що не враховані всі варіанти написання слів у еталонних таблицях, через що окремі результати можуть бути погіршеними.

Дані відгуки визначили необхідність у проведенні ще одного етапу експерименту, на якому програма буде вдосконалена з врахуванням вказаних недоліків. Окрім того, другий етап потребувався з інших причин:

- 1) Декілька студентів виконали прослуховування за допомогою акустичних моніторів, а не навушників та отримали надзвичайно гарні результати розбірливості. Це явище потрібно було перевірити.
- 2) Діапазон зміни відношення сигнал-шум потрібно розширити для отримання більш детальної інформації.
- 3) Збільшення кількості учасників експерименту дає біль точні кінцеві результати.

Отже, доробка була необхідна. Її найбільшого впливу зазнала керуюча програма.

Були внесені наступні зміни:

- 1) Всі учасники проводили експеримент двічі, прослуховуючи одні і ті ж таблиці як за допомогою навушників, так і за використання акустичних моніторів. Це дозволить визначити різницю між ними та дослідити шляхи покращення результату.
- 2) Для запобігання запам'ятовуванню було введено довільне відтворення у межах групи дослідів.
- 3) Додана функція виправлення відповіді.
- 4) Слухачам більше не показують правильні відповіді для запобігання запам'ятовуванню. Тепер після прослуховування відображається лише результат у відсотках.
- 5) Додана третя еталонна таблиця. Наприклад, звукосполучення «м'ят» можна ввести з клавіатури за двома варіантами: як «мйат» або як «м'ят». Перший варіант є більш очевидним та простим, оскільки дозволяє обійти проблему набору апострофа в українській розкладці клавіатури. Другий варіант виглядає трохи дивним, проте відповідає вимогам програмного середовища Matlab до використання апострофу.

Саме вдосконалений варіант програмного комплексу наведено у додатках.

Учасниками цього етапу експерименту стали студенти третього курсу кафедри акустики та акустoeлектроніки КПІ.

Висновки до другого розділу

- 1) Використовуваний в Україні стандарт для оцінки трактів зв'язку ГОСТ 16600-72 є застарілим, оскільки проведення вимірювань можна значно спростити, автоматизувавши процедуру. Існує декілька робіт з описанням застосування автоматизованої процедури, але вони мають відхилення від

стандартної процедури проведення артикуляційного тесту та не адаптовані до української мови.

- 2) В роботі було запропоновано програмний комплекс для автоматизації суб'єктивного оцінювання розбірливості української мови. Це включало в себе створення тестового матеріалу, розробку та тестування програм та контроль над проведенням тесту учасниками експерименту.
- 3) Оцінювання розбірливості проводилося як для чистої мови, так і для мови, спотвореною кольоровими шумами, реверберацією та їх спільною дією.
- 4) Проведення тесту відбувалося у два етапи. Побаження щодо змін від учасників першого слугували основою змін, що призвели до проведення другого етапу.

3. Тестування запропонованого програмного комплексу

3.1. Перший етап тестування

Тестування програмного комплексу виконувалося дев'ятнадцятьма студентами середнім віком 22 роки та двома викладачами кафедри віком 28 та 69 років. Усереднені результати наведено на рис. 14 а-в. Варто пам'ятати, що всі результати наведені як показники складової розбірливості.

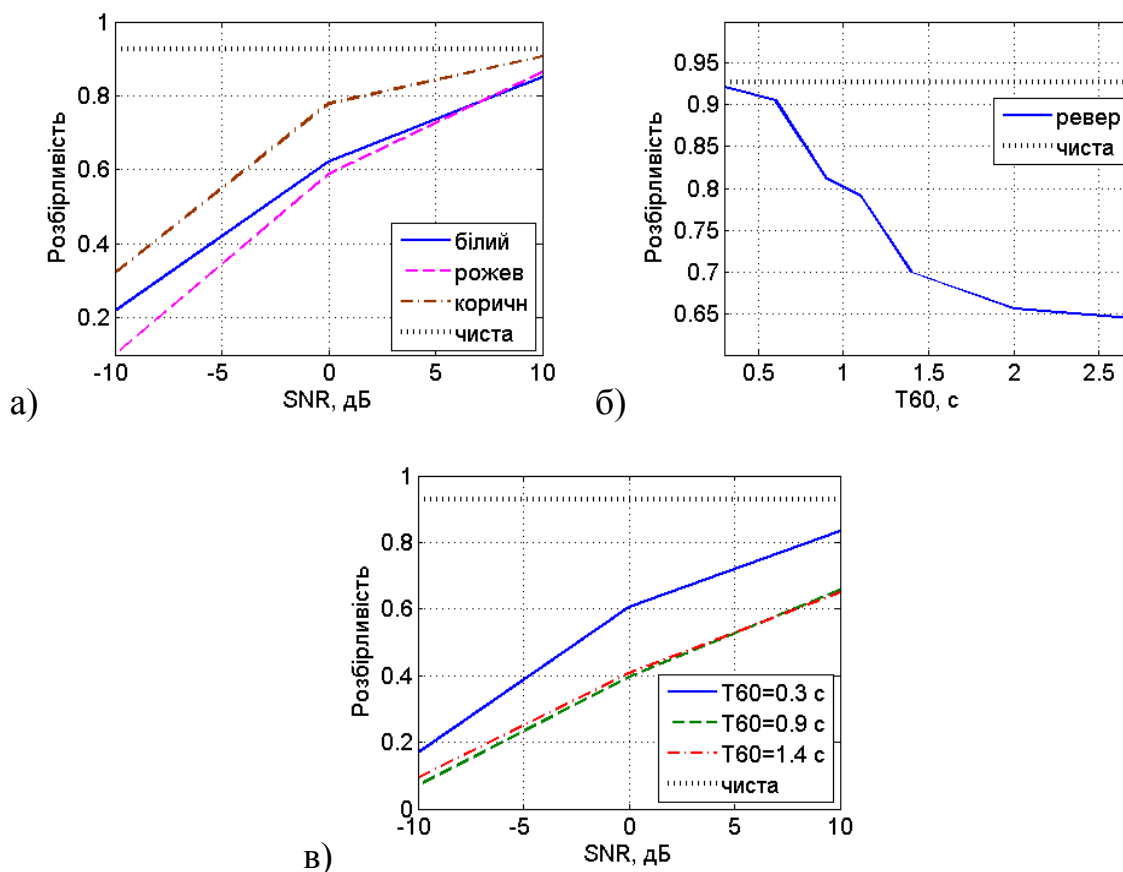


Рис. 14. Результати першого етапу (наушники): (а) шум, (б) реверберація, (в) спільна дія шуму та реверберації

Стандартні відхилення наведено на рис. 15 а-в.

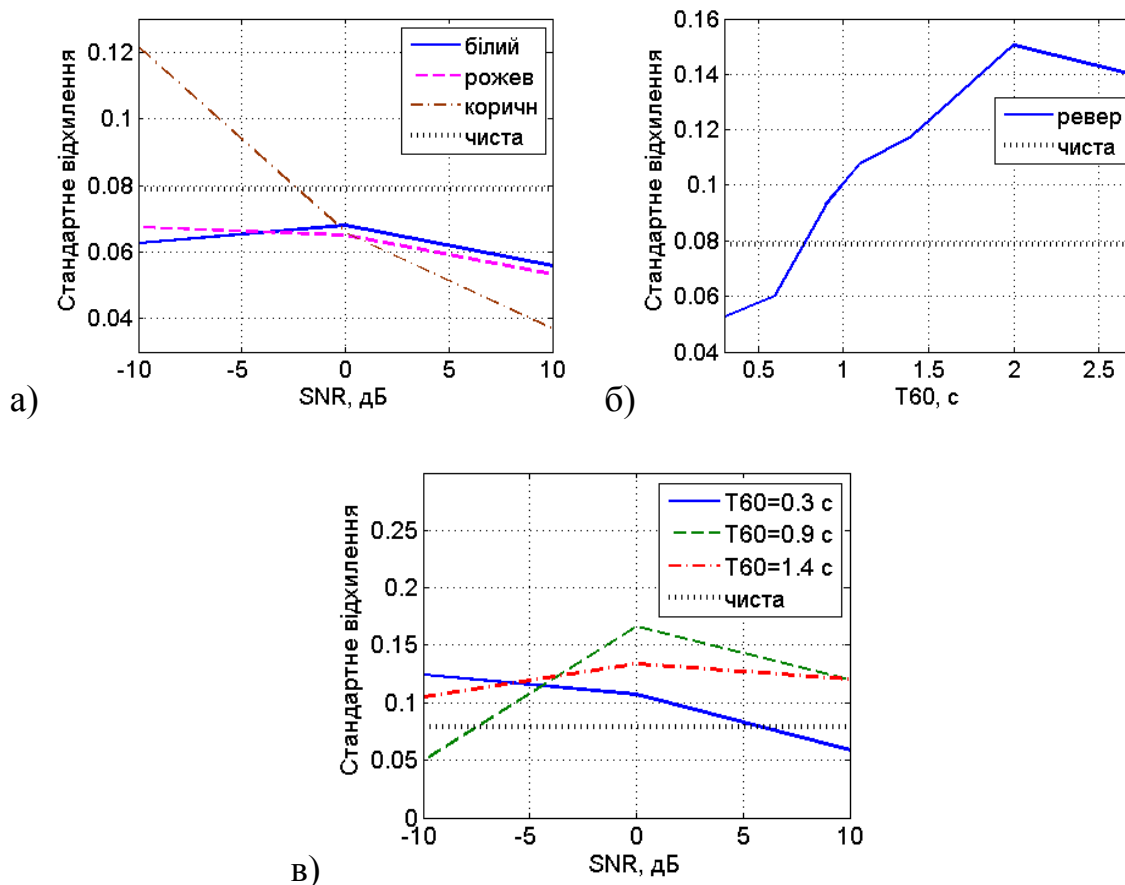


Рис. 15. Стандартні відхилення оцінок для першого етапу (наушники):
 (а) шум, (б) реверберація, (в) спільна дія шуму та реверберації

Для того щоб можна було проаналізувати наведені результати, скористаємося деякими літературними даними. Розглянемо результати артикуляційний випробувань за використання таблиць звукосполучень української мови [26] (рис.16). Ці результати цікаві нам тому що автори використовували власне ними розроблені артикуляційні таблиці та проводили тест з використанням спотворення сигналу білим шумом. Також скористаємося результатами об'єктивних досліджень, спрямованих на встановлення відповідності між декількома методами (рис.17). Вони будуть корисні через використання в них тих самих синтетичних шумів що і в описуваному дослідженні, тому можна буде оцінити їх дію. На представлених графіках маємо на меті саме встановлення відповідності поведінки кривих.

