

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут ім. І. Сікорського»
Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут ім. І. Сікорського»

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

Яшник Оксани Ігорівни

Гриф

Прим. № _____

УДК 534.7

ДИСЕРТАЦІЯ

Акустичні засади розробки україномовних артикуляційних таблиць

171 «Електроніка»

17. «Електроніка та телекомунікації»

Подається на здобуття наукового ступеня PhD (доктора філософії)

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

(підпис, ініціали та прізвище здобувача)

Науковий керівник (консультант) Луньова Світлана Андріївна, к.ф.-м.н., доцент

Київ - 2020

АНОТАЦІЯ

Яшник О. І. Акустичні засади розробки україномовних артикуляційних таблиць — Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) за спеціальністю №171 «Електроніка». — Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. І. Сікорського», Київ, 2020.

Дисертаційна робота присвячена дослідженню існуючих діагностичних матеріалів українською мовою для проведення мовної аудіометрії при перевірці стану слухової системи людини, а також порівнянню їх зі збалансованими діагностичними російськомовними таблицями. Актуальність роботи полягає у визначенні об'єктивних критеріїв до добору мовного матеріалу, оскільки такий діагностичний матеріал відображає у повній мірі лінгвістичні та фонетичні особливості досліджуваної мови.

Актуальною проблемою є створення діагностичного матеріалу українською мовою для перевірки слуху, зокрема, у дітей молодшого шкільного віку, оскільки на сьогоднішній день не існує нормативних документів, що засвідчують їх існування. Висока складність полягає у відсутності усередненого спектру української мови як об'єктивного показника для підбору матеріалу. Таким чином, розробка нових і вдосконалення наявних методів підбору мовного матеріалу та створення артикуляційних діагностичних таблиць є актуальною науково-технічною задачею психоакустики.

Автором узагальнено та обґрунтовано рішення наукової проблеми, яке полягає в удосконаленні існуючого способу знаходження усередненого спектра мови, а також його визначенні для української мови. Отриманий експериментальним шляхом усереднений спектр для української мови порівняно з аналогічною характеристикою ряду інших європейських мов та мовних груп. Це дає можливість

створювати мовний діагностичний матеріал для артикуляційних таблиць із урахуванням особливостей статистичних характеристик, притаманних українській мові.

Дисертація складається зі: вступу, 4 розділів із висновками для кожного з них, загальних висновків, списку використаних джерел та додатків. Повний обсяг дисертації становить 142 сторінки друкованого тексту, включаючи 38 рисунків. Обсяг основної частини дисертаційної роботи становить 116 сторінок. Додатки подано на 26 сторінках. Список використаних джерел нараховує 69 найменувань.

Об'єктом дослідження є процес визначення спектра української мови та низки вимог для створення мовного матеріалу діагностичних артикуляційних таблиць для мовної аудіометрії.

Предметом дослідження є узагальнені критерії, яким мають відповідати збалансовані діагностичні артикуляційні таблиці.

В першому розділі дисертаційної роботи вказані статистичні дані Всесвітньої організації охорони здоров'я, що свідчать про збільшення кількості людей із втратами слуху різних ступенів з роками, а також описані причини, за яких людина набуває туговухості. Їх можна класифікувати за двома ознаками: туговухість спадкового характеру та набута. Відомо, що погіршення слуху призводить до втрати розуміння та відтворення звуків: у жіночої статі, після 80 років спочатку погіршується сприйняття низькочастотних компонентів, а у чоловіків – високочастотних звуків, тобто приголосних літер. Чим раніше буде виявлена проблема зі слухом, тим більше є можливостей призупинити поступове погіршення слухового стану. Для дітей завчасне визначення проблеми є надзвичайно важливим, оскільки дефіцит слуху в ранньому віці може призводити до порушень у психічному розвитку та, навіть, до розумової відсталості, а також призводити до неможливості соціальної адаптації у повній мірі.

Задля визначення наявності проблем зі слуховим аналізатором проводять діагностику, основними частинами якої є тональна та мовна аудіометрія.

Щодо дослідження ступеню розбірливості мови, то в світі використовується кілька десятків методів її визначення, які були класифіковані великою кількістю науковців. Однак через складність формування самої мови, найбільш поширеним і достовірним методом вважають артикуляційні випробування, різновидом яких є метод словарної артикуляції. Цей метод полягає у визначенні відсотка вірно сприйнятих на слух мовних елементів по відношенню до загальної кількості зачитаних мовних елементів зі спеціально створених артикуляційних таблиць. Тобто, з точки зору акустики, для дослідження слуху методом артикуляції, або мовної аудіометрії, застосовують звукові стимули складної форми, які мають акустичні параметри, що неперервно підлягають змінам в часі.

В дисертаційній роботі розглянуті існуючі типи артикуляційних таблиць, а також принципи їх створення для різних мов світу. Встановлено, що питання розробки діагностичного матеріалу для кожної мови є актуальним через специфіку її формування. Показано, що для української мови вперше задача була поставлена у 1984 році, а у подальші роки були запропоновані нові версії артикуляційних таблиць для різних цільових призначень. В літературних джерелах зазначено, що станом на 2020 рік, не існує фонетично збалансованих таблиць українською мовою, що орієнтовані виключно на дітей молодшого віку, які мають обмежений словарний запас.

Крім того, в Україні поки відсутні нормативні документи і національні стандарти для розробки такого типу діагностичних таблиць, а також відсутні у спеціальній літературі характеристики усередненого спектру мовного сигналу для української мови як об'єктивного показника при розробці збалансованих артикуляційних таблиць.

В другому розділі дисертаційної роботи, за допомогою частотного аналізу та авторського програмного модулю визначено частоту використання літер українського алфавіту у мовному матеріалі для діагностики існуючих україномовних таблиць та встановлена їх різниця із широко використовуваним матеріалом російською мовою. Отримані результати засвідчують необхідність розробки об'єктивних показників при підборі матеріалу, оскільки результати частотного аналізу мови не можуть бути фундаментальною основою для створення діагностичних артикуляційних таблиць.

Досліджено частоту вживання літер у трьох найпопулярніших стилях української мови, що допомагає сформулювати уявлення, щодо звукової особливості досліджуваної мови та висунути гіпотезу щодо характеру кривої спектральної густини потужності. Автором зроблене припущення, що значні зміни в українському правописі, які відбулися у 2019 році, можуть призвести до іншого частотного розподілу літер.

Для розв'язання проблеми зі створенням діагностичного матеріалу для проведення мовної аудіометрії, в третьому розділі дисертаційної роботи удосконалено методику визначення усередненого спектра української мови з урахуванням сучасних технічних можливостей. Усереднений спектр є інтегральною характеристикою мови та визначається залежністю середнього спектрального рівня мови від частоти, з урахуванням часового проміжку. За теоретичну засаду обрано метод М. Б. Покровського, однак визначено ряд недоліків та можливостей для вдосконалення, які пов'язані із модернізацією технічних пристроїв та програмних рішень.

Спосіб визначення усередненого спектра мови включає звукозапис мовного матеріалу дикторами у звукоізоляційній акустичній камері за допомогою прецизійного звукозаписувального обладнання з наступним мікшуванням звукозапису. Наступним кроком є вибір досліджуваного частотного діапазону для подальшого аналізу частотної залежності спектрального амплітудного складу

записаного мовного матеріалу та отримання розподілу спектральних енергетичних рівнів із подальшим знаходженням пікових значень спектра. Для звукозапису використовується мовний матеріал різних функціональних стилів мовлення. При визначенні усередненого спектра мови додатково визначається вплив компресії на спектр мови шляхом аналізу зміни графіку спектральної густини потужності акустичного сигналу, в залежності від ступеню стиснення сигналу, та вплив еквалізації - шляхом визначення спектральної густини потужності акустичного сигналу, в залежності від частоти фільтрації акустичного сигналу. Отримані результати свідчать про те, що цифрова обробка зазначених видів (компресія, еквалізація) суттєво не впливає на характер кривої спектру в заданому діапазоні частот за умови коректного вибору параметрів компресії та еквалізації .

Після чого здійснюється визначення «характерних точок» через порівняння чистого досліджуваного сигналу із масивом аудіоматеріалу, що відповідає максимальному представленню різних регіонів країни та великого часового проміжку. Еталонним є чистий сигнал, що не містить обробки.

В роботі вперше проведено дослідження, в ході якого порівнюється графік спектральної густини потужності української мови з відповідними характеристиками декількох європейських мов. Однак за початкову умову обрано результати обробки масиву аудіокниг, оскільки не має суттєвого впливу цифрової обробки на характер кривої спектру, а також через складність знаходження носіїв деяких із досліджуваних європейських мов. Отримані результати свідчать про спорідненість української мови із російською, а одержані графіки мають незначне зміщення, один відносно одного, в області високих частот. Також відзначена акустична подібність із польською й англійською мовами у низькочастотному діапазоні та італійською й англійською – в області високих частот.

В роботі вперше описані вимоги до підбору мовного матеріалу при створенні односкладових діагностичних таблиць, про які детально описано в четвертому розділі дисертації. За основу обрано великий електронний словник української мови

(ВЕСУМ). Цей словник було обрано, оскільки це єдиний безплатний словник української мови із відкритим онлайн-доступом, що містить POS тегування слів. З нього програмним способом був виокремлений список виключно тих слів, що містять у своєму складі одну голосну літеру [1]. Спосіб створення діагностичного матеріалу полягає у записі вибірки слів за допомогою звукозаглушеної камери, прецизійної техніки та диктора, що відповідає вимогам Міжнародної колегії реабілітаційної аудіології, із подальшою первинною обробкою отриманого аудіоматеріалу. Визначено, що вибірка односкладових слів для артикуляційних таблиць не повинна містити у своєму складі слова, що складаються з двох літер та тих, що містять подвоєння. Перша вимога пов'язана із неможливістю сприйняття слуховою системою подібних слів через їх коротку тривалість. Виключення подвоєнь аргументується неможливістю виокремлення дубляжу літер у слові на слух. Дана гіпотеза перевірена експериментальним шляхом.

Через те, що значна кількість фонем української мови відноситься одночасно до двох або більше диференційних ознак [2], а також через наявність у своєму складі йотованих літер, за основу створення мінімальних пар співзвучних слів обрано метод, запропонований російським автором В. Г. Михайловим. Наступним етапом дослідження було виокремлення низки слів без наявної звукової пари та їх видалення з подальшого аналізу.

При створенні пар слів, за основу обрано розподіл їх за акустичною ознакою, а саме, за частотністю слова. Таким чином, пара слів повинна містити у своєму складі два слова, що не належать до одного частотного ряду. Всі інші пари слів, що відносяться до однієї області частот, можуть бути використаними для формування таблиці, за допомогою якої є можливість проводити скринінгове обстеження наявності пошкоджень звукопровідного чи звукоприймального апаратів, або можуть бути просто видалені з подальшого дослідження.

Після виконання всіх етапів та видалення вказаних груп слів, були перевірені зазначені раніше умови для створення мовного матеріалу артикуляційних

діагностичних таблиць, а саме: частотний розподіл літер українського алфавіту та відповідність показнику усередненого спектра досліджуваної мови.

Згідно із розробленим методом, на основі отриманих пар слів вперше створено артикуляційні таблиці мінімальних пар односкладових слів, які можна використовувати для методу дописування та вибору, а також для діагностики стану слухової системи у дітей.

Ключові слова: психоакустика, діагностика слуху, мовна аудіометрія, спектр української мови, розбірливість мови, діагностичні артикуляційні таблиці, суб'єктивне сприйняття мови, DRT-таблиці.

ABSTRACT

Yashnyk O. I. Acoustic principles of development of Ukrainian-speaking diagnostic articulation tables - Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

Dissertation for a Candidate Degree in Engineering (Doctor of Philosophy) in specialty № 171 “Electronics.” — National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Politechnic Institute”, Kyiv, 2020.

The dissertation work is dedicated to the research of existing diagnostic materials in the Ukrainian language for conducting speech audiometry in order to check the condition of the human auditory system, and to the comparison with the balanced diagnostic tables in Russian. The relevance of the work lies in determining the objective criteria for the selection of language material, as such diagnostic material fully reflects the linguistic and phonetic features of the studied language.

The creation of diagnostic material in the Ukrainian language for hearing testing is an urgent problem, particularly for children of primary school age, as today there are no regulations that are able to certify their existence. The high difficulty lies in the lack of an averaged spectrum of Ukrainian as an objective indicator for the selection of material. Thus, the development of new and improvement of existing methods of selection of language material and the creation of articulatory diagnostic tables is an urgent scientific and technical task of psychoacoustics.

The author generalizes and substantiates the solution of the scientific problem, which lies in improving the existing way of finding the average spectrum of the language, as well as its definition for the Ukrainian language. The averaged spectrum for the Ukrainian language, obtained in an experimental way, is compared with a similar characteristic of a number of other European languages and language groups. This makes it possible to create language diagnostic material for articulation tables, taking into account the peculiarities of statistical characteristics inherent in the Ukrainian language.

The dissertation consists of: introduction, 4 sections with conclusions for each of them, general conclusions, a list of the used sources and appendices. The full volume of the dissertation is 142 pages of printed text, including 38 pictures. The size of the main part of the dissertation is 116 pages. The appendices are presented on 26 pages. The list of used sources includes 69 items.

The object of the research is the process of determining the spectrum of the Ukrainian language and a number of requirements needed for the creation of language material of diagnostic articulation tables for speech audiometry.

The subject of the study is the generalized criteria that must be met by balanced diagnostic articulation tables.

The first section of the dissertation presents the statistics of the World Health Organization, which show an increase in the number of people with hearing loss of varying degrees over the years, as well as the reasons why a person acquires hearing loss. They can be classified by two features: hereditary hearing loss and acquired. Hearing impairment has been found to cause loss of understanding and reproduction of sounds: among the females the low-frequency components are the first to drop out after 80 years, and among the males – the high-frequency sounds, which are the consonant letters. Therefore, the sooner a hearing problem is detected, the sooner it is possible to suspend gradual deterioration. Such early identification of the problem is extremely important for children, because hearing impairment at an early age can lead to mental disorders and even mental retardation, as well as make the full social adaptation an impossibility.

In order to determine the existing problems with the auditory analyzer, a diagnosis is performed, the main parts of which are tonal and speech audiometry.

Regarding the study of the degree of language intelligibility, there are several dozen methods of its identification used around the world that were categorized by a large number of scientists. However, because of the complexity of the formation of the language itself, the most common and reliable method is thought to be the articulatory testing, one of the

forms of which is the vocabulary articulation method. The method is based on determining the percentage of the number of correctly perceived linguistic elements by ear in correlation to the general number of read linguistic elements from articulation tables that were specially created. Meaning that from the acoustics point of view, for the study done by articulation method, or speech audiometry, sound stimuli of complex shape are used, which have acoustic parameters that are constantly subject to change.

The dissertation analyzes the existing types of articulation tables, as well as the principles of their creation for different languages of the world. It is established that the question of diagnostic material development for each language is relevant because of the specifics of its formation. It is demonstrated that for the Ukrainian language the task was first set in 1984, but in the following years new versions were suggested for different purposes. Literature sources state that as of 2020 there are no phonetically balanced tables in the Ukrainian language that are focused exclusively on young children with a limited vocabulary.

Additionally, Ukraine does not yet have regulations and national standards for the development of this type of diagnostic tables, and there are no characteristics in the special literature of the average spectrum of the speech signal for the Ukrainian language as an objective indicator during the development of balanced articulation tables.

In the second section of the dissertation, with the use of frequency cryptanalysis and authorial software module, the frequency of use of the letters of the Ukrainian alphabet in the linguistic material for the diagnosis of existing Ukrainian-language tables is determined, and the difference of the letters with the widely used material in the Russian language is established. The results indicate the need to develop objective indicators for use during the material selection, since the statistical characteristics of the language cannot be a fundamental basis of articulation tables for diagnosis.

The frequency of the use of letters in the three most popular styles of the Ukrainian language is researched, which helps to gain an understanding of the sound peculiarity of

the language studied, and to make a hypothesis in regards to the nature of the power spectral density curve. It is suggested that significant changes to the Ukrainian orthography that occurred in 2019 could lead to a different frequency distribution of letters.

In order to solve the problem of creating diagnostic material for conducting speech audiometry, in the third section of the dissertation a method for determining the average spectrum of the Ukrainian language is improved taking into account modern technological abilities. The averaged spectrum is an integral characteristic of the language and is determined by the dependence of the average spectral level of the language on the frequency, taking into account the time interval. The method of M.B. Pokrovsky is chosen as a theoretical basis, however, a number of shortcomings and areas for improvement related to the modernization of technical devices and software solutions are identified.

The method of determining the average spectrum of speech includes the recording of speech material by the speakers in the soundproof acoustic chamber using precision recording equipment, followed by sound mixing. The next step is to select the researched frequency range for further analysis of the frequency dependence of the spectral amplitude composition of the recorded linguistic material, and to obtain the distribution of spectral energy levels with subsequent discovery of peak values of the spectrum. For the recording, language material of different functional styles of speech is used. To determine the average speech spectrum, the effect of compression on the speech spectrum, by the way of defining the change in the acoustic power spectral density chart, depending on the degree of signal compression, and the equalization effect, by the way of determining the spectral density of power of the acoustic signal, depending on the frequency during the filtration of the acoustic signal, are additionally taken into account. The obtained results indicate that the digital processing of these types (compression, equalization) does not significantly affect the nature of the spectrum curve in a given frequency range, provided the correct choice of compression and equalization parameters is made.

Afterwards, the definition of "characteristic points" is carried out by comparing the pure researched signal with the array of audio material, which corresponds to the maximum

representation of different regions of the country and of a large time interval. The benchmark is a clear, non-processed signal.

Within the dissertation a study that compares the graph of the power spectral density of the Ukrainian language with a number of European languages is conducted for the first time. However, for the initial prerequisite the results of processing the array of audiobooks is selected, since there is no significant influence of digital processing on the nature of the spectrum curve, and due to the lack of native speakers of some of the researched European languages. The obtained results indicate that the Ukrainian language is related to Russian, and the acquired graphs have a slight offset, relative to each other, in the high frequency range. There is also an acknowledged acoustic similarity with the Polish and English languages in the low frequency range, and Italian and English in the high frequency range.

The dissertation is the first to describe the requirements for the selection of language material when creating a single-component diagnostic tables, which are described in detail in the fourth section of the dissertation. The great electronic dictionary of Ukrainian language was selected as a basis. This dictionary was chosen because it is the only free dictionary of the Ukrainian language with open online access, which contains POS tagging of words. A list of the words containing only one vowel letter was obtained from the dictionary. The method of creating the diagnostic material is to record a sample of words with the use of a sound-muting camera, precision equipment and a narrator, who is in accordance to the requirements of the International College of Rehabilitation Audiology, with the subsequent primary processing of the obtained audio material. It is determined that the selection of monosyllabic words for articulation tables should not include words composed of two letters and those containing duplicates. The first requirement is related to the inability of the auditory system to hear such words because of their short duration. The elimination of duplicates is explained by the inability to separate the duplicate letters in the word by ear. This hypothesis was tested experimentally.

Due to a large number of phonemes of the Ukrainian language containing two or more differential features, as well as possessing iotated letters, the method proposed by the

Russian author V.G. Mikhailov was chosen as the basis for the creation of minimal pairs of consonant words. Subsequent iteration of the identification of a sound pair to the words highlighted the string that was removed from further analysis.

During the creation word pairs, the acoustic feature, namely, word frequency, is chosen as a basis. Thus, a word pair must contain two words that do not belong to the same frequency range. All other pairs of words pertaining to the same frequency range can form a table that can be used to screen for damage to sound-projecting or sound-receiving devices, or simply removed from further research.

After all of the highlighting and words iterations, the previously mentioned conditions for creating language material of articulation diagnostic tables were checked, namely: frequency distribution of letters of the Ukrainian alphabet and compliance with the index of the average spectrum of the researched language.

According to the developed method, on the basis of the obtained pairs the first articulation tables of minimal pairs of monosyllabic words were created, which can be used for the method of adding to the writing and selecting, as well as to provide diagnosis for the auditory system in children.

Keywords: psychoacoustics, hearing diagnostics, speech audiometry, spectrum of the Ukrainian language, speech intelligibility, diagnostic articulation tables, subjective perception, DRT tables.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА

Фахові видання

- Педченко О.І. Оцінка ритміко-динамічної структури україномовних діагностичних артикуляційних таблиць, Мікросистеми, електроніка та акустика, том 23, № 5 (2018), с. 63-69.
- Аналіз спектральних характеристик української та декількох європейських мов / Гарасюк А.О., Глюк І.Р., Вдовенко М.В., Педченко О.І., Луньова С.А. Мікросистеми, електроніка та акустика, том 24, № 4 (2019), с. 62-67.

Закордонні видання

- Analysis of Ukrainian Diagnostic Articulation Tables // Pedchenko O., Lunova S. "Eureka: Physics and Engineering", Volume 1(14), 2018. - 86 pp.

Навчальний посібник

- Навчальний посібник "Акустика мовотворення" // Світлана Луньова, Віталій Дідковський, Оксана Педченко. LAP Lambert Academic Publishing, 2018. - 130 с.

Результати інтелектуальної творчої праці

- Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 93929. Комп'ютерна програма «Програмний модуль частотного аналізатора «Буквожор» / О. І. Яшник, І. В. Клішин. Дата реєстрації: 13.11.2019.
- Патент на корисну модель № u201909225 Спосіб знаходження усередненого спектра мови / Яшник О.І., Луньова С.А., Руденко І.Л.- Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на корисні моделі 10 03 2020.- Бюл. №5.

ЗМІСТ

ВСТУП	18
РОЗДІЛ 1. МОВНА ДІАГНОСТИКА СТАНУ СЛУХОВОЇ СИСТЕМИ ЛЮДИНИ В УКРАЇНІ	24
1.1. Причини виникнення вад слухового аналізатору	24
1.2. Діагностика слуху шляхом мовної аудіометрії	30
1.3. Існуючі типи артикуляційних таблиць та принципи їх створення.....	37
Висновки до розділу 1	44
РОЗДІЛ 2. ЧАСТОТНИЙ АНАЛІЗ УКРАЇНОМОВНИХ ТЕКСТІВ	46
2.1. Використання частотного аналізу для визначення частоти вживаності літер у мовному матеріалі	46
2.2. Оцінка ритміко-динамічної структури існуючих словесних україномовних артикуляційних таблиць	48
Висновки до розділу 2	60
РОЗДІЛ 3. ІНТЕГРАЛЬНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ УКРАЇНСЬКОЇ МОВИ.....	61
3.1. Фізичні характеристики мовного сигналу.....	61
3.2. Знаходження усередненого спектра української мови	63
3.3. Порівняння спектральних характеристик української мови зі спектрами європейських мов	72
Висновки до розділу 3	83
РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА МЕТОДИКИ СТВОРЕННЯ УКРАЇНОМОВНИХ ДІАГНОСТИЧНИХ ТАБЛИЦЬ	84
4.1. Добір вибірки односкладових слів для формування артикуляційних таблиць	84
4.2. Принципи формування артикуляційних таблиць співзвучних слів	91

	17
Висновки до розділу 4	107
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	108
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ.....	109
ДОДАТОК 1.....	117
ДОДАТОК 2.....	122
ДОДАТОК 3.....	124
ДОДАТОК 4.....	125
ДОДАТОК 5.....	127
ДОДАТОК 6.....	132
ДОДАТОК 7.....	134
ДОДАТОК 8.....	136
ДОДАТОК 9. Документи про захист інтелектуальної власності.....	141

ВСТУП

Дослідження механіки сприйняття звуків, аналіз почутих компонент, а також вивчення статичних характеристик різноманітних елементів мов є актуальними задачами сьогодення, оскільки саме властивість чути та сприймати звуки – це одна із необхідних функцій для аналізу навколишнього світу. Саме психоакустика займається встановленням закономірностей між суб'єктивним сприйняттям аудіальної інформації та її співставленням із об'єктивними параметрами. Вирішення подібних задач дозволяють відкрити цілу площину для подальших досліджень у сферах радіоінженерії, аудіотехніки, медичної акустики, лінгвістики, філології та ін.

З практичної точки зору, знання щодо статичних характеристик елементів мови допомагають при навчанні людей із туговухістю та/або з погіршеним станом розбірливості мови [3]. Згідно статистичних показників ВООЗ, у світі вже понад 5% людей мають проблеми зі станом слухового аналізатору, і ці показники, ймовірно, сягнуть 30% у подальшому [4]. Саме тому більш нагальним та популярним стає питання щодо соціалізації людей з обмеженими властивостями: інклюзивне навчання, можливість роботи у різноманітних сферах і т.д. У зв'язку з цим, питання визначення погіршення слуху та стану розбірливості мови, а також модернізації існуючої методики діагностування цих проблем є актуальною науково-технічною задачею.

Загалом, існує велика кількість методів вимірювання та оцінки розбірливості мови, що дає можливість ділити їх на два класи: суб'єктивні – які передбачають використання дикторів; об'єктивні - артикуляційні випробування з експериментальними результатами [5].

Для перевірки рівня розбірливості використовують мовну аудіометрію, що є суб'єктивним методом оцінювання рівня розбірливості мови. Питанням створення діагностичного матеріалу на території країн колишньої СНД займалася велика кількість науковців: Г. І. Грінберг та Л. М. Зіндер, Л. В. Нейман, Є. М. Харшак, М. Б. Покровський та інші [6], [7]. Однак, оскільки цей матеріал був створений

виключно російською мовою, то з часом виникла необхідність розробки мовної аудіометрії українською мовою через її фонологічні особливості, а також через складність сприйняття та розуміння російської лексики україномовним населенням країни.

Питанням створення діагностичного матеріалу на території України займалася низка науковців, таких як: Базаров, А. Й. Багмут, Н. В. Римар, О. О. Архіпова, В. М. Журавльов та ін. [8]–[10]. Однак основним критерієм створення артикуляційних україномовних таблиць був обраний статистичний аналіз відсоткового використання літер та типових слів української мови, а також визначення ритміко-динамічної структури за рекомендаціями М. Б. Покровського [11]. Варто зауважити, що ці параметри не можуть слугувати основою для створення мовного матеріалу без його вичерпної об'єктивної, адже простий підрахунок повторюваності букв не вказуватиме на типовість словарного матеріалу для даної мови.

Актуальність роботи пов'язана з нагальною потребою створення україномовних артикуляційних таблиць для проведення мовної аудіометрії, оскільки в Україні відсутні нормативні документи та стандарти, а також не визначені об'єктивні критерії для добору мовного матеріалу та принципи формування артикуляційних таблиць.

Наведені в дисертації наукові положення і результати в сукупності вирішують важливу науково-технічну задачу подальшої модернізації методики створення мовного діагностичного матеріалу для україномовного населення та знаходження спектру досліджуваної мови.

Мета і задачі дослідження

Метою роботи є розробка об'єктивних критеріїв для створення україномовних односкладових артикуляційних діагностичних таблиць.

Для досягнення поставленої мети розв'язані наступні задачі:

1. Досліджений словарний матеріал існуючих на сьогодні україномовних та російськомовних артикуляційних діагностичних таблиць та зроблена їх порівняльна оцінка.
2. Створений програмний модуль для проведення частотного аналізу вживаності літер алфавіту у мовному матеріалі різного спрямування і на його основі отримані узагальнені результати частоти вживаності літер для української мови.
3. Розроблена методика для визначення усередненого спектра української мови, який є об'єктивним критерієм при створенні артикуляційних таблиць, зокрема DRT-таблиць.
4. Встановлені вимоги до мовного матеріалу для створення римованих односкладових діагностичних мінімальних пар слів.

Об'єктом дослідження є процес визначення спектра української мови та низки вимог для створення мовного матеріалу діагностичних артикуляційних таблиць для мовної аудіометрії.

Предметом дослідження є узагальнені критерії, яким мають відповідати збалансовані діагностичні артикуляційні таблиці.

Методи дослідження. При виконанні досліджень використані методи оцінювання розбірливості мови та методи спектрально-часової обробки акустичних сигналів. Для опису результатів використаний метод статистичного аналізу одержаних даних із пред'явленням графічних результатів дослідницького експерименту.

Наукова новизна одержаних результатів

В рамках дослідження діагностичних артикуляційних таблиць для проведення мовної аудіометрії:

1. Вперше проведений аналіз існуючих артикуляційних таблиць українською мовою та зроблений порівняльний аналіз із російськомовним матеріалом.

2. Створено програмний модуль для визначення частоти вживаності літер української мови у мовному матеріалі різного спрямування.
3. Вдосконалено метод визначення усередненого (інтегрального) спектра мови з урахуванням сучасних технічних можливостей.
4. Вперше поставлена та розв'язана задача визначення усередненого (інтегрального) спектра української мови.
5. Вперше поставлена та розв'язана задача створення україномовних таблиць для діагностичних римованих випробувань. Отримав подальший розвиток метод створення таблиць слів для мовної аудіометрії.

Практичне значення одержаних результатів полягає у наступному:

1. Визначений усереднений спектр української мови, а також проведене порівняння із іншими європейським мовами, дозволяє проводити низку досліджень в таких галузях: акустика, лінгвістика, медицина.
2. Отримані таблиці односкладових слів низької та середньочастотної групи дають можливість проводити скринінгове обстеження дітей молодшого шкільного віку методом дописування або за допомогою відтворення почутого на відстані слова.
3. Отримані експериментальним шляхом римовані пари односкладових українських слів дозволяють проводити мовну аудіометрію для дітей молодшого віку на території України українською мовою.
4. Вдосконалений метод розробки мовного діагностичного матеріалу дозволяє створити мовні діагностичні таблиці українською мовою з урахуванням об'єктивних критеріїв.
5. Практичне значення полягає в можливості розробки об'єктивної методичної бази для створення національного стандарту України, за яким

проводитиметься діагностика слуху та стану розбірливості мови у населення країни за допомогою мовної аудіометрії.

Апробація результатів дисертації.

- Яшник О.І. Проблеми впливу індивідуальних особливостей слуху на сприйняття звукової програми. Матеріали XX Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів та аспірантів “Дні Науки” (20-21 квітня 2017 р. м. Київ) / Укладачі: А. А. Мельниченко, В. А. Прищепа, Є. А. Клейно. - К.: ТОВ НВП “Інтерсервіс”, 2017. - 212 с.
- Speech spectrum of the Ukrainian language // Pedchenko O., Lunova S., Rudenko I. IEEE ELNANO-2019: 2019 IEEE 39th International Conference on Electronics and Nanotechnology.

Публікації:

- Педченко О.І. Оцінка ритміко-динамічної структури україномовних діагностичних артикуляційних таблиць, Мікросистеми, електроніка та акустика, том 23, № 5 (2018), с. 63-69.
- Аналіз спектральних характеристик української та декількох європейських мов / Гарасюк А.О., Глюк І.Р., Вдовенко М.В., Педченко О.І., Луньова С.А. Мікросистеми, електроніка та акустика, том 24, № 4 (2019), с. 62-67.
- Analysis of Ukrainian Diagnostic Articulation Tables // Pedchenko O., Lunova S. “Eureka: Physics and Engineering”, Volume 1(14), 2018. - 86 pp.

Структура та об'єм дисертаційної роботи. Дисертаційна робота складається із вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел із 69 найменувань та 9 додатків.

Основний текст містить 38 рисунків та 11 таблиць. Загальний об'єм складає 142 сторінок, з яких 116 займає основний текст.

РОЗДІЛ 1. МОВНА ДІАГНОСТИКА СТАНУ СЛУХОВОЇ СИСТЕМИ ЛЮДИНИ В УКРАЇНІ

1.1. Причини виникнення вад слухового аналізатору

Орган слуху людини є рецепторним апаратом, що допомагає реалізувати зв'язок між організмом та навколишнім середовищем. Він являє собою цілісну функціональну систему зі складною та достатньо крихкою архітектурою.

Природнім подразником слухового аналізатору є звук. Він має свої характеристики, такі як: тембр, висота, гучність та інші, що істотно впливають на сприйняття звукових коливань людиною навіть без жодних проблем із слухом.

Сам слуховий аналізатор, залежно від своєї складової, виконує дві функції: звукопроведення та звукосприйняття.

Перша - полягає у передачі складовими елементами вуха фізичних коливань із зовнішнього середовища до рецепторного апарату внутрішнього вуха, тобто, до волоскових клітин кортієвого органу.

Друга функція, звукосприйняття, полягає у трансформації фізичної енергії звукових коливань у енергію нервового імпульсу. Тобто, відбувається процес збудження периферичного кінця, передачі нервового імпульсу до кори головного мозку та його перетворення у слухове сприйняття.

Залежно від типу порушення стану слухового аналізатору видозмінюється звукопроведення та звукосприйняття [7].

Згідно статистики Всесвітньої організації охорони здоров'я за 2019 рік, у світі наразі нараховується 466 мільйонів людей із тяжкою втратою слуху (5 % населення світу), серед них 34 мільйони – діти. Дослідження та оцінки стану населення засвідчують, що до 2050 року кількість населення із тяжкою втратою слуху досягне 900 мільйонів людей по всьому світу [4]. Інше джерело засвідчує, що прогнози 2020 року встановили, що 30% популяції усього світу будуть жити з порушенням слуху [12].

