

УДК 534.77

# Акустичний аналіз артикуляційних таблиць числівників

Хвіст А. М., Луньова С. А., Гребінь О. П.

Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", м. Київ, Україна

E-mail: gor70017-ames@iit.kpi.ua

В статті методами акустичного аналізу досліджується звуковий матеріал словарної вибірки, що утворює артикуляційну таблицю числівників українською мовою. Адаптована таблиця числівників створена співробітниками Інституту отоларингології НАМН України на базі перекладу аналогічної російськомовної артикуляційної таблиці Є. М. Харшака і рекомендується для тестування стану слуху. Авторами статті перевіряється загальна відповідність запропонованого тесту числівників інтегральним характеристикам української мови, що є обов'язковою умовою для застосування діагностичного тесту. Для цього використовувався метод оцінки усередненого спектра потужності мови. Текст таблиці був записаний за стандартними вимогами. Обробка звукового матеріалу виконувалась за розробленою авторами методикою. Одержаний інтегральний спектр звукового матеріалу артикуляційної таблиці і порівняння його з усередненим спектром потужності української мови свідчать про обмежені можливості використання даного тесту для вичерпної діагностики слуху. Крім того, значні розміри артикуляційної таблиці роблять неможливим зачитування її цілком. Сформовані в межах таблиці стовпці числівників не є взаємозамінними, оскільки мають суттєву різницю в спектральних характеристиках. В статті для безпосереднього тестування пропонується на основі загальної таблиці числівників створення окремих діагностичних таблиць, збалансованих по стовпцях або по рядках на основі інтегральних характеристик мови. Збалансовані таблиці числівників сформовані за максимальною розбіжністю  $\pm 3$  дБ між рівнями спектральної густини потужності звукового матеріалу в межах групи в аналізованому діапазоні частот. Також надані рекомендації щодо використання таблиці числівників в якості тесту для перевірки слуху і розбірливості мови.

*Ключові слова:* артикуляційний; розбірливість мови; числівник; таблиця числівників; аудіометрія; діагностика слуху; спектральна густина потужності; мовленнєвий сигнал; українська мова

DOI: [10.20535/RADAP.2023.92.68-76](https://doi.org/10.20535/RADAP.2023.92.68-76)

## Вступ

Актуальною проблемою сьогодення є створення діагностичного артикуляційного матеріалу українською мовою для перевірки слуху [1]. Мовленнєва аудіометрія є одним з етапів діагностики вад слуху, за допомогою якого визначають ступінь розбірливості мови у пацієнта. Однією з проблем застосування мовленнєвої аудіометрії в Україні є відсутність стандартизованого діагностичного матеріалу, що призводить до використання російськомовних тестів.

Найчастіше у слухових центрах проводять перевірку слуху тестом числівників, який є найбільш простим зі словарних тестів і універсальним до віку слухачів. Такий тест базується на артикуляційних таблицях числівників Є. М. Харшака, які були розроблені в 60-х роках ХХ ст. російською мовою [2]. Як правило, аудіологи застосовують простий переклад цього тесту на українську мову.

Спеціалістами Інституту отоларингології ім. проф. О. С. Коломійченка НАМН України на базі

проведеного фонетичного аналізу запропонований адаптований варіант перекладу тесту числівників українською мовою [3]. Розроблена артикуляційна таблиця містить 120 слів, що сформовані у 12 груп (стовпців) по 10 числівників у кожній. В таблиці використовуються двозначні числа, а саме числівники від 12 до 97.

Але при створенні артикуляційних таблиць необхідно виконати ряд вимог, основна з яких полягає в тому, що матеріал, представлений в таблицях, повинен всебічно відповідати даній мові [4]. Для оцінки цього факту тільки фонетичного аналізу (кількість складів в словах, порядок ударного складу, характер закінчення слова та інше) не достатньо. Крім того, таблиці повинні бути збалансованими, тобто стовпці або строки таблиці – взаємозамінні. Це пов'язане з тим, що вся таблиця пацієнту не зачитується через її великий об'єм, а зачитуються вибірково, наприклад, окремі стовпчики. Щоб уникнути звикання і пізнання слів, при наступній перевірці зачитується інший матеріал з таблиці.