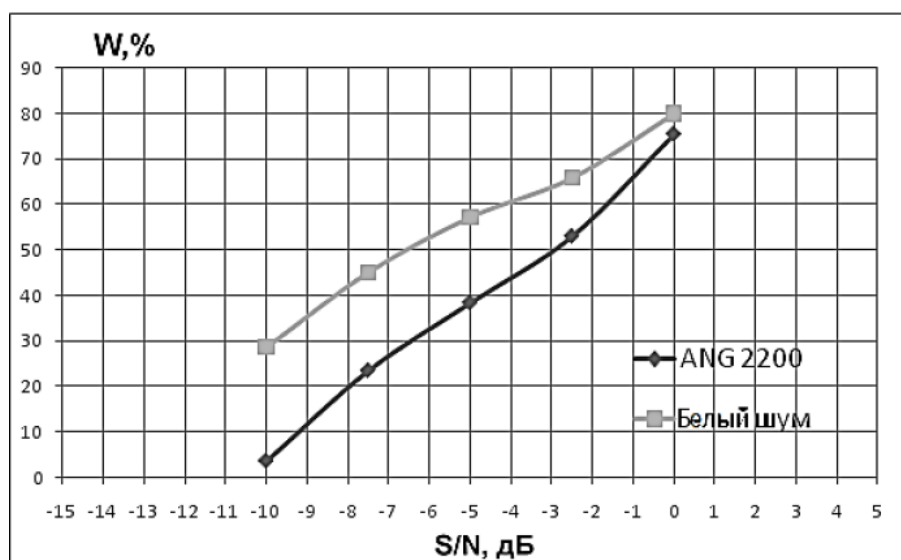


Рис 16. Середні значення словесної розбірливості для двох типів шумових завад [26]

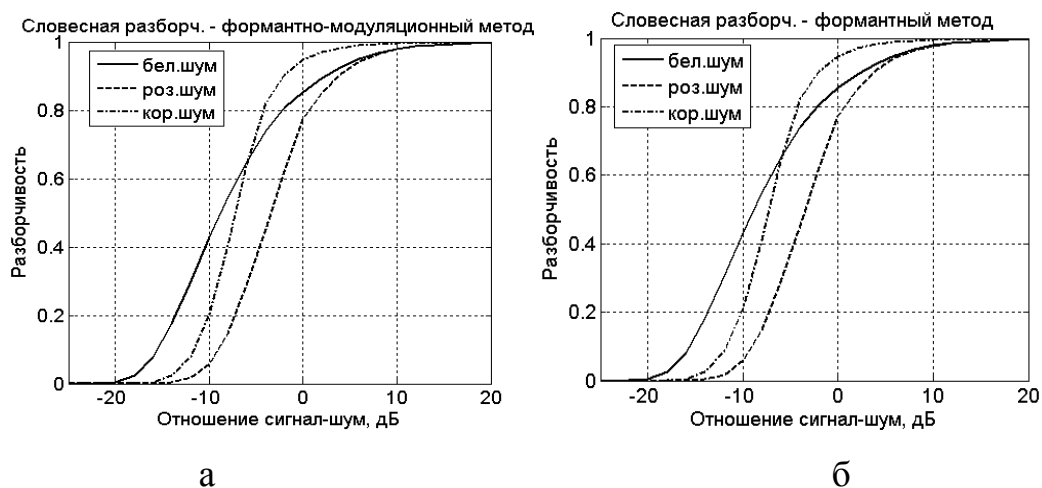


Рис. 17. Оцінка розбірливості для шумової завади (а) формантно-модуляційним та (б) формантним методом [2]

Представлені на рис. 14а результати для випадку маскування сигналу шумами досить добре узгоджуються із результатами робіт [26, 20, 2] в області середніх та великих відношень сигнал-шум (0...10 дБ), але не зовсім добре узгоджується в області малих (менше мінус 5 дБ) відношень сигнал-шум. Так, в [20] вказано, що при $SNR < -5$ дБ білий шум практично такий же ефективний, як і рожевий, а в [2] навпаки, стверджується, що білий шум помітно поступається навіть коричневому шуму.

Одержаний результат однозначно вказує на необхідність продовження досліджень. Наприклад, провести випробування на випадок мінус 15 дБ, оскільки на рис. 14а помітною є тенденція до погіршення маскувальних властивостей білого шуму із подальшим зниженням відношення сигнал-шум. Побічним результатом можна вважати виявлену необхідність перевірки коректності обчислення розбірливості формантним методом.

Що стосується графіків рис. 14б та 14в, вони на якісному рівні добре узгоджуються із уявленнями про дію реверберації на мовленнєвий сигнал. Перевірити ступінь узгодження на кількісному рівні не представляється можливим за відсутністю відповідних даних в літературі. Спільна дія шуму та реверберації має саме такий результат як очікувалося: розбірливість збільшується з ростом відношення сигнал-шум, а дія реверберації відображається на взаємному розташуванні кривих: краща розбірливість була помітна за найменшого часу реверберації.

Величини стандартних відхилень (рис. 15) в цілому невеликі. Результати учасників гарно узгоджені і знаходяться на рівні близько 6% для випадків прослуховування записів, спотворених білим та рожевим шумом (рис 15, а), але мають більші розбіжності для малих відношень сигнал-шум у випадку спотворення коричневим (до 12%). Для випадку спотворення реверберацією (рис. 15, б) розкид результатів росте зі збільшенням часу реверберації від 5% до 15%. Спільна дія шуму та реверберації (рис. 15, в) відчуває сильний вплив ревербераційної завади, тому і розкид відносно великий. В цілому спостерігається тенденція збільшення стандартного відхилення для найгірших випадків: найменших відношень сигнал-шум, найбільшого часу реверберації. Результати для чистої мови стабільно невисокі.

Оскільки три студенти виконали роботу із відхиленнями від завдання, а саме, прослуховували сигнали через акустичні монітори, їх результати було вилучено із загальної вибірки результатів. Одержані результати в узагальненому вигляді представлено на рис.18 (а-в), а стандартні відхилення – на 19 (а-в).

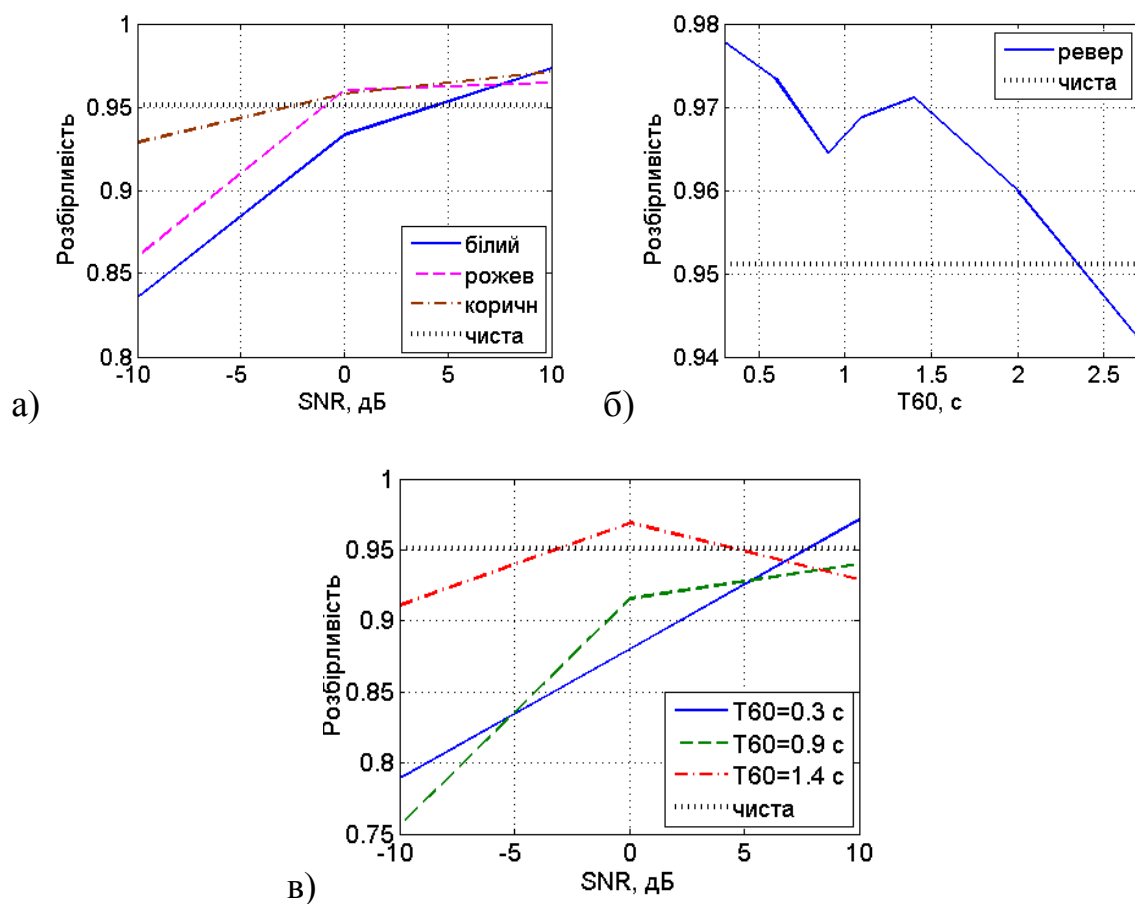
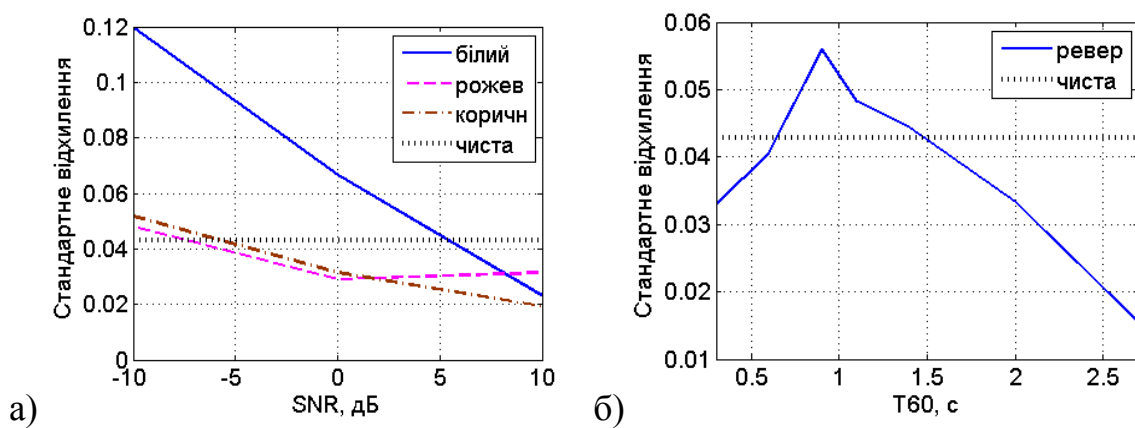