Під тяжкою втратою слуху слід розуміти погіршення стану слухового аналізатору на 40 дБ у дорослої людини і на 30 дБ – у дитини [4].

Надалі розглянемо причини порушення слухового аналізатора, які суттєво впливають на сприйняття звуку навколишнього світу.

Першочергово зазначимо, що вухо у людини починає працювати від самого народження. Це фіксується у новонародженої дитини, яка має відповідні зворотні реакції (зміна частоти дихання та пульсу, умовні рефлекси) на звуковий збудник достатньої гучності.

Через певний час вже відбувається диференціація звукових хвиль на приємні та неприємні подразники. А на третьому місяці життя дитина вже може відрізнити той чи інакший звук за тембром та висотою, а також визначити напрямок розповсюдження хвиль [7].

Саме з цього віку слід фокусувати свою увагу на тому, чи має дитина реакцію на звук. Вченими встановлено, що в дитини із вадами слуху подальше белькотання вщухне через відсутність можливості наслідування сторонніх звуків [13]. Також варто звернути увагу на вплив на слухову систему дитини, який може додати шкоди ще з раннього віку. За даними Американської асоціації слуху за мовою, скрипучі гумові іграшки або сирени можуть видавати звук, гучністю до 90 дБ, тому слід уникати подібної забавки для збереження нормального слуху [14].

Дефіцит слуху призводить до порушень у психічному розвитку і, навіть, до розумової відсталості [15]. Є ряд причин, завдяки яким дитина може народитися із вадами слуху. До них відносяться:

1. Спадковий фактор. У батьків із вадами слуху більша вірогідність появи дитини із туговухістю чи вродженою глухотою.
2. Інфекційні захворювання у матері під час вагітності: грип, кір, краснуха, сифіліс тощо. Найбільш небезпечною є ситуація, коли жінка хворіє у першому триместрі, тобто в той час, коли у дитини в утробі матері починає формуватися слуховий орган [4], [7].

3. Шкідливі звички вагітної жінки також можуть призвести до наявності туговухості у дитини.
4. Також, під час вагітності, слід бути достатньо обережними при вживанні антибіотиків групи аміноглікозидів [7].
5. Наявність у матері цукрового діабету, хвороби нирок чи серцево-судинної системи є факторами, що впливають на стан слухового аналізатору дитини.
6. Замала маса тіла при народженні.
7. Недостатня кількість кисню у дитини під час пологів [4].
8. Ще однією причиною можливої туговухості чи глухоти у дитини є отримання травми при пологах або недоношеність [15].

Під спадковим фактором пошкодження звукопровідної системи дитини може бути вплив родинних зв'язків між батьками. До такого висновку прийшли на території Таджикистану через наявність не малої кількості родин, де у союз вступають двоюрідні чи троюрідні брат та сестра [16].

Перші роки життя так само несуть вагомий вклад у розвиток мови. Несвоєчасне виявлення проблем зі слуховим аналізатором може призвести до відставання у розвитку, проблем зі спілкуванням та подальшої інвалідності [17]. Формування мови буде відбуватися зі спотвореннями фонетики та граматики. Особливо буде страждати зв'язність мовлення та поєднання числівників із іменниками в комплексному словосполученні [13]. Визначено, що медико-соціальна «ціна» втрати слуху складає 60% від усього «здоров'я» [12].

Як зазначено у статті [18]: «інтеграція дітей з особливими потребами в суспільство є провідною ідеєю реалізації Конвенції про права дитини, прийнятої ООН». Тому на даний момент достатньо актуально стоїть питання адаптації дитини із особливими потребами до комунікації й адаптації з навколишнім світом, а також вміння спілкуватися викладачам із ними.

Якщо існує хоча б один із можливих факторів ризику для слуху дитини, необхідно пройти повне аудіологічне обстеження в спеціалізованому медичному закладі [17], [19]. При зовсім малому віці дитини таке обстеження проходять за допомогою об'єктивних методів, наприклад, методу універсального скринінгу новонароджених, запропонованого Найдою С. А. та Найдою М. С. [19]. Якомога скоріше визначення проблеми зі слухом допоможе розробити корекційну програму для його збереження, адже це може бути як слухопротезування, так і кохлеарна імплантація [13].

Слухопротезування полягає в електроакустичній корекції діагностованого порушення слуху шляхом підсилення рівня звуку в потрібному діапазоні частот за допомогою слухового апарату. Слухопротезування не покращує та не відновлює слуховий аналізатор в цілому, а виконує «функцію окулярів», тобто вповільнює подальшу можливість зниження слуху.

Кохлеарною імплантацією називають процес вживляння електронного кохлеарного імпланту у внутрішнє вухо. Таке оперативне втручання дозволяє електрично стимулювати волокна слухового нерву, що призводить до відновлення слуху. [20]

Обстеження маленьких дітей має певні відмінності. До двох років обстеження роблять за допомогою широкосмугового шуму певної інтенсивності, на яку дитина повинна відреагувати будь-яким чином. Оскільки більший відсоток людей – правши, то діагностують першочергово праве вухо.

Діток, старших від двох роцків, обстежують за допомогою шепітної мови. Даний метод буде описаний згодом задля цілісності картини про мовну аудіометрію.

Окрім вродженої приглухуватості є велика ймовірність набути проблему зі слухом, оскільки є певна низка факторів, що призводить до погіршення стану слухового аналізатора. Серед них наступні:

1. Ускладнення захворювань: менінгіту, грипу, свинки і т.п., що призвело до запальних процесів у внутрішньому вусі.

2. Патологічні зміни у середньому вусі які є результатом хронічного чи гострого запалення.
3. Аномалії у розвитку органу слуху ще в ембріональному періоді можуть призвести до набуття приглухуватості [21].
4. Травми голови та вуха.
5. Старіння, зокрема через дегенерацію сенсорних клітин у спіральному органі, або пресбіакузис [22].
6. Вушна сірка чи сторонні предмети, що блокують зовнішній слуховий прохід [4].
7. А також регулярне тривале прослуховування гучної музики на за допомогою навушників.

Доцільно звернути увагу на факт, зазначений у електронному джерелі [14]. За даними Національного інституту глухоти та інших порушень комунікації, чоловіки у віці від 20 до 69 років у два рази частіше страждають на погіршення стану слуху, ніж жіноча частина населення. Існує думка, що однією з причин такого відсоткового співвідношення є вибір професій за гендерною ознакою, тобто чоловіки працюють у місцях, де є більший вплив шуму. Але ще однією причиною є вживання нестероїдних протизапальних препаратів, а також парацетамолу та аспірину, який викликає більш високу ймовірність втрати слуху у чоловіків молодших за 60 років.

При цьому, способи втрати слуху чоловіків та жінок після 80 років мають відмінності, оскільки жінки відчувають низькочастотну втрату слуху, тобто погіршується ступінь сприймання голосних літер, чоловіки – високочастотних компонент, тобто, приголосних [14].

Якщо хоча б один із вище приведених факторів має місце, неодмінно слід зробити повну діагностику стану слухової системи, що дозволить визначити наявність чи відсутність туговухості. Не суттєве зниження слуху без спеціальної апаратури визначити неможливо та й особливого дискомфорту воно не приносить. Але, подальше падіння слуху неминуче і, чим раніше встановлена патологія, тим швидше можна розпочати її лікування.

Діагностика слуху здійснюється за допомогою аудіометрії, яка включає в себе обстеження тональними сигналами та аналіз сприйняття мови, тобто визначення розбірливості [11].

Покровський М. Б. під тональним методом розуміє: «заміну передавальних операторів, що передають, штучним голосом, тоді як прийом чистих тонів, якими штучний голос озвучує мікрофон випробувального тракту, ведеться як і раніше операторами бригади. Таким чином виключають будь-які коливання в якості мовного матеріалу, що надходить на передавальний кінець тракту, а завдання приймаючої сторони спрощується, оскільки їм не потрібно вже осмислювати і записувати певне звукосполучення, а потрібно лише визначити, чи чуто сигнал на даній частоті, чи ні.» [6]

У роботі автора [6] зазначено, що основними перевагами такого методу є:

- Відсутність необхідності розробки спеціальних артикуляційних таблиць, що потрібні для мовної аудіометрії;
- Вилучення впливу людського фактору та індивідуальних особливостей мовного апарату, що впливає на кінцеві результати досліджень;
- Зменшення кількості людей, яка необхідна для проведення дослідження, тобто спосіб є фінансово більш економічним [6].

Обстеження тональними сигналами, тобто тональна порогова аудіометрія, проводиться за допомогою спеціальних пристроїв – аудіометрів із певним діапазоном частот. Прилади оснащені: оголів'ям з двома повітряними телефонами, кістковим телефоном, кнопкою для відповідей пацієнта, мікрофоном та мають низькочастотний вхід, що можна використовувати для підключення зовнішнього джерела звуку, який потрібен для проведення, наприклад, мовної аудіометрії.

Обстеження слуху за допомогою тональної аудіометрії повинне проводитися в спеціальній заглушеній камері, адже сторонній шум може достатнім чином впливати на вихідні результати [23]. Дослідження починають з того вуха, яке ліпше чує, або обирають праве вухо [17], [23]. При дослідженні хворий слухає генеровані

аудиометром звуки через спеціальний повітряний телефон (діагностика по повітряній провідності), або через кістковий телефон (діагностика за кістковою провідністю) [24].

При поступовому збільшенні інтенсивності сигналу визначають поріг чутливості, тобто найтихіший звук, який був ідентифікований пацієнтом на кожній частоті з досліджуваного діапазону (від 125 до 10000 Гц). Такі пороги повітряної провідності визначають окремо для кожного вуха і у вигляді кривих наносять на спеціальну графічну сітку - аудіограму, де по горизонталі відкладена частота генерованого тону (в Герцах), а по вертикалі - інтенсивність сприйнятого хворим звуку на цій частоті (в дециБелах) [23].

Дослідження кісткової провідності необхідно для визначення чутливості равлика та наявності кондуктивного компоненту [23]. Результати аналізу також заносять на бланк аудіограми за допомогою іншого маркування. В нормі криві як повітряної, так і кісткової провідностей повинні розміщуватись на аудіограмі біля рівня 0 дБ на всіх частотах (горизонтально).

1.2. Діагностика слуху шляхом мовної аудіометрії

Слід зазначити, що існує феномен, при якому різко падає ступінь розбірливості мови при відносно збереженому рівні тонального слуху. Такий синдром фонемічної регресії ще називають тонально-мовною дисоціацією. При такому стані слухової системи мовна аудіометрія є край необхідним методом аудіологічного обстеження [25].

Тестування сприйняття мови необхідне в різних галузях: телефонії – для оцінки якості передачі для тракту зв'язку; педагогіки – для навчання вимові іноземних слів; медицини – для виявлення дефектів мови та слуху, криміналістики – для ідентифікації особистості по голосу та в інших галузях [26].

Щодо оцінювання рівня розбірливості мови, то в світі налічується кілька десятків методів її аналізу та розрахунку. Вони поділяються на суб'єктивно-

статистичні та інструментальні. У першому випадку у тестуванні приймають участь диктори та слухачі, у другому – відбуваються розрахунки та автоматизовані вимірювання [26]. Варто зауважити, що вимірювання розбірливості мови є складовою частиною акустичної експертизи, яка може бути об'єктивною або суб'єктивною [27].

У роботі авторів Гавриленка А. В., Дідковського В. С. та Продеуса А. М. [5] приведений порівняльний аналіз деяких об'єктивних методів оцінки розбірливості мови на основі літературних джерел (рисунок 1.1.). В статті зазначено, що інструментальні методи поділяються на модуляційні, емпіричні та формантні, які, в свою чергу, диференціюються як вітчизняні та закордонні [5].

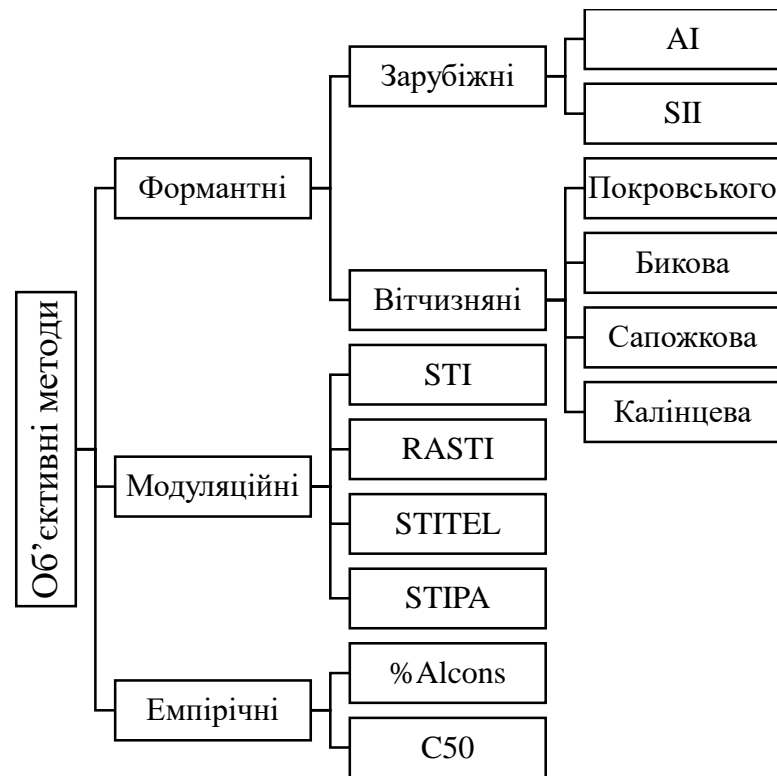


Рис. 1.1. Об'єктивні методи розрахунку і вимірювання розбірливості мови

При цьому, у роботі Продеуса А. М. [28] також зазначено, що оцінка використання відносно недорогих об'єктивних (інструментальних) показників відбувається двома методами:

1. З використанням еталонного сигналу, тобто інтрузивні показники;

2. Без використання еталонного сигналу (неінтрузивні показники).

Щодо суб'єктивних методів оцінки розбірливості мови, то в роботі Ірини Алдошиної [24] зазначено те, що існує ряд факторів, які істотно впливають на результати оцінки відсотка артикуляції.

«Основні з них наступні:

- Вибір для прослуховування елементів мови (звуки, склади, слова, фрази), що найточніше відображають статистику даної мови;
- підбір складу експертів і ступінь їх тренуваності;
- якість голосу диктора, його дикція, інтонація та ін.;
- відсоток словесної розбірливості мови;
- вимоги до приміщення і умов в ньому (рівню шумів та ін.);
- методика проведення вимірювань і методи статистичної обробки результатів» [24].

Покровський М. Б. у своїй роботі [15] зазначає, що суб'єктивним методом оцінки розбірливості мови можна вважати той, у якого мовний або слуховий апарат людини є складовою частиною вимірювальної системи, а також якщо рішення щодо якості об'єкта приймає виключно один експерт.

Перевагою суб'єктивного методу оцінки розбірливості мови є його універсальність, оскільки він може бути застосованим для оцінки якості будь-якого каналу передачі мовних даних. Однак основним недоліком є сама процедура вимірювань через її трудомісткість [15], [20].

Всі суб'єктивні методи розрахунку розбірливості мови можна представити у вигляді наступної класифікаційної схеми [27].

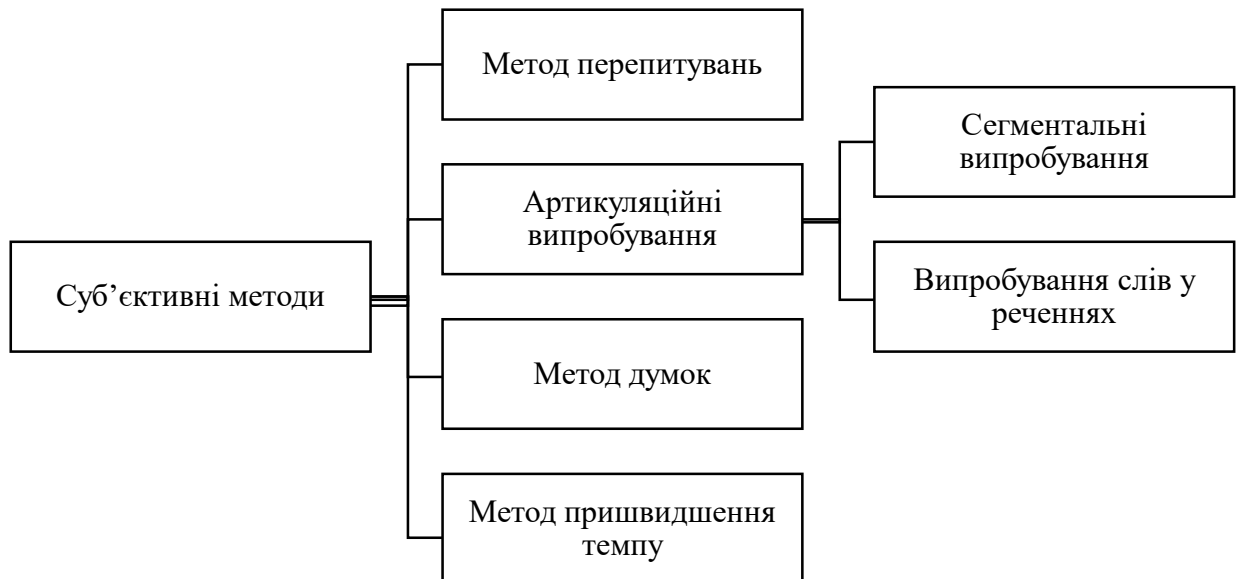


Рис. 1.2. Суб'єктивні методи розрахунку і вимірювання розбірливості мови

Через складність формування мови та велику кількість факторів, що може вплинути на її сприйняття, найбільш поширеним методом вимірювання розбірливості стали артикуляційні випробування. Мірою розбірливості є відношення числа правильно прийнятих елементів мови по тракту, що досліджується.

Метод артикуляції полягає у визначенні кількості сприйнятих елементів на слух, що були прочитані диктором зі спеціально складеної таблиці складів, слів чи фраз [6].

Тобто, на відміну від тональної аудіометрії, для дослідження методом артикуляції або мовної аудіометрії застосовують звукові стимули складної форми з акустичними параметрами, що неперервно підлягають тим чи іншим змінам [23].

На сьогоднішній день на території України відсутні національні стандарти для артикуляційних випробувань. Інформацію про артикуляційні випробування систем зв'язку можна знайти в переліку стандартів, представлених у роботах [10], [27]. У роботі О. Архіпової [10] зазначено, що згідно російського стандарту ГОСТ 16600-72 розбірливість мови необхідно визначати за допомогою використання російськомовних діагностичних таблиць звукосполучень та слів, однак це може істотно вплинути на результати оцінювання. При цьому, обробка результатів

вимірювань, як при використанні таблиць звукосполучень, так і при використанні таблиць слів являє собою розрахунок середнього значення розбірливості матеріалу W_{cp} та середньоквадратичного відхилення σ_W і проводиться за формулою:

$$W_{cp} = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K W_i \quad (1.1)$$

$$\sigma_W = \sqrt{\frac{1}{K-1} \cdot \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K (W_i - W_{cp})^2} \quad (1.2)$$

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

Якщо $|W_i - W_{cp}| \leq 3\sigma_W$, то отримані результати вимірювань варто виключити та повторно провести розрахунок за формулами (1.1) та (1.2) W_{cp} і σ_W з урахуванням зменшеної кількості вимірювань. [29].

Приклади артикуляційних таблиць звукосполучень та слів зі стандарту ГОСТ 16600-72 представлені на рисунках 1.3 та 1.4. Кожна таблиця звукосполучень складається зі 100 звуків. При підрахунку не враховується м'який знак, однак літери «ю», «я», «е» та «ё» на початку звукосполучення та після голосної зараховується за два звуки.

							Таблиця 3
сма	жно	пам	чам	тый	поч	гна	гавá
нер	вах	дво	пит	качé	лннь	дюф	жин
мни	аря́т	у́ва	ре́ди	идé	зай	пали́	ляй
буть	йфн	пру	лита	йки	хас	áтый	
							Таблиця 4
ивé	устó	э́ржи	пруфь	тре	áци	ним	кро
инт	лас	вий	зань	акó	дак	áбы	лий
чих	ва́ду	пап	пóна	тал	дит	тинь	анé
мер	óвна	насó	рась	точ	фсн	кла	

Рисунок 1.3. Приклади артикуляційних таблиць звукосполучень [29]

бал	бур	док	ром	ваш
вол	май	душ	моль	ноль
гром	грамм	краб	шник	рак
бор	дар	ком	пар	сам
корм	март	торф	плач	брань
бот	рот	мол	хор	ток
морс	пуд	муж	фон	месть
срам	брак	флюс	мал	хан
бук	вид	путь	пуст	туп
бант	мост	цен	сруб	млад

Рисунок 1.4. Дикторські тести слів [29]

Варто зауважити, що ГОСТ 16600-72 істотно застарів з плином часу і тут варто погодитися з авторами роботи [27], де зазначено, що процедура випробувань не передбачає аналіз оцінки натуральності мови, що важливо для діагностики розбірливості мови при проведенні мовної аудіометрії.

Щодо міжнародних стандартів оцінки розбірливості мови, то варто зазначити, що за мовний діагностичний матеріал для артикуляційних випробувань обирають слова, що не мають сенсу та можуть не існувати у досліджуваній мові, слова зі словника та фрази, а основними методами є DRT (Diagnostic Rhyme Test), MRT (Modified Rhyme Test), SST (Standart Segmental Test) та PWLT (Phonetically Balanced Word Lists) – методи [26], [27], [30].

Загалом, мовна аудіометрія використовується для діагностики відсотка розбірливості мови у людей із вадами слухового аналізатора. З плином часу вона модернізувалася через розвиток технічних можливостей засобів запису та відтворення звукових матеріалів.

Переваги такого методу полягають у:

- можливості визначення розбірливості мови при різних рівнях її інтенсивності;
- проведенні ряду нормованих моноауральних та бінауральних досліджень;
- співставленні порушень слуху для тональних сигналів та мови у певних одиницях вимірювання;
- стандартизації мовного матеріалу, акустичних параметрів мови та приміщення [25].

В класичному варіанті, дослідження слуху за допомогою мовної аудіометрії проводять наступним чином: пацієнту зачитують мовний матеріал тією мовою, якою він спілкується; рівень інтенсивності сигналу, починаючи від порогової інтенсивності, поступово підвищують її з кроком в 5-10 дБ. Основною задачею досліджуваного є повторювання почутого. Правильною відповіддю вважають 100% повторення того чи іншого складу, слова чи фрази. Будь-яка зміна слова, наприклад закінчення, прийнято рахувати за помилку. Після цього для кожної інтенсивності вираховується відсоток розбірливості [25].

Покровський М. Б. окрім переваг, вказує і на істотні недоліки такого методу. Основним з них він вважає необхідність спеціальних тренувань для артикуляційних бригад та знехтування натуральністю та тембром голосу при оцінці системи передачі мови [6].

Доповнення до думки Покровського можна віднайти у Алдошиної, де вона вказує на те, що не слід плутати поняття «чутності» та «розбірливості». Тобто, можна прекрасно та голосно чути мову, але й водночас, зовсім її не розбирати [24].

Ще одним недоліком мовної аудіометрії є те, що при повторних обстеженнях результати розбірливості мови у пацієнта може поліпшуватися. Причиною цього є тренування та запам'ятовування мовного матеріалу. Через це виникає необхідність в створенні великої кількості артикуляційних таблиць, що повинні видозмінюватися із плином часу.

В роботі [31] зазначено, що перевірку рівню розбірливості мови найліпше проводити при використанні фраз у шумі. Виключно таким чином, можна якісно оцінити процес щоденної комунікації, який вкрай важливий для соціалізації людини. Задля цього розробляють фрази із матриксною структурою, що фіксовані за синтаксисом, семантично непередбачувані та сформовані шляхом випадкової комбінації слів. Вони мають у своєму складі 5 слів [31]. Для створення тестів, за певними критеріями, що достатньо схожі на критерії Покровського [6], обирають 10 іменників, 10 дієслів, 10 числівників та 10 власних назв. Подібний принцип дозволяє

знизити вірогідність запам'ятовування речень після декількох аудіологічних обстежень, що призводить до мінімізації необхідності модернізації мовного матеріалу.

В наступних підрозділах більш детально розглянуто основні типи мовного матеріалу для проведення мовної аудіометрії та проаналізувати принципи їх створення.

1.3. Існуючі типи артикуляційних таблиць та принципи їх створення

Основним інструментарієм при проведенні мовної аудіометрії є артикуляційні таблиці, що створюють із урахуванням спектрального аналізу звуків мови, фонетичних, граматичних, лексичних, ритміко-динамічних та інших її особливостей. Доброякісністю таких таблиць є правильність результатів вимірювань при різних характеристиках передачі мови (гучність, амплітудні та нелінійні спотворення тощо).

На сьогоднішній день найбільш поширені наступні види артикуляційних таблиць [6], [25]:

- складові;
- словесні;
- фразові.

Фразову розбірливість мови визначають шляхом визначення відсотку правильно сприйнятих фраз для нормального та прискореного темпів вимови. Її розраховують за формулою:

$$J_{\text{H}}(\Pi) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N j_i \quad (1.3)$$

де j_i – результат одиничного вимірювання фразової розбірливості (у %), N – кількість одиничних вимірювань, J_H – фразова розбірливість при нормальному темпі вимови (розраховується у відсотках), $J_{H(\Pi)}$ – фразова розбірливість при прискореному темпі вимови (у %) [27].

Всі види розбірливості мови мають між собою взаємозв'язок наступного вигляду:

$$S = f(D), W = f(S), J = f(W), \quad (1.4)$$

де D – звукова розбірливість, S – складова, W – словесна, а J – відповідно, фразова розбірливість мови. Така залежність є однозначною для будь-якої національної мови країни та незмінною при будь-яких умовах передачі на реально існуючих трактах. Достатньо виміряти тільки одну з величин, а інші можуть бути отримані шляхом взаємозалежностей для досліджуваної мови між різними видами розбірливості [6], [23].

Розбірливість звуків розраховують виходячи з результатів дослідження за допомогою складових артикуляційних таблиць, оскільки вони найбільш виражено зображують типовість використання сполучень літер у мові. Фактично, складові таблиці є таблицями звукосполучень, що не мають сенсу. Вимоги, які повинні бути пред'явлені до цих таблиць, можна поділити на три основні групи:

- Перша група – лінгвістичні вимоги. Результуючою вимогою цієї групи є забезпечення однозначної залежності між результатами артикуляційних вимірювань та якістю передачі реальної мови при будь-яких змінах умов передачі.
- Друга група – вимоги, які витікають із необхідності зробити результати вимірювань, що визначають виключно якість досліджуваного тракту.
- Третя група – вимоги, які забезпечують можливість отримання максимальної точності та повторюваності результатів вимірювань при мінімальній витраті часу, сил та засобів на їх виробництво [6].

Слід пам'ятати про те, що отримані результати не будуть відображати розбірливість звуків в реальній мові чи передачі окремих фраз. При дослідженнях

мовою чи реченнями, отримана величина розбірливості завжди буде більша, ніж при передачі звукосполучень, що не несуть жодного сенсу. Логічним поясненням такого факту є асоціативне мислення людини, що дозволяє правильно записувати в контексті навіть ті частини слова чи звуки, що не були реально почутими [24]. Через те фразові артикуляційні таблиці не набули чинної популярності при проведенні мовної аудіометрії, оскільки їх створення є тяжким та затратним процесом. Це пов'язано із необхідністю застосування незліченної кількості різноманітних мовних фраз, а також відсутності конкретного уявлення фонетичних особливостей даної мови при їх використанні.

Тому, найчастіше при проведенні мовної аудіометрії під час діагностики стану слухової системи, застосовують словесні артикуляційні таблиці та тест числівників, автором яких є Харшак Є. М. Він містить лише певні числа (наприклад, число 66 не використовується в такому тесті) через їх спектральну характеристику [32].

Варто зазначити, що у М. Б. Покровського [6] визначено, що слова в мовному діагностичному матеріалі не повинні становити обмежену групу та відноситися до певної спеціалізації чи конкретної тематики, адже це призведе до отримання високого відсотку розбірливості, що буде більшим, ніж це буде у дійсності. Загальний об'єм слів у таблицях повинен бути достатньо великим та, безумовно, вони не повинні містити повторення одних й тих самих слів.

Однак, щодо доцільності використання тесту Харшака, Карамзіна Л. А. у своїй роботі [33], висунула припущення про відсутність необхідності диференціювання словесного та числового тестів. Свою гіпотезу вона супроводжує експериментом, в ході якого встановлено, що роздільне відображення кривих розбірливості чисел та слів мають схожий характер та наростання, водночас динамічний діапазон мови дорівнює всього 20 дБ для чисел та 40 дБ – для слів [34]. Когнітивний контроль відбувався за допомогою оцінки розуміння слова та його коректного відтворення пацієнтом [12].

Карамзіна Л. А. вважає, що єдиним приводом для використання числових тестів є легкість їх розпізнавання, на відміну від слів [33]. Також автор зазначає, що якщо існує необхідність диференціювання словесного та числового тестів, то при повсякденному спілкуванні необхідно постійно змінювати відстань між співрозмовниками, щоб числа та слова сприймалися однаково [12].

У 2020 році в Інституті отоларингології ім. проф. О. С. Коломійченка НАМН України група авторів переклала тест числівників українською мовою, оскільки тест Харшака Є. М. й досі широко використовують українські отоларингологи. Автори зазначають, що особи, особливо діти, які мають порушення слуху й погано володіють російською мовою мають труднощі зі сприйняттям слів при проведенні мовної аудіометрії за допомогою наявного тесту числівників. При адаптації тесту було збережено співвідношення приголосних та голосних, а також різноскладовість слів у різних групах [35].

Однак збалансованість отриманих таблиць варто перевірити за допомогою об'єктивного підходу на основі усереднених акустичних характеристик української мови, що відкриває можливість для нових досліджень в цій галузі.

Для дослідження фонематичного слуху, тобто здатності диференціювати окремі, акустично схожі між собою, мовні звуки (приголосні чи голосні), необхідно використовувати спеціальні пари слів. Їх особливість полягає у відмінності лише одного досліджуваного звуку. Наприклад: мавка-лавка, чашка-шашка і т.п. [7]. Такий тип мовного матеріалу отримав назву Diagnostic Rhyme Test або DRT-таблиці.

У статті японського автору [36] приводиться визначення DRT, яке говорить, що це тест розбірливості мови, який вимушує людину обрати одне почуте слово зі списку двох римованих слів.

DRT-таблиці були розроблені у Кембриджській лабораторії BBC США для англійської мови і отримали широке застосування для вимірювання розбірливості синтезованої мови. DRT-таблиці складаються зі 112 пар односкладових слів, які порівнюються за однією з диференційних ознак англійських приголосних. Якобсон

зазначив, що звуки будь-якої мови можуть бути розкладені в набір відмінних ознак (протилежностей). Він стверджував, що бінарне подання будь-якої мови не перевищує дванадцяти ознак. Набір функцій спирається на акустичні і артикуляційні області [2], [26].

При тестуванні римованими парами слів розбірливість мови може визначатися середнім показником правильних відповідей за кожною з диференційних ознак приголосних або середнім показником серед усіх ознак мови. При цьому правильна відповідь повинна розраховуватися за наступною формулою:

$$S = \frac{100(N_r - N_w)}{N_T} [\%], \quad (1.5)$$

Де S – коефіцієнт відповіді або CACR (Chance-Adjusted Correct Response rate), що скоригований з урахуванням випадковості (шансу вгадування), N_r - кількість правильних відповідей, N_w – кількість хибних відповідей, N_T – загальна кількість відповідей [36].

DRT – дослідження, що може бути проведено за короткий проміжок часу декількома способами, однак його недоліком є достатньо мала кількість існуючого діагностичного матеріалу [27]. Це актуалізує питання створення способу підбору слів для створення DRT-таблиць та їх подальшої модернізації з урахуванням зміни мови.

1.4. Особливості створення артикуляційних таблиць для різних мов

Оскільки кожна мова має свій ряд характерних особливостей, то виникає необхідність у створенні мовного матеріалу для кожної з них індивідуально з урахуванням часових змін її формування, тобто заміни діалектизмів на слова, що так поширені у побутовому спілкуванні на сьогоднішній день.

Для того, щоб підкреслити складність досліджуваного питання, розглянемо відомі шляхи створення артикуляційних таблиць для тої чи іншої мови.

Наприклад, для таджицької мови першими авторами були Л. І. Кальштейн та А. Е. Шліонський. Однак, у 2006 році, Рахімова М. М. у своїй роботі спростувала правильність добору такого мовного матеріалу через відсутність специфіки мовотворення та знехтування семантикою [37].