Отже запропонована адаптована таблиця числівників [3] потребує подальшого аналізу об'єктивними методами дослідження.

Одним з таких методів вважають статистичний аналіз відсотку використаних окремих букв українського алфавіту по відношенню до загальної кількості букв в тесті [5–7]. Однак, детальний аналіз існуючих україномовних тестів [4, 8] свідчить про значну розбіжність таких показників в тестах різних авторів. В результаті цей критерій не може слугувати як вичерпною характеристикою типовості словарного матеріалу для української мови, так і для встановлення ідентичності окремих елементів тесту.

Інший підхід до аналізу мовленнєвого матеріалу – інтегральний, який базується на представленні мовлення сигналу як випадкового акустичного сигналу [9, 10].

Авторами роботи [11] запропоновано в якості об'єктивної характеристики дослідження використовувати спектральну густину потужності мовленнєвого сигналу. Застосування цього критерію мотивується тим, що слух людини реагує на частотну залежність усередненої енергії звуку і не сприймає фази звукових коливань [12, 13]. Таким чином, частотна залежність спектральної густини потужності найбільше відповідає слуховому сприйняттю звукового сигналу людиною і слугує об'єктивною акустичною оцінкою, зокрема, мовленнєвого процесу.

## 1 Постановка задачі та метод дослідження

Авторами роботи [3] сформована наступна адаптована артикуляційна таблиця числівників (Табл. 1), яка і підлягає подальшому аналізу.

Табл. 1 Український варіант тесту числівників Є. М. Харшака

	Групи											
	1-а	2-а	3-а	4-а	5-а	6-а	7-а	8-а	9-а	10-а	11-а	12-а
1	46	26	19	42	18	45	82	46	12	19	16	61
2	12	15	51	17	25	13	16	15	26	46	63	46
3	73	67	20	57	31	38	39	63	89	51	20	17
4	59	34	58	61	83	64	42	34	67	34	58	51
5	87	96	63	23	74	78	79	57	32	87	69	95
6	35	32	47	71	14	27	65	36	96	36	47	36
7	92	68	95	90	43	90	37	92	68	95	92	27
8	28	56	62	49	75	41	52	86	21	72	62	76
9	65	21	29	76	48	72	96	28	56	29	41	82
10	24	86	82	97	93	85	21	65	93	65	86	65

Для дослідження відповідності мовленнєвого матеріалу таблиці числівників українській мові застосовуємо метод оцінки усередненого спектра потужності мови [11].

Спектральна густина потужності мовленнєвого сигналу  $G(f)$  є елементарною потужністю звуку в частотному діапазоні  $df$ , так що загальна потужність звукового процесу  $P$  [Вт] в діапазоні частот  $[f_1, f_2]$  оцінюється як

$$P = \int_{f_1}^{f_2} G(f) df.$$

Звуковий запис тексту таблиці проводився у звукоізоляційній акустичній камері кафедри Акустичних та мультимедійних електронних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського за допомогою прецизійного вимірювального ненаправленого конденсаторного мікрофона ЕСМ 8000 Behringer [14], з'єднаного зі звуковою картою Fast Track Pro M-Audio [15], під'єднаною до комп'ютерного обчислювального

пристрою, обладнаного засобом збереження даних у цифровій формі.

Звукоізоляційна камера має розміри:  $6,2 \times 3,35 \times 3$  м і час реверберації на частоті 63 Гц – 0,15 с, а в діапазоні частот від 200 Гц до 8000 Гц – 0,2 с.

Дикторами виступали дві дівчини і два хлопця віком 20-21 рік без явних дефектів мовлення і з нормальним слухом. Відстань від рота диктора до мікрофона становила 30 см.

Досліджуваний діапазон частот вибраний у межах області слуху людини, а саме від 100 Гц до 15 кГц, що відповідає особливостям української мови [11, 16]. Первинна обробка записаних звукових доріжок проводилася у програмному пакеті Pro Tools, послідовність операцій для отримання усередненого спектра – у програмному середовищі MatLab. Частота дискретизації