Рис. 18. Результати першого етапу (акустичні монітори): (а) шум, (б) реверберація, (в) спільна дія шуму та реверберації



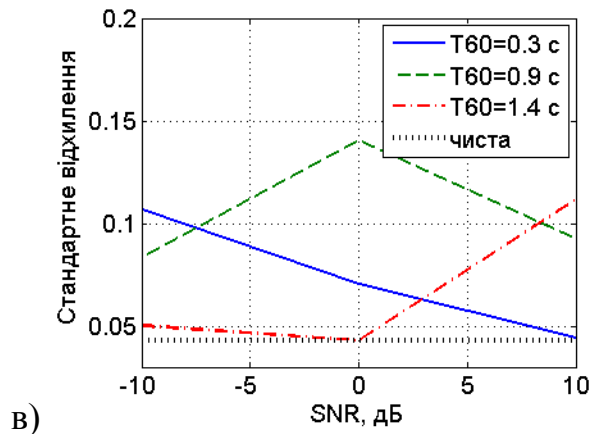


Рис. 19. Стандартні відхилення оцінок для першого етапу (акустичні монітори): (а) шум, (б) реверберація, (в) спільна дія шуму та реверберації

Загальні залежності повторюються відповідно до тих, що спостерігались за використання навушників. Але всіх трьох випадках прослуховування на акустичні монітори розрахункові значення розбірливості мовлення були набагато вищими, ніж при прослуховуванні через навушники.

Наприклад, у випадку шумового спотворення (рис. 18,а) розбірливість мови була близька до 80-90% (замість 10-30% для навушників) за $SNR = -10$ дБ. У випадку ревербераційної дії (рис 18, б) розбірливість мови була близькою до 94% (замість 65% для навушників) для часу реверберації 2,7 с. Спільна дія (рис. 18, в) відповідає сумі впливів.

Першим, що спадає на думку, є дія ранніх відбиттів, що детально вивчалася Бредлі. Але в його роботі [29] вказано, що підсилення сигналу досягається до 9 дБ, а тут спостерігається 15-20. Це потребувало детального вивчення. Для набору статистики був введений другий етап експерименту.

Стандартні (рис. 19 а-в) відхилення також невеликі. Для випадку спотворення реверберацією та спільною дією вони знаходяться у межах 5-10%. Це гарний показник для вибірки з трьох людей.

3.2. Аналіз факторів, що впливають на розбірливість

Дослідження, що направлено б вивчали різницю сприйняття мовлення через навушники та акустичні монітори, не проводилися. Ти цікавіше відшукати всі можливі причини покращення результатів. Вони (рис. 18 а-в), є очікуваними, оскільки відомо, що приміщення виконують роль своєрідних підсилювачів відношення сигнал-шум за рахунок так званих ранніх відбиттів акустичних сигналів від стін, стелі й підлоги. Неочікуваними, оскільки ступінь такого підвищення виявилася напрочуд високою.

Далі розглянемо всі можливі причини одержання подібного результату.

За даними [30], щоб мова була розбірливою при трансляції її за допомогою систем озвучування та звукопідсилення (акустичних систем і т.д.) потрібно враховувати наступні фактори:

- Відношення сигнал-шум (SNR),
- Частотна характеристика (налаштування системи. Наприклад, басы можуть спотворювати інформацію у повідомленні),
- Рівень звукового тиску (гучність, з якою транслюється повідомлення),
- Рівень оточуючого шуму (в приміщенні та поза ним),
- Час реверберації та ранні відлуння.

Розглянемо всі ці фактори більш детально.

Відношення сигнал-шум та його вплив на розбірливість досліджувалися у даній роботі, а його результати наведені раніше на рис. 16 та 18. Вони узгоджені з [2]. Висока розбірливість забезпечується великими відношеннями сигнал-шум. Тут важливо враховувати, що на розбірливість впливає не лише той шум, що безпосередньо спотворює повідомлення, а й той, що є у приміщенні. Саме тому умовами проведення експерименту визначається рівень шуму у приміщенні.

Налаштування системи прослуховування проводилися кожним слухачем індивідуально під свої потреби: вони встановлювали комфортні налаштування та гучність.

Дія ранніх відбиттів потребує детального вивчення. Найбільшу увагу дослідниками акустики приміщень приділено саме ним. Відомо, що людина в

приміщенні чує як прямий так і відбитий звук від різних поверхонь (стіни, меблі). Він як допомагає, так і заважає слухачу у сприйнятті інформації. Корисними є ранні відбиття, які приходять в перші 50 мілісекунд після прямого звуку, пізні ж сприйняття погіршують [31].

Детальним вивченням впливу ранніх відбиттів на розбірливість займалися Бредлі [29], Варзибок [31], Ервейлер [32] та інші. Всі зазначені дослідники одностайно визнають, що використання енергії ранніх відбиттів впливає на сприйняття так само як і збільшення рівню прямого звуку. Слухова системи слухача поєднує ранні відбиття з прямим звуком, в результаті чого рівень корисного сигналу зростає відносно рівня завад [32].

В [29] вказано, що ранні відбиття можуть збільшити відношення сигнал-шум на 6-9 дБ. Зі збільшенням відстані від джерела до моніторів роль ранніх відбиттів збільшується – на відстані 8-10 метрів відношення енергії ранніх відбиттів до енергії прямого звуку значення сягало +9 дБ. Це дослідження було виконане за участі людей з вадами слуху та без них і на обидві групи вплив виявився однаковим.

В роботі [31] погоджуються з висновками про вклад ранніх відбиттів у покращення розбірливості мовлення. Проте в більш пізніх дослідженнях [32] вказано на те, що результати Бредлі були занадто оптимістичними, і реально можна досягти виграшу відношення сигнал-шум в 6 дБ. Крім того уточнено, що ранні відбиття були корисними протягом не 50, а 55 мілісекунд.

В [33] проводилося дослідження роботи різних систем прослуховування в машинах. Воно було спрямоване на визначення параметру розбірливості за різних шумових умов. Прослуховування проводилося в машині, в навушниках та в заглушеній кімнаті з акустичними моніторами для кращого порівняння результатів. Було визначено, що прослуховування в приміщеннях призводить до кращих результатів розбірливості ніж через навушники (рис. 20). Ці результати було пояснено тим, що розбірливість залежить в основному від фонового шуму та від «просторових» особливостей приміщення.

На рисунку бачимо, що результати, отримані в кімнаті (акустичні монітори) та через навушники, майже співпадають. Це свідчить про те, що монітори значного покращення не дають.