До 1996 року питання мовної аудіометрії на території Туркменістану взагалі не розглядалось, тому робота Бердієва Джумамурата була однозначно актуальною. За основу було обрано фонетичний принцип та аналіз літературних джерел, притаманних туркменській мові. Виконані дослідження дозволили виділити основні групи аудиторії людей (діти 5-10 років та 11-15 років), яким найбільше підходить діагностика слуху мовою за допомогою збалансованих таблиць туркменською мовою [30].

Розробка мовного матеріалу для турецької та індоарійської мови Конкані полягає у виборі виключно односкладових слів, що найточніше передають семантику мови та найпоширеніші у використанні. Після чого зі списку виключають діалекти, сленги, технічну термінологію та слова, що не були знайдені у словниках. Надалі група експертів та носіїв мови оцінюють слова за шкалою від одиниці до трійки (1 = часто застосовується, дуже знайоме слово, 2 = знайоме, але рідше використовується, 3 = не знайоме). Групи слів, що отримали оцінки 1 та 2 й складають фінальний тестовий матеріал для артикуляційних таблиць [38], [39].

Задля порівняння, зазначимо, що для російської та німецької мов перші артикуляційні таблиці були створені у 50-х роках [6], [30].

Щодо тестів українською мовою, то в 1984 році, в лабораторії клінічної аудіології та вестибулогії Київського НДІ оториноларингології ім. О. С. Коломийченка, був створений перший мовний матеріал, що містив виключно слова-іменники, які були різноскладовими та несли нейтральну емоційність. Принципами підбору матеріалу були: розповсюдженість використання побутових слів, їх звичність для різних соціальних класів людей, відсутність діалектних домішок [34].

У 2001 році, в тій самій лабораторії були розроблені нові, так звані, збалансовані таблиці слів. При їх створенні були враховані наступні критерії:

- Відображення семантики та граматичних особливостей мови;
- Урахування різних частин української мови в пропорції 3:1;
- Фонетична збалансованість;
- Ритміко-динамічна структура таблиць (за Покровським М. Б.).

А в 2009 році, ще однією групою авторів, були запропоновані нові тести українською мовою, основним призначенням яких є тестування каналів зв'язку. Однак, жодна з вищезазначених таблиць, донині, не набула статусу нормативного документу на території України [37].

На сьогодні, незважаючи на наявність клінічних показань щодо застосування мовної аудіометрії в профільних медичних закладах, велика кількість спеціалістів нехтує проведенням дослідження через обтяжливість методики та великі затрати часу лікаря та пацієнта [25].

Висновки до розділу 1

1. Аналіз літературних джерел та чисельні показники статистик свідчать про той факт, що з плином часу кількість населення із туговухістю різних ступенів буде збільшуватися через низку причин. Розвинені країни надають дітям із погіршеним слухом певну освіту, з використанням усіх теперішніх розробок в цьому напрямку. Але, серед дорослого населення є велика кількість безробітних, адже далеко не всі компанії готові найняти на роботу людину з вадами слуху [4]. Це також пов'язано із проблемами з розбірливістю мови, що виникають при погіршенні слуху. Донині на території України не існує нормативних документів, що дають чітку структуру підбору мовного матеріалу та розробки діагностичних таблиць, саме тому, у більшості центрів слухопротезування використовують російськомовні тести, а в деяких центрах – україномовні таблиці, що не стандартизовані.
2. Головною проблемою при створенні діагностичного україномовного артикуляційного матеріалу для мовної аудіометрії є відсутність об'єктивних критеріїв, а також велика кількість суб'єктивних та об'єктивних методів розбірливості мови, що використовують у всьому світі. Також варто зазначити, що аналіз існуючого мовного матеріалу українською мовою, на жаль, є недостатньо дослідженим. Саме тому актуальним є питання визначення об'єктивних критеріїв при доборі слів для створення таблиць, а також проведення аналізу існуючих словесних артикуляційних таблиць для досліджуваної мови.
3. Встановлено, що дослідження фонематичного слуху можна проводити за допомогою спеціальних пар слів, або DRT-таблиць. Перевагою методу DRT є проведення дослідження декількома способами за невеликий інтервал часу, що доцільно використовувати для діагностики стану слухової системи у дітей молодшого шкільного віку. Однак відсутність мовного матеріалу для

української мови робить питання розробки україномовного діагностичного матеріалу актуальним для дослідження.

РОЗДІЛ 2. ЧАСТОТНИЙ АНАЛІЗ УКРАЇНОМОВНИХ ТЕКСТІВ

2.1. Використання частотного аналізу для визначення частоти вживаності літер у мовному матеріалі

Питання частотного аналізу вживаності літер алфавіту розглядають для кожної мови окремо, оскільки це допомагає вирішити низку проблем із кодуванням.

Так, для української мови технічна задача була поставлена у 2009 році та представлена у статті О. О. Архипової та В. М. Журавльова [40]. Визначена певна особливість мови, яка пов'язана з тим, що для текстів технічного спрямування частота вживаності літери «Ф» буде збільшуватися через специфіку використання запозичених слів [40]. Такого ж висновку дійшли автори книги [41], де проводили емпіричні дослідження для російської мови.

Продовжуючи аналіз результатів статті [40], варто зазначити, що літери «Г» та «Г» в цій роботі ототоженні. За досліджуваний матеріал обрано тексти технічного спрямування, вірші Т. Шевченко та Н. Доценко, а також художня проза й публіцистика. В результаті, найуживанішими літерами української мови є голосні «О» та «А», а також сонорна приголосна «Н» [40].

Схожі розрахунки було проведено у 2010 році авторами статті [42], де за досліджуваний матеріал було обрано тексти п'яти різних стилів сучасної мови. Особливістю аналізу є вилучення певних категорій слів, таких як: імена, прізвища, скороченні одиниці вимірювання величин, аббревіатури, а також цифрові дані тощо з текстових матеріалів, що були проаналізовані.

Отримані результати виявилися ідентичними результатам статті [40] - найбільш вживаними літерами української мови є голосні літери «О» та «А», а також сонорна приголосна «Н». Найменш поширеною – літера «Г» [42]. Висунемо припущення про ототожнення даної літери у текстовому матеріалі, що був проаналізований, із літерою «Г», про що не зазначається у статті, хоча фактор є суттєвим для фінальних результатів.

У 2017 році питання почалася розробка авторського програмного модулю [Додаток 1] для вирішення низки питань дисертаційної роботи, таких як аналіз україномовних діагностичних артикуляційних таблиць та знаходження спектру української мови. Модуль частотного аналізатора був створений на скриптовій мові програмування PHP 7.0. Узагальнена схема роботи програмного модулю представлена на рисунку 2.1.

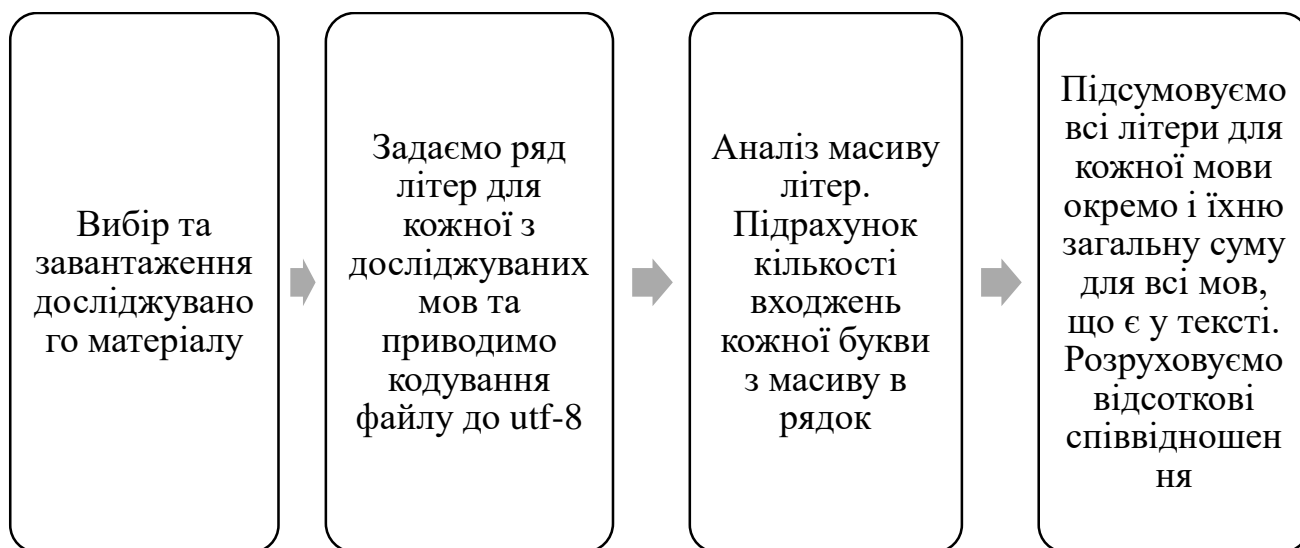


Рис. 2.1. Узагальнена схема проведення частотного аналізу використання літер алфавіту у текстовому матеріалі

Частоту вживаності символу у тексті визначали співвідношенням його входження у текст до загальної кількості літер у матеріалі. Задля цього необхідно завантажити файл у певному форматі до інтегрованого у сайт модулю. В процесі роботи програма виконує наступні дії:

1. Задаються масиви літер \$ letters ['ukr'] з українським алфавітом, \$ letters ['ru'] в якому присутні літери, притаманні виключно для російської мови («Ы», «Э», «Ё», «Ъ»), а також масив \$ letters ['eng'], що містить автоматично генерований англійський алфавіт. Це необхідно для більш точного визначення частоти використання літер, оскільки в багатьох літературних джерелах можна знайти як іноземні слова.

2. Далі функція `detect_encoding`: визначає, до якого кодування відноситься переданий рядок. Підтримує визначення 'cp1251', 'utf-8', 'ascii', '855', 'KOI8R', 'ISO-IR-111', 'CP866', 'KOI8U'. Повертає кодування рядка.
3. Функція `countLetters` приймає масив букв і рядок для аналізу. Вираховує кількість входжень кожної букви з масиву в рядок. Повертає масив літер та їхню розраховану кількість.

3. Після чого підсумовуються всі літери для кожної мови окремо та їхня загальна сума для всі мов, що присутні у досліджуваному текстовому файлі. Після чого відбувається розрахунок відсоткового співвідношення та вивід результатів у табличному та графічному форматі за умови, що модуль інтегрований у сайт.

В результаті отримуємо розподіл частоти використання літер українського алфавіту у табличному форматі, а також у вигляді гістограми, яку можна надалі експортувати у інший документ [43], [44].

2.2. Оцінка ритміко-динамічної структури існуючих словесних україномовних артикуляційних таблиць

Нині процес інклюзивного навчання набирає популярності серед обговорень на державному рівні, що потребує необхідність розробки сучасного мовного матеріалу для діагностики стану слухового аналізатора серед дітей та молодих людей.

У той же самий час поширюється процес двомовного навчання серед людей, що мають погіршений рівень слуху [45]. Однак, велика кількість сучасного контенту (електронного та друкованого) публікується виключено державною мовою з притаманною для кожної галузі термінологією. Саме тому, при створенні даїгностичних таблиць варто враховувати регіональні, а також часові зміни у мові, тобто зміну певних діалектизмів на сленг [11]. Існуючі на сьогодні україномовні артикуляційні таблиці не завершені офіційним підтвердженням їх правомірності, що призводить до поширеного використання російськомовних тестів .

Донині аналіз існуючого діагностичного матеріалу українською мовою для визначення стану слухової системи та ступеню розбірливості мови базувався на підрахунку середньої частоти вживаності літер алфавіту [37]. Для порівняльного аналізу в дисертаційній роботі були обрані словесні артикуляційні таблиці Н. В. Римар та А. Й. Багмут, які представлені у фрагменті таблиці 2.1 [9], [34], Архипової О. О. та Журавльова В. М. [46], а також «Тест слов реальной русской речи» Г. І. Грінберга та Л. М. Зіндера.

Таблиця 2.1. Фрагмент артикуляційних таблиць українською мовою Н. В. Римар та А. Й. Багмут

1 група	2 група	3 група	4 група	5 група	6 група	7 група	8 група
Рибалити	Бачити	Обов'язок	Бік	Кабіна	Бабуся	Березень	Барвистий
Давати	Будувати	Малювати	Вершник	Лікувати	Співати	Називати	Купувати
Герб	Грім	Гострий	Релігійний	Вигадувати	Вагон	Розгадувати	Змагатися
Ліс	Зелений	Галявина	Палити	Липень	Великий	Лівий	Лист
Масло	Комар	Зимовий	Морква	Мак	Мис	Мир	Каміння
Зупинити	Почервоніти	Монета	Назва	Нуль	Криниця	Намір	Розгніватися

Дослідження існуючих україномовних артикуляційних таблиць авторів були основані на перевірці ритміко-динамічної структури за рекомендаціями М. Б. Покровського, тобто такими показниками як:

- частота вживання букв українського алфавіту у словах, з яких складені таблиці;
- кількість складів у елементах мовного матеріалу;
- наголошеність складу;
- відкритість та закритість останнього складу слова;
- спектр груп слів, з яких складені таблиці [6], [11], [37].

Для словесних таблиць, автором яких є Н. В. Римар [9], був проведений статистичний аналіз відсотку використання окремих букв українського алфавіту по відношенню до загальної кількості букв в словах для кожного стовпчика таблиці окремо. Дослідження проводилося за допомогою авторського програмного модулю [43], [44]. Варто зазначити, що жодних ототожнень літер здійснено не було, на відміну від результатів, представлених О. О. Архіповою та В. М. Журавльовим у своїх дослідженнях [40].

Таким чином, перевірялася збалансованість мовного матеріалу, тобто можливість взаємозаміни слова у стовпчиках, що мають однакові фонетичні характеристики, оскільки Н. В. Римар у своїй роботі називає запропоновані нею артикуляційні таблиці збалансованими. Однак даний аспект мовного матеріалу нічим не підкріплюється [9].

Отримані результати відображають значну нерівномірність відсоткового співвідношення вживання як голосних, так і приголосних букв у різних стовпчиках артикуляційної таблиці, що свідчить про неможливість взаємозаміни фонограм різних стовпчиків, тобто таблиці є незбалансованими.

Крім того, існує необхідність перевірки слів та поєднань звуків, з яких складена таблиця, на типовість для української мови [37].

Загалом, за допомогою розробленого програмного забезпечення було проаналізовано 2098 голосних та 2946 приголосних літер [11]. Щодо критеріїв добору матеріалу для діагностичних таблиць, то, на наш погляд, підхід, запропонований Н. В. Римар, більш повний та фонетично обґрунтований з точки зору типовості слів для мови. Однак залишається незрозумілим, як здійснюється контроль за наявністю в кожній групі таблиці всіх фонем [47].

Отримані результати відсоткового вживання літер українського алфавіту в існуючих артикуляційних таблицях представлені на рисунку 2.2.

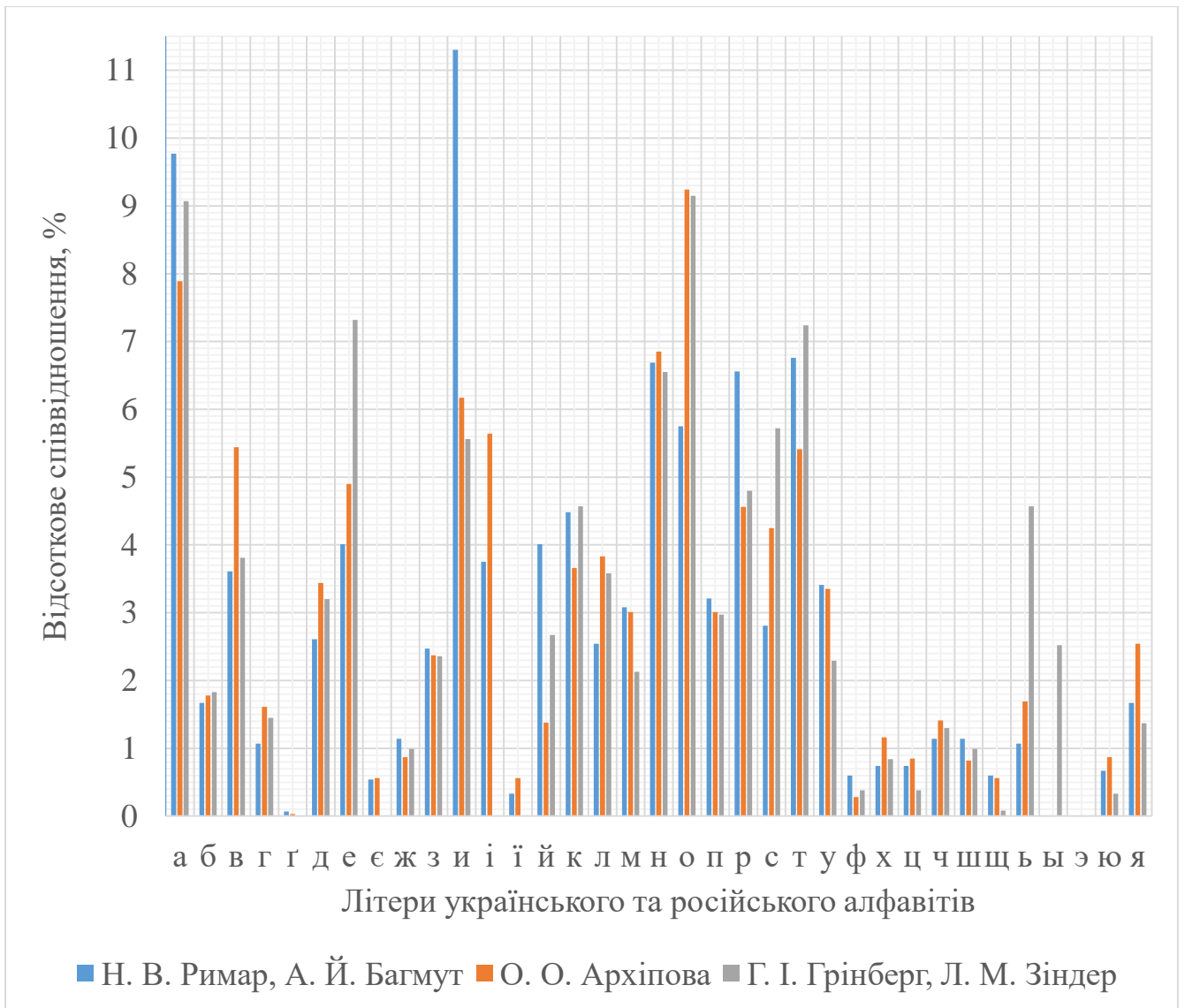


Рис. 2.2. Частотний аналіз вживаності літер українського алфавіту в існуючих артикуляційних діагностичних таблицях

Перший стовпчик гістограми для кожної букви відповідає таблиці Н. В. Римар, другий – таблиці О. О. Архіпової і третій – таблиці Грінберга та Зіндера.

Зауважимо, що в російськомовних таблицях були ототожені літери [e] та [ë], [ь] та [ѣ], оскільки таку заміну найчастіше застосовують при написанні текстів для інтернет-публікацій [37]. Варто звернути увагу на те, що у обох випадках україномовних таблиць найменш вживаними є літери «ї» та «є», які є основними відмінностями української мови від мов сусідніх держав та мов однієї групи. При цьому, складотворчими голосними в таблицях, автором яких є Н. В. Римар, є звуки

«и» та «а». У них різний спосіб творення, місце артикуляції, а також вони характеризуються відносно високими формантами, що свідчить про те, що звук буде «губитися» при погіршенні стану слухової системи [7].

Також за результатами досліджень встановлено, що основними складотворчими голосними таблиць О. О. Архипової є лабіалізований звук «а» та нелабіалізована голосна «о». За місцем підняття язика обидва звуки є голосними заднього ряду. Серед приголосних звуків найбільш використовуваними у таблицях всіх досліджуваних авторів є сонорні «в», «й», «н» та «р» [11].

Відомо, що в українській мові дзвінкі та глухі приголосні утворюють корелятивні пари. Аналізуючи такі пари можна зробити висновок, що при створенні мовного матеріалу для діагностичних артикуляційних таблиць перевагу було надано саме глухим приголосним звукам [11], [48]. Варто зауважити, що глухі приголосні є високочастотними компонентами, тому їх сприйняття та розпізнавання людьми із погіршеним рівнем слуху може бути із певними труднощами, особливо за умов, коли слово закінчується на глуху приголосну [11].

У ході дослідження був перевірений складоподіл існуючих словесних артикуляційних таблиць, що характеризує ритміко-динамічну структуру досліджуваного мовного матеріалу, ритмічна збалансованість та проведений аналіз співвідношення типів складів слів у артикуляційних таблицях, оскільки українській мові притаманні саме відкриті склади. Результати досліджень відповідно представлені в таблицях 2.2, 2.3 та 2.4. [11]. Такі показники характеризують ритміко-динамічну структуру матеріалу, що впливає на його ступінь запам'ятовування серед пацієнтів.

Таблиця 2.2. Відсоткове співвідношення кількості складів у словах

Складоподіл	Автори таблиць	
	<i>Н. В. Римар, А. Й. Багмут</i>	<i>Архипова О. О., Журавльов В. М., Кумейко В. М</i>
Односкладові слова	15,73 %	4,6 %
Двоскладові слова	33,47 %	30,8 %
Трискладові слова	33,87 %	35,4 %
Багатоскладові (4 і більше складів)	16,94 %	29,2 %

Таблиця 2.3. Відсоткове співвідношення ударних складів

Склад, на який припав наголос	Автори таблиць	
	<i>Н. В. Римар, А. Й. Багмут</i>	<i>Архипова О. О., Журавльов В. М., Кумейко В. М</i>
1	47,98 %	28,8 %
2	40,73 %	39 %
3	9,27 %	26,6 %
4	2,02 %	24,4 %
5	-	0,4 %
Неможливо визначити	-	2,8 %

Таблиця 2.4. Відсоткове співвідношення кількості складів у словах

Тип складу	Автори таблиць	
	<i>Н. В. Римар, А. Й. Багмут</i>	<i>Архипова О. О., Журавльов В. М., Кумейко В. М</i>
Відкритий склад	45,6 %	58,2 %
Закритий склад	54,4 %	41,8 %

Загалом отримані результати проведеного аналізу свідчать про значну нерівномірність частоти вживаності літер у діагностичному матеріалі різних авторів, тому робимо висновок, що при підборі мовного матеріалу для створення артикуляційних таблиць опиратися лише на статистичні характеристики мови не доцільно, оскільки цей параметр не враховує всі фонетичні особливості досліджуваної мови. Також варто зауважити, що оскільки слова, використані у словесному матеріалі таблиць О. О. Архіпової зазначені у різних відмінках, то первинна умова аналізу відсоткового співвідношення відкритих та закритих складів була неоднаковою. Результати складоподілу та ударності складів, що визначають ритмічну структуру та збалансованість таблиць свідчать про їх не відповідність цим параметрам. Однак, всі вищеперераховані критерії аналізу можуть слугувати додатковою перевіркою відібраного мовного матеріалу, однак не можуть бути основним принципом для створення артикуляційних таблиць [11].

Тому було запропоновано використовувати ще один додатковий параметр до частоти вживаності літер, а саме спектральну густину потужності, оскільки слух реагує на усереднену енергію звуку [27], а також тому що величина не містить інформації щодо фазових співвідношень частотних складових. Згідно закону Гельмгольца слух реагує тільки на частоти та амплітуди складових складного коливання і не сприймає фазу коливань [49]. Тому всі сигнали з однаковим спектром амплітуд та різними спектрами фаз будуть мати однакову спектральну густину потужності.

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

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

За допомогою програмного пакета Matlab були побудовані графіки спектральної густини потужності для кожного стовпчика в україномовних

діагностичних таблицях, автором яких є Н. В. Римар. Лістинг коду представлений в Додатку 2. Для визначення спектральної густини потужності був застосований метод Велча, який у сучасному пакеті Matlab називають також методом усереднення модифікованих періодограм — averaged modified periodogram method. У цьому методі, завдяки перекриттю по заданому запису, можна сформувати більшу кількість сегментів, тим самим зменшив величину дисперсії періодограми, і, відповідно, зменшити втрати інформації. Оцінка періодограми Велча $\tilde{S}_y(\bar{\omega})$ розраховується за формулою:

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

Де множник U визначається наступним чином:

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

K – кількість сегментів, L – довжина одного сегмента, $w[n]$ – вагова функція, $x[n]$ – дискретні відліки, $\bar{\omega} = \omega T$ – безрозмірна кругова частота [50], [51]. У програмному середовищі MatLab це було реалізовано за допомогою функції `pwelch` із зазначеними параметрами вікна, кількості виборок, що перекриваються та частотою: `[pxx8,f] = pwelch(data,1024*2,1024,1024*8,fs)` [див. Додаток 2].

Результати спектральної густини потужності для кожного стовпчика представлені на рисунку 2.3.

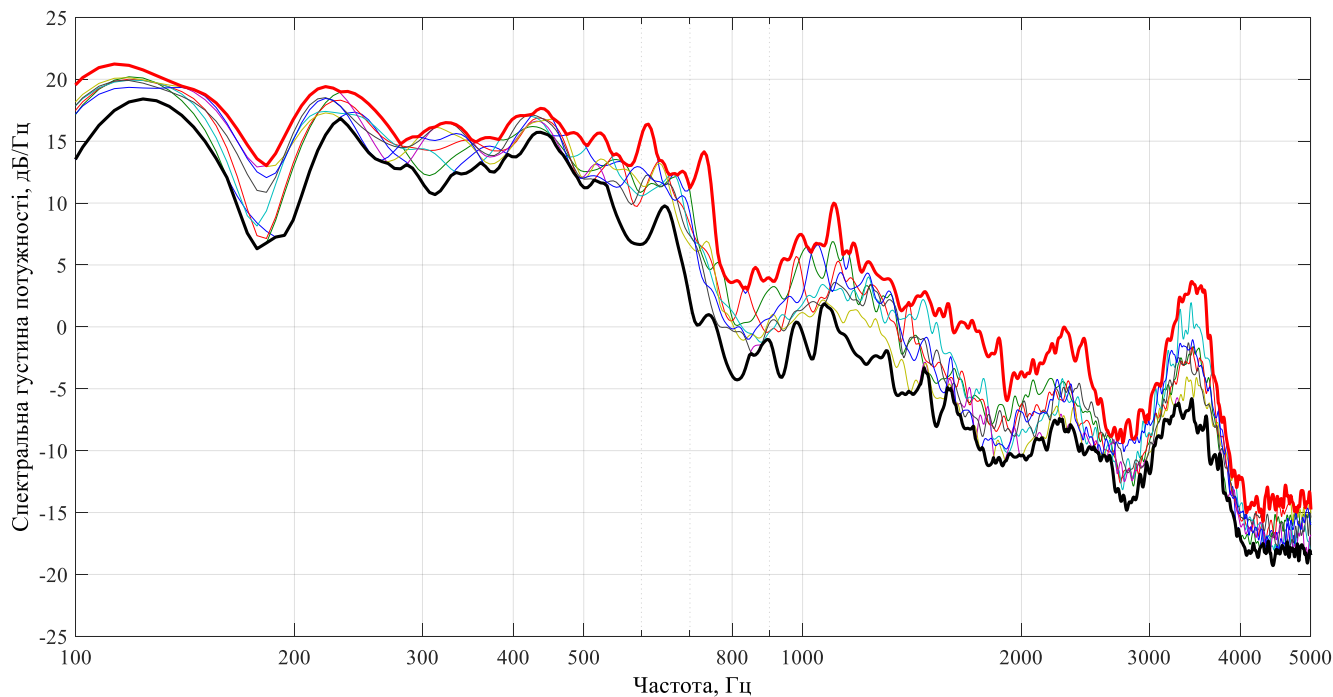


Рисунок 2.3. Рівень спектральної густини потужності мовного сигналу для окремих стовпчиків артикуляційної таблиці Н. В. Римар

На рисунку 2.4 відображена максимальна різниця рівнів спектральної густини потужності мовного сигналу артикуляційних таблиць вищезазначеного автора.

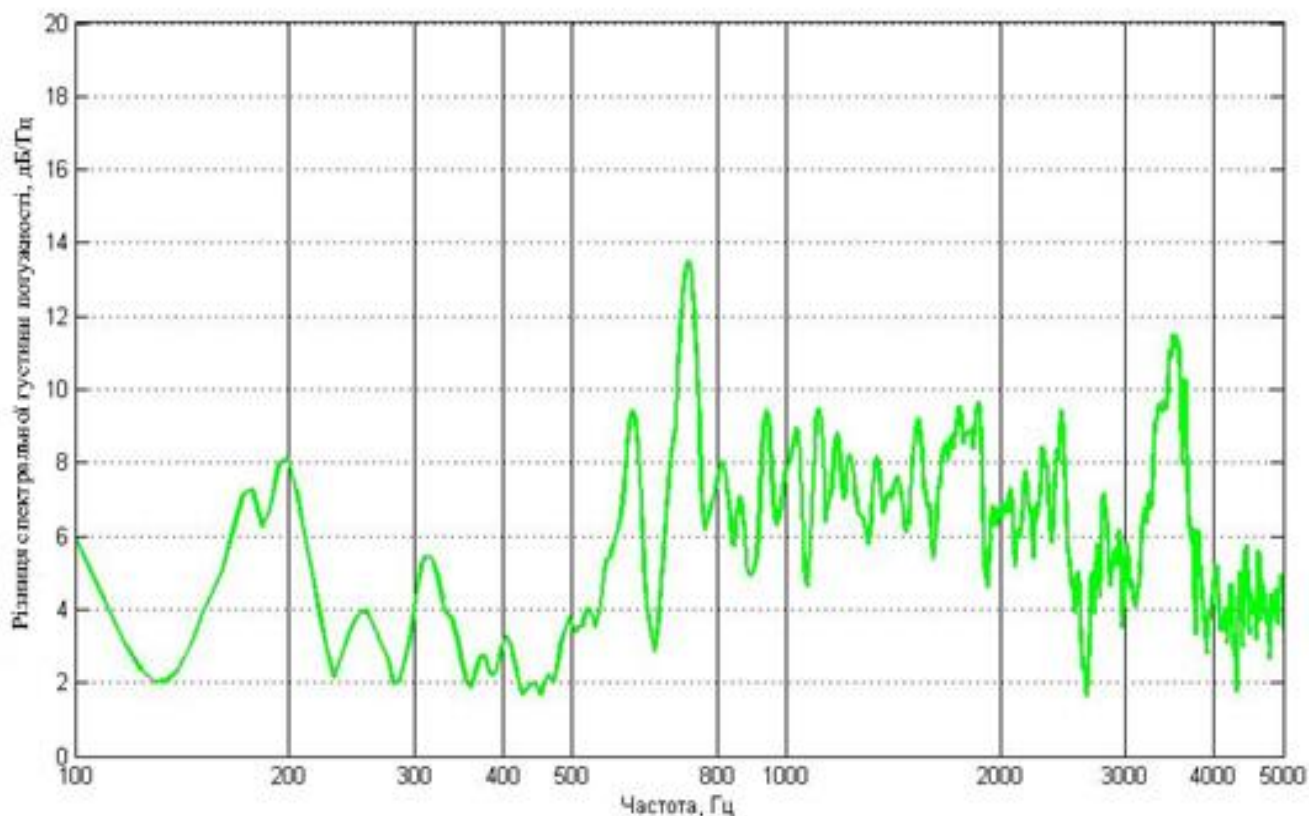


Рис. 2.4. Максимальна різниця рівнів спектральної густини потужності мовного сигналу в окремих стовпчиках артикуляційних таблиць

Отримані результати відображають різницю рівнів спектральної густини потужності мовного сигналу для різних стовпчиків артикуляційної таблиці від 2 дБ до майже 14 дБ, залежно від частотної складової. Найбільші відхилення спостерігаються в діапазонах частоти 600-800 Гц та 3-4 кГц, а також – достатньо значні (до 10 дБ, тобто у 10 разів за потужністю сигналу) в діапазонах 800-2500 Гц та в районі 200 Гц.

Дані дослідження свідчать не лише про суттєву різницю внеску приголосних звуків (високочастотний спектр), а і голосних звуків (формантні частоти яких лежать в області низьких частот) [47].

Для найбільш повного представлення звукової особливості української мови, слід привести результати дослідження частоти використання літер у трьох найпопулярніших стилях української мови [52]. Аналіз також проводився за допомогою зареєстрованого авторського програмного модулю «Буквожор»

[Додаток 1] для визначення спектру української мови [44]. Отримані графічні результати представлені на рисунку 2.5., а результати найбільш вживаних літер української мови представлені у відсотках — у таблиці 2.5 [52].

