

## 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.