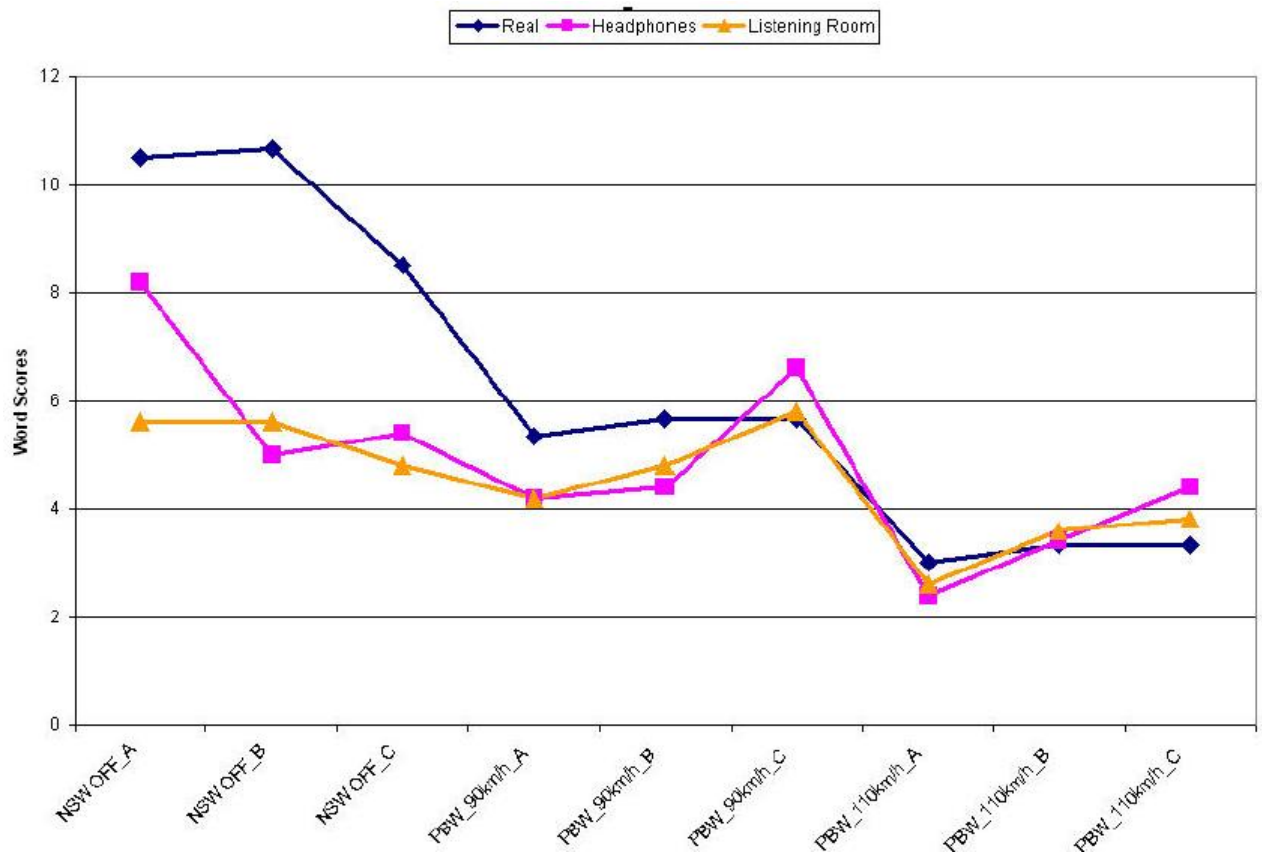


Рис. 20. Порівняння різних систем прослуховування: реальні умови, навушники, слухацька кімната [33]

На необхідність врахування просторового сприйняття звуку людиною вказано в [34]. Відомими ефектом є можливість визначати потрібний сигнал серед декількох, що звучать – це так звана слухова просторова увага. Просторові ефекти можуть давати вигреш у відношенні сигнал-шум до 6 дБ для випадку, коли сигнал маскується постійним шумом, та до 15 дБ для тих сигналів, які важко розрізнити.

Що стосується врахування психофізичних особливостей слухачів, то дослідження, проведені для груп людей с високими та низькими показниками індивідуальної робочої пам'яті показали, що перша група має кращі результати при прослуховуванні ревербераційних сигналів, ніж друга. При збільшенні часу реверберації різниця зростає та досягає 15% при максимальному часі

реверберації 4 с [35]. Вік та стан слуху впливали наступним чином: в той час як молоді особи з нормальним слухом можуть працювати в помірних ревербераційних умовах з мінімальним пониженням розбірливості, старші люди частіше опиняються більш сприйнятливими до дії спотвореного сигналу. Так, втрати у відношенні сигнал-шум для людей похилого віку з нормальним слухом становили 1-2 дБ, тоді як для людей із вадами слуху такі втрати сягали 4-6 дБ. [36].

Дослідження впливу емоцій [37] показало, що люди в поганому настрої сприймають звукові сигнали більш голосними. Налякані, в свою чергу, також сприймають звуки краще. Дослідження такого типу проводяться зазвичай для негативних емоцій. Тому однозначно стверджувати чи відкидати можливість покращення слухового сприйняття у гарному настрої не можна.

Нарешті, на достовірність результатів досліджень суттєво впливає якість організації експериментальних досліджень. Так, до можливих причин неочікуваного високого покращення результатів можна віднести недоліки організації експерименту: недосконалість таблиць звукосполучень, недосконалість прочитання дикторами цих таблиць, незмінність порядку відтворення звукосполучень при прослуховуванні тощо.

3.3. Другий етап експерименту

Для перевірки одержаних на першому етапі результатів організацію експериментальних досліджень було покращено:

1. до двох існуючих еталонних таблиць із варіантами написання звукосполучень, була додана третя еталонна таблиця, що дозволяє краще врахувати можливу варіативність почутого та записаного (наприклад: п'ят, пйат, п'яд, пйад);
2. відтворення звукосполучень відбувається випадковим чином;
3. відмінено показ на дисплеї комп'ютера правильних варіантів звукосполучень після завершення прослуховування кожної таблиці;
4. значення відношення-шум (SNR) задано такими: -15, -5, +5 дБ;

5. спільна дія шуму та реверберації не досліджується;
6. одні й ті ж учасники експерименту виконували прослуховування як за допомогою навушників, так і за допомогою акустичних моніторів (комп'ютерних колонок).

Результати оцінювання розбірливості мови, усереднені за 20-ма слухачами, які є студентами 3 курсу кафедри акустики та акустoeлектроніки КПІ. Середній вік слухача -19 років. Результати для прослуховування на навушники та їх стандартні відхилення представлені на рисунку 21 (а,б) для випадку шумової завади та реверберації відповідно. Стандартні відхилення відображено на рисунку 22 (а,б).

Результати для прослуховування за допомогою акустичних моніторів та їх стандартні відхилення представлені на рисунку 21 (а,б) для випадку шумової завади та реверберації відповідно. Стандартні відхилення відображено на рисунку 22 (а,б).

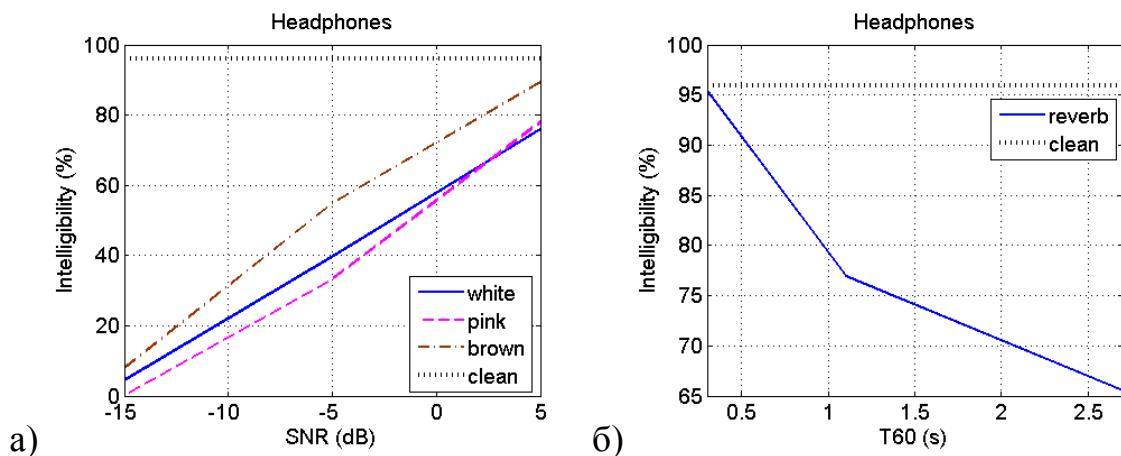


Рис. 21. Результати другого етапу (наушники): (а) шум, (б) реверберація

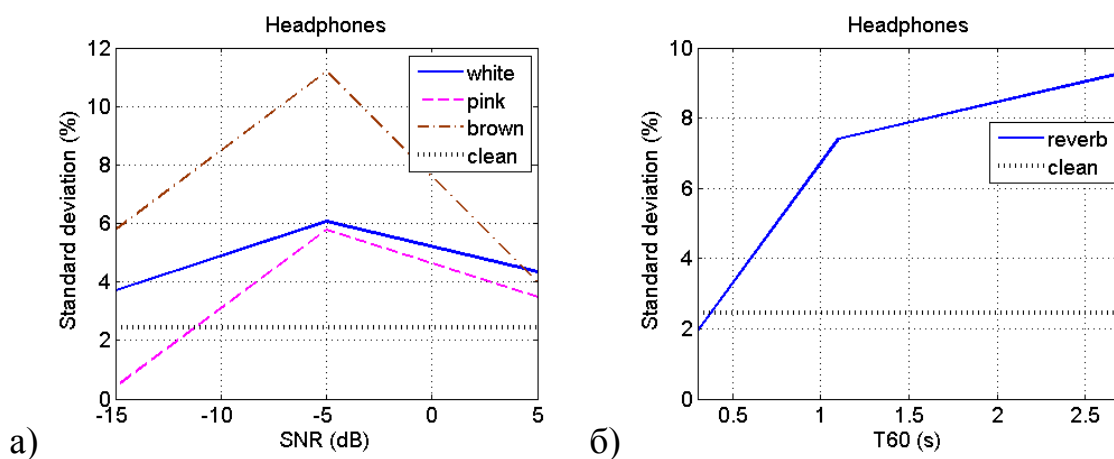


Рис. 22. Стандартні відхилення оцінок для другого етапу (навушники): (а) шум, (б) реверберація

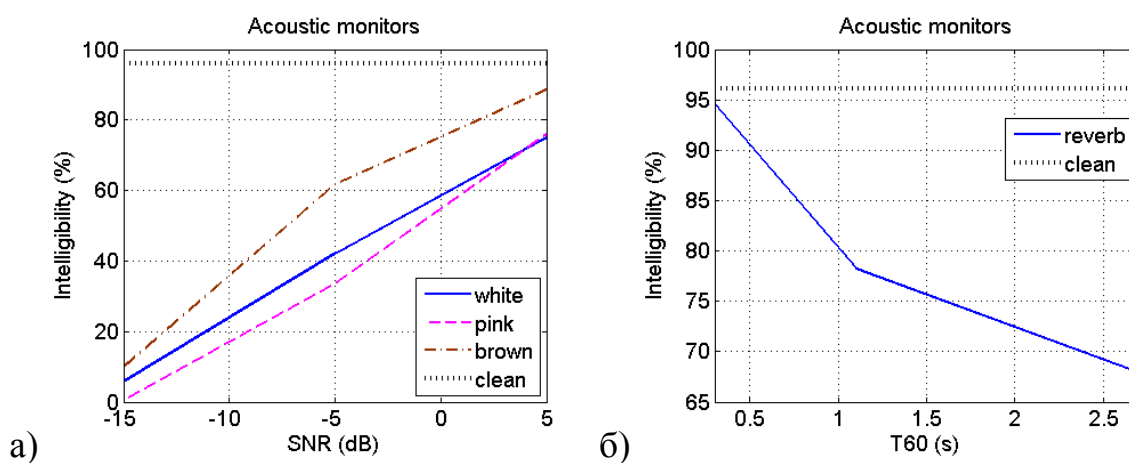


Рис. 23. Результати другого етапу (акустичні монітори): (а) шум, (б) реверберація