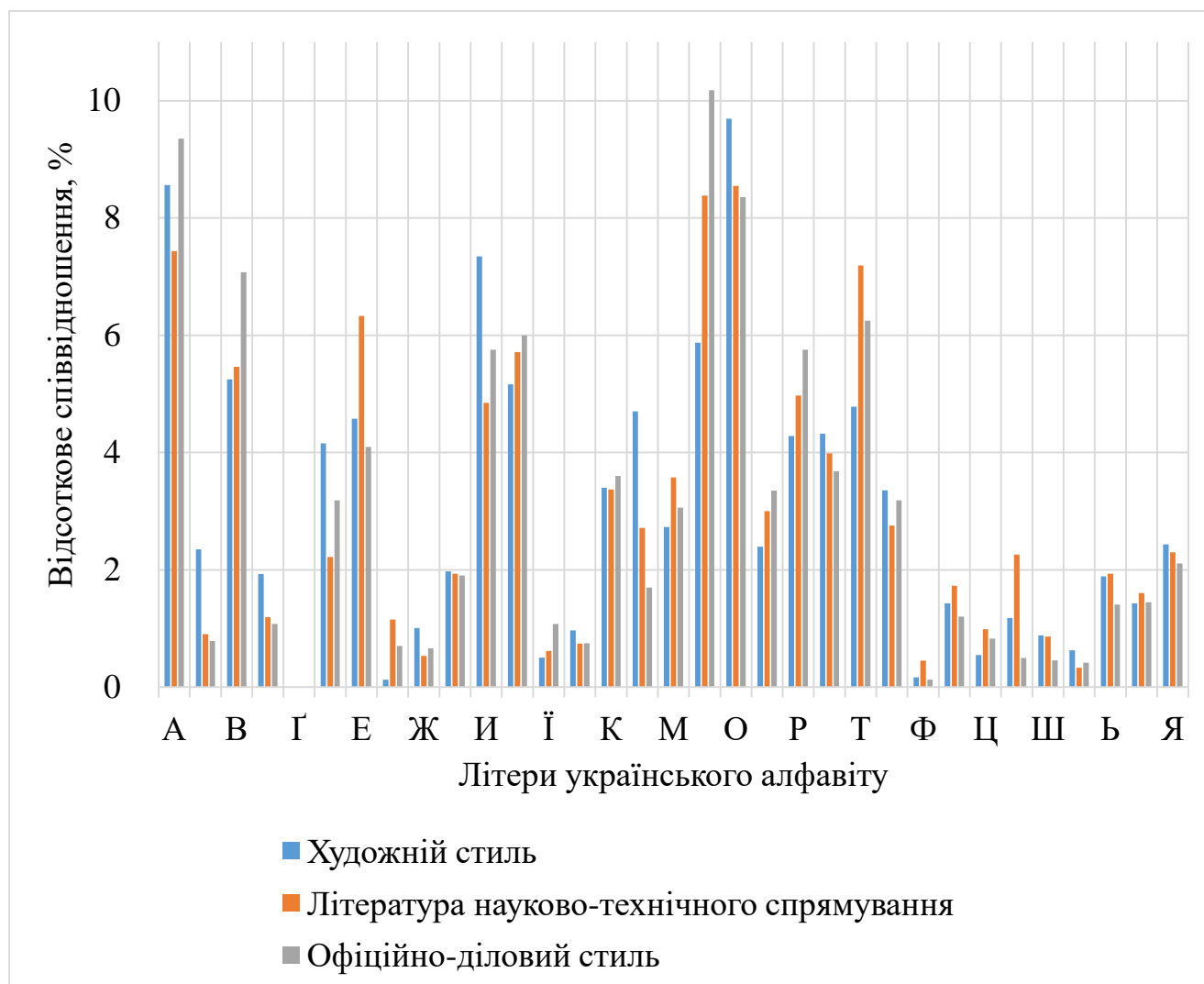


Рис. 2.5. Відсоткове співвідношення частоти використання літер українського алфавіту у досліджуваному текстовому матеріалі [52]

Таблиця 2.5. Літери алфавіту, що найчастіше вживаються у різних стилях української мови

Літера українського алфавіту	Художній стиль мови, %	Науковий стиль мови, %	Офіційно-діловий стиль мови, %
А	8,56	7,44	9,35
О	5,88	8,38	10,18

О	9,69	8,55	8,36
В	5,25	5,46	7,08
Т	4,78	7,19	6,25
І	5,16	5,71	6,00

При створенні збалансованих односкладових таблиць для української мови варто брати до уваги отримані результати частоти використання літер української мови, але не базуватися на них, як на основному параметрі для підбору слів. Слід зауважити, що слух реагує на звукові сполучення, а не проводить диференціацію кожної літери [37].

Варто звернути увагу, що після прийняття постанови про український правопис у 2019 році [53] ситуація із частотним розподілом літер української мови може суттєво змінитися. Однією з вагомих впливів на результат є правопис запозичених з грецької мови слів, що можуть писатися через літеру «т», а не «ф» [53]. Тому питання створення нового електронного словнику української мови та визначення частотності розподілу літер є актуальними на сьогоднішній день.

Зазначимо, що частотний аналіз вживаності літер не може слугувати вичерпною оцінкою підбору мовного матеріалу. Саме тому, для створення артикуляційних діагностичних таблиць необхідно використовувати об'єктивний підхід на основі усереднених акустичних характеристик мови [11], [37].

Висновки до розділу 2

1. Питання частоти використання літер алфавіту у мовних матеріалах є актуальним для кожної мови, оскільки отримані показники допомагають у вирішенні низки задач. Для української мови таку задачу ставили неодноразово, однак для вирішення завдань дисертаційної роботи був розроблений авторський модуль, який є універсальним, оскільки його можна інтегрувати у будь який веб-сайт. За допомогою нього були проаналізовані існуючі україномовні таблиці, які підлягали під сумнів через відсутність використання об'єктивних критеріїв оцінки.
2. Отримані результати свідчать, що критерії добору слів до діагностичних україномовних таблиць такі як статистичний аналіз частоти повторюваності букв українського алфавіту, визначення ритміко-динамічної структури мови за кількістю складів, визначення місця наголосу та закінчень слів можуть бути корисними для додаткової перевірки відібраного мовного матеріалу, однак не можуть бути основним принципом для його створення.
3. Автором пропонується метод спектральної оцінки мови, який дозволить виконати об'єктивний аналіз словникового масиву артикуляційних таблиць і оцінити його приналежність до даної мови. В зв'язку з цим виникла необхідність у вирішенні задачі по знаходженню усередненого спектра української мови, оскільки на сьогоднішній день не знайдено нормативного документа, що засвідчив би існування такого показника.

РОЗДІЛ 3. ІНТЕГРАЛЬНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ УКРАЇНСЬКОЇ МОВИ

3.1. Фізичні характеристики мовного сигналу

Перш за все, проаналізуємо основні характеристики мови, які впливають з притаманних їй властивостей.

М. Б. Покровський зазначає, що особливості будь-якої мови можуть бути описані трьома групами характеристик:

1. Семантична або смислова сторона мови.
2. Фонетичні характеристики. Саме до цієї групи відноситься параметр, що визначає як часто зустрічається той чи інший звук або їх поєднання у мові. Отримані дані цього параметру беруть до уваги при побудові таблиць для визначення ступеню розбірливості мови.
3. Фізичні характеристики, тобто ті, що характеризують мовний сигнал, як змінний звуковий тиск [6].

Якщо розглядати мовний сигнал як процес розповсюдження звукової хвилі в повітряному середовищі, то його можна характеризувати набором об'єктивних параметрів, таких як:

- Часова структура звукової хвилі;
- Тривалість звучання;
- Спектральний склад;
- Інші параметри, що впливають на суб'єктивне сприйняття звуку [54].

При цьому, частотний спектр відтворюваного мовного сигналу має в своєму складі велику кількість гармонічних компонент, амплітуди яких зменшуються з підвищенням частоти. Висота основного тону, або фундаментальна частота, визначає тип голосу (бас, тенор, альт і т.д.), але майже не відіграє ролі в диференціюванні звуків. Варто зазначити, що в процесі мови можуть відбуватися систематичні змінення фундаментальної частоти, тому вона може коливатися в

межах однієї октави при звичайному спілкуванні. Оскільки фундаментальна частота голосу визначається числом коливань голосових зв'язок, то її можна розрахувати за формулою:

$$f = 0,5 \sqrt{\frac{T}{L \cdot M}}, \quad (3.1)$$

Де T – натяг голосових м'язів, $[н/м^2]$; L – довжина голосових м'язів, $[м]$; M – поверхнева маса, $[кг/м^2]$ [6], [54].

Розбірливість мови, що передається, залежить від того, яка кількість формант дійшла до вуха досліджуваної людини без спотворень, яка із спотвореннями, а також відсоток зовсім не почутих формант. На спектрі основні форманти є підсиленими областями частот і саме вони мають найбільший вплив на звучання того чи іншого звуку [6].

Людина породжує поліхвилю при вимові того чи іншого слова, тобто комплексну хвилю, що складається із сукупності коливань, тому її дослідження полягає у аналізі спектру основних гармонік різної частоти та обертонів [52], [55]. Оскільки слух реагує на усереднену енергію звуку, то найзручнішим для об'єктивного аналізу є спектр потужності, який не містить інформації про фазові співвідношення частотних складових.

Усереднений спектр мови є залежністю середнього спектрального рівня мови від частоти протягом тривалого часу. У роботі [27] зібрана інформація щодо відомих донині досліджень з цього питання, де зазначено, що одні автори за час аналізу обирали 16,6 хвилин, а, наприклад, в іноземних джерелах час усереднення при спектральному аналізі мовного сигналу складав 1 хвилину. Така характеристика визначає розподіл енергії мови в зазначеному частотному діапазоні та не містить інформації щодо фазових співвідношень частотних складових. Виходячи з фонетичних, лінгвістичних та інших особливостей, кожна мова має свій відмітний спектр, який необхідно встановити та досліджувати, оскільки мова не є сталою

величиною і може видозмінюватися із часом, видаляючи діалектизми та додаючи новоутворені компоненти.

3.2. Знаходження усередненого спектра української мови

На сьогоднішній день питання сприйняття української мови з точки зору акустики досліджувалося замало, саме тому визначення усередненого спектру мови, який би враховував ці особливості, є актуальною задачею, що відкриє можливості для великої кількості досліджень.

Аналіз літературних джерел за цією проблематикою засвідчив, що лише невелика кількість дослідників в усьому світі займалися питанням знаходження усередненого спектра.

Так, наприклад, була знайдена робота по знаходженню усередненого спектра діалектів Йонгу Матху та Піт'яндзяджарі, які є мовами австралійських аборигенів. Автори статті хотіли показати кількісну різницю між мовами аборигенів та австралійською англійською, що, у подальшому, допоможе проводити діагностику слуху з урахуванням специфіки діалектів, оскільки встановлено, що понад 80% дітей аборигенів мають значну втрату слуху вже після двох тижнів від дня народження. Отримані графічні результати середніх спектрів свідчать про невелику різницю між діалектами для групи дикторів-чоловіків, відносно результатів, що отримали для жінок. Однак визначено, що частоти вище 2 кГц мають більше високі амплітуди для австралійської англійської, а в діапазоні від 750 Гц до 2 кГц – для діалектів Йонгу Матху та Піт'яндзяджарі, що призводить до необхідності розробки діагностичного матеріалу для більш чіткого визначення ступеню погіршення мови при набутій туговухості у більш дорослих людей та розробки комунікаційних засобів для дітей [56].

Ще однією роботою, що засвідчує необхідність пошуку усередненого спектра для кожної мови, є стаття Й. А. МкКалага, К. Ту та Г. Л. Льюїта, автори якої знайшли усереднений спектр групи діалектів китайської мови.

Мандаринська мова має у своєму складі декілька ретрофлексних та піднебінних фрикативів та африкатів, що відповідає частотному діапазону від 1 до 9 кГц, в той час як англійська мова має діапазон від 3 до 8 кГц. Також, на відміну від англійської мови, зміна голосної форманти в Мандарині призводить до зміни рівня енергії низьких та середніх частот.

В дослідженні авторів брали участь 20 носіїв англійської та 20 носіїв діалекту Мандарин, які читали короткі уривки текстів для рівня 6-8 класу. Аудіодоріжки тривалістю 2,5 хвилини були записані у студії звукозапису із рівнем шуму навколишнього середовища 40 дБА. Отримані результати засвідчують схожість характеру кривої спектра для англійської та мандаринської мови, однак варто зауважити, що для кожної області частот показники відрізняються. Саме ця різниця є суттєвою, наприклад, при налаштуванні слухового апарату для людини [57].

Для визначення усередненого спектра української мови за основу досліджень обраний метод М. Б. Покровського, що був розроблений для російської мови, який детально описаний у розділах 6.4 та 6.5 [6]. Для пришвидшення реалізації методу автором [6] була сконструйована автоматична установка, що виконувала статистичну роботу. Вона складалася з вимірювального конденсаторного мікрофону, сполученого з підсилювачем, фільтрів, пристрою квадровання, інтегратору та лічильника. Аналізований діапазон частот становив від 0 до 8000 Гц. Індивідуальний запис кожного диктора виконувався у звукоізоляційній акустичній камері за допомогою вимірювального конденсаторного мікрофона, який був розташований на відстані 8 см від рота диктора. Підтвердження результатів способу було отримане шляхом проведення звукозапису для п'яти чоловічих та п'яти жіночих голосів дикторів в одному випадку та для чотирьох чоловічих та чотирьох жіночих голосів дикторів в іншому випадку з отриманням схожих результатів в обох випадках. В якості мовного матеріалу було використано мовний матеріал таких

функціональних стилів мовлення, як газетні тексти та твори письменників російською мовою. Отриманий результат пронормовано щодо середнього рівня мови, який був прийнятий за умовний нуль [6].

Основним недоліком описаного способу є використання спеціальної установки для статистичного аналізу мови, яка є достатньо складною у виготовленні та використанні. Застосований частотний діапазон, мовний матеріал та тривалість звукозапису також звужують інтервал отриманих результатів обробки мовного сигналу та зменшують точність визначення усередненого спектра мови, а також не враховують особливості такого мовного матеріалу, як українська мова.

В проведених нами дослідженнях [52], [58] визначення усередненого спектра мови виконується на основі мовного матеріалу щонайменше трьох функціональних стилів мовлення. При цьому враховується той факт, що будь-яка текстова інформація має свій стиль написання, що може суттєво впливати на отримані результати через специфіку термінології та запозичень, що використовується.

У зв'язку з цим для аналізу були обрані три найпопулярніші стилі мовлення української мови: художній (вір «Зачарована Десна» Олександра Довженка), офіційно-діловий (нормативно-правові акти Конституції України), а також текстова інформація науково-технічного змісту (конспект лекцій по конструюванню електроакустичних перетворювачів НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського»). Твори у своєму складі не містили іноземних слів (тобто тих, що були написані латинськими літерами), що є також вагомим показником для подальшого аналізу. Об'єм матеріалу, що був проаналізований, становив 2500 прочитаних літер у кожному тексті, без урахування пробілів. Похибка прочитання становила ± 5 літер для того, щоб слова були дочитані до кінця, тим самим зберігаючи інтонаційну картину [52].

Визначена статистична структура текстового матеріалу представлена на рисунку 3.1. Слід зауважити, що можливо встановити відповідність між буквами українського алфавіту і домінуючими частотами слухового діапазону, скориставшись рекомендаціями до оцінки результатів тональної аудіометрії [59].

Таким чином, на підставі отриманого розподілу букв українського алфавіту (Рисунок 3.1) та бланку аудіограми із зазначеним діапазоном звуків у розмовній мові, можна висунути припущення про те, що пікові значення спектра будуть знаходитися в діапазоні частот 125-500 Гц і в межах частоти 1000 Гц [11], [52].

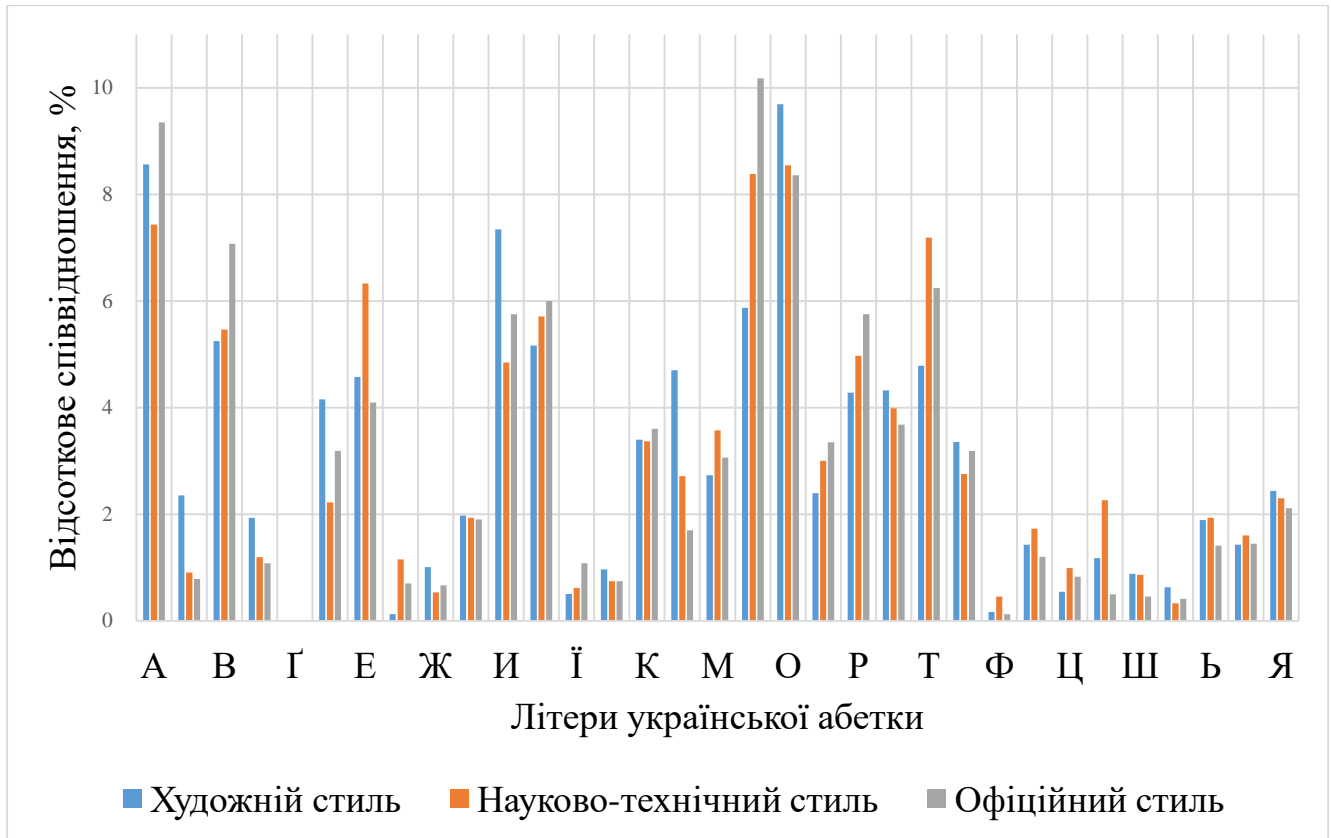


Рис. 3.1. Відсоткове співвідношення частоти використання літер українського алфавіту в досліджуваному текстовому матеріалі

Запис текстів мовного матеріалу був проведений дикторами у звукоізоляційній акустичній камері кафедри Акустики та Акустoeлектроніки НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського» за допомогою прецизійного звукозаписувального обладнання - вимірювального ненаправленого конденсаторного мікрофона [60], сполученого зі звуковою картою [61], під'єднаною до комп'ютерного обчислювального пристрою, обладнаного засобом збереження даних у цифровій формі. Узагальнену блок-схему представлено на рисунку 3.2. Основні характеристики звукоізоляційної камери наступні:

- Габаритні розміри: 6,2x3,35x3 м
- Час реверберації на частоті 63 Гц - 0,15 с
- Час реверберації в діапазоні частот від 200 Гц до 8000 Гц - 0,2 с.

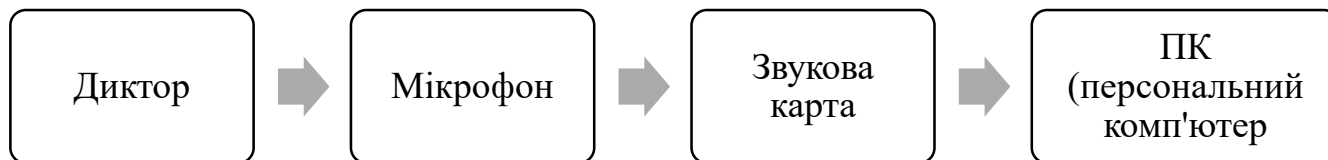


Рис. 3.2. Узагальнена схема проведення звукозапису досліджуваного матеріалу

В якості дикторів було обрано 4 дівчини та 3 хлопця віком 20-22 роки без явних дефектів мовлення та із нормальним станом слухового аналізатора. Останній зазначений параметр досить важливий, оскільки людина із наявною довготривалою приглухуватістю має погіршення при вимові. Відстань від рота диктора до мікрофона становила 30 см [6], [52].

Досліджуваний діапазон частот вибраний у межах чутного слухового діапазону людини. Для знаходження спектра української мови нижня гранична частота становитиме 100 Гц, що відповідає першій форманті чоловічого голосу [6], [55], верхня - 14-15 кГц, оскільки певна група приголосних букв української мови має високочастотний спектр (в районі 6 кГц) зі своїми обертонами. Зауважимо, що межі частотного діапазону для визначення спектру слід визначати окремо для кожної мови, оскільки кожна мова має свої фонологічні особливості.

Первинна обробка записаних звукових доріжок проводилася у програмному пакеті Pro Tools [62], послідовність операцій для отримання усередненого спектру – у програмному середовищі MatLab [63]. Частота дискретизації становила 44100 Гц. В якості вагової функції було обрано вікно Хеммінга. Середня довжина кожної звукової доріжки становила близько 4 хвилин, загальна тривалість записаних звукових доріжок — більше 90 хвилин чистої мови без додавання музичного оформлення. Аналіз звукового матеріалу проводився за допомогою оцінки Велча з

50% перекриттям між сегментами, довжиною вікна = 441 та роздільною здатністю 100 Гц:

$$\tilde{S}_y(\bar{\omega}) = \frac{1}{KLU} \sum_{i=0}^{K-1} \left| \sum_{n=0}^{L-1} w[n]x[n + Di]e^{-in\bar{\omega}} \right|^2, \quad -\pi \leq \bar{\omega} \leq \pi, \quad (3.2)$$

Сигнали пронормовані за потужністю. Приклад скрипту приведений у Додатку 3.

Першочергово був визначений вплив первинної обробки записаних звукових доріжок на спектральну характеристику сигналу. Отриманий результат представлений на рисунку 3.3. Для цього видалені зайві складові сигналу, а елементи запису зведені у єдиний блок акустичного сигналу у цифровому виді. Під зайвими складовими розуміємо ті частини звукового сигналу, які не мають інформативного навантаження (паузи, тривалість яких перевищувала 0,5 секунди, невдалі дублі, тощо).

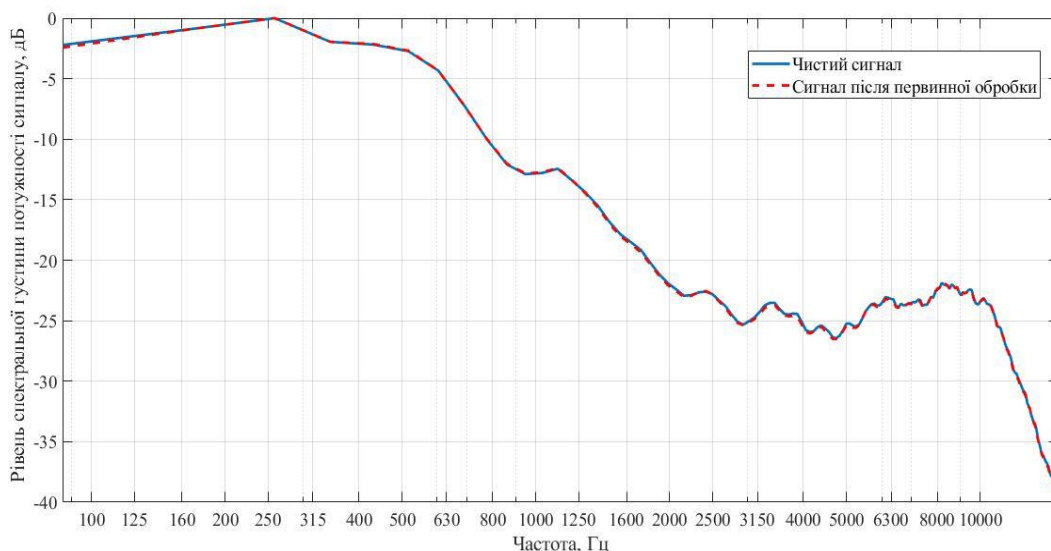


Рис. 3.3. Графік аналізу впливу первинної обробки на спектральну характеристику сигналу

По осі ординат вказано нормований рівень спектральної густини потужності сигналу в децибелах. Червоний графік відповідає корисному сигналу, що пройшов первинну обробку, синій – звукова доріжка без будь-якої обробки. Отриманий

максимальний розкид між кривими у 2 дБ свідчить про необов'язковість видалення неінформативної частини звукових доріжок через мінімальний вплив на результат.

При аналізі амплітудного складу записаного мовного матеріалу та визначенні усередненого спектра мови варто перевірити вплив компресії та еквалізації на спектральну характеристику сигналу. В цьому є потреба, оскільки будь-який аудіоматеріал перед потраплянням до будь-якого «ефіру», проходить етапи фільтрації при мікшуванні та зведенні. Вплив еквалізації враховується шляхом визначення зміни спектральної густини потужності акустичного сигналу в залежності від частоти при використанні фільтру низьких частот 2-го порядку з крутизною зрізу 12 дБ/октаву та частотою зрізу 500, 1000, 2000 та 4000 Гц, а також від часу відновлення сигналу для часу відновлення сигналу не менше 50 мс. Це пов'язано з тим, що основна енергія мовного сигналу знаходиться в низькочастотній області (пік близько 500 Гц), окрім шиплячих та свистячих звуків (пікове значення може бути на 6 кГц та вище).

Вплив компресії враховується шляхом визначення спектральної густини потужності акустичного сигналу в залежності від частоти при фільтрації акустичного сигналу при ступенях стиснення у межах від 2:1 до 8:1.

Даний аналіз виконувався за допомогою Pro Tools [62] та апаратного комплексу Matlab [63]. Отримані результати представлені на рисунку 3.4 і 3.5 свідчать про те, що компресія призводить до згладжування піків та флуктуацій кривої спектральної щільності потужності, еквалізація - змінює характер графіка спектра мови без впливу на його «характерні точки», приклад яких вказаний стрілочками на рисунку 3.4.

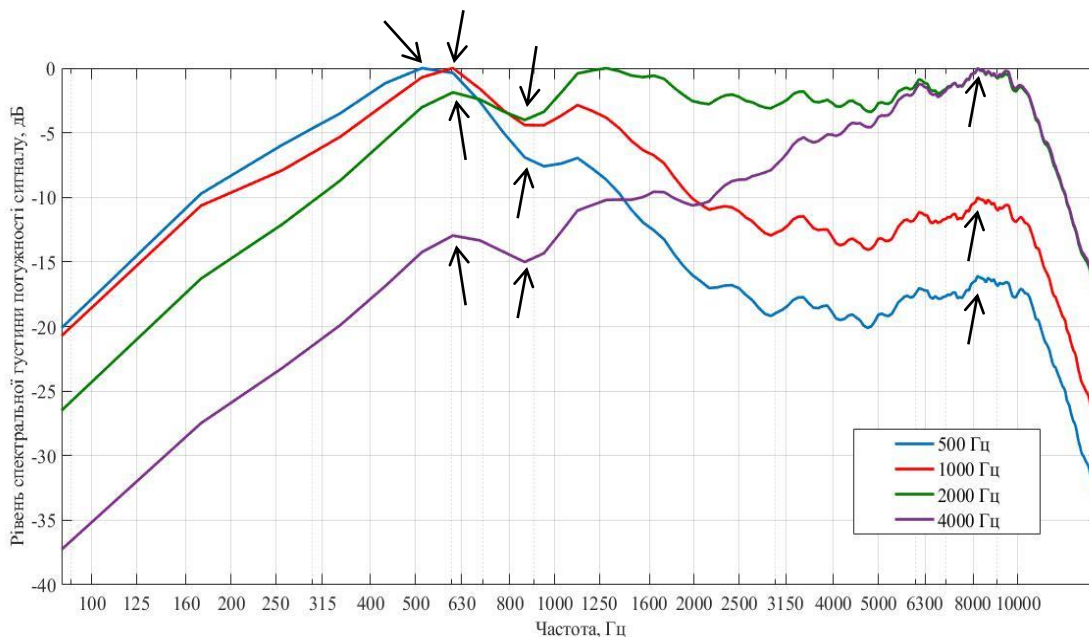


Рис. 3.4. Графік впливу еквалізації сигналу

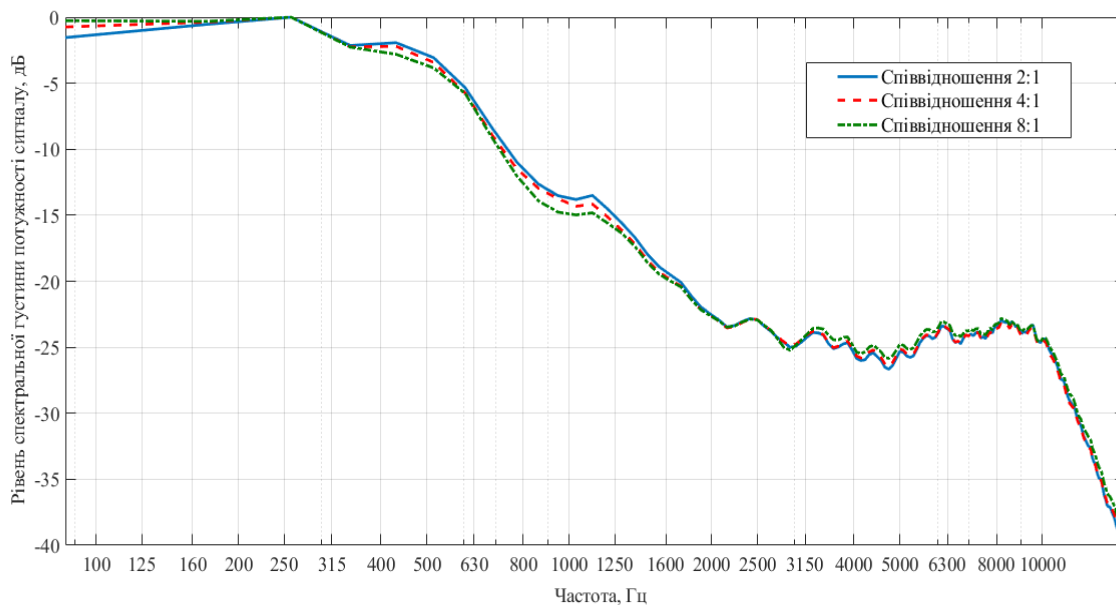


Рис. 3.5. Графік впливу компресії сигналу на зміну спектральної густини потужності акустичного сигналу

Під «характерними точками» спектра (визначення автора) слід розуміти стійкі максимуми і мінімуми спектральної щільності потужності, які зберігаються незалежно від способу обробки звукового сигналу (компресії/еквалізації) та вибору мовного матеріалу. «Характерні точки» частотної залежності спектральної

щільності потужності мовного сигналу є відмінною ознакою спектра певної мови [52].

Для уточнення «характерних точок» спектра української мови був додатково оброблений масив аудіофайлів (2358 звукових доріжок, що відповідає приблизно 90 хвилинам звучання). Аудіокниги відбиралися з метою максимального представлення різних регіонів України (відмінні риси діалекту) та різного часу написання твору (часові зміни мови більш ніж за 50 років). Кількість звукових доріжок впливає на пологість кривої рівня щільності спектра потужності.

Отриманий результат (рисунок 3.6) представлений в третьоктавних смугах частот. Рівень звукового тиску нормований відносно максимального значення сигналу. Для отримання абсолютних показників потрібно врахувати всі технічні характеристики звукозаписувальної апаратури, котра була використана при роботі із усім масивом аудіокниг.