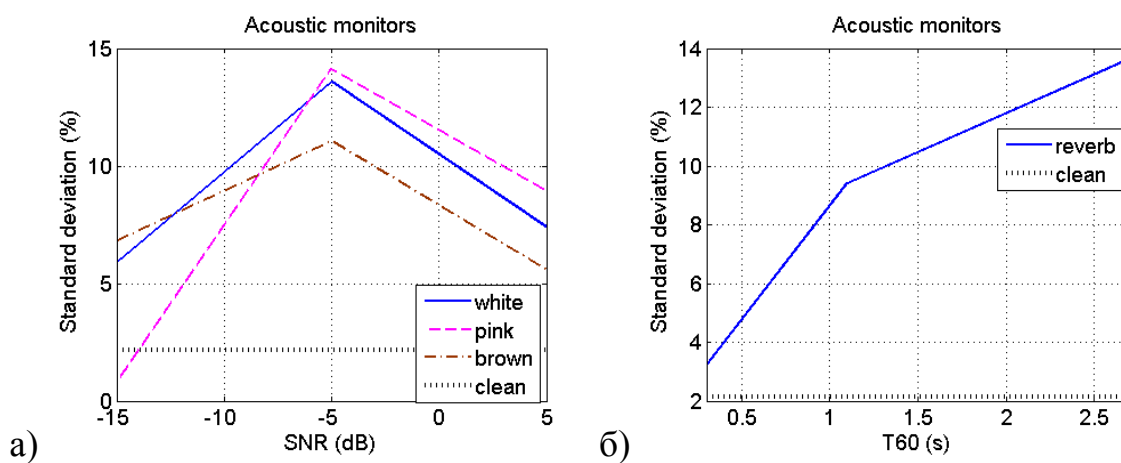


Рис. 24. Стандартні відхилення оцінок для другого етапу (акустичні монітори): (а) шум, (б) реверберація

Наведені результати свідчать про відсутність значного покращення розбірливості при використанні акустичних моніторів. Невелике покращення на 2-6% є очікуваним й може бути поясненим відносно слабкою дією ранніх відбиттів, що спричинена малою відстанню слухачів від акустичних моніторів.

Висновки до третього розділу

- 1) Результати першого етапу тестування програмного комплексу показали гарну узгодженість з відомими теоретичними даними.
- 2) Неочікувані результати, отримані за допомогою прослуховування через навушники, можуть бути пояснені спільною дією кількох факторів, серед яких найважливішими є ранні відбиття звуку у приміщеннях та психоемоційний стан слухача.
- 3) Проведення другого етапу випробувань за удосконаленою схемою включало прослуховування на навушники та через акустичні монітори. Було доведено, що використання останніх покращує розбірливість незначно.
- 4) Найкращими маскуючими властивостями володіє рожевий шум, трохи гіршими – білий, за ним – коричневий. За використання шуму з $SNR < -5$ дБ забезпечується низька розбірливість та відповідно високий захист.
- 5) Для дії реверберації захист покращується зі збільшенням часу реверберації. Проте найбільший з використовуваних у випробуванні час 2.7с показав майже такий самий результат, як рожевий шум при відношенні сигнал-шум +5дБ. Тому варто віддавати перевагу шумам або їх спільній дії з реверберацією.

4. Стартап-проект

Пропонується проект під назвою «Автоматизована система для оцінювання розбірливості української мови». Почнемо з маркетингового аналізу стартап-проекту, де буде описана ідея, оцінені можливості її ринкового впровадження та напрямки його реалізації (таблиці 11 та 12).

Таблиця 11 – Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Система, призначена для спрощення та пришвидшення суб'єктивного оцінювання розбірливості мовлення.	1. Акустична експертиза захищеності приміщень	1. Визначення надійності приміщення в термінах збереження конфіденційності переговорів 2. Складання паспорту приміщень
	2. Акустична експертиза трактив зв'язку	1. Оцінювання якості каналу зв'язку 2. Оцінювання захищеності каналу

Від існуючих аналогів даний програмний комплекс відрізняється:

- 1) Точним слідуванням процедурі артикуляційного випробування;
- 2) Пристосованістю до оцінки української мови.

Таблиця 12- Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

№ п/п	Техніко- економічні	Товари/концепції конкурентів	W	N	S
			(слаб)	(нейт)	(силь)

	х-ки ідеї	Мій проект	КРЕС	MIT-FC	Тест для Windows			
1.	Ціна	170\$	NA	NA	130.2\$		+	
2.	Лояльність споживачів	Висока	Висока	Висока	Висока			+
3.	Необхідність спеціальних знань для використання	Не потребується	Не потребується	Не потребується	Потрібно		+	
4.	Законодавчі обмеження	Відсутні	Наявні	Наявні	Відсутні			+
5.	Економія на масштабах вимірювань	Так	Так	Так	Ні		+	
6.	Динаміка галузі	Стабільна	Стабільна	Стабільна	Стабільна		+	
7.	Інформаційне забезпечення	Добре	Посереднє	Посереднє	Добре			+
8.	Рівень концентрації	Низький для свого регіону	Низький для свого регіону	Низький для свого регіону	Низький для свого регіону			+
9.	Контроль якості	Проводиться	Проводиться	Проводиться	Проводиться			+
10	Кросплатформеність	Можлива	Можлива	Неможлива	Неможлива			+

Технологічний аудит проекту полягає у визначенні технології, за якою реалізується проект (таблиця 13).

Таблиця 13 – Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Запис тестових сигналів	Використання обладнання для запису	Наявні	Доступно
2	Створення спотворень	1) Запис існуючих шумів 2) Синтез шумів	1) Наявні 2) Потребують доробки	1) Доступно 2) Доступно
3	Проведення процедури тестування	Програмними засобами: 1) Відтворення записів 2) Спотворення сигналів 3) Введення відповідей 4) Співставлення введеного з еталоном	1) Потребує доробки 2) Потребує розробки 3) Потребує доробки 4) Потребує доробки	1) Доступно 2) Доступно 3) Доступно 4) Доступно
4	Повернення результатів	Програмними засобами: 1) Видача середніх значень за дослідами 2) Побудова усереднених графіків	1) Потребує доробки 2) Потребує доробки	1) Доступно 2) Доступно

Обрана технологія реалізації ідеї проекту: створення програм у середовищі Matlab. З п.2 обрано другий варіант реалізації, інші пункти потребують використання всіх вказаних варіантів. Технологія є доступною та потребує вкладу розробників.

Необхідно проаналізувати ринок з врахуванням ринкових можливостей та загроз, загального стану ринку та можливостей клієнтів. Аналіз попиту наведено в таблиці 14, потенційні групи клієнтів визначаються за допомогою таблиці 15, аналіз ринкового середовища – у таблицях 16 та 17. Також проведено аналіз пропозиції (таблиця 18) та конкуренції в галузі (таблиця 19). Підсумком є перелік факторів конкурентоспроможності у таблиці 20.

Таблиця 14 – Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/п	Показники стану ринку	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	3
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	3500
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Відсутні
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Бажано пройти державну сертифікацію у сфері стандартизації вимірювань
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	60%

За попереднім оцінюванням ринок є привабливим для входження.

Таблиця 15 – Характеристика потенційних клієнтів

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

Таблиця 16 – Фактори загроз

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

Таблиця 17 – Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Відсутність прямих конкурентів	Стрімкий розвиток, можливість встановлювати свою ціну	Захоплення ринку
2	Потреба у оновленні національних стандартів	Можливість отримати державну підтримку	-
3	Різноманітність задач акустичної експертизи	Постійна зацікавленість аудиторії	Розширення функціоналу та можливостей, створення різних

			версій програм для різних задач
--	--	--	---------------------------------

Таблиця 18 – Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

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

Таблиця 19 – Аналіз конкуренції в галузі за Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники

	-КРЕС -МІТ-FC -Оцінка розбірливості в Windows	Необхідна наявність доволі трудомістко го у створенні програмного забезпеченн я	Дозвіл на використання свого програмного забезпечення та його доступність	Зацікавл еність у продукті, Можливі сть купувати	Краще виконанн я функцій; вищі показник и точності
Висновк и:	Інтенсивність боротьби слаба через сконцентрова ність кожного конкурента на своєму географічном у регіоні	Потенційні конкуренти можуть увійти в ринок в межах року.	Постачальники не можуть диктувати умови, оскільки їх конкуренція висока	Клієнти вимагаю ть певного набору функцій за найнижч ою ціною	Необхідн о обережно вводити деякі конкурен тні функції

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

Таблиця 20 – Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування
1	Високі технічні можливості	Ідея програмного комплексу відповідає діючому стандарту, але дослідження можливо провести набагато швидше та з

		меншими затратами ресурсів (людських та матеріальних)
2	Конкуренти	Існує мала кількість аналогічних продуктів, їх виробники зосереджені на своїх регіонах. Потенційні конкуренти виготовляють товари-замінники, які не відповідають вимогам по якості.
3	Іноваційність	Даний продукт змінить ситуацію в галузі в кращу сторону за рахунок високої технологічності та новизини

Таблиця 21 – Порівняння сильних та слабких сторін проекту

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

Перейдемо до складання матриці аналізу сильних та слабких сторін, загроз та можливостей (SWOT-аналізу) у таблиці 22.