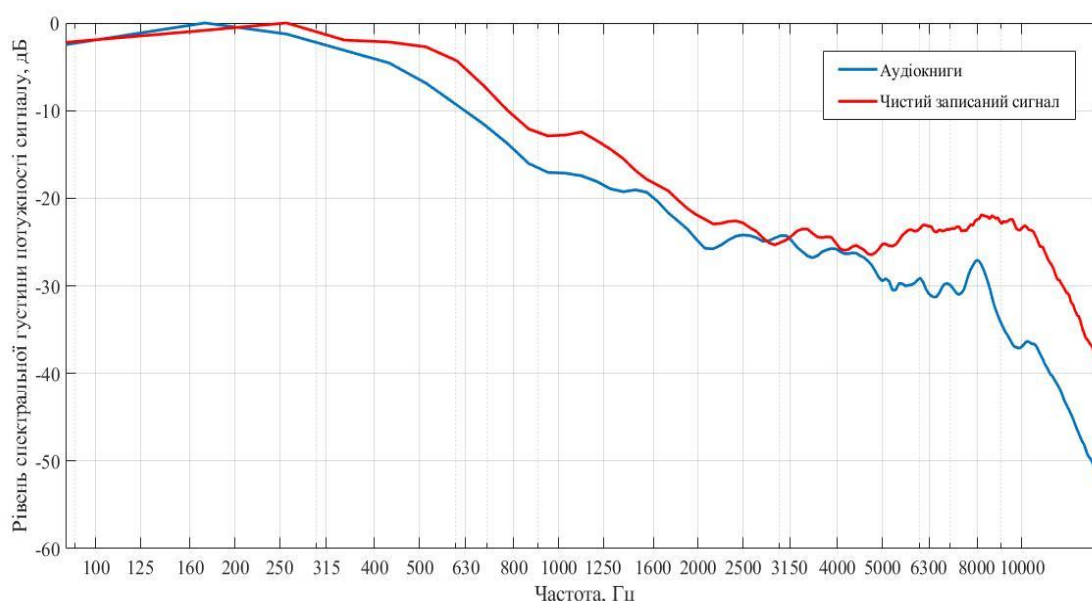


Рис. 3.6. Графік порівняння еталонного спектру української мови зі спектром звукового масиву аудіоматеріалів

Отримані графіки показують, що характерними ознаками спектру для української мови є: максимум у діапазоні 100-500 Гц (з піком в районі 250 Гц) та

підйом на частотах 1000-1250 Гц. Такі результати підтверджують гіпотезу, що була висунута на основі статистичного аналізу використання букв алфавіту в досліджуваному текстовому матеріалі та представлена на початку третього розділу дисертаційної роботи.

Також результати свідчать, що для української мови характерно посилення енергетичного рівня мови на високих частотах (5000-10000 Гц). Різниця рівнів спектральних складових на двох графіках пов'язана з додатковою обробкою звукових доріжок аудіофайлів, що, як зазначено вище, має істотний вплив на фінальні показники.

За еталонний спектр української мови приймаємо графік спектральної густини потужності, записаного за допомогою дикторів, без будь-якої додаткової обробки, показаний на рисунках 3.3 та 3.6 для випадку чистого сигналу.

3.3. Порівняння спектральних характеристик української мови зі спектрами європейських мов

Для уточнення «характерних точок» спектру української мови був проаналізований аудіоматеріал російською мовою. Обидві мови належать до балто-слов'янської групи. Згідно результатів попередніх досліджень, еквалізація та компресія, що є основами зведення та мікшування мовного сигналу після запису, не змінює характеру кривої спектру мови. Тому для порівняння із рядом європейських мов, з урахуванням відсутності всіх носіїв різних мов на території України, використовувалися аудіокниги без музичного супроводу. Для дослідження було оброблено масив аудіокниг із 261 звукової доріжки. На рисунку 3.7 представлено порівняння спектрів за умови, що україномовні та російськомовні сигнали були взяті з аудіокниг [52].

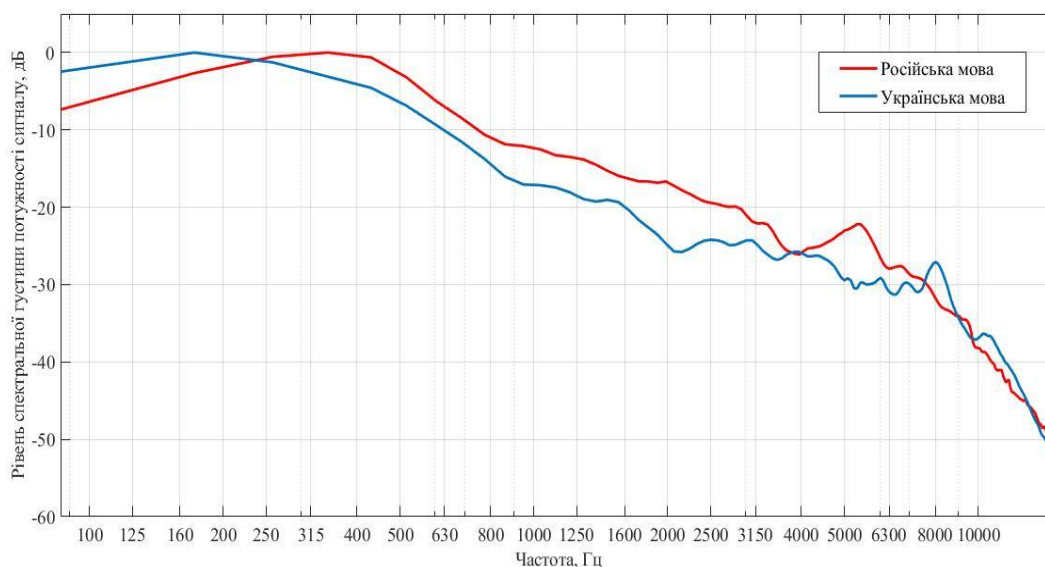


Рис. 3.7. Порівняння графіків спектральної щільності потужності масиву аудіокниг російською та українською мовами

Результати порівняння підтверджують спорідненість мов. При цьому для української мови характерний більший енергетичний рівень низькочастотних спектральних складових, що свідчить про грудний характер звучання. Максимальні значення спектральних складових для російської мови зміщуються вище та досягають максимальних значень на частотах 300-400 Гц.

На середніх частотах показники мають спадаючий характер. Різниця флуктуації на високих частотах пов'язана із різним ступенем вживаності шиплячих ті свистячих звуків, а також їх поєднань у обох мовах. Для підтвердження цієї думки можна звернутися до рисунку 2.2 дисертаційної роботи, де представлені гістограми вживаності літер алфавіту у діагностичному мовному матеріалі.

Проведені також дослідження, в ході яких порівнювався спектр української мови з іншими європейськими мовами [64]. Однак спектр визначався за допомогою готових звукових доріжок аудіокниг через складність знаходження на території України носіїв ряду європейських мов. Порівняльні результати рівнів спектральної густини потужності для різних європейських мов представлені на рисунках 3.8-3.11.

На рисунку 3.12 зображено спектри всіх досліджуваних мов для зручності аналізу.

За досліджуваний матеріал були обрані наступні твори:

1. Українська мова: Еплблом Енн у перекладі Андрія Іщенко «Історія ГУЛАГу»;
2. Російська мова: Сухотін Анатолій «Парадокси науки»;
3. Польська мова: Рафал Земкевіч «Polaństwo»;
4. Італійська мова: МакКенна Пол «Зміни своє життя за 7 днів»;
5. Англійська мова: Пеллі Скотт «Істина гідна розповіді: репортер шукає сенс в історіях нашого часу».

Зазначений мовний матеріал відноситься до художнього та публіцистичного стилів мови, як найбільш поширених та тих, що не мають специфічної термінології, як, наприклад, твори технічного чи медичного спрямувань.

Тривалість кожного досліджуваного матеріалу становила дві з половиною хвилини з похибкою у п'ять секунд, задля збереження інтонаційної картини. Досліджуваний діапазон – від 100 Гц до 20 кГц, що пов'язано із потраплянням деяких звуків, притаманних італійській та польській мовам, область високих частот.

Обробка результатів та побудова графіків рівнів спектральної густини потужності сигналів через вагове вікно Хемінга проводилися за допомогою програмного середовища MatLab [63].

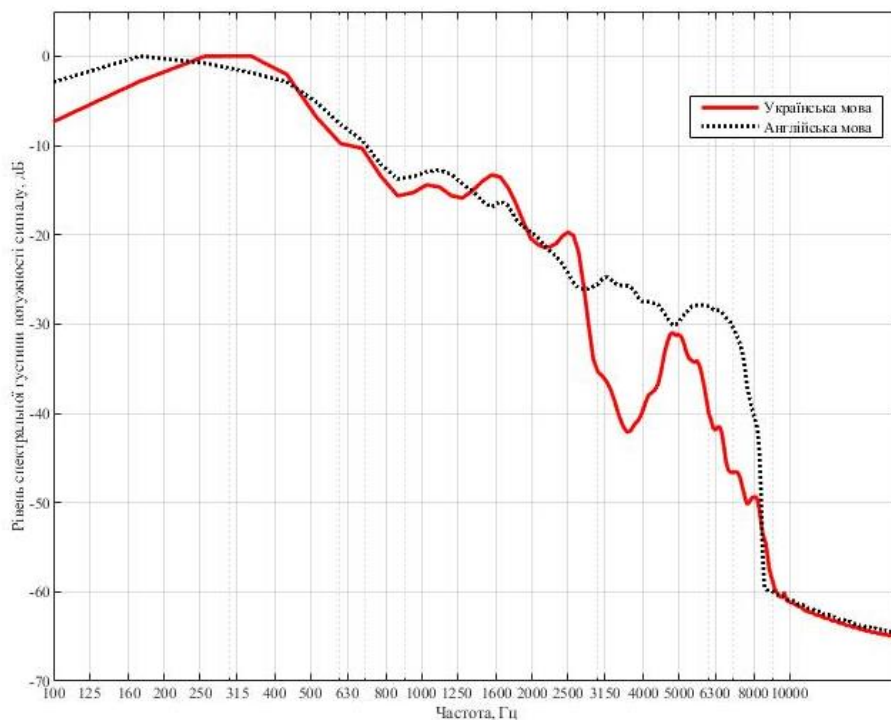


Рис. 3.8. Порівняння рівнів спектральної щільності потужності аудіокниг українською та англійською мовами

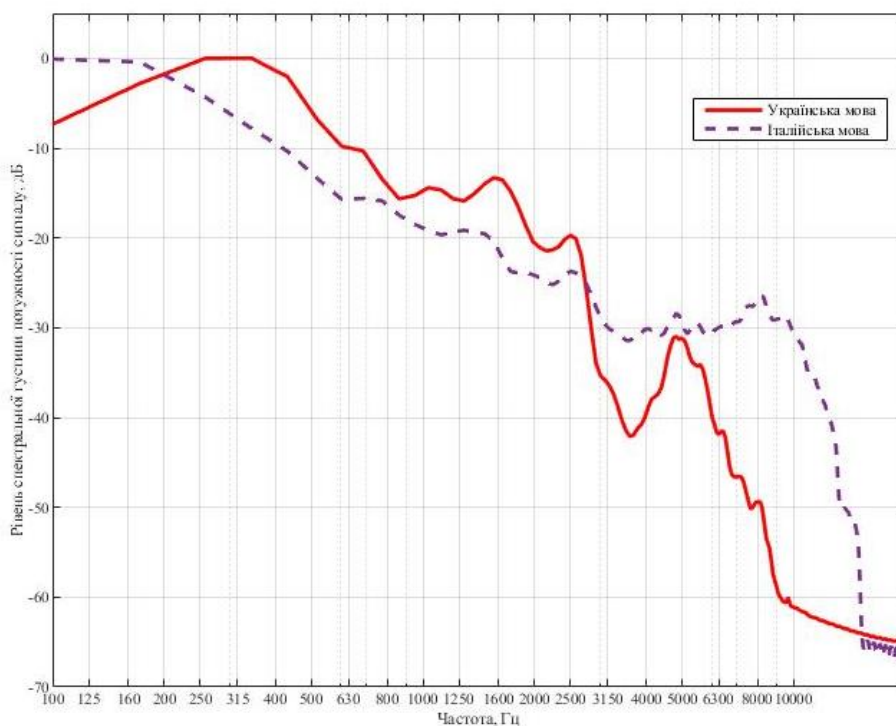


Рис. 3.9. Порівняння рівнів спектральної щільності потужності аудіокниг українською та італійською мовами

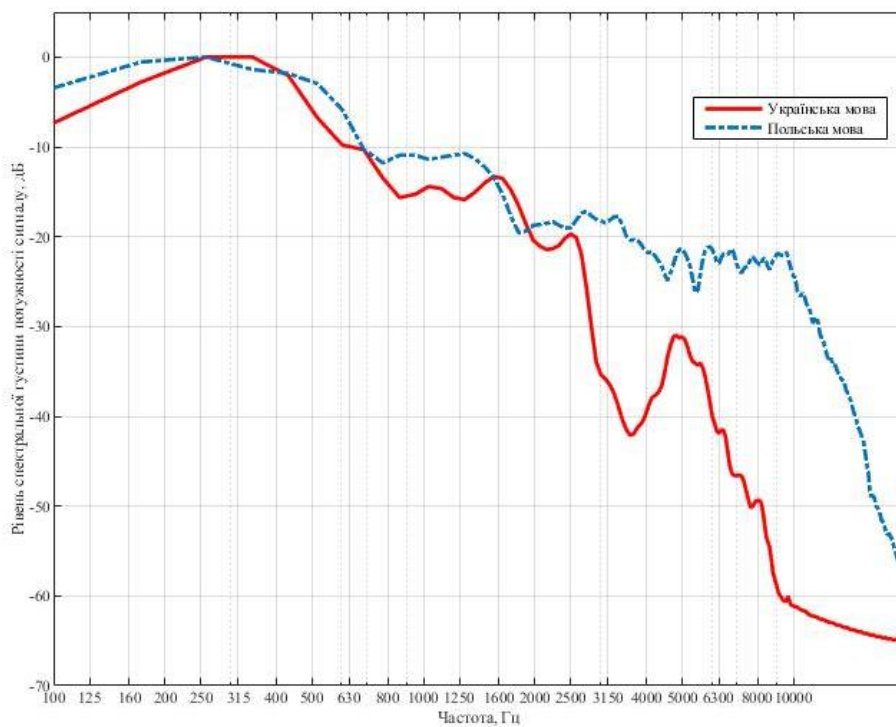


Рис. 3.10. Порівняння рівнів спектральної щільності потужності аудіокниг українською та польською мовами



Рис. 3.11. Порівняння рівнів спектральної щільності потужності аудіокниг українською та російською мовами

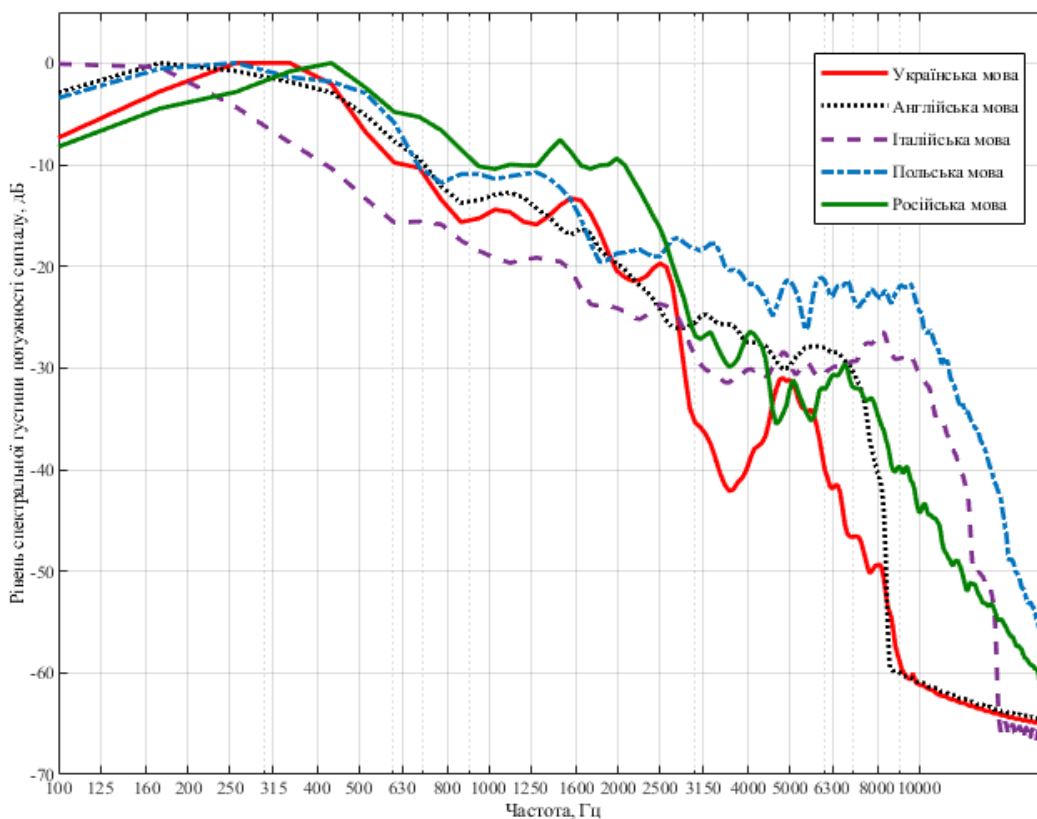


Рис. 3.12. Порівняння рівнів спектральної щільності потужності аудіокниг українською та іншими європейськими мовами

Отримані результати свідчать про можливу акустичну подібність української мови до польської (рисунок 3.7) та англійської (рисунок 3.9) мов у області низьких частот та італійської (рисунок 3.8) й англійської – у високочастотному діапазоні. А також підтверджують визначені раніше результати спорідненості української та російської мов (рисунок 3.10) із незначним зміщенням в область високих частот. Для підтвердження цих висновків доцільно продовжити дослідження із використанням неспотворених мовних сигналів [52], [64].

Оскільки питання спектру української мови та його порівняння з іншими європейськими мовами є новим, то у подальшому було проведено дослідження рівню спектральної густини потужності сигналу досліджуваної мови із такими групами мов: західногерманська, романська, західнослов'янська та східнослов'янська. До західногерманської групи відносяться англійська та німецька

мови; до романської – італійська та французька, до західнослов'янської – польська, словацька; до східнослов'янської групи – українська, російська та білоруська мови.

Принцип дослідження той самий, що і зазначений вище, лише дещо видозмінений скрипт коду, представлений у Додатку 3.

Мовним матеріалом обрані твори у художньому та публіцистичному стилях із урахуванням інтонаційної та емоційної складових мовлення:

1. Західно-германська група: англійська мова – Стівен Кінг «11/22/63», Пеллі Скотт «Істина, гідна розповіді: репортер шукає сенс в історіях нашого часу»; німецька мова – Роберт Стівенсон «Острів скарбів», Журнал «Наука».
2. Романська група: італійська мова – Жюль Верн «Двадцять тисяч льє під водою», МакКенна Пол «Зміни своє життя за 7 днів»; французька мова – Артур Конан Дойл «Шість Наполеонів», Чарльз Дарвін «Походження видів»;
3. Західнослов'янська група: польська мова – Ернст Теодор Амадей Гофман «Лускунчик і Мишачий король», Рафал Земкевіч «Polactwo»; словацька мова – Дан Домінік «Вузол», Іво Томан «Позитивне мислення не для всіх»;
4. Східнослов'янська група: українська мова – Василь Манько «Жовтий князь», Еплбом Енн «Історія ГУЛАГу»; російська мова – Микола Гоголь «Вій», Сухотін Анатолій «Парадокси науки»; білоруська мова – Агата Крісті «Збірник оповідань», Давидовський Володимир «Громадянин Великого Князівства. Франциск Скорина»..

. Тривалість кожного звукової доріжки становить дві з половиною хвилини ± 5 секунд. Діапазон, що досліджувався - від 100 Гц до 20 кГц [52], [64]. Всі отримані результати представлені на рисунку 3.13.

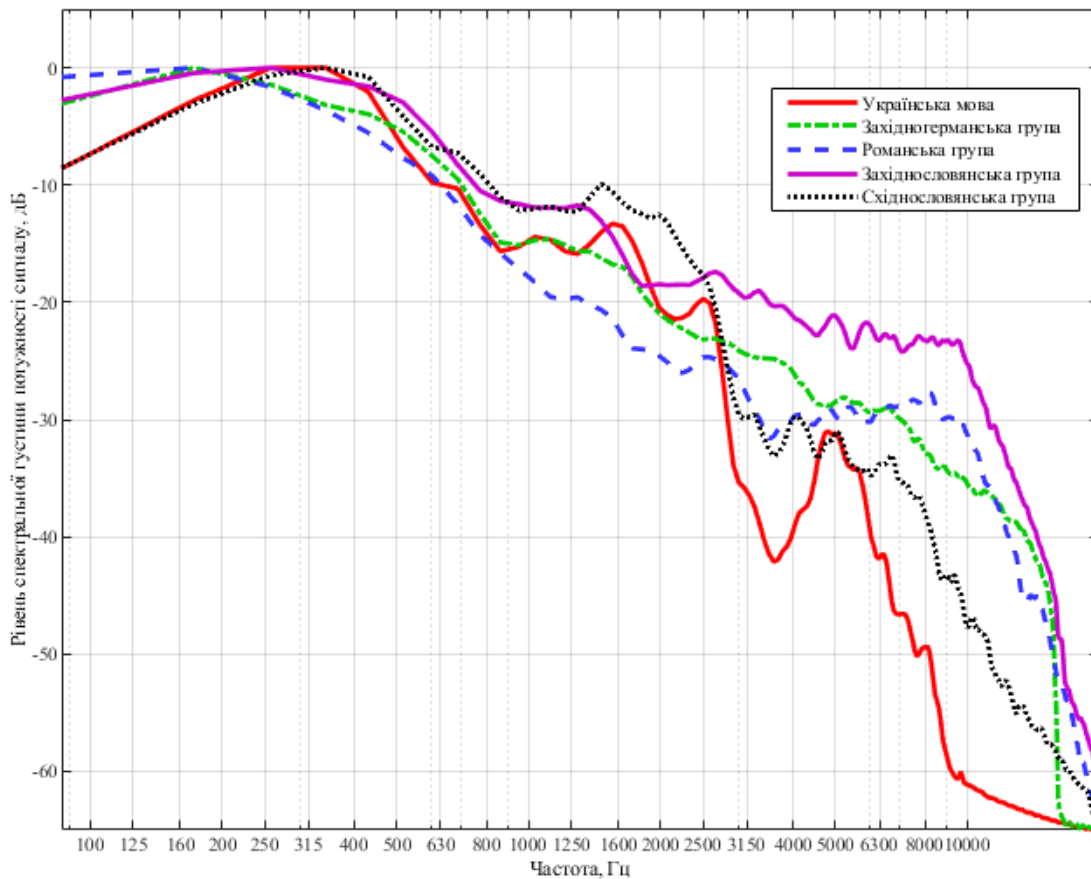


Рис. 3.13. Графік порівняння спектру української мови із отриманими спектрами різних груп європейських мов

Отримані результати вказують на те, що в області низьких частот, а саме до 200 Гц, українська мова має найнижчий рівень спектральної густини потужності сигналу, відносно інших груп мов. Характер кривої істотно відрізняється від попередньо представлених результатів (рис. 3.5). Це пов'язано із тривалістю звукової доріжки, що досліджувалася, а також обраним матеріалом та часом його написання. Однак, варто зазначити, що характер графіку, а саме максимум у діапазоні 100-500 Гц (з піком в районі 250 Гц), підтверджує раніше представлений результат середнього спектру української мови (рис. 3.5) [52].

В області частот від 250 Гц до 1250 Гц крива спектру української мови схожа за характером із східнослов'янською (рисунок 3.14) та західнослов'янськими (рисунок 3.15) групами, що підтверджує раніше представлені результати.

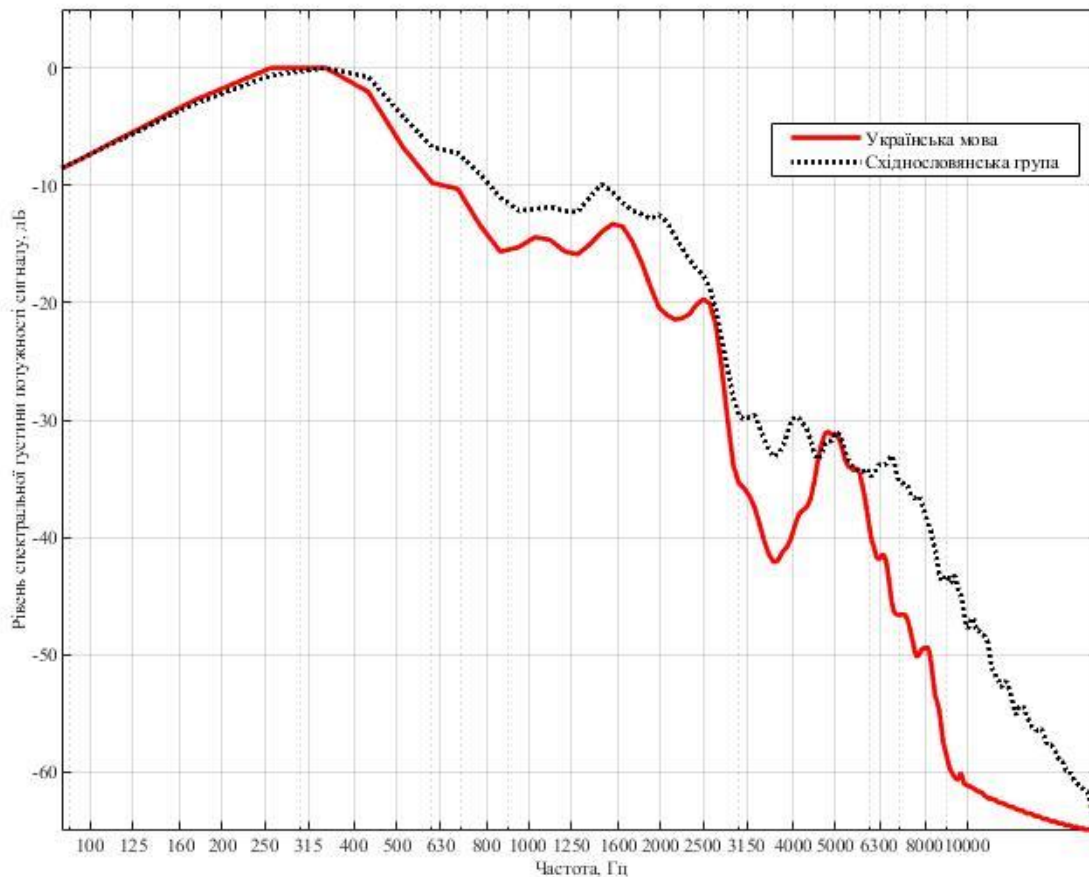


Рис. 3.14. Графік порівняння спектру української мови із східнослов'янською групою мов

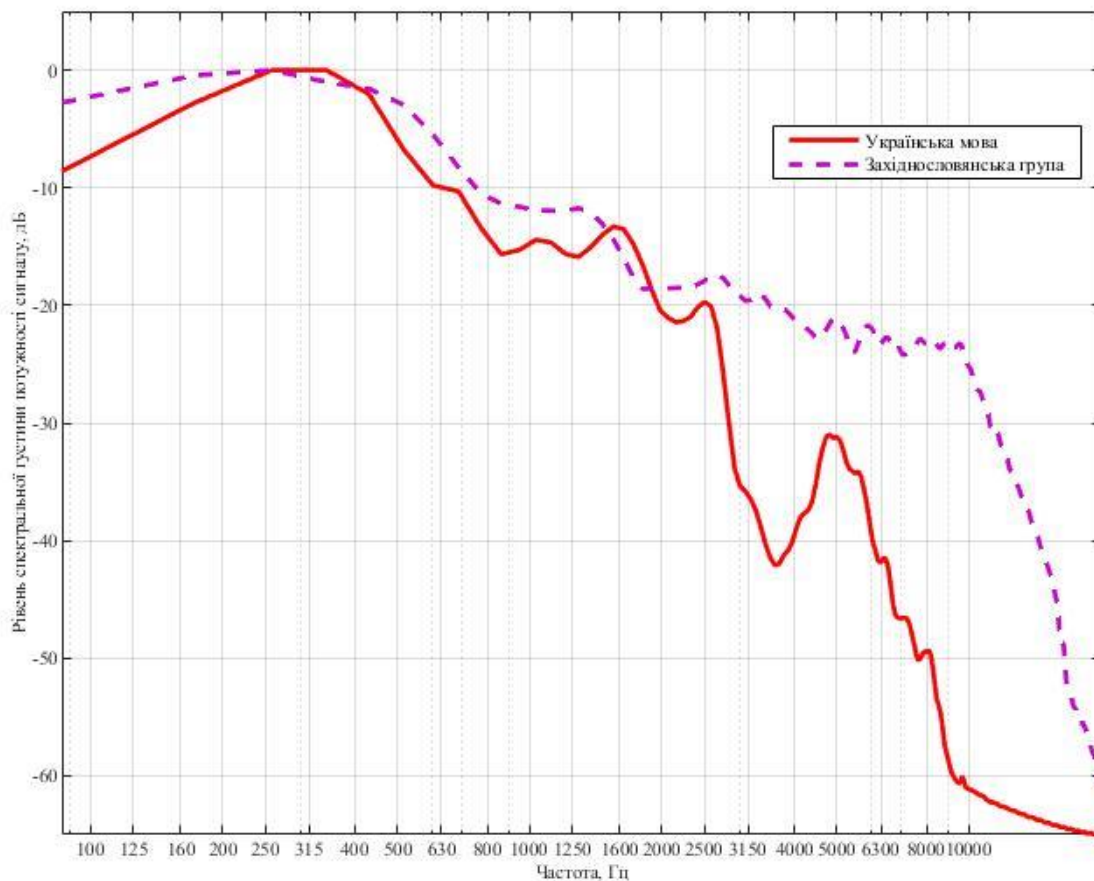


Рис. 3.15. Графік порівняння спектру української мови із західнослов'янською групою мов

Значну різницю між отриманими результатами української мови та західнослов'янської групи (рисунок 3.14) можна спостерігати в області від 1,5 кГц до 11 кГц, оскільки словацька та польські мови широко використовують цокаючі та шелестячі звуки, а також звукосполучення зі звуком «ш». Цікавою є форманта з максимумом на 5000 Гц, яку можна назвати «співочою формантою». При цьому, всі інші групи мов не мають подібної різкої зміни кривої в області високих частот. Лише у романської групи (рисунок 3.16) є незначний підйом в області від 6300 Гц до 10 кГц. Вірогідно, це є впливом використання шиплячих звуків у французькій мові [64], [65].

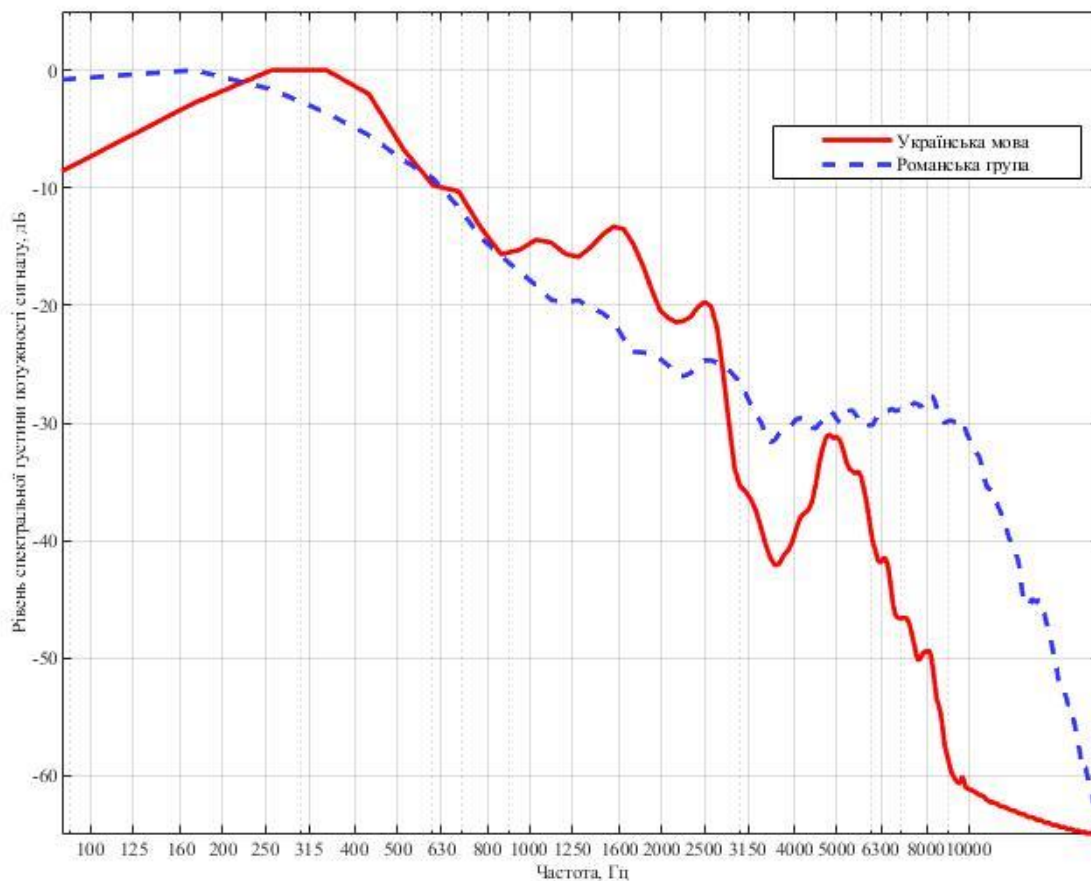


Рис. 3.16. Графік порівняння спектру української мови із романською групою мов

Загалом, можна сказати про відмінність української мови від всіх груп мов, що досліджувалися, та, навіть, від східнослов'янської, до якої вона належить. Це ще раз підтверджує факт того, що мовний матеріал для діагностики слуху та інших напрямлень, повинен розроблятися для української мови окремо.

Висновки до розділу 3

1. Знаходження залежності спектрального рівня мови від частоти протягом певного часу є актуальним для кожної мови, оскільки кожна відрізняється своїми лінгвістичними та фонетичними особливостями, що впливають на подальші дослідження у сфері акустики, лінгвістики та медицини. Донині питання сприйняття української мови з акустичної сторони досліджувалося достатньо мало, тому задача визначення її усередненого спектра є новою та актуальною.
2. Для вирішення поставленої задачі за основу була взята методика, запропонована М. Б. Покровським для російської мови та удосконалена, виходячи з сучасних технічних рішень. За досліджуваний матеріал були обрані три функціональні стилі мовлення, які є найбільш поширеними у використанні: художній, офіційно-діловий та науковий. Дані були записані в звукозаглушеній камері та оброблені за допомогою комп'ютерних програм. Результатом дослідження є графік спектральної щільності потужності української мови.
3. Авторами методу вперше запропоноване поняття «характерних точок» спектру. Експериментальним шляхом визначено вплив типової обробки звукового сигналу на вигляд кривої спектральної густини потужності сигналу. Отримані результати представлені у графічному вигляді та були запатентовані на державному рівні.
4. Для більш детального аналізу також був проведений ряд порівнянь отриманого спектру української мови з різними групами європейських мов. Отриманий спектр української мови допомагає обґрунтувати підхід до подальшого створення діагностичного мовного матеріалу, оскільки він буде в повній мірі відображати лінгвістичні та фонетичні особливості мови.

РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА МЕТОДИКИ СТВОРЕННЯ УКРАЇНОМОВНИХ ДІАГНОСТИЧНИХ ТАБЛИЦЬ

4.1. Добір вибірки односкладових слів для формування артикуляційних таблиць

Створення збалансованих односкладових таблиць українською мовою, мінімальних пар односкладових слів DRT полягає у розробці певної методології, за допомогою якої буде існувати можливість модернізації мовного матеріалу з плином часу. Варто зазначити, що в існуючих артикуляційних таблицях, авторами яких є Архипова О. О. та Н. В. Римар, використаний малий відсоток односкладових слів, що призводить до неможливості виокремлення самостійних таблиць. Зазначимо, що дисертаційна робота присвячена розробці методики створення україномовних діагностичних таблиць для використання в медичній галузі, тому певні критерії обрані саме для цього напрямлення (наприклад: вимоги до диктора).

Для отримання вибірки односкладових слів сучасної української мови був використаний великий електронний словник української мови (ВЕСУМ). Цей словник було обрано, оскільки він є єдиним безплатним словником української мови із відкритим онлайн-доступом, що містить розмічування частин мови (POS tagging). Через значну зміну правил української мови, дані електронного словника були оновлені авторами, тому повторне завантаження вибірки слів відбулося у серпні місяці 2019 року наново [52].

Отриманий список односкладових слів був записаний у заглушеній камері кафедри акустики та акустoeлектроніки НТУУ “КПІ ім. І. Сікорського”. Габаритні розміри кімнати: 6,2 x 3,35 x 3 м. Час реверберації на частоті 63 Гц становить 0,15 секунд. Час реверберації у діапазоні частот від 200 Гц до 8000 Гц – 0,2 секунди.

Для запису застосовувався вимірювальний мікрофон тайванського бренду Superlux ECM999 - всенаправлений поляризований мікрофон для вимірювань у вільному полі. Співвідношення сигнал-шум складає 70 дБ. Динамічний діапазон – 106 дБ [52].

Запис виконувався за допомогою звукової карти Focusrite Scarlett 2i2 – інтерфейсу із двома входами та 2 виходами, динамічний діапазон якого – 105 дБ. Прямий моніторний комутатор дозволяє відслідковувати вхідний сигнал із нульовою затримкою [52]. Блок-схема проведеного експерименту представлена на рисунку 3.2 дисертаційної роботи.

Диктором виступала дівчина, віком 25 років, без суттєвих дефектів мови при спілкуванні. Такі умови запису текстів відповідають вимогам, встановленим на міжнародній колегії реабілітаційної аудіології. У статі [52] зазначено, що для запису тесту спікер не має бути професійним диктором із поставленою мовою, але повинен бути носієм мови із нормальною вимовою. Також слід звернути увагу, що це має бути людина, яка не вживає великої кількості діалектизмів та не має специфічного наголосу. Яскравим прикладом щодо специфічного наголосу в українській мові є етнографічні групи людей, такі як: лемки, бойки, гуцули тощо.

Обраний диктор повинен контролювати рівень, із яким промовляються слова та намагатися тримати його сталим. Зробимо зауваження, щодо статі людини, голос якої буде записуватися. Міжнародною колегією реабілітаційної аудіології встановлено, що для великої кількості тестів був обраний жіночий голос як «акустичний компроміс» між чоловічим та дитячим. Ця рекомендація стосується всіх мов і аргументується можливістю використання мовного матеріалу для дітей, які на підсвідомому рівні спокійніше відносяться до материнського голосу. Однак не слід відкидати необхідність запису чоловічого голосу, адже це допоможе співставити деякі види тестів однієї мови з іншою, а також визначити вплив тембральної окраси на результати досліджень [52].

Відстань від диктора до мікрофона складала 30 см. Висота мікрофону, відносно підлоги – 160 см.

Запис та первинна обробка отриманого сигналу проведена у програмному продукті від компанії Apple Inc. – Logic Pro X, що є інструментарієм для професійного створення музики, обробки та мікшування звуку [52].

Всього було записано 2145 односкладових слова, що становить понад 30 хвилин чистого звукового сигналу. Вони відносяться до різних частин мови.

Під первинною обробкою отриманого сигналу слід розуміти видалення невдалих дублів, наприклад, нечіткої вимови слова або випадкової заміни літер (наприклад: ототожнення літер «г» та «ґ»). Варто зазначити, що видаленням вдихів-видихів, а також пауз, час яких менше 0,5 секунд, можна знехтувати [52].

У вибірці односкладових слів присутні такі, що потребують додаткового аналізу. Це слова із використанням подвоєних літер, наявністю більше трьох приголосних, а також тривалістю самого слова. Виходячи з логічних міркувань, варто виокремити та видалити з досліджуваного матеріалу всі слова, що містять подвоєння через неможливість чіткого вимовлення кожної літери в слові.

Задля підтвердження гіпотези був проведений невеликий експеримент, в ході якого було обрано 18 слів з усього списку односкладових. Основними критеріями вибору є: наявність подвоєння літер у слові, відмінна загальна кількість літер та різні початкові літери. У ролі експертів (загальна кількість – 20) виступили жінки та чоловіки віком від 20 до 27 років.

Отримані результати свідчать про те, що 55% слів, що мають в своєму складі подвоєння, були почуті мінімум з однією помилкою. При цьому не можливо визначити до якої групи приголосних відносяться саме ті, що не були сприйняті людським вухом при першому прослуховуванні. Виходячи з коментарів досліджуваних варто зауважити, що деякі слова були написані «по пам'яті», тобто просто вгадувалися.

Враховуючи результати експерименту та умову, що мовний матеріал артикуляційних діагностичних таблиць повинен бути доступним для розуміння аудиторії з великим віковим діапазоном, односкладові слова, що мають у своїй структурі подвоєння, не підлягають подальшому аналізу [7]. Таким чином, із первісної вибірки слів було видалено 21 слово.

Надалі проаналізуємо слова за тривалістю звучання, а саме ті, що мають в своєму складі дві літери. За даними психофізіологічної акустики часова тривалість звуків складає 30-300 мс. Причому звук, тривалістю менше 30 мілісекунд, не буде сприйматися самою слуховою системою людини через її фізіологічну будову [52].

Згідно пункту 11.2 ГОСТ Р ИСО 8253-3-2014 «Акустика. Методы аудиометрических испытаний. Часть 3. Речевая аудиометрия», в якому говориться про те, що «кожний тестовий елемент повинен представляти собою ділянку мовного сигналу тривалістю від 1 до 2 с», слова, які не підпадають під зазначений часовий проміжок, видаляються з масиву мовного матеріалу та не підлягають подальшому аналізу.

Для отримання подальших висновків щодо формування вибірки слів, представимо наочний вигляд часових характеристик декількох односкладових слів, що складаються лише з двох літер. Задля цього була використана ліцензійна програма Adobe Audition – комплексний набір інструментів для роботи із аудіофайлами на професійному рівні, візуалізації спектрів, мікшування та іншої обробки звуку. Перевагою цієї програми є підтримка практично будь-якого формату файлів [66].

Отримані результати зображені на рисунках 1-6. Слід зазначити, що праворуч від візуалізації форми звукової хвилі знаходиться графік спектральної густини потужності із використанням вікна Хемінга та швидкого перетворення Фур'є у логарифмічному масштабі.

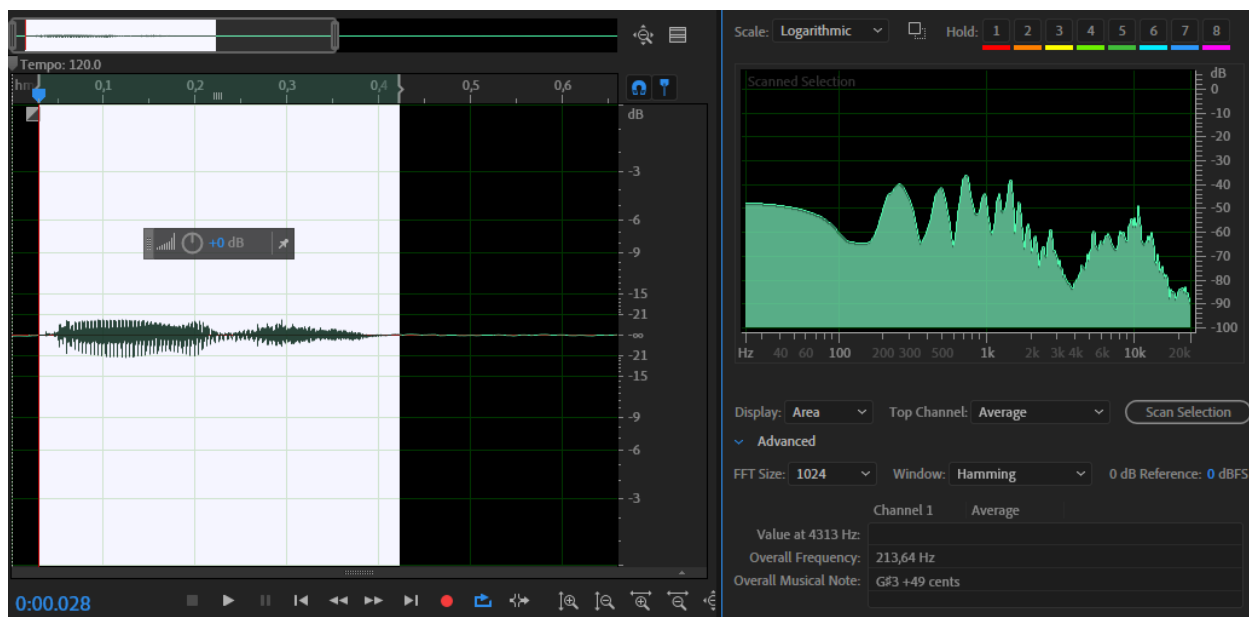


Рис. 4.1. Графічний аналіз слова «Аз»

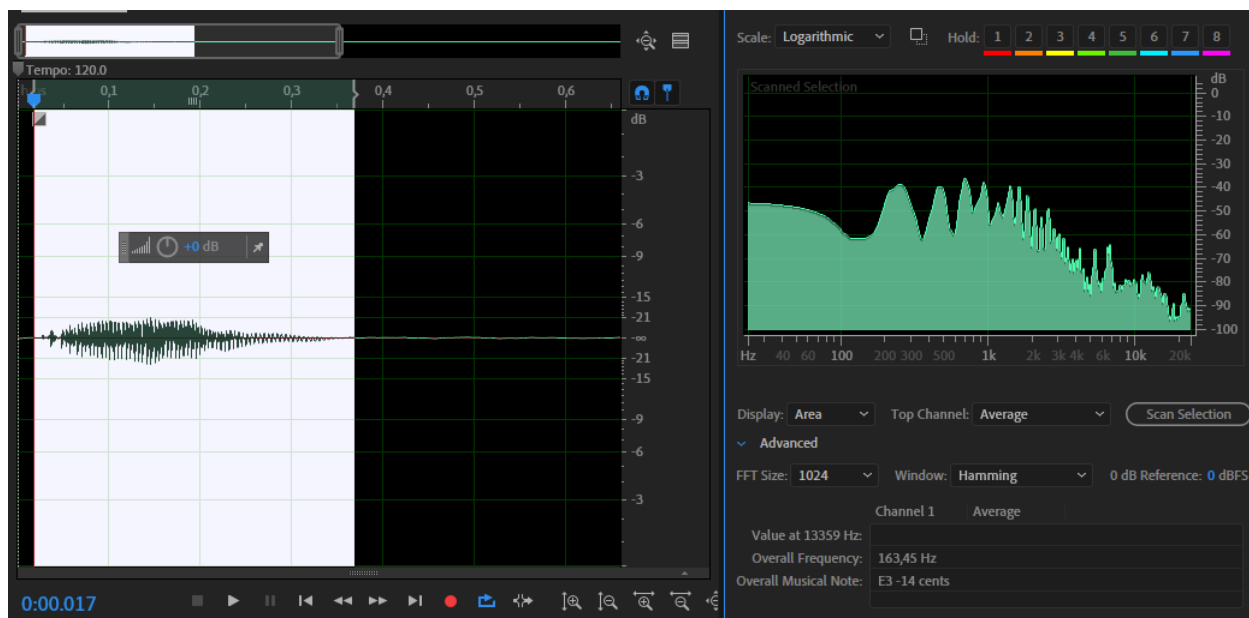


Рис. 4.2. Графічний аналіз слова «Ай»

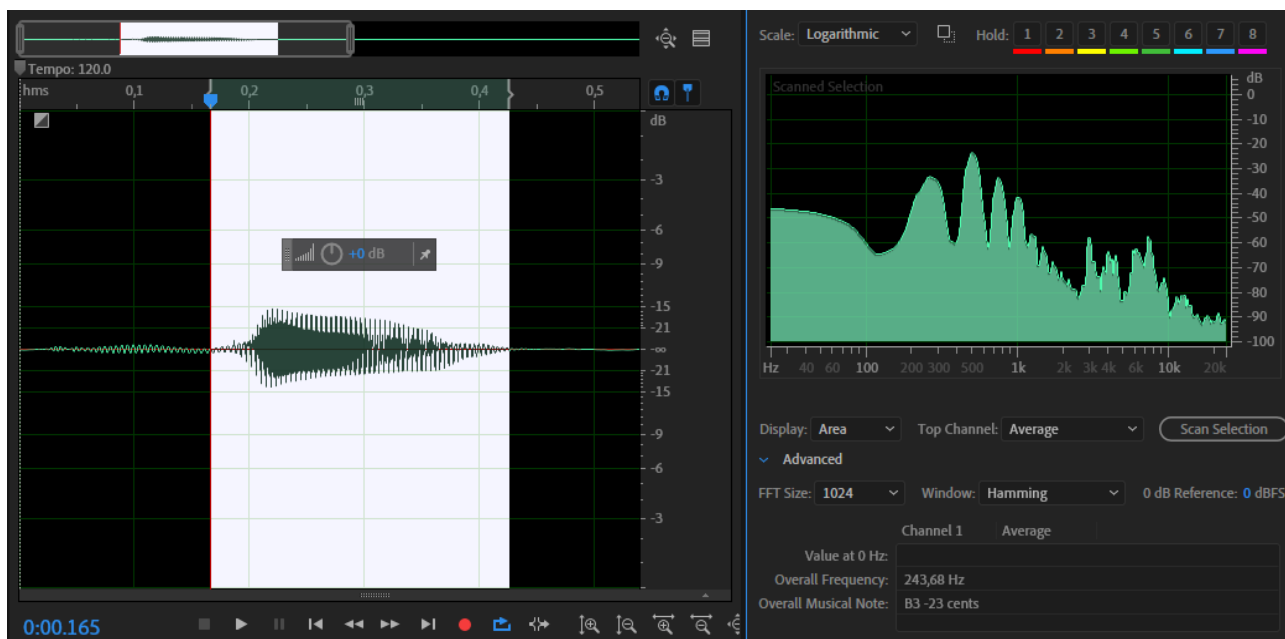


Рис. 4.3. Графічний аналіз слова «Бо»

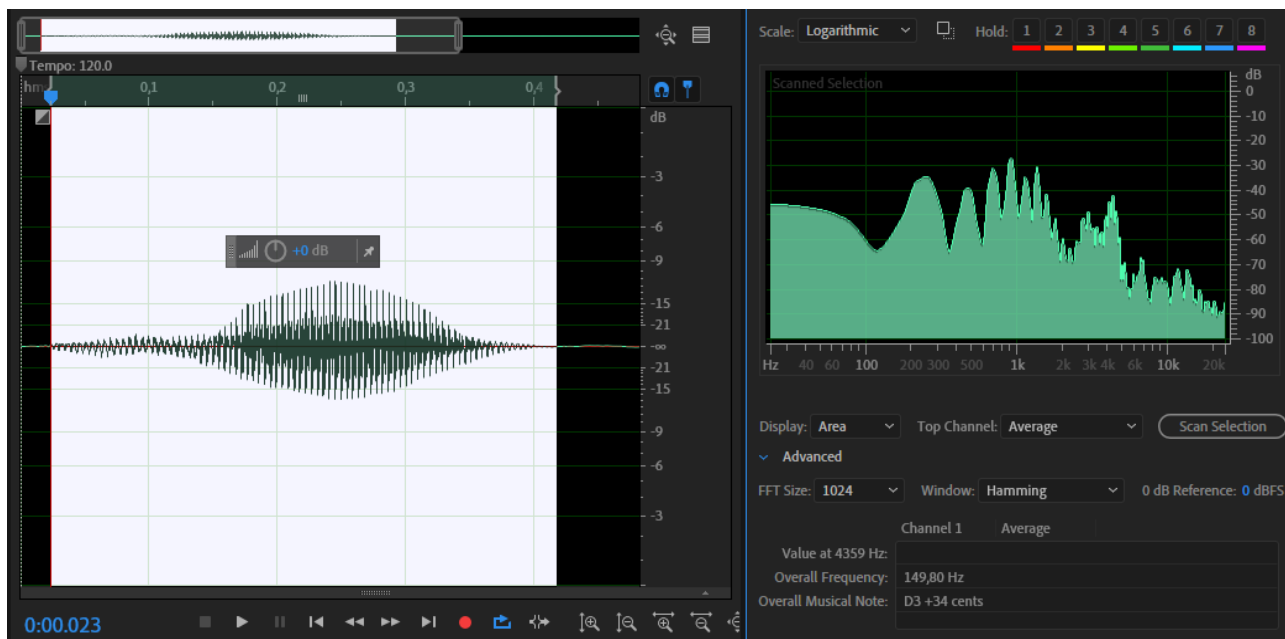


Рис. 4.4. Графічний аналіз слова «Га»

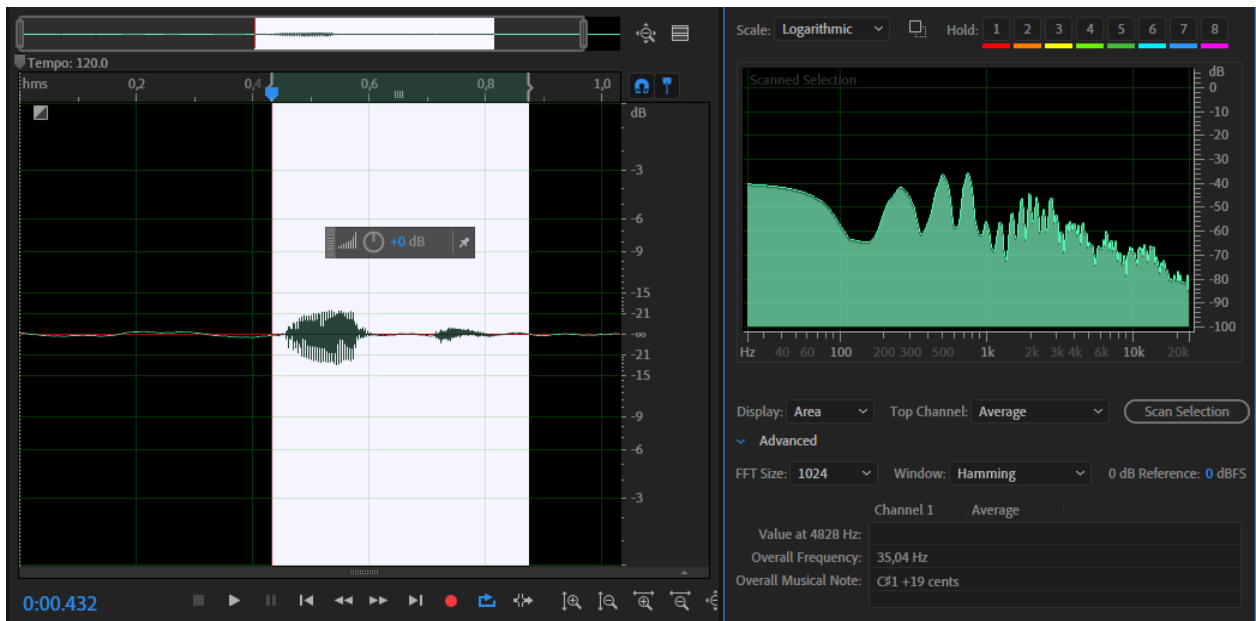


Рис. 4.5. Графічний аналіз слова «Et»

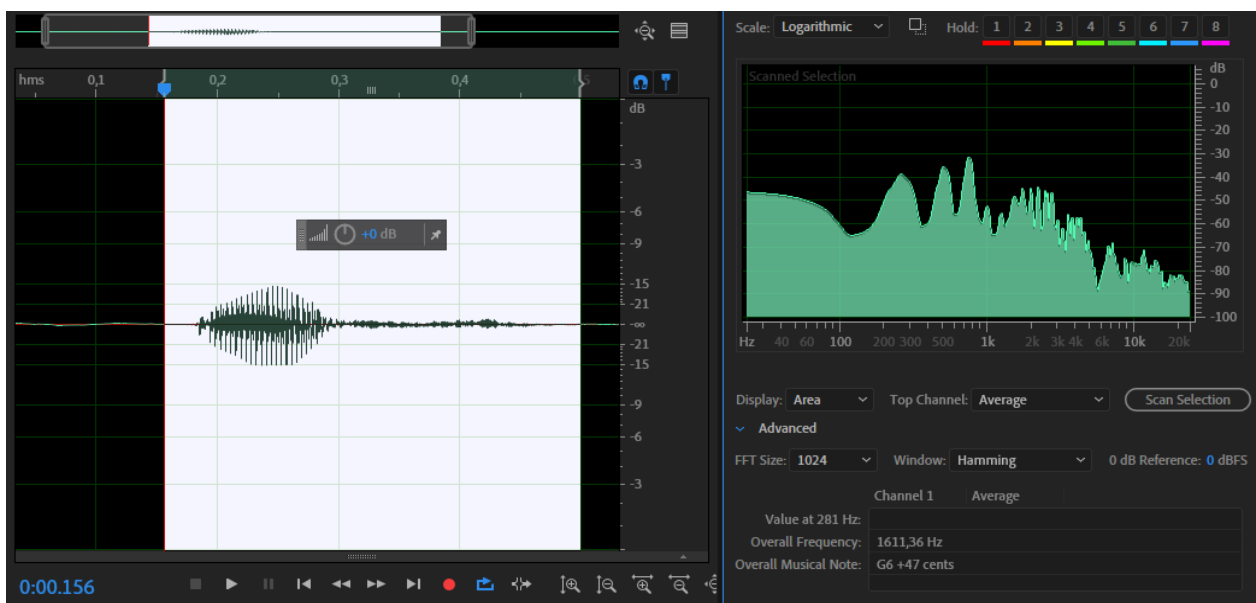


Рис. 4.6. Графічний аналіз слова «Ex»

Виходячи з отриманих результатів очевидним є висновок про те, що жодне слово, яке складається з двох літер, не досягає тривалості 30 мс, тобто не підпадає під вимоги щодо вибору мовного матеріалу.

Крім того, таблиці складів [6], [25], [26] мають ряд недоліків, таких як: неповна міра відображення просодичних параметрів мови, підсилена форма спектральних

характеристик звуків у складах (див. рисунок 1-6) [26]. Тому слова, що складаються лише з двох літер, були виключені з подальшого аналізу.

4.2. Принципи формування артикуляційних таблиць співзвучних слів

Дослідження автора статті [2] свідчить, що для опису повної фонологічної картини слов'янських мов необхідно 14 класифікаційних ознак, а не 12, як у Якобсона. При цьому отримана у статті схема акустичної характеристики фонем української мови, яка представлена на рисунку 4.7, свідчить про те, що одна фонема з усього алфавіту відноситься лише до однієї диференційної ознаки, всі інші – мають мінімум дві диференційні ознаки [2].

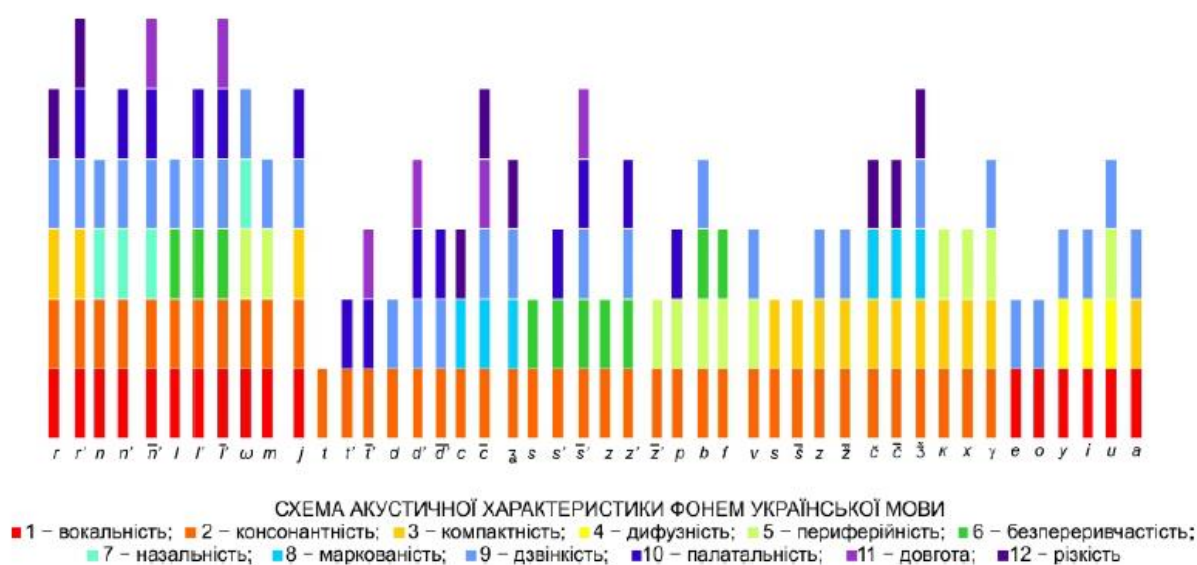


Рис. 4.7. Схема акустичної характеристики фонем української мови [2]

У статті [26] зазначено, що для російської мови, через наявність в алфавіті йотованих варіантів літер, таких як «я», «е», «ю», «ё», в ряді випадків не можливо підібрати мінімальні пари з односкладових слів з відмінністю приголосних лише за однією ознакою. Оскільки українська мова так само містить подібні літери, а також спираючись на представлену схему акустичної характеристики фонем досліджуваної мови, при створенні DRT-таблиць обираємо за основу метод вибору

та дописування, що був запропонований В. Г. Михайловим [26]. Словесний матеріал для таких таблиць повинен відрізнятися лише початковою або кінцевою приголосною.

Подальшою ітерацією для роботи із досліджуваним мовним матеріалом є визначення наявності звукової пари для слова, яка буде відрізнятися лише на одну приголосну. Задля цього було проведено аналіз та сортування відібраних однокладових слів, що не мають жодної мінімальної пари. Такий матеріал було видалено, оскільки він не підлягає початковій умові створення римованих пар DRT-таблиць.

Всі інші слова були занесені до таблиці, принцип якої полягає у тому, що кожен рядок містить слова, що відрізняються одне від одного на одну приголосну. Для наочності, частина таблиці представлена на рисунку 4.8.

акр	акт												
баг	бай	бак	бап	бан	бар	бас	бат	бах	бац	лаг	маг	фаг	шаг
байк	байт	лайк											
бакс	сакс	факс											
баль	галь	даль	жаль	таль	шаль								
банк	бант	панк	танк	фанк									
бард	барк	барн	барс	нард	хард								
баск	баст												
бастр	растр												
батл	шатл												
бедж	хедж												

Рис. 4.8. Частина таблиці україномовних слів, що відрізняються одне від одного початковою чи кінцевою приголосною

Після всіх вищеперерахованих виключень (нагадаємо: слова, що містять в своєму складі подвоєння, слова, що складаються із двох літер, та слова, що не мають мінімальної пари) для подальшого створення DRT-таблиць залишилось 1393 слова, або 419 рядків таблиці.

У роботі [7] зазначено, що підбір слів із виключно високими чи низькими звуками, частково допомагає диференціювати пошкодження звукопровідного та звукоприймального апаратів. Тобто, наявність фонетично збалансованих таблиць,

що близькі до спектру мови, та містять у своєму складі переважно високі чи низькі частоти дозволяють проводити скринінгове дослідження слухової системи мовою з рівнем 60 дБ.

Отримані спектри записаних односкладових слів сучасної української мови допомагають розподілити їх на три групи, а саме: низькочастотні слова, середньочастотні та високочастотні.

У роботі [55] зазначено, що для спектральної оцінки в акустичній фонетиці можна виділити область низькочастотних слів, максимальна звукова енергія яких зосереджена в діапазоні частот 50-400 Гц, середньочастотних – в діапазоні 200-4000 Гц та високочастотних – в діапазоні 1000-10000 Гц. При цьому, зона низьких частот безпосередньо пов'язана із характеристиками приголосних звуків за однією з диференційних ознак, а саме дзвінкість-глухість. Середню частотну зону визначають перша та друга форманти голосних, високочастотну зону – характер приголосних [55]. Автор статті [2] зазначає, що класифікаційна ознака «Низька тональність – висока тональність», тобто артикуляційне утворення високих та низьких звуків, значним чином залежить від конфігурації ротового резонатора.

Для конкретизації розподілення слів на низькочастотні, середньочастотні та високочастотні за роздільну частоту прийнято середньгеометричне значення частот, між якими ділянки суміжних зон перекриваються. Тобто, середньгеометричним значенням, що розділить діапазони на низькочастотний, середньочастотний та високочастотний, будуть:

$$f_{\text{гр.1}} = \sqrt{400 * 200} = 282,84 \text{ Гц} \approx 300 \text{ Гц} \quad (4.1)$$

$$f_{\text{гр.2}} = \sqrt{1000 * 4000} = 2000 \text{ Гц} \quad (4.2)$$

Виходячи з отриманих даних, робимо наступний висновок: слова, що мають максимальний енергетичний спектр в області частот від 50 до 300 Гц будуть віднесені до списку низькочастотних односкладових слів; ті, що мають найбільше значення енергії в частотному діапазоні 300 – 2000 Гц – до середньочастотних; слова, що лежать в області частот 2000 – 10000 Гц – до високочастотних.

Частотний розподіл односкладових слів та графічне зображення спектрів проведений у програмному середовищі MatLab. Початок роботи скрипта заснований на зчитуванні масиву файлів формату .wav.

Для цього був створений цикл, який створював змінну з відповідною назвою, та використана функція `audioread`, найпростіший синтаксис якої виглядає наступним чином:

```
[y,Fs] = audioread(filename),
```

де y – матриця аудіоданих, F_s – частота дискретизації (в Гц).

У випадку із циклом, частина лістингу коду виглядає наступним чином:

```
N=1393;
```

```
for i=1:N
```

```
name=strcat(num2str(i),'.wav');
```

```
[y,fd]=audioread(name);
```

```
End
```

Надалі визначення частотності слова проводився двома методами: методом прямокутників та за допомогою знаходження відносної частини потужності сигналу в тій чи іншій області частот. Однак, результати, отримані за допомогою методу прямокутників виявилися не інформативними, оскільки всі слова, окрім одного, потрапили до області середніх частот. Наочне представлення алгоритму знаходження розподілу слів на частотні групи представлено на рисунку 4.9.