Таблиця 22 – SWOT-аналіз проекту

<p>Сильні сторони:</p> <p>Не має діючих аналогів в Україні</p> <p>Адаптовано під українську мову</p> <p>Процедура швидка</p> <p>Економія ресурсів</p>	<p>Слабкі сторони:</p> <p>Використання лише синтетичних шумів</p> <p>Не вирішує всі задачі, що ставить акустична експертиза</p>
---	---

Простота використання навіть для неспеціалістів	
<p>Можливості:</p> <p>Охоплення всіх задач акустичної експертизи</p> <p>Захоплення монополії на ринку</p>	<p>Загрози:</p> <p>Пропонування конкурентами більшої кількості функцій</p> <p>Порівняння можливостей з товарами-замінниками</p>

Таблиця 23 – Альтернативи ринкового впровадження проекту

№ п/п	Альтернатива ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Демонстрація можливостей амбасадорами з представленням безкоштовного пробного періоду	Висока	1 міс
2	Продаж пробних зразків	Доволі висока	5 міс
3	Розширення вирішуваних задач та продаж	Доволі висока	6 міс

Отже, потрібно виходити на ринок за допомогою передачі пробної версії продукту деяким користувачам, що мають вагу в сфері акустичної експертизи.

Розробимо ринкову стратегію (таблиця 25, 26), врахувавши цільові групи споживачів (таблиця 24).

Таблиця 24- Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу в сегмент

			групи (сегменту)		
1	Спеціалісти зі звукоізоляції	Висок	Вище середнього	Низька	Висока
2	Спеціалісти з захисту інформації у трактах	Висока	Високий	Низька	Висока
3	Спеціалісти у сфері стандартизації	Середня	Середній	Низька	Висока
<p>Які цільові групи обрано: спеціалісти зі звукоізоляції та захисту інформації. Хоча ці дві групи є неоднаковими, обидві входять у галузь акустичних експертів.</p>					

Таблиця 25 – Визначення базової стратегії розвитку

Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
Концентрація на розширенні функцій під всі задачі акустичної експертизи	Концентрований маркетинг	Відсутність конкурентів, необхідність потенційних клієнтів	Розширення функцій та забезпечення найбільшої швидкості та точності оцінювання

Таблиця 26 – Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки
Так	Нові споживачі	Основна характеристика для копіювання – сама ідея методу артикуляції. В іншому розробка самобутна.	Спеціалізація на задачах акустичної експертизи

На основі попередньо визначених у таблицях 24-26 даних розробимо стратегію позиціонування (таблиця 27).

Таблиця 27- Визначення стратегії позиціонування

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

2	Адаптованість до національної мови	Розширення тестового матеріалу	Наявність матеріалу	Національна мова
3	Швидкість вимірювань	Покращення показника	Використання гарного базового середовища	Випробування за шість годин, а не днів

Розробка маркетингової програми стартап-проекту складається за аналізу потреб користувача (таблиця 28), опису трьохрівневої моделі товару (таблиця 29) та меж встановлення цін (таблиця 30). Також визначається оптимальна система збуту (таблиця 31) та концепції маркетингових комунікацій (таблиця 32).

Таблиця 28 – Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами
1	Швидкість вимірювань	Забезпечення на порядок швидшої процедури за наявні	Наявність протестованого комплексу
2	Тестування з врахуванням особливостей національної мови	Можливість адаптації до мови за рахунок розширення тестового матеріалу	Велика кількість тестового матеріалу; можливість вимірювати різні типи розбірливості
3	Точність	Висока точність за рахунок використання машинних обчислень	Наявність протестованого комплексу
4	Економія ресурсів	За рахунок проведення запису тестового матеріалу слухачі та	Автоматизація вимірювань

		диктори можуть проводити свої частини роботи у будь-якому місці	
--	--	---	--

Таблиця 29 – Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
I. Товар за задумом	<p>Можна виділити основні вигоди для користувача:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Підвищення комфорту проведення вимірювань за рахунок використання записів сигналів; 2) Зручність інтерфейсу; 3) Швидкість та точність вимірювань за рахунок відтворення стандартної процедури на сучасному рівні; 4) Можливість оцінювання тестових сигналів, записаних українською мовою 		
II. Товар у реальному виконанні.	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх/Тл/Е/Ор
	1. Точність	М	Тх
	2. Швидкість	М	Е
	3. Зручність	М	Ор
	4. Мова	М	Тл
Якість: процедура відповідає діючому стандарту та протестована (показала гарну узгодженість)			
Марка: КПП-АСдОРУМ			
III. Товар із підкріпленням	До продажу		
	Реклама більш досконалих по зрівнянню з діючим стандартом характеристик. Випробувальний термін – безкоштовний. Демонстрація амбасадорами.		
Після продажу			
Оновлення та розширення функціоналу			

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

Таблиця 30 – Визначення меж встановлення цін

Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи	Верхня та нижня межі встановлення ціни
130.2\$	NA	500\$	190-250\$

Таблиця 31 – Формування системи збуту

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

Таблиця 32 – Концепція маркетингових комунікацій

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

Висновки

Був проведений аналіз (таблиці 11-32), що показав можливість комерціалізації проекту, оскільки ринок має потребу у нині відсутньому товарі такого типу.

Група потенційних клієнтів доволі численна, а конкуренти, в свою чергу, малочисельні та не сконцентровані на українському ринку. Тому вихід на ринок є простим. Втримання позицій за появи потенційних конкурентів можливе.

Подальший розвиток проекту є актуальним, оскільки задачі акустичної експертизи доволі численні та потребують спрощення їх вирішення. Передбачається розширення бібліотеки тестових матеріалів, розширення функціональних можливостей та переведення частин системи у програми для об'єктивних оцінок

Висновки

Розбірливість мовлення є мірою, що визначає відношення правильно сприйнятої інформації до загальної її кількості. Вона може бути використана для акустичної експертизи в приміщеннях та каналах зв'язку та використовуватися як показник захищеності (чим нижча розбірливість для несанкціонованого слухача – тим вище захищеність) або якості каналу (чим вища розбірливість для учасників комунікації – тим кращий тракт зв'язку).

Активний захист акустичної інформації передбачає використання джерел шуму, які будуть маскувати сигнал, що передається. В якості шумів зазвичай використовують кольорові та мовоподібні. Розбірливість мовлення можна вимірювати суб'єктивними (за участі людей) та об'єктивними (інструментальними) методами. Перші є більш цінними, оскільки на їх результатах базується створення шкал оцінювання об'єктивних методів.

В Україні стандартизовано методику оцінювання суб'єктивним артикуляційним методом. Але стандарт є застарілим, через що його недоліками для користувача є трудоємкість та велика тривалість проведення досліджень. Тому в роботі було запропоновано розроблений комплекс програм для автоматизації суб'єктивного оцінювання української мови. Найближчі аналоги автоматизованих комплексів не враховують особливостей проведення тесту, відхиляючись від «класичної» методики та не пристосовані до української мови.

Розроблений комплекс програм складається з двох основних програм та шести додаткових. Робота комплексу була протестована та запронована учасниками дослідження. На першому етапі ними були студенти 5-го та 6-го курсів, а на другому – 3-го курсу кафедри акустики та акустoeлектроніки НТУУ «КПІ» імені Сікорського.

Результати показали гарну узгодженість з теоретичними даними. Що показує водночас працездатність та ефективність використання комплексу.

Деякі незвичайні вкрай високі результати, отримані окремими учасниками при проведенні першого етапу дослідження з відхиленням від методики (прослуховування на колонки замість навушників), можуть бути пояснені

великою кількістю причин, які можна розділити на чотири групи: особливості приміщення, психоемоційний стан слухача, налаштування системи прослуховування, особливості організації експерименту. Найбільш важливими є особливості слухача та така властивість приміщення як ранні відбиття, що може підсилювати сигнал аж до 9 децибел.

Проте проведення другого етапу експерименту з прослуховуванням і на навушники, і на колонки показало, що в середньому великого покращення не відбувається. А наявне легко пояснюється дією ранніх відбиттів. Тому результати окремих студентів з першого етапу було прийнято вважати щасливим збігом багатьох обставин

За результатами проведення випробувань найкращою завадою для захисту інформацію визнано рожевий шум за малих відношень сигнал-шум -10 та -15 дБ. Реверберація слабо захищає інформацію, створюючи лише ускладнення сприйняття. Спільна дія шуму та реверберації впливає добро, але є незручною для застосування.

Розроблена автоматизована система може бути застосована для акустичної експертизи як приміщень, так і ліній зв'язку.

Список використаної літератури

1. Prodeus A., Bukhta K., Morozko P., Serhiienko O., Kotvytskyi I. Shherbenko I. Automated system for subjective evaluation of the Ukrainian speech intelligibility / Proceedings of IEEE 38th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO), April 24-26, 2018 Kyiv, pp. 533-538
2. Продеус А.Н., Дронжевская Л.Б., Климков В.А., Шагитова Д.А. Моделирование алгоритмов формантно-модуляционного метода оценивания разборчивости речи / Электроника и связь. Тематический выпуск "Электроника и нанотехнологии". — 2011. — №2. — С. 79-85.
3. ГОСТ 16600-72. Передача речи по трактам радиотелефонной связи. Требования к разборчивости речи и методы артикуляционных измерений. — М.: ИПК Издательство стандартов, 1973. — 90 с.
4. ГОСТ 50840-95. Передача речи по трактам связи. Методы оценки качества, разборчивости и узнаваемости. — М.: ИПК Издательство стандартов, 1996. — 198 с.
5. S. Brachmanski, "Automation of Subjective Measurements of Speech Intelligibility in Analogue Telecommunication Channels," Archives of Acoustics, Vol. 33, No. 3, 2008, pp. 341–350.
6. Yorkston K, Beukelman D., Hakel M. Speech intelligibility test for Windows / Institute for Rehabilitation Science and Engineering at Madonna Rehabilitation Hospital, 1996. 34 p.
7. Бухта К.В. Про можливість покращення розбірливості мовлення шляхом використання акустичних моніторів / XI Міжнародна науково-технічна конференція молодих вчених «Електроніка-2018». К.: «КПІ імені Ігоря Сікорського», 2018. — 14-18 с.
8. Сапожков М. А. Электроакустика. Учебник для вузов. М., «Связь», 1978. 272 с.