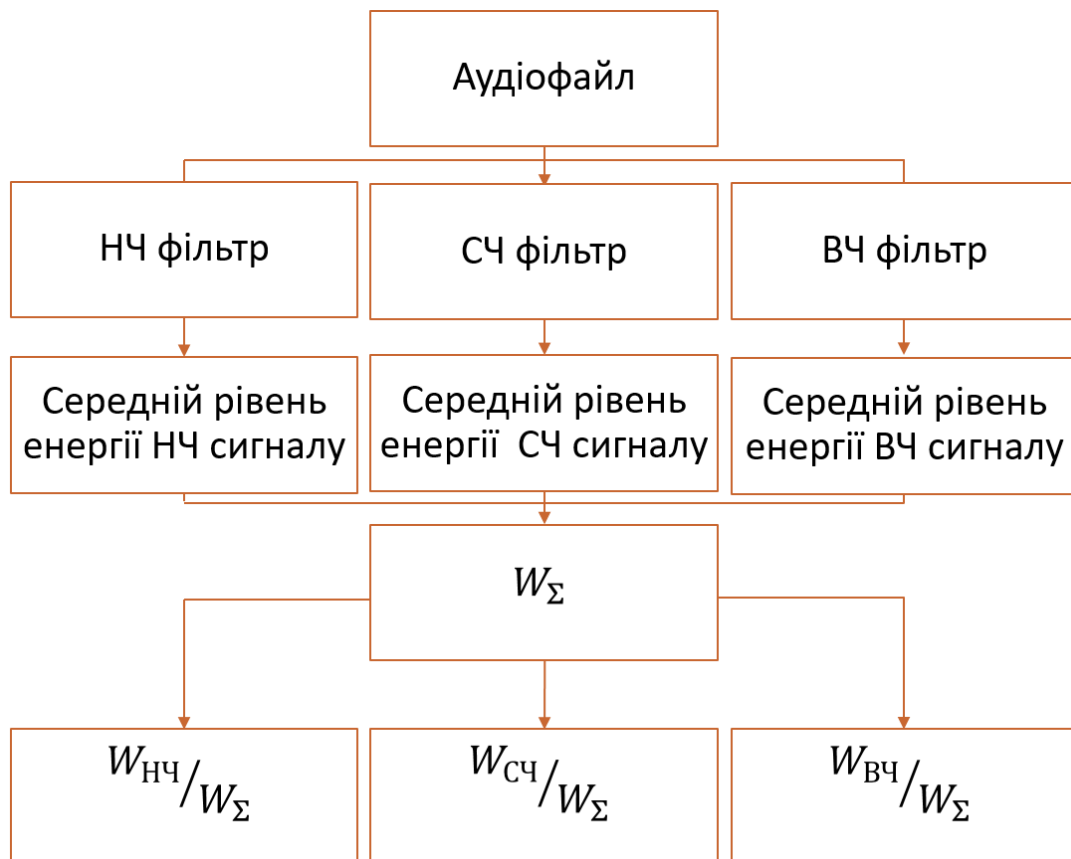


Рис. 4.9. Алгоритм знаходження розподілу слів на частотні групи

Результати, отримані другим методом, відображалися у табличному представленні та мали у своєму рядку два та більше слів, що відрізняються одне від одного однією приголосною літерою. Лістинг до програми знаходиться у Додатку 4. Для наявності, відобразимо отримані результати в графічному представленні. Кругова діаграма рисунку 4.10 показує, що більшість слів підпадає до низько- та середньочастотної області.

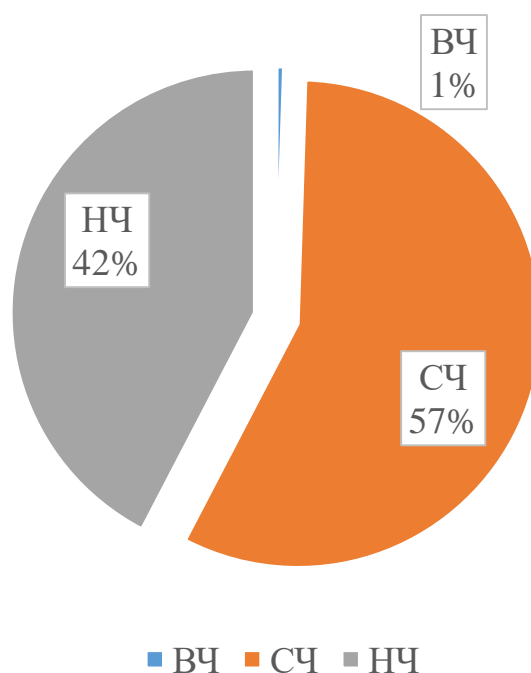


Рис. 4.10. Частотність слів у відсотковому співвідношенні до загальної кількості

Подальшою ітерацією є розділення рядків зі словами, що належать до однієї частотної групи від тих рядків, які мають у своєму складі слова різних частотних діапазонів.

Як і зазначалось раніше, за допомогою таблиць із виключно високими та низькими звуками можна проводити скринінгове дослідження. Однак, окрім цього, такий діагностичний матеріал підходить для перевірки стану слухової системи у дітей молодшого шкільного віку.

У матеріалі статті, викладеної О. Кунінець [18], приведений метод, за допомогою якого можна проводити обстеження дітей. Подальша розробка діагностичних таблиць для дітей молодшого шкільного віку полягає у виокремленні груп слів, кількість яких більше двох у одному рядку, що належать до «басової» чи середньочастотної зони.

Таблиця 4. 2. Середньочастотні односкладові групи слів

баг	бай	бак	бал	бан	бар	бас	бат	бах	бац	лаг	маг	фаг	шаг
байк	байт	лайк											
бакс	сакс	факс											
баль	галь	даль	жаль	таль	шаль								
банк	бант	панк	танк	фанк									
бард	барк	барн	барс	нард	хард								
беж	без	бей	бек	бен	бер	бех	теж						
∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴
стриж	стрий	стрим	стрих										
трок	трон	троп	трос	трот									
фан	фас	фах	хан	чан									
флор	флос	хлор											
шарж	шарп	шарф	шарх										
штаб	штаг	штам	штат										
шток	штос	штоф											

Задля діагностики дітей молодшого шкільного віку можна використовувати два методи:

1. Сприйняття дитиною слова та відтворення його протягом невеликого проміжку часу. Для *скринінгового обстеження* варто читати цілий рядок слів з низькочастотної області та один рядок обрати середньої частоти.
2. *Метод дописування*. Для проведення такої діагностики варто підготувати спеціальний бланк, який буде містити слова з обраної таблиці, або рядки з різних таблиць. Досліджувана група чи окрема дитина повинна відмітити почуте слово з рядку за невеликий проміжок часу. Оптимальною кількістю слів для скринінгового дослідження обираємо 6, тобто 3 – низькочастотних та 3 слова з середньочастотного діапазону.

Таким чином, отримані таблиці [Додаток 5] є інструментом, який можна використовувати як заміну існуючим російськомовним таблицям Неймана Л. В. [7]. Ще одним підтвердженням даної думки є робота [67], автори якої проводили аналіз існуючих на сьогодні діагностичних матеріалів для слов'янських мов. В ній зазначено, що для діагностики стану слухового аналізатора у дітей молодшого віку,

Перш за все, було перевірено, чи виконуються умови, описані раніше в роботі, а саме: чи відображають отримані слова частоту використання літер українського алфавіту, притаманний досліджуваній мові, а також чи відповідає їх спектр показнику усередненого спектра української мови. Задля цього було проведено експерименти, технологію яких представлено у розділі 2 та підрозділі 3.2. дисертаційної роботи.

Отримана гістограма, представлена на рисунку 4.11, має певні відмінності із показниками відносно отриманих середніх значень.

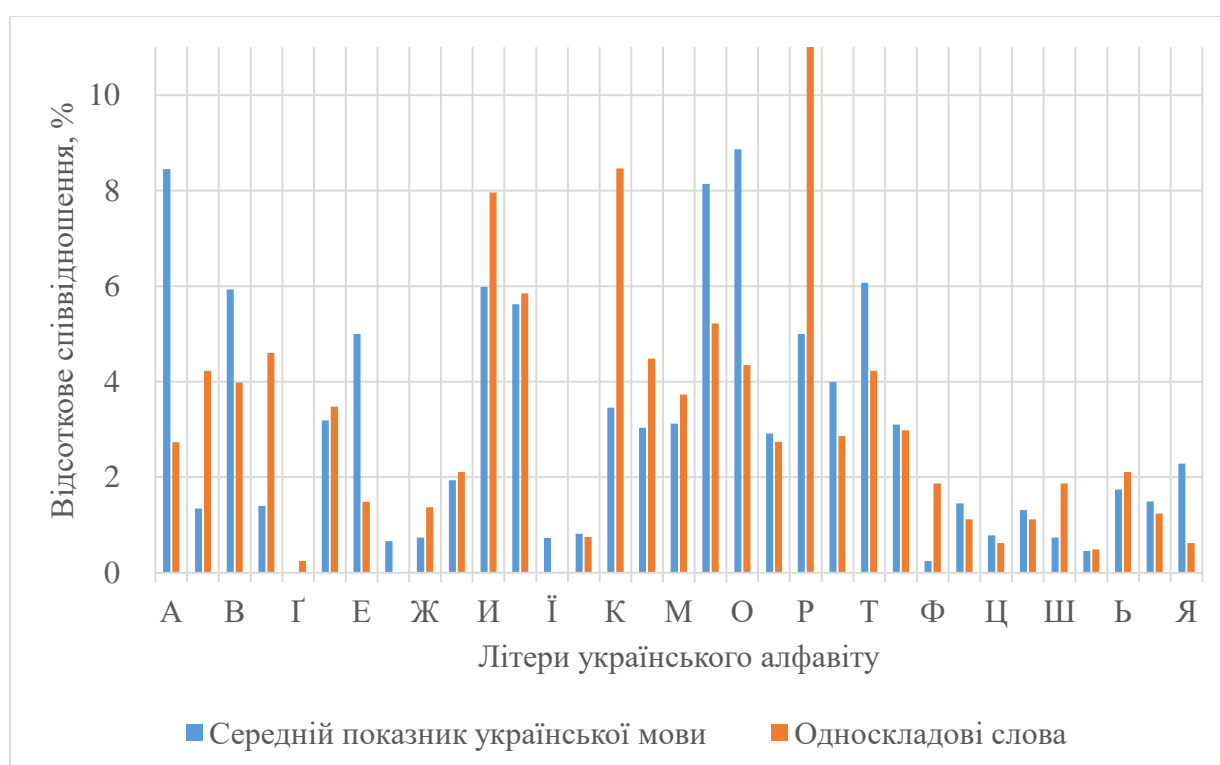
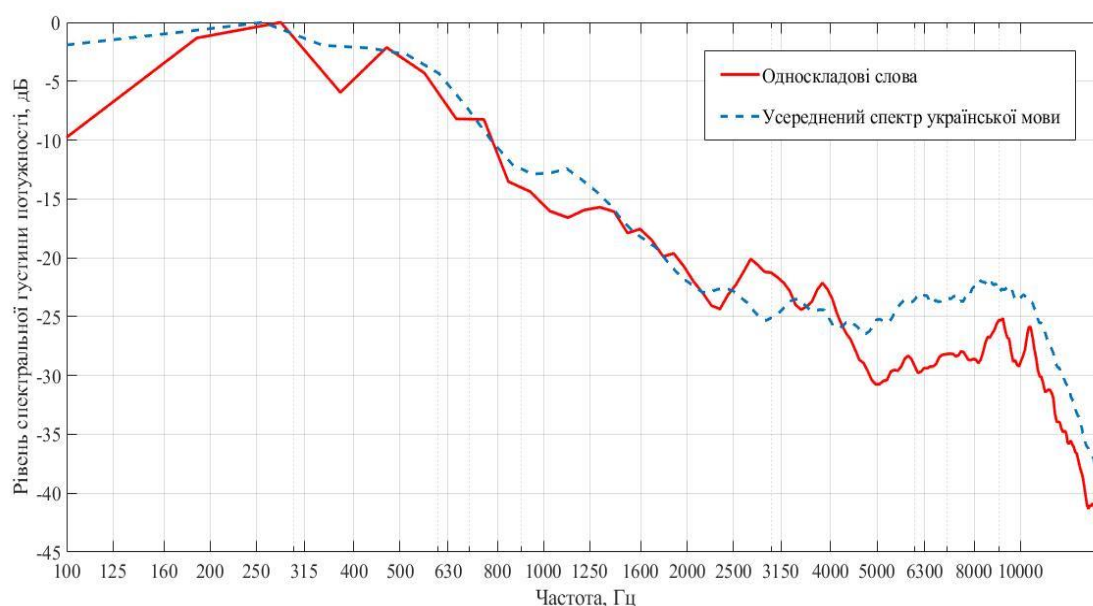


Рис. 4.11. Відсоткове співвідношення частоти використання літер української мови у односкладових словах до середніх показників мови

Основна відмінність видна на літерах, які є відмінною ознакою української мови, а саме літери «Є», «Ї» та «Г», а також високий показник літер «К» та «Р». Проте, отриманий графік спектру (рисунок 4.12) свідчить про те, що вибірка односкладових слів задовольняє показник середнього спектра української мови, оскільки крутизна графіку пов'язана із кількістю досліджуваного матеріалу, однак

характер кривої зберігся. Максимальний розкид між показниками становить 6,7 дБ на частоті 6300 Гц, що відповідає шиплячим та свистячим звукам.



Рису. 4.12. Порівняння графіків спектральної густини потужності односкладових слів із усередненим показником української мови

Тому можемо дійти висновку, що критерії підбору матеріалу були обрані правильно, а отримана вибірка слів може бути використана як діагностична таблиця вибору, про яку зазначає В. Г. Михайлов у своїй статті [26].

Наступним кроком, задля створення діагностичних випробувальних таблиць, є виокремлення пар слів з таблиці, що будуть підпадати до різних частотних груп. Загальна сума таких пар становить 208. Однак, отримана вибірка пар містить у своєму складі ті слова, що відрізняються одне від одного більше, ніж на одну приголосну, тому такі пари слід видалити. Отже, фінальна кількість мінімальних пар співзвучних односкладових слів, з яких можуть складатися діагностичні римовані таблиці та проводитися тести методом дописування чи вибору, становить 166. Всі вони приведені у Додатку 7.

Розподіл частоти використання літер алфавіту у створеній вибірці представлений на рисунку 4.13.

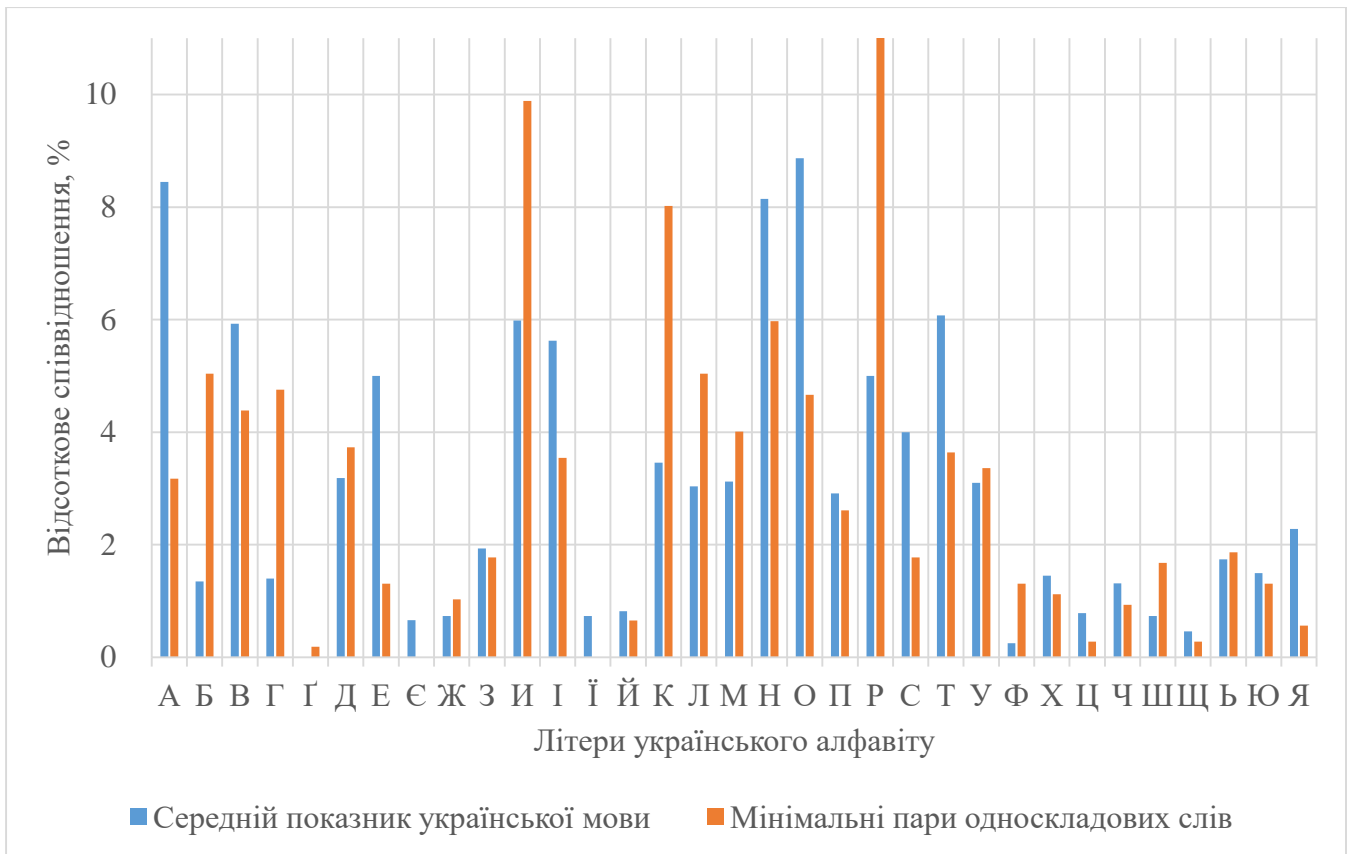


Рис. 4.13. Розподіл частоти використання літер алфавіту української мови у вибірці мінімальних пар співзвучних односкладових слів

У статті В. Г, Михайлова [26] описано, що таблиці слів формувалися у лабораторії прикладної лінгвістики МГУ за принципом протиставлення початкових або кінцевих приголосних літер за однією з відмінних ознак російських приголосних, таких як: шумність/сонорність, місце творення, спосіб творення, дзвінкість/глухість, твердість/м'якість. При дослідженні основною задачею слухача є відмічання по таблиці мінімальних пар сприйняте звукосполучення [26]. За даним принципом була розподілена вибірка слів, представлена у Додатку 7 та ілюстрована у вигляді таблиці 4.4. Повний текст таблиці представлений у Додатку 8.

Таблиця 4.4. Діагностичні артикуляційні односкладові DRT-таблиці українською мовою

Голосна	ВЧ-компоненти (лівий стовпчик)	Дзвінкий/Глухий		Шумність/Сонорність		За місцем творення		За способом творення		
		гран	д	грант						
а	-	гран	д	грант	граб	гран	граб	гран	граб	гран
					град	гран	грам	гран	град	гран
					гран	граф	гран	граф	гран	граф
					гран	грач	гран	грач	гран	грач
					гранд	грань	гранд	гранд	гранд	грань
					гранд	гранд	гранж	грант	гранд	гранд
					гранж	грань	гранж	грань	гранж	грант
					сан	сап	змаг	змах	гранж	грань
							сам	сан	сан	сап
							сам	шам	там	шам
							сан	сап		
							там	шам		
		хам	шам							
		фланг	шланг							
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	
я	-			-	шляк	шлям	шляк	шлям	шляк	шлям
					шлям	шлях	шлям	шлях	шлям	шлях
							ямб	ямс	ямб	ямс

Перший стовпчик – голосні букви української мови, які містяться у мінімальних парах односкладових слів. Другий стовпчик – мінімальні співзвучні пари слів, що містять високочастотну компоненту (ліворуч). Цей стовпчик є обов’язковим у використанні при будь-якому діагностичному дослідженні, оскільки він допомагає проаналізувати сприймання високочастотних компонент у слові.

3-6 стовпчики відображають одну з диференційних ознак приголосних звуків української мови. Загалом, досліджувана мова має 32 приголосні фонemi, які розрізняють за:

1. Фактором участі тону й шуму приголосні поділяються на три категорії: глухі (голос відсутній), дзвінкі (звук є і з голосом, і без нього), а також сонорні (голос присутній, а за його відсутності ніякого звуку не виходить).

Варто зауважити, що глухі звуки, окрім «ф» та «х», а також дзвінкого звуку «г», мають свою співзвучну пару [26], [48], [68].;

2. Місцем творення поділяють на: губно-губні, губно-зубні, передньоязикові зубні, передньоязикові піднебінні, середньоязикові, задньоязикові та глоткові. Розподіл приголосних фонем за даним критерієм для наочності представлений у таблиці 4.5 [69].

Таблиця 4.5. Класифікація приголосних фонем за місцем творення звуку

Губно-губні	[б], [п], [м], [в]
Губно-зубний	[ф]
Передньоязикові зубні	[д], [д'], [т], [т'], [з], [з'], [дз], [дз'], [с], [с'], [ц], [ц'], [л], [л'], [н], [н']
Передньояз. піднебінні	[ш], [ж], [дж], [ч], [р], [р']
Середньоязиковий	[й]
Задньоязикові	[г], [к], [х]
Глотковий	[г]

3. Способом творення приголосні звуки поділяють на: проривні, тобто під час промовляння яких активний та пасивний органи мовлення утворюють зімкнення й потік повітря блокується в роті; щілинні (фрикативні) та зімкнено-щілинні (африкати), а також дрижачі, тобто під час вимови яких вібрує кінчик язика [26], [48], [68]. Класифікація приголосних фонем за способом творення представлена у таблиці 4.6 [69].

Таблиця 4.6. Класифікація приголосних фонем за способом творення

Зімкнені ротові	[б], [п], [д], [д'], [т], [т'], [г], [к]
Зімкнені носові	[м], [н], [н']
Щілинні серединні	[в], [ф], [з], [з'], [с], [с'], [ж], [ш], [й], [г], [х]
Щілинні бокові	[л], [л']
Зімкнено-щілинні	[дз], [дз'], [дж], [ц], [ц'], [ч]
Дрижачі	[р], [р']

Якщо у подальшому, запропонована методика підбору словесного матеріалу для діагностики слухової системи мовною аудіометрією потрібна буде для створення дво-, три- та багатоскладових слів, то окрім вищезазначеного, варто також враховувати:

- використання всіх частин досліджуваної мови у називному відмінку;
- складоподіл таблиць, що зменшить ймовірність запам'ятовування діагностичного матеріалу;
- наголошеність та ненаголошеність складу, оскільки вони формують ритм та будову тексту;
- відкритість та закритість слова, згідно зі специфікою формування досліджуваної мови [11], [37], [48], [55].

Таким чином, всі створені діагностичні мовні матеріали можна використовувати наступним чином:

1. Таблиці односкладових слів низької та середньочастотної групи, представлені у Додатку 5, дозволяють провести скринінгове обстеження дітей молодшого шкільного віку. Задля цього необхідно заздалегідь підготувати картки, в яких будуть написанні слова без закінчення. При прочитанні слів, дитина повинна записати останню почуту букву. Іншим запропонованим способом є прочитання рядку слів на відстані. Залежно від відстані, на якій дитина почує всі слова без помилки і можна скринінгово визначити, чи є проблеми зі сприйняттям низьким чи

середніх частот. Велика кількість рядків допомагає мінімізувати проблему запам'ятовування слів, тому рекомендовано при повторному обстеженні використовувати новий рядок зі створеної таблиці.

2. Мінімальні пари співзвучних односкладових слів, представлені у Додатку 7, можна використовувати для методу дописування ПГП (приголосна-голосна-приголосна). При дослідженні слухач повинен відмітити почуте звукосполучення по заздалегідь заготовленим карткам чи таблицям мінімальних пар.

Висновки до розділу 4

1. Четвертий розділ дисертаційної роботи описує запропоновану методику створення односкладового діагностичного матеріалу для проведення мовної аудіометрії.
2. В роботі визначено етапи формування вибірки односкладових слів для створення діагностичного матеріалу для проведення мовної аудіометрії. Так, зокрема, визначена необхідність видалення вибірки односкладових слів, що мають у своєму складі подвоєння, оскільки вони не диференціюються на слух.
3. В ході роботи встановлено, що для створення DRT-таблиць, через наявність в алфавіті йотованих літер, словесний матеріал повинен відрізнятися лише початковою та кінцевою літерою.
4. Вперше створений діагностичний матеріал односкладових слів низькочастотної та середньочастотної областей, що дозволяють проводити скринінгове обстеження у дітей молодшого шкільного віку методом дописування, шепітною чи розмовною мовою.
5. Вперше отриманні україномовні мінімальні пари співзвучних односкладових слів, які є діагностичним мовним матеріалом для проведення мовної аудіометрії методом дописування ПГП (пригласна-голосна-приголасна).

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Основні результати дисертаційної роботи полягають у наступному.

1. Вперше проведений аналіз існуючих словесних артикуляційних таблиць українською мовою та зроблений їхній порівняльний аналіз із російськомовним аналогом. Визначені основні недоліки існуючого матеріалу та обґрунтовано недоцільність використання російськомовних таблиць для україномовного населення через фонетичні відмінності.
2. Створено програмний модуль для визначення частоти вживаності літер української мови, придатний для аналізу текстів та для подальшого використання при створенні аудіометричних таблиць.
3. Вперше визначений усереднений (інтегральний) спектр української мови, необхідний для об'єктивного встановлення приналежності вибірки мовного матеріалу досліджуваній мові, а також для подальшого використання при розробці аудіометричних таблиць.
4. Вдосконалено низку вимог до процедури формування мінімальних пар співзвучних односкладових слів та діагностичних артикуляційних односкладових DRT-таблиць для діагностики стану слухової системи людини.
5. У ході досліджень створені: таблиці низькочастотних та середньочастотних односкладових слів українською мовою для скринінгового обстеження дітей молодшого віку.
6. В дисертаційній роботі вперше створені таблиці співзвучних односкладових слів українською мовою, що відрізняються частотністю та за диференційними ознаками досліджуваної мови для проведення діагностики стану розбірливості мови за допомогою методу дописування ППП (приголосна-голосна-приголосна).

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] A. Rysin, V. Starcko, and komanda BrUK, “Project to generate POS tag dictionary for Ukrainian language,” 2015. [Online]. Available: https://github.com/brown-uk/dict_uk. [Accessed: 01-Aug-2019].
- [2] Y. Yusyp-Yakymovych, “Typolohiia fonolohichnykh system suchasnykh slovianskykh mov: akustychnyi vymir [Typology of phonological systems of modern Slavic languages: acoustic dimensions],” *Linguist. Bull.*, vol. 26, pp. 52–62, 2019.
- [3] L. V. Bondarko, L. R. Zinder, and A. S. Shtern, “Nekotorye statisticheskie harakteristiki russkoj rechi [Some statistical characteristics of Russian speech],” *Sluh i rech' v norme i Patol.*, no. 2, pp. 3–16, 1977.
- [4] “Deafness and hearing loss,” 2019. [Online]. Available: <https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/deafness-and-hearing-loss>. [Accessed: 23-Feb-2020].
- [5] A. V. Gavrilenko, V. S. Didkovskij, and A. N. Prodeus, “Sravnitel’nyj analiz nekotoryh metodov ocenki razborchivosti rechi [Comparative analysis of some methods for assessing speech intelligibility],” *Konsonans-2007. Akust. Symp.*, pp. 54–65, 2007.
- [6] N. B. Pokrovskij, *Raschet i izmerenie razborchivosti rechi [Calculation and measurement of speech intelligibility]*, Svyaz’izdat. Moscow, 1962.
- [7] L. V. Nejman and M. R. Bogomil’skij, *Anatomiya, fiziologiya i patologiya organov slukha i rechi [Anatomy, physiology and pathology of the organs of hearing and speech]*, VLADOS. Moscow, 2001.
- [8] V. G. Bazarov, A. I. Bagmut, and i soavt., “Rehevaya audiometriya na ukrainskom yazyke [Speech Audiometry in the Ukrainian language],” *Zhurnal ushnyh, Nos. i Gorl. Bolezn.*, pp. 15–21, 1984.

- [9] N. V. Rymar, “Tablytsi sliv dlia movnoi audiometrii ukrainskoiu movoiu [Speech tables for speech audiometry in Ukrainian],” *Zhurnal vushnykh, Nos. i horlovykh khvorob*, no. 3, pp. 72–75, 2002.
- [10] O. O. Arkhypova, V. M. Zhuravlov, and V. M. Kumeiko, “Artykuliatsiini tablytsi sliv ukrainskoi movy [Articulation tables of words of the Ukrainian language],” *Pravove, normatyvne ta metrolohichne zabezpechennia Syst. zakhystu informatsii v Ukr.*, no. 2(19), pp. 13–17, 2009.
- [11] O. I. Pedchenko, “Evaluation of the rhythmic dynamic structure of the Ukrainian language diagnostic articulation tables,” *Microsystems, Electron. Acoust.*, vol. 23, no. 5, pp. 57–62, Oct. 2018.
- [12] L. A. Karamzina, “Sluhovaya sensorika: ot audirovaniya k artikulirovaniyu cherez kogniciyu [Auditory Sensory: From Listening to Articulation through Cognition],” *Aktual. Vopr. Fiziol.*, pp. 143–146, 2019.
- [13] L. V. Bol’shanina, “Osobennosti vozniknoveniya rechi u detej s narushennym sluhom [Features of speech in children with hearing impairment],” *Nauk. chasopys NPU Im. M. P. Drahomanova. Seriya 19 Korektsiina pedahohika ta spetsialna psykhohohiia*, no. 21, pp. 27–29, 2012.
- [14] B. Connolly, “Signs and Types of Hearing Loss,” 2015. [Online]. Available: <https://www.audicus.com/hearing-loss/signs-and-types/>. [Accessed: 23-Feb-2020].
- [15] O. Izumets, S. Burdeyniy, O. Moravska, and T. Milkevich, “Rannyaya diagnostika narushenij sluha u detej pervogo goda zhizni [Early hearing loss diagnosis in children of the first year of life],” *Zhurnal vushnykh, Nos. i horlovykh khvorob*, no. 4, pp. 48–53, 2016.
- [16] A. A. Ochilzoda, T. M. Karimov, K. K. Karimov, S. E. Sharipov, and D. A. Dzhililov, “Sostoyanie sluha u detej s tugouhost’yu na pochve rodstvennogo braka roditelej [The condition of hearing in children with hearing loss on the basis of family parents` marriage],” *Vestn. Kaz. Nac. Med. Univ.*, no. 4, pp. 124–129, 2016.

- [17] G. A. Tavartkiladze, N. D. Shmatko, M. E. Zagoryanskaya, and E. V. Mironova, *Vyyavlenie detej s podozreniem na snizhenie sluha (mladencheskij, rannij, doskol'nyj i shkol'nyj vozrast) [Identification of children with suspected hearing loss (infant, early, preschool and school age)]*. 2004.
- [18] O. Kuninets, “Diahnostyka hlukhykh ditei molodshoho shkilnoho viku zalezho vid diapazonu sprymanykh chastot za medyko-pedahohichnoiu klasyfikatsiieiu L. V. Neimana [Diagnosis of deaf children of primary school age depending on the range of perceived frequencies accor,]” *Nauk. visnyk Melitopolskoho derzhavnoho pedahohichnoho universytetu. Ser Pedahohika*, no. 1, pp. 277–281, 2014.
- [19] S. A. Naida and M. S. Naida, “Method of Universal Audiological Screening of Newborns,” *Electron. Commun.*, vol. 22, no. 2, pp. 56–65, 2017.
- [20] N. A. Zborovska *et al.*, *Dytyna zi svitu tyshi: na dopomogu bat'kam nechuyuchoyi dytyny: naukovo-metodychnyj posibnyk [A child from the world of silence: to help the parents of the infallible child: scientific and methodical manual]*, SPKTB UTOG. Kyiv, 2011.
- [21] N. M. Kaut, *Osnovy Defektologii ta lohopedii [Bases of Defectology and Logopedia]*, Redaktsiin. Drohobych, 2012.
- [22] “Vozrastnyie izmeneniya sluha (presbiakuzis) [Age-related changes in hearing (presbycusis)],” 2011. [Online]. Available: http://doctorspb.ru/articles.php?article_id=1996. [Accessed: 26-Feb-2020].
- [23] Y. A. Al'tman and G. A. Tavartkiladze, *Rukovodstvo po audiologii [Guide to audiology]*, DMK Press. Moscow, 2003.
- [24] I. A. Aldoshina, “Sluh i rech'. Chast' 4. Sub'ektivnye i ob'ektivnye metody ocenki razborchivosti rechi [Hearing and speech. Part 4. Subjective and objective methods for assessing speech intelligibility],” in *Osnovy psihoakustiki*, 2000, pp. 128–133.
- [25] M. Y. Boboshko, *Rehevaya audiometriya: uchebnoe posobie [Speech Audiometry: Tutorial]*, Izdatel'st. St. Petersburg, 2012.

- [26] V. G. Mihajlov, *Diagnosticheskie artikulyacionnye tablicy [Diagnostic articulation tables]*, vol. 48, no. 5. 2002.
- [27] V. S. Didkovskiy, M. V. Didkovskaya, and A. N. Prodeus, *Akusticheskaya ekspertiza kanalov rechevoy kommunikatsii [Acoustic expertise of speech communication channels]*. Kiev: Imeks-LTD, 2008.
- [28] A. M. Prodeus, *Kompiuterna obrobka akustychnykh syhnaliv [Computer processing of acoustic signals]*. Kyiv, 2018.
- [29] “GOST 16600-72. The transmission of speech through the radiotelephone communications. Requirements to intelligibility of speech and methods of articulatory measurements.” Standartinform, Moscow, p. 77, 1973.
- [30] D. Berdiev, “Rehevaya audiometriya u detej na turkmenskom yazyke [Speech audiometry in children in Turkmen language],” Sankt-Peterburg. med. un-t., 1996.
- [31] M. Y. Boboshko, E. V. Zhilinskaia, A. Warzybok, N. V. Maltseva, M. Zokoll, and B. Kollmeier, “Rehevaya audiometriya s ispolzovaniyem matriksnogo frazovogo testa [The speech audiometry using the matrix sentence test],” *Vestn. Otorinolarinol.*, vol. 81, no. 5, p. 40, 2016.
- [32] E. M. Harshak, “Sbalansirovannyj chislovoj test dlya rechevoj audiometrii [Balanced numerical test for speech audiometry],” pp. 140–146, 1964.
- [33] L. A. Karamzina, “Psykhofiziologichni modeli vidchuttia i spryniattia movnykh syhnaliv: v chomu riznytsiz vidtvorennia [Psychophysiological models of disposal and adaptation of language signals: What are the division of reproduction]],” *Ukr. zhurnal medytsyny, Biol. ta Sport.*, no. 1, pp. 58–61, 2016.
- [34] N. S. Mishchanchuk, O. I. Radchenko, and L. A. Karamzina, “Movna audiometriia dlia klinichnoi audiologii v suchasnykh umovakh [Audiometry for clinical audiology in modern conditions],” *Zhurnal vushnykh, Nos. i horlovykh khvorob*, no. 2, pp. 49–53, 2016.
- [35] D. I. Zabolotny, V. I. Lutsenko, I. A. Belyakova, and E. I. Svitlychna, “Pereklad

ukrainskoiu movoiu testu chyslivnykiv Ye.M.Kharshaka ta yoho adaptatsiia [Translation into Ukrainian of the Harshak numeral test and its adaptation],” *Zhurnal vushnykh, Nos. i horlovykh khvorob*, vol. 1–2, pp. 11–15, 2020.

- [36] K. Kondo, “Estimation of Japanese DRT intelligibility using Articulation Index Band Correlations,” *2014 Asia-Pacific Signal Inf. Process. Assoc. Annu. Summit Conf. APSIPA 2014*, 2014.
- [37] O. Pedchenko and S. Lunova, “ANALYSIS OF UKRAINIAN DIAGNOSTIC ARTICULATION TABLES,” *EUREKA Phys. Eng.*, vol. 1, pp. 63–72, Jan. 2018.
- [38] S. M. Durankaya, B. Şerbetçioğlu, G. Dalkılıç, S. Gürkan, and G. Kırkım, “Development of a Turkish monosyllabic word recognition test for adults,” *J. Int. Adv. Otol.*, vol. 10, no. 2, pp. 172–180, 2014.
- [39] M. A. Dias, U. Devadas, and B. Rajashekhar, “Development of Speech Audiometry Material in Goan Konkani Language,” *Lang. India*, vol. 15, no. 2, pp. 268–280, 2015.
- [40] O. O. Arkhypova and V. M. Zhuravlov, “Chastotnyi analiz vykorystannia bukiv ukrainskoi movy [Frequency analysis of the use of the letters of the Ukrainian language],” *Radioelektronika, Inform. Upr.*, no. 2, pp. 53–56, 2009.
- [41] A. P. Alferov, A. Y. Zubov, A. S. Kuzmin, and A. V. Cheremushkin, *Osnovyi Kriptografii [Cryptography Basics]*. Moscow: Gelios ARV, 2002.
- [42] S. O. Sushko, L. I. Fomychova, and Y. S. Barsukov, “Chastoty povtorivnosti bukiv i bihram u vidkrytykh tekstakh ukrainskoiu movoiu [Frequencies of repetition of letters and biggers in open texts in Ukrainian],” *Ukr. Inf. Secur. Res. J.*, vol. 12, no. 3 (48), pp. 257–273, Sep. 2010.
- [43] I. Klishyn, “Chastotnyi analizator [Frequency analyzer],” 2019. [Online]. Available: <https://book-eater.tk/about.php>. [Accessed: 18-Feb-2020].
- [44] O. I. Yashnyk and I. V. Klishyn, “Computer program "Software module of the frequency analyzer ‘Bukvozhor.’” Kyiv, 2019.

- [45] “Ukrainskyi zhestivnyk [Ukrainian handicraft],” *Ukrainske tovarystvo hlukhykh. Vseukrainska hromadska orhanizatsiia invalidiv*, 2017. [Online]. Available: <https://utog.org/jestova-mova/zhm-zasb-komunkacyi/139-ukrayinskiy-zhestvnik.html>.
- [46] V. M. Zhuravlov, O. O. Arkhypova, and A. V. Dorovskykh, “Tablytsi sliv ukrainskoi movy dlia artykuliatsiinykh vyprobuvan rozbirlyvosti informatsii, shcho peredaietsia traktamy zviazku [Tables of words of the Ukrainian language for articulation tests of legibility of information transmitted by communication path],” *Zviazok*, no. 1, pp. 9–11, 2010.
- [47] O. Pedchenko and S. Lunova, “Analysis of Ukrainian Diagnostic Articulation Tables,” *EUREKA Phys. Eng.*, vol. 1, no. 1, pp. 63–72, 2018.
- [48] I. S. Savchenko, *Fonetyka, orfoepiia i hrafika suchasnoi ukrainskoi movy [Phonetics, orthoepy and graphics of modern Ukrainian language]*, ChNU im. B. Cherkasy, 2014.
- [49] M. A. Sapozhkov, “Rol fazovyih sootnosheniy v vospriyatii rechi [The role of phase relationships in speech perception],” *Akust. zhurnal*, vol. 20, no. 1, pp. 144–146, 1974.
- [50] A. M. Prodeus, “Tsifrovaya obrabotka signalov i izobrazheniy, multimedia, kompyuternaya iridodiagnostika [Digital processing of signals and images, multimedia, computer iridology].” [Online]. Available: <http://aprodeus.narod.ru/>. [Accessed: 26-Nov-2020].
- [51] V. N. Ovcharuk, “Spektralnyi analiz signalov akusticheskoy emissii [Spectral analysis of signals acoustic emission],” *Spectr. Elem. Method Struct. Dyn.*, vol. 4, no. 4, pp. 974–986, 2013.
- [52] O. Pedchenko, S. Lunova, and I. Rudenko, “Speech spectrum of the Ukrainian language,” *2019 IEEE 39th Int. Conf. Electron. Nanotechnol.*, pp. 444–448, 2019.
- [53] M. V. Strikha, S. I. Pyrozhkov, P. Y. Hrytsenko, V. H. Skliarenko, and L. L.

Shevchenko, “Ukrainskyi pravopys [Ukrainian spelling],” p. 282, 2019.

- [54] S. A. Lunova, V. S. Didkovskiy, and P. O. I., *Akustyka movotvorennia. Navchalnyi posibnyk [Acoustics creation language. Tutorial]*. 2018.
- [55] O. S. Ishenko, *Holosni zvuky ukrainskoi movy zalezghno vid tempu movlennia [Vowel Ukrainian language depending on the rate of speech]*. Kyiv: Instytut ukrainskoi movy NAN Ukrainy, 2012.
- [56] H. Stoakes, A. Butcher, J. Fletcher, and M. Tabain, “Long term average speech spectra in Yolngu Matha and Pitjantjatjara speaking females and males,” *Proc. Annu. Conf. Int. Speech Commun. Assoc. INTERSPEECH*, no. August, pp. 1897–1900, 2011.
- [57] J. A. Mccullough, C. Tu, and H. L. Lewt, “Speech-Spectrum Analysis of Mandarin: Implications for Hearing-Aid Fittings in a Multi-Ethnic Society,” *J. Am. Acad. Audiol.*, vol. 4, no. 1, pp. 50–52, 1993.
- [58] O. I. Yashnyk, S. A. Luneva, and I. L. Rudenko, “Sposib znakhodzhennia userednenoho spektra movy [The Method of finding the Average Spectrum of Language],” 2020.
- [59] “Audiogramma - chto ehto takoe? [Audiogram - what is it?],” *Centr sluhovoj rehabilitacii AVRORA*. [Online]. Available: https://aurora.ua/ru/sluh/diagnostika-i-sluhoprotezirovanie/audiogramma---chto-eto-takoe_.htm. [Accessed: 29-Dec-2018].
- [60] “Superlux ECM999.” [Online]. Available: <https://superlux.su/product/superlux-ecm999/>. [Accessed: 06-Nov-2019].
- [61] “USB Audio Interface Scarlett 2i2.” [Online]. Available: <https://focusrite.com/usb-audio-interface/scarlett/scarlett-2i2>. [Accessed: 06-Nov-2019].
- [62] “Create. Collaborate. Be Heard.,” *Pro Tools*. [Online]. Available: <https://www.avid.com/pro-tools>. [Accessed: 06-Jan-2019].

- [63] “MATLAB,” *MathWorks*. [Online]. Available: <https://matlab.ru/products/matlab>. [Accessed: 06-Jan-2019].
- [64] O. Harasiuk, I. Hliuk, M. Vdovenko, I. Pedchenko, O., and A. Luneva, S., “Analiz spektralnykh kharakterystyk ukrainskoi ta dekilkokh yevropeiskykh mov [Analysis of Spectral Characteristics of Ukrainian and Several European Languages],” *Microsystems, Electron. Acoust.*, vol. 4, no. 24, pp. 62–67, 2019.
- [65] A. Harasiuk, O. Pedchenko, N. Derkach, M. Vdovenko, and S. Lunova, “The spectral features of the ukrainian language,” 2020.
- [66] “Adobe Audition. A professional audio workstation.” [Online]. Available: <https://www.adobe.com/products/audition.html>. [Accessed: 15-Dec-2019].
- [67] S. Ond and E. Kiktov, “Pediatric Speech Audiometry Web Application for Hearing Detection in the Home Environment,” 2020.
- [68] “Systema pryholosnykh fonem [System of consonant phonemes].” [Online]. Available: https://ukrainskamova.com/publ/chinnij_pravopis_fonetika_i_pismo/sistema_prigolosnykh_fonem/4-1-0-25. [Accessed: 01-Feb-2020].
- [69] “Ukrainski zmahannia z lnhvistyky [Ukrainian Linguistics Competitions],” 2014. [Online]. Available: <https://ling.org.ua/>. [Accessed: 10-Mar-2020].

ДОДАТОК 1

Лістинг до програмного модулю «Буквожор»

```

<?php

$mydb = mysqli_connect('p:localhost', 'login', 'password', 'books');
mysqli_set_charset($mydb, 'utf8');
function detect_encoding($string, $pattern_size = 50)
{
    $list = array('cp1251', 'utf-8', 'ascii', '855', 'KOI8R', 'ISO-IR-111', 'CP866', 'KOI8U');
    $c = strlen($string);
    if ($c > $pattern_size) {
        $string = substr($string, floor(($c - $pattern_size) / 2), $pattern_size);
        $c = $pattern_size;
    }

    $reg1 = '/(\xE0|\xE5|\xE8|\xEE|\xF3|\xFB|\xFD|\xFE|\xFF)/i';
    $reg2 =
'/(\xE1|\xE2|\xE3|\xE4|\xE6|\xE7|\xE9|\xEA|\xEB|\xEC|\xED|\xEF|\xF0|\xF1|\xF2|\xF4|\x
F5|\xF6|\xF7|\xF8|\xF9|\xFA|\xFC)/i';

    $mk = 10000;
    $enc = 'ascii';
    foreach ($list as $item) {
        $sample1 = @iconv($item, 'cp1251', $string);
        $g1 = @preg_match_all($reg1, $sample1, $arr);
        $s1 = @preg_match_all($reg2, $sample1, $arr);
        if (!$g1 || !$s1)
            continue;
        $k = abs(3 - ($s1 / $g1));
        $k += $c - $g1 - $s1;
    }
}

```

```
    if ($k < $mk) {
        $enc = $item;
        $mk = $k;
    }
}
return $enc;
}

function endThis($exc)
{
    global $json;
    $json['errorMessage'] = $exc->getMessage();
    $json['errorCode'] = $exc->getCode();
    echo json_encode($json, JSON_UNESCAPED_UNICODE);
    exit();
}

function countLetters($letters, $string)
{
    $count = False;
    foreach ($letters as $letter) {
        $count[$letter] = substr_count($string, $letter);
    }
    return $count;
}

function try_get_path($path)
{
    if ($path = @realpath($path)) {
        return $path;
    }
}
```

```

    } else {
        return false;
    }
}

$json['errorCode'] = 0;
try {
    if (php_sapi_name() == "cli") {
        // In cli-mode
        $options = getopt('f:i:');
        if (isset($options['f'])) {
            $filename = '/tmp/' . $options['f'];
        } elseif (isset($options['i'])) {
            $id = $options['i'];
        } else {
            throw new Exception('Вкажіть id або ім'я файлу');
        }
    } else {
        // Not in cli-mode
        $id = isset($_POST['id']) ? filter_input(INPUT_GET, 'id',
FILTER_VALIDATE_INT) :
        filter_input(INPUT_POST, 'id', FILTER_VALIDATE_INT);
    }
    if ($id) {
        $query = mysqli_query($mydb, 'SELECT `filename` FROM `books` WHERE
`id`="' . $id . '"');
        $filename = './books/' . mysqli_fetch_row($query)[0];
    }
    if (!try_get_path($filename)) {
        throw new Exception('Файл не вдалося знайти');
    }
}

```

```

}
$file = file_get_contents($filename);
if (!$file) {
    throw new Exception('Файл не вдалося розпізнати', 1);
}

} catch (Exception $exc) {
    endThis($exc);
}

$letters['ukr'] = ['А', 'Б', 'В', 'Г', 'Ґ', 'Д', 'Е', 'Є', 'Ж', 'З', 'И', 'І', 'Ї', 'Й', 'К', 'Л', 'М', 'Н', 'О',
'П', 'Р', 'С', 'Т', 'У', 'Ф', 'Х', 'Ц', 'Ч', 'Ш', 'Щ', 'Ь', 'Ю', 'Я'];
$letters['ru'] = ['Б', 'Э', 'Ё', 'Ъ'];
foreach (range('A', 'Z') as $letter) {
    $letters['eng'][] = $letter;
}

try {
    //Якщо кодування не utf-8 – намагаємося розпізнати та перекодувати
    if (!mb_check_encoding($file, 'utf-8')) {
        $encoding = detect_encoding($file);
        $file = iconv($encoding, 'utf-8', $file);
    }

    // Робимо капіталізацію літер для подальшого підрахунку
    $string = mb_strtoupper($file, 'UTF-8');

    $json['all_letters'] = 0;

    foreach ($letters as $lang => $lang_letters) {
        $json[$lang] = countLetters($lang_letters, $string);
    }
}

```



```
$json[$lang . '_letters'] = array_sum($json[$lang]);  
$json['all_letters'] += $json[$lang . '_letters'];  
}  
} catch (Exception $exc) {  
    endThis($exc);  
}  
$json['execution_time'] = (microtime(true) -  
$_SERVER["REQUEST_TIME_FLOAT"]);  
echo json_encode($json, JSON_UNESCAPED_UNICODE);
```

ДОДАТОК 2

Лістинг до програми для визначення та побудови графіка максимальної різниці рівнів спектральної густини потужності мовного сигналу в окремих стовпчиках артикуляційних таблиць

```
% [pxx8,f] = pwelch(data,1024*2,1024,1024*8,fs);
semilogx(f,10*log10(pxx1/mean(pxx1)),f,10*log10(pxx2/mean(pxx2)),f,10*log10(pxx3/
mean(pxx3)),f,10*log10(pxx4/mean(pxx4)),f,10*log10(pxx5/mean(pxx5)),f,10*log10(p
xx6/mean(pxx6)),f,10*log10(pxx7/mean(pxx7)),f,10*log10(pxx8/mean(pxx8)))
hold on
M=max([10*log10(pxx1/mean(pxx1)),10*log10(pxx2/mean(pxx2)),10*log10(pxx3/mea
n(pxx3)),10*log10(pxx4/mean(pxx4)),10*log10(pxx5/mean(pxx5)),10*log10(pxx6/mea
n(pxx6)),10*log10(pxx7/mean(pxx7)),10*log10(pxx8/mean(pxx8))],[,],2);
m=min([10*log10(pxx1/mean(pxx1)),10*log10(pxx2/mean(pxx2)),10*log10(pxx3/mean
(pxx3)),10*log10(pxx4/mean(pxx4)),10*log10(pxx5/mean(pxx5)),10*log10(pxx6/mean(
pxx6)),10*log10(pxx7/mean(pxx7)),10*log10(pxx8/mean(pxx8))],[,],2);

d=M-m;
plot(f,M,'-r','LineWidth',2)
plot(f,m,'-k','LineWidth',2)
hold off
axis([100,5000,-25 25])
set(gca,'XTick',[100 200 300 400 500 800 1000 2000 3000 4000 5000])
grid on
xlabel('Частота, Гц')
ylabel('Спектральна густина потужності, дБ/Гц')
% save 8stolb_ukr f pxx8
% saveas(1,'8stolb_ukr.fig')

figure(2)
```

```
semilogx(f,d,'-g','LineWidth',2)
axis([100,5000,0 20])
set(gca,'XTick',[100 200 300 400 500 800 1000 2000 3000 4000 5000])
grid on
xlabel('Частота, Гц')
ylabel('Різниця спектральної густини потужності, дБ/Гц')
```

ДОДАТОК 3

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

```

for i=1:N1

    filename=sprintf('M2 %d.wav',i)

    [y,Fs]=audioread(filename);

    yx{i}=y(:,1);

    stdn(:,i)=std(yx{i});

    yn{i}=yx{:,i}./stdn(i);

    [ypn(i,:),f(:,i)]=pwelch3 (yn{i},hamming(441),[],[],Fs);

end

ypn=ypn';

yser=mean(ypn);

k=max(abs(yser));

norm=yser./k;

norml=10.*log10(norm);

plot(f,norml)

```

¹ N – кількість аудіофайлів

² M – маска найменування файлів

³ Функція “pwelch” обрана у зв’язку з тим, що записані доріжки прийняті як статичний сигнал, що не буде видозмінюватися при повторному аналізі.

ДОДАТОК 4

Лістинг до програми для визначення частотності слів для підбору мовного матеріалу

```
N=1393;

f=[50 300 2000 10000];

for i=1:N

name=strcat(num2str(i),'.wav');

[y,fd]=audioread(name);

[b1,a1]=filt1(f(1),f(2),fd);

[b2,a2]=filt1(f(2),f(3),fd);

[b3,a3]=filt1(f(3),f(4),fd);

sig_H=filtfilt(b1,a1,y);

sig_C=filtfilt(b2,a2,y);

sig_B=filtfilt(b3,a3,y);

P_H4=var(sig_H);

P_C4=var(sig_C);

P_B4=var(sig_B);

Psum=P_H4+P_C4+P_B4;

data1(1:3,i)=[P_H4 P_C4 P_B4]/Psum;

end
```

При цьому:

```
function [b,a]=filt1(fs,ff,fd)
```

```
Rp=1;
```

```
Rs=18;
```

```
Wp=[fs/fd ff/fd];
```

```
Ws=[fs/fd*0.75 ff/fd*1.35];
```

```
[n,Wn]=ellipord(Wp,Ws,Rp,Rs);
```

```
[b,a]=ellip(n,Rp,Rs,Wn);
```

ДОДАТОК 5

Таблиці односкладових слів низькочастотної та середньочастотної групи для проведення скринінгового обстеження дітей молодшого шкільного віку

Таблиця 1. Односкладові слова «басової групи»

біб	біг	бій	бік	бін	бір	біс	біт	біч		
біль	кіль	міль	піль	сіль	ціль	щіль				
блюз	блюм	клюз	шлюз							
буль	куль	нуль	руль							
бунт	фунт	шунт								
бурт	бурш	гурт	нурт							
виск	диск	зиск	лиск	писк	риск	тиск				
віск	віст	вісь	фіск							
вість	гість	кість	мість	шість						
впин	кпин	спин								
вуз	вуй	вус	туз							
гід	гїк	гін	гїт	гїф	дїд	лїд	пїд	рїд	фїд	хїд
гїд	гїф	пїд	слїд							
глуз	глум	глуш								
гнів	гнїй	гнїт								
грїб	грїм	грїх	грїш	дрїб						
грунт	грунт	фрунт								
гуд	гук	гул	гун	гуп	пуд	суд				
густ	гусь	дуст	муст	руст	шуст					
гїк	лїк	пїк	рїк	сїк	тїк					
дим	дит	дих	жим	рим	тим	чим				
дїнь	кїнь	лїнь	рїнь	тїнь	цїнь					
дрїж	дрїк	дрїт								
дуб	дук	дур	дух	душ	зуб	куб	луб	руб	чуб	
жук	лук	пук	сук	тук	фук	хук				
звис	звих	звиш								
звїй	звїр	звїт	свїй	твїй						
зїв	зїр	пїв	рїв							
зум	зух	кум	сум	чум	шум					
кив	кий	кит	ких	киш						
клїп	клїр	клїф	клїщ	слїп						
клуб	клуп	клус								
кмин	тмин	цмин								
кнур	кнут	шнур								
крїй	крїм	крїп	крїс	крїт						
культ	мульт	пульт								
кус	кут	куш	кущ	мус	рус					

ДОДАТОК 6

Таблиця односкладових слів, що відрізняються одне від одного початковою або кінцевою приголосною

бик	бич	гик	зик	лик	ник	рик	тик	чик	шик	
блік	блін	бліц	флік							
бовть	ковть									
бонд	зонд	фонд								
бренд	тренд	френд								
бриль	гриль	дриль	криль							
бруд	брук	брус	груд	труд						
буж	буй	бук	бум	бур	бус	бут	бух	вуж	гуж	муж
вбік	вбір									
вид	виз	вир	вис	виш	гид	жид				
віг	від	віз	вій	вік	віл	він	віп	гіг	ріг	
вірш	гірш									
віть	кіть	сіть	фіть	хіть	щіть					
вон	дон	йон	нон	сон	тон	фон				
вплив	вплин	сплив								
вруб	зруб									
гейм	сейм									
гонг	гонт	донг	ронг							
горб	горн									
граб	град	грам	гран	граф	грач	краб				
гранд	гранж	грант	грань	гранд						
гриб	грим	грип	гриф	триб						
грюк	дрюк	крюк	трюк							
двіж	двір									
день	пень	тень	чень							
діл	дім	кіл	піл							
дриг	дрил									
дюк	люк	тюк	цюк							
жир	мир	сир	тир	шир	щир					
жом	жох	лом	ром	сом	том	чом				
збіг	збій	збір								
зирк	фирк	цирк	чирк							
злом	злот									
змаг	змах									
квіз	квір	квіт								
кекс	рекс	секс								
кирт	мирт									
кікс	мікс	фікс								

ДОДАТОК 7

Мінімальні пари співзвучних односкладових слів (Сортування за алфавітом)

Бик - гик	бус - бух	вплив- сплив	двіж - двір
бик - зик	бут - бух	вруб - зруб	день - тень
бик - лик	вбік - вбір	гейм - сейм	день - чень
бик - ник	вид - вир	гид - жид	діл - кіл
бик - рик	вид - гид	гонг - гонт	дриг - дрил
бик - тик	виз - вир	гонг - донг	дриль - криль
бик - чик	вир - вис	гонг - ронг	дрюк - крюк
бик - шик	вир - виш	горб - горн	дрюк - трюк
блік - флік	віг - віл	граб - гран	дюк - люк
бовть - ковть	від - віл	град - гран	дюк - тюк
бонд - фонд	віз - віл	грам - гран	дюк - цюк
бренд- тренд	вій - віл	гран - граф	жир - сир
бриль - гриль	вік - віл	гран - грач	жир - шир
бриль - криль	віл - він	гранд - грант	жом - том
бруд - труд	віл - віп	гранд - грань	збіг - збір
буж - бук	вірш - гірш	гранд - гранд	збій - збір
буж - бух	віть - кіть	гранж - грант	зирк - чирк
буй - бук	віть - щіть	гранж - грань	злом - злот
буй - бух	вон - дон	гриб - грим	змаг - змах
бук - бум	вон - нон	гриб - триб	зонд - фонд
бук - бур	вон - сон	гриль - дриль	квіз - квіт
бук - бус	вон - тон	грим - грип	квір - квіт
бук - бут	вон - фон	грим - гриф	кекс - рекс
бум - бух	вон - йон	груд - труд	кекс - секс
бур - бух	вплив- вплин	грюк - дрюк	кирт - мирт

кікс - мікс	мол - фол	фіть - щіть
кікс - фікс	мол - хол	фланг - шланг
кіл - піл	пень - тень	хам - шам
кін - кір	пень - чень	хіть - щіть
кін - кіч	приз - фриз	цирк - чирк
кін - кіш	принт - принц	шир - щир
кір - кіт	прус - прут	шків - шкіц
кіт - кіч	прут - пруф	шляк - шлям
кіт - кіш	рип - риф	шлям - шлях
кіть - сіть	рип - тип	ямб - ямс
кіть - фіть	рип - чип	
кіть - хіть	рип - шип	
клик - клин	рип - щип	
клик - клир	рис - риф	
клик - клич	ром - том	
клик - шлик	сам - сан	
криж - криз	сам - шам	
криж - крин	сан - сап	
криз - крик	сир - тир	
крик - крин	сир - щир	
крук - круп	сіть - щіть	
крю - хрю	сом - том	
лом - том	там - шам	
мир - сир	тир - шир	
мир - шир	том - чом	
мол - мох	тренд - френд	
мол - рол	тромб - тромп	
мол - тол	фирк - чирк	

ДОДАТОК 8

Діагностичні артикуляційні однокладові DRT-таблиці українською мовою

Голосна	ВЧ-компоненти (лівий стовпчик)		Дзвінкий/Глухий		Шумність/Сонорність		За місцем творення		За способом творення	
а	-		гранд	грант	граб	гран	граб	гран	граб	гран
					град	гран	грам	гран	град	гран
					гран	граф	гран	граф	гран	граф
					гран	грач	гран	грач	гран	грач
					гранд	грань	гранд	гранд	гранд	грань
					гранд	гранд	гранж	грант	гранд	гранд
					гранж	грань	гранж	грань	гранж	грант
					сан	сап	змаг	змах	гранж	грань
							сам	сан	сан	сап
							сам	шам	там	шам
							сан	сап		
							там	шам		
							хам	шам		
							фланг	шланг		
е	кекс	рекс	день	тень	гейм	сейм	бренд	тренд	тренд	френд
	кекс	секс					тренд	френд	день	чень
							гейм	сейм	пень	чень
							день	чень		
							пень	тень		
							пень	чень		
и	-		жир	шир	бик	гик	бик	гик	бик	гик
					бик	лик	бик	зик	бик	зик
					бик	ник	бик	лик	бик	лик
					бик	рик	бик	ник	бик	ник
					бриль	грить	бик	рик	бик	рик

			гриль	дриль	бик	тик	бик	чик
			вид	вир	бик	чик	бик	шик
			виз	вир	бик	шик	бриль	гриль
			вир	вис	бриль	гриль	вид	вир
			вир	виш	бриль	криль	виз	вир
			гид	жид	вид	вир	вир	вис
			вплив	сплив	вид	гид	вир	виш
			гриб	грим	виз	вир	вплив	вплин
			гриб	триб	вир	вис	гриб	грим
			грим	грип	вплив	вплин	гриб	триб
			грим	гриф	вплив	сплив	гриль	дриль
			дриг	дрил	гид	жид	грим	грип
			мир	сир	гриб	триб	грим	гриф
			мир	шир	гриль	дриль	дриг	дрил
			кирт	мирт	грим	гриф	зирк	чирк
			клик	клин	дриг	дрил	кирт	мирт
			клик	клир	дриль	криль	клик	клин
			криж	крин	жир	сир	клик	клир
			крик	крин	зирк	чирк	клик	клич
			рип	тип	кирт	мирт	клик	шлик
			рип	чип	клик	клин	криж	крин
			рип	шип	клик	клир	криз	крик
			рип	щип	клик	клич	крик	крин
					клик	шлик	мир	сир
					криж	криз	мир	шир
					криж	крин	приз	фриз
					криз	крик	принт	принц
					крик	крин	рип	риф
					мир	сир	рип	тип

						мир	шир	рип	чип	
						приз	фриз	рип	шип	
						рип	риф	рис	риф	
						рип	тип	сир	тир	
						рис	риф	тир	шир	
						тир	шир	фирк	чирк	
						фирк	чирк			
						цирк	чирк			
і	кікс	мікс	-		вбік	вбір	блік	флік	блік	флік
	кікс	фікс			від	віл	вбік	вбір	вбік	вбір
	кіть	віть			віз	віл	віг	віл	віг	віл
	кіть	сіть			вік	віл	вій	віл	від	віл
	кіть	фіть			віл	віп	вік	віл	віз	віл
	кіть	хіть			двіж	двір	віл	віп	вій	віл
	кіч	кін			квір	квіт	вірш	гірш	вік	віл
	кіч	кіт			кір	кіт	діл	кіл	віл	він
	кіш	кін					кіл	піл	віл	віп
	кіш	кіт					збіг	збір	двіж	двір
	шкіц	шків					збій	збір	збіг	збір
	щіть	віть					квір	квіт	збій	збір
	щіть	сіть					кін	кір	квіз	квіт
	щіть	фіть					кір	кіт	квір	квіт
	щіть	хіть							кін	кір
									кір	кіт
о	-	тромб	тромп	вон	дон	бовть	ковть	бонд	фонд	
				вон	сон	бонд	фонд	вон	дон	
				вон	тон	зонд	фонд	вон	нон	
				вон	фон	вон	дон	вон	тон	
				гонг	гонт	вон	йон	гонг	гонт	

			гонг	донг	вон	нон	гонг	донг
			горб	горн	вон	сон	гонг	ронг
			лом	том	вон	тон	горб	горн
			ром	том	вон	фон	жом	том
			злом	злот	гонг	гонт	лом	том
			мол	мох	гонг	донг	ром	том
			мол	тол	гонг	ронг	сом	том
			мол	фол	горб	горн	том	чом
			мол	хол	жом	том	злом	злот
					ром	том	мол	мох
					том	чом	мол	рол
					злом	злот	мол	тол
					мол	мох	мол	фол
					мол	рол	мол	хол
					мол	тол	груд	труд
					мол	фол	буж	бук
					мол	хол		
у	-	-	груд	труд	бруд	труд	буй	бук
			буй	бук	груд	труд	бук	бум
			бук	бум	буж	бук	бук	бур
			бук	бур	буй	бук	бук	бус
			буй	бух	бук	бум	бум	бух
			бум	бух	бук	бур	бур	бух
			бур	бух	бук	бус	бут	бух
			вруб	зруб	бук	бут	прус	прут
					буж	бух	прут	пруф
					буй	бух		
		бум	бух					
		бур	бух					

					бус	бух			
					бут	бух			
					вруб	зруб			
					крук	круп			
					прут	пруф			
Дода	-	дюк	тюк	грюк	дрюк	грюк	дрюк	грюк	дрюк
				дюк	люк	дрюк	крюк	дюк	люк
								дюк	цюк
								крю	хрю
я	-		-	шляк	шлям	шляк	шлям	шляк	шлям
				шлям	шлях	шлям	шлях	шлям	шлях
						ямб	ямс	ямб	ямс

ДОДАТОК 9. Документи про захист інтелектуальної власності

УКРАЇНА



СВІДОЦТВО
про реєстрацію авторського права на твір

№ 93929

Комп'ютерна програма "Програмний модуль частотного аналізатора
"Буквожор" ("Буквожор")
(вид, назва твору)

Автор(и) Яшник Оксана Ігорівна (Педченко), Клішин Ігор Вікторович
(prophet)
(повне ім'я, псевдонім (за наявності))

Дата реєстрації 13.11.2019

 Заступник Міністра розвитку економіки,
торгівлі та сільського господарства
України Д. О. Романович



ПК «Україна» - Інст. 19-2001, 2019 р. 1 кт.

УКРАЇНА



ПАТЕНТ

НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

№ 140857

СПОСІБ ЗНАХОДЖЕННЯ УСЕРЕДНЕНОГО СПЕКТРА МОВИ

Видано відповідно до Закону України "Про охорону прав на винаходи і корисні моделі".

Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на корисні моделі 10.03.2020.

Заступник Міністра розвитку економіки, торгівлі та сільського господарства України

Д.О. Романович