9. Акустическая экспертиза каналов речевой коммуникации: монография / Дидковский В.С., Дидковская М.В., Продеус А.Н. К.: «Имэкс-ЛТД», 2008. 420 с.
10. Хорев А.А., Макаров Ю.К. Методы защиты речевой информации и оценки их эффективности / "Защита информации. Конфидент", № 4. 2001, стр. 22-33)
11. Bradley J., Bradford G. Measures for assessing architectural speech security (privacy) of closed offices and meeting rooms / The Journal of the Acoustical Society of America 116(6):3480-90 · January 2005
12. Покровский Н. Б. Расчет и измерение разборчивости речи. М.: Связьиздат, 1962. -390 с.
13. ГОСТ 8031-78. Аппараты телефонные. Тональный метод измерения разборчивости речи. М.: ИПК Издательство стандартов, 1980. 90 с.
14. Рашевский Я. И., Каргашин В. Л. Обзор зарубежных методов определения разборчивости речи. Специальная техника, №№ 3, 4, 5, 6 2002 год, № 1 за 2003 год
15. ГОСТ 7153-85. Аппараты телефонные общего применения. Общие технические условия. М.: Издательство стандартов, 1994. 58 с.
16. ГОСТ 51061-97. Параметры качества речи и методы измерений. М.: Госстандарт России, 1998. 25 с.
17. Про затвердження Переліку радіоелектронних засобів та випромінювальних пристроїв, на експлуатацію яких потрібен дозвіл на експлуатацію радіоелектронного засобу або випромінювального пристрою // Верховна Рада України: Офіційний веб-портал. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z0201-15> (останній доступ 24/04/2018)
18. Ломоносов В. Г. Акустико-фонетические измерения в фоноскопической экспертизе // Информация и звук. URL: http://zhenilo.narod.ru/main/ips/2004_speech.pdf (последний доступ 24/04/2018)

19. Lemmetty S. Master's Thesis: Review of Speech Synthesis Technology. Helsinki University of Technology. Laboratory of Acoustics and Audio Signal Processing. 1999. 133 p.
20. Goldstein M. Classification of Methods Used for Assessment of Text-to-Speech Systems According to the Demands Placed on the Listener. Speech Communication. 1995. Vol. 16. P. 225-244.
21. Logan J., Greene B., Pisoni D. Segmental Intelligibility of Synthetic Speech Produced by Rule, Journal of the Acoustical Society of America, JASA. 1989. Vol. 86 (2). P. 566-581.
22. Быков Ю.С. Теория разборчивости речи и повышение эффективности радиотелефонной связи. М.: Госэнергоиздат, 1959. 350 с.
23. Сапожков М. А., Михайлов В. Г. Вокодерная связь. М.: Радио и связь, 1983. 247 с.
24. Продеус А.Н. О некоторых особенностях развития объективных методов измерений разборчивости речи. / Электроника и связь, тематич. выпуск "Электроника и нанотехнологии". 2010. №2. С.217-223
25. Архипова О., Журавльов В., Кумейко В. Артикуляційні таблиці слів української мови. Правове, нормативне та метрологічне забезпечення системи захисту інформації в Україні, вип 2(19) ., 2009. - С. 13-17.
26. Архипов А.Е, Архипова Е.А. Анализ и обработка данных артикуляционных испытаний. Научно-практический журнал «Захист інформації» № 4, 2012. С. 34-42.
27. ANG-2200. Acoustic Noise Generator. Owner's Guide. Research Electronics, Intl. 455 Security Place Algood, TN USA 38506-4941 1-931-537-6032 www.research-electronics.com - 40 p.
28. Хорев А. А., Макаров Ю. К. К оценке эффективности защиты акустической (речевой) информации. URL: (<http://st.ess.ru/publications/articles/tspi/tspi.htm>) (последний доступ 14/04/18)

29. Bradley J.S.; Sato, H.; Picard, M On the importance of early reflections for speech in rooms / J.S. Bradley. *Journal of Acoustical Society of America*. – June 2003. - v. 113, no. 6 - pp. 3233-3244.
30. Factors That Affect Intelligibility in Sound Systems // Meyer Sound. URL: <http://www.meyersound.de/support/papers/speech/section2.htm> (last access 25/02/2018)
31. Warzybok A. , Rennie J., Doclo S., Birger Kollmeier Influence of early reflections on speech intelligibility under different noise conditions / *Forum Acusticum 2011 Aalborg* 27 June -1 July.
32. Arweiler I., Buchholz J. M., Dau T. Speech intelligibility enhancement by early reflections / *Proceedings of ISAAR 2009: Binaural Processing and Spatial Hearing. 2nd International Symposium on Auditory and Audiological Research. August 2009, Elsinore, Denmark.*
33. Azzali A., Bilzi P., Carpanoni E., Farina A. Comparison of different listening systems for speech intelligibility tests / *AES 118th Convention, Barcelona, Spain, 2005 May 28–3.*
34. Shinn-Cunningham B. Speech intelligibility, spatial unmasking, and realism in reverberant spatial auditory displays / *Proceedings of the 2002 International Conference on Auditory Display, Kyoto, Japan, July 2-5.*
35. Reinhart P.N., Souza P.E. Intelligibility and Clarity of Reverberant Speech: Effects of Wide Dynamic Range Compression Release Time and Working Memory / P.N. Reinhart, P. E. Souza. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*. 2016 - Vol. 59 – pp. 1543-1554.
36. Srinivasan N. K., Stansell M., Gallun F.J. The role of early and late reflections on spatial release from masking: Effects of age and hearing loss / N. K. Srinivasan, M. Stansell, F. J. Gallun. *Journal of Acoustical Society of America*. 2017 – v. 141(3) - EL185–EL191.
37. Siegel E. H., Stefanucci J. K. A little bit louder now: Negative affect increases perceived. National Center for Biotechnology information. DOI: 10.1037/a0024590.

Додаток А

Програма `table_reading_assist.m`

```

clc      % очистка командного вікна
clear   % очистка пам'яті даних програми

disp('При ТРЕНУВАННІ прослуховується 3-5 звукосполучень із кожної
таблиці');
disp('При РОБОТІ таблиці прослуховуються повністю (50 звукосполучень)');
disp(' ');
wt = input('Оберіть режим роботи? 1 - РОБОТА; 0 - ТРЕНУВАННЯ: '); %!!!
if wt == 0
    numtren = input('Тренування: задайте кількість звукосполучень (від 3 до 5):
');
    nums = numtren;    % кількість звукосполучень при тренуванні
else
    nums = 50;
end

disp(' ');
disp('ІСНУЄ ТРИ ГРУПИ ДОСЛІДІВ:');
disp('Група 1 - чистий сигнал:');
disp('Група 2 - сигнал спотворений шумом:');
disp('Група 3 - сигнал спотворений реверберацією:');
disp(' ');

% 1. Запит вхідних даних для програми assistant (прізвище, номери таблиць)
lastname = input('Вкажіть ваше прізвище (без лапок): ', 's');
disp('Вкажіть в порядку зростання номери трьох таблиць для слухання :');
NT = zeros(1,3);

```

```

NT(1) = input('Вкажіть номер першої таблиці: N1 = '); %!!!
NT(2) = input('Вкажіть номер другої таблиці: N2 = '); %!!!
NT(3) = input('Вкажіть номер третьої таблиці: N3 = '); %!!!
disp(' ');
SNRT = [-15 -5 5]; % таблиця значень потрібних SNR0
T60T = [0.3 0.6 0.9 1.1 1.4 2.0 2.7]; % таблиця значень T60
% спосіб слухання
listkind = input('Слухаєте через навушники? 1 - Так; 0 - Ні: ');

% Створення 5 папок для запису результатів:
if wt == 1 % різні назви головної папки для режимів РОБОТА та
ТРЕНУВАННЯ
    if listkind == 1
        kat_results = ['ResultsHP_' lastname]; % ім'я основної папки для результатів
    else
        kat_results = ['ResultsAS_' lastname]; % ім'я основної папки для результатів
    end
else
    if listkind == 1
        kat_results = ['ResultsHP_' lastname '_Training']; % ім'я основної папки для
результатів
    else
        kat_results = ['ResultsAS_' lastname '_Training']; % ім'я основної папки для
результатів
    end
end

mkdir(kat_results); % створення основної папки для запису результатів
for ngr = 1:3

```

```
mkdir([kat_results '\Group' num2str(ngr)];% створ. папки для рез-тів групи
дослідів
```

```
end
```

```
addpath ('Programs', [kat_results '\Group1'],[kat_results '\Group2'],...
[kat_results '\Group3']);
```

```
clc
```

```
truend = 1;
```

```
while (truend == 1)
```

```
% 2. Запуск програми assistant.m та одержання від неї вихідних даних:
```

```
[params] = assistant_dg51(kat_results, NT);
```

```
N = params.N; % номер таблиці (диктора)
```

```
m = params.m; % номер групи дослідів
```

```
suf = params.suf;
```

```
% 3. Завантаження wav-таблиці із потрібним номером
```

```
rfr1_tablename = ['rfr_table_' num2str(N) '_1.mat'];% ім'я 1-ї еталон.таблиці
```

```
rfr2_tablename = ['rfr_table_' num2str(N) '_2.mat'];% ім'я 2-ї еталон.таблиці
```

```
rfr3_tablename = ['rfr_table_' num2str(N) '_3.mat'];% ім'я 3-ї еталон.таблиці
```

```
wav_tablename = ['wav_table_' num2str(N) '.mat']; % ім'я wav-таблиці
```

```
wavs = load(wav_tablename); % завантаження wav-таблиці
```

```
rzlt_tablename = ['rzlt_table_' suf '.mat']; % ім'я таблиці результатів
```

```
% 4. Прослуховування звукосполучення (за натиском довільної клавіші)
```

```
clc
```

```
disp(['ВИ СЛУХАЄТЕ ТАБЛИЦЮ № ' num2str(N)]);
```

```
disp('Якщо треба виправити попереднє звукосполучення - введіть 1'); % зміна
```

```
Чайки
```

```

disp(' ');
if m == 1
    disp('Чистий сигнал');
    disp(' ');
elseif m == 2
    disp('Сигнал + шум')
    disp(['Колір = ' num2str(params.ncolor) '; SNR0 = '
num2str(SNRT(params.nsnr)) ' дБ']);
    disp(' ');
elseif m == 3
    disp('Реверберація')
    disp(['T60 = ' num2str(T60T(params.nt60)) ' с']);
    disp(' ');
elseif m == 4
    disp('Сигнал, реверберація + шум')
    disp(['Колір = ' num2str(params.ncolor) '; SNR0 = '
num2str(SNRT(params.nsnr))...
    ' дБ'; T60 = ' num2str(T60T(params.nt60)) ' с']);
    disp(' ');
else
    disp(' ');
end
% ==== початок спільної модернізації від О.Чайки та М.Ярошенко ====
symb=0;
k=1;
kk=[];
k1=randperm(nums);
while k <=nums
    if symb~='1';
        inputSignal = wavs(['w' num2str(k1(k))]);
    end
end

```

```

params.m = m;
    if (m == 2)||(m ==4)
        params.snr0 = SNRT(params.nsnr);    % таблиця значень потрібних
SNR0
    end
    if k > 1 && k < nums
        disp('Якщо треба виправити попередній набір - введіть 1'); % зміна
Чайки
    end
    [outputSignal] = distortSystem(inputSignal, params);
    %pause;
    soundsc(outputSignal,params.fs);
    textx=horzcat(num2str(k), '(',num2str(k1(k)),',',num2str(nums),') Введіть
почуте звукосполучення: ');
    symb = input(textx, 's');
    temprzlt(['s' num2str(k1(k))]) = symb;
    k=k+1;
elseif symb=='1'
    k=k-1;
    inputSignal = wavread(['w' num2str(k1(k-1))]);
    params.m = m;
    if (m == 2)||(m ==4)
        params.snr0 = SNRT(params.nsnr);    % таблиця значень потрібних SNR0
    end
    [outputSignal] = distortSystem(inputSignal, params);
    %pause;
    soundsc(outputSignal,params.fs);
    textx=horzcat(num2str(k-1), '(',num2str(k1(k-1)),',',num2str(nums),')
Кореговане звукосполучення: ');
    symb = input(textx, 's');

```

```

    temprzlt(['s' num2str(k1(k-1))]) = symb;
elseif size(symb,2)==0
    inputSignal = wavs(['w' num2str(k1(k))]);
    params.m = m;
    if (m == 2)||(m ==4)
        params.snr0 = SNRT(params.nsnr);    % таблиця значень потрібних
SNRO
    end
    if k > 1 && k < nums
        disp('Якщо треба виправити попередній набір - введіть 1'); % зміна
Чайки
    end
    [outputSignal] = distortSystem(inputSignal, params);
    %pause;
    soundsc(outputSignal,params.fs);
    textx=horzcat(num2str(k), '(',num2str(k1(k)),',',num2str(nums),') Введіть
почуте звукосполучення: ');
    symb = input(textx, 's');
    temprzlt(['s' num2str(k1(k))]) = symb;
    k=k+1;
end
if k==nums+1    % перевірка останнього звукосполучення
    perevirka = input('Правильно ввели останнє звукосполучення? Так - 1, Ні - 0
');
    if perevirka==0
        k=k-1;
    end
end
end
% === кінець спільної модернізації від О.Чайки та М.Ярошенко ===

```

```

% 5. Підрахунок частки правильно сприйнятих звукосполучень
rfrtbl_1 = load(rfr1_tablename); % завантаження 1-ї еталон.таблиці
rfrtbl_2 = load(rfr2_tablename); % завантаження 2-ї еталон.таблиці
rfrtbl_3 = load(rfr3_tablename); % завантаження 3-ї еталон.таблиці
num_right = 0; % початкове значення кількості правильних результатів
% clc
if wt == 0
    disp('НАОЧНО СПІВСТАВТЕ РЕЗУЛЬТАТ ІЗ ЕТАЛОНАМИ');
    disp(' ');
    disp(['Еталон 1 ' ' Еталон 2 ' ' Еталон 3 ' ' Було введено']);
    disp(' ');
end
for k1 = 1:nums
    fldname = ['s' num2str(k1)];
    ref1 = rfrtbl_1.(fldname);
    ref2 = rfrtbl_2.(fldname);
    ref3 = rfrtbl_3.(fldname);
    rzlt = temprzlt.(fldname);
    if wt == 0 % показ результатів тільки для режиму тренування
        disp([ref1 ' ' ref2 ' ' ref3 ' ' rzlt]);
    end
    if ((strcmp(rzlt, ref1))||strcmp(rzlt, ref2))||strcmp(rzlt, ref3))
        num_right = num_right + 1;
    end
end
corct = num_right/nums;
disp(' ');
disp(['Правильно сприйнято: ' num2str(num_right) ' із ' num2str(nums)]);
disp(['Оцінка розбірливості становить: ' num2str(corct)]);

```



```

% запис відносної кількості правильних результатів в таблицю результатів та
% на диск
temprzlt('corct') = corct;
katname = [kat_rezults '\Group' num2str(m) '\ rslt_tablename];
save (katname, '-struct', 'temprzlt');

% оцінка якості вимови диктора
disp(' ');
sprqt = input('Оцініть якість вимови диктора (від 1 до 5, можна дробові): '); %!!!
temprzlt('sprqt') = sprqt;
save (katname, '-struct', 'temprzlt');

% самооцінка психофізіологічного стану слухача
disp(' ');
lisqt = input('Оцініть власний психофізичний стан (від 1 до 5, можна дробові): '); %!!!
temprzlt('lisqt') = lisqt;
save (katname, '-struct', 'temprzlt');

if params.cntr1 + params.cntr2 + params.cntr3 + params.cntr4 == 39
    disp(' ');
    disp('Поздоровляємо із закінченням першої фази роботи!');
    disp('Зархівуйте папку із результатами та передайте її викладачу. ');
    disp(' ');
    disp('Одержані результати піддайте обробці та підготуйте звіт для захисту
роботи. ');
    return
end

```

% 6. Запит про подовження слухання таблиць

disp(' ');

truend = input('Подовжити дослід? Так - 1, Ні - 0 ');

end

Додаток Б

Програма assistant.m

```

function [params] = assistant_dg51(kat_results, NT)
% 1. Створення 5 папок для запису результатів:
% 1.1. Основної папки під назвою "Rezults_Surname", де Surname -
% прізвище студента
% 1.2. 4-х папок, вкладених в основну папку, для збереження результатів
% кожної групи дослідів
%
% 2. Перевірка змісту папок всіх 4-х груп дослідів та формування
% параметрів, необхідних для подальшого поповнення цих папок
%
for ngr = 1:3
    if ngr == 1
        params.fs = 22050; % частота дискретизації дорівнює 22050 Гц
        maxnfiles1 = 3;
        % формування списку імен файлів у папці Group1
        pap_name_r = [kat_results '\Group' num2str(ngr)]; % шлях до папки
        y1 = dir (pap_name_r); % список файлів в папці + 2 лишніх (перших)
        z1 = y1(3:end); % список потрібних файлів в папці
        kol_file = size(z1,1); % кількість файлів в папці

        cntr = 0; % лічильник файлів із результатами
    for ntb = 1:3
        cntr = cntr + 1;
        if (cntr > kol_file) && (cntr <= maxnfiles1)
            params.suf = num2str(NT(ntb));
            params.N = NT(ntb); params.m = ngr;
            params.cntr1 = cntr;
        end
    end
end

```

```

    params.cntr2 = 0;
    params.cntr3 = 0;
    params.cntr4 = 0;
    return
end
end
disp(' ');
disp('Закінчено 1 групу дослідів');
elseif ngr == 2
    maxnfiles2 = 27;
    % формування списку імен файлів у папці Group2
    pap_name_r = [kat_rezults '\Group' num2str(ngr)]; % шлях до папки
    y1 = dir (pap_name_r); % список файлів в папці + 2 лишніх (перших)
    z1 = y1(3:end); % список потрібних файлів в папці
    kol_file = size(z1,1); % кількість файлів в папці

    cntr = 0; % лічильник файлів із результатами
    for nclr = 1:3
        for nsnr = 1:3
            for ntb = 1:3
                cntr = cntr + 1;
                if (cntr > kol_file) && (cntr <= maxnfiles2)
                    params.suf = [num2str(NT(ntb)) '_c' num2str(nclr)...
                        's' num2str(nsnr)];
                    params.N = NT(ntb); params.m = ngr;
                    params.nsnr = nsnr;
                noises = load('noises_table.mat'); % завантаж. таблиці шумів
                params.noise = noises.([n' num2str(nclr)]);
                params.ncolor = nclr;
                params.cntr1 = maxnfiles1;
            end
        end
    end
end
end

```



```
noises = load('noises_table.mat'); % завант. табл. шумів
params.noise = noises.(['n' num2str(nclr)]);
params.ncolor = nclr;
params.cnt1 = maxnfiles1;
params.cnt2 = maxnfiles2;
params.cnt3 = maxnfiles3;
params.cnt4 = cnt;

return
end
end
end
end
end
end
disp(' ');
disp('Закінчено 4 групи дослідів');
end
end
end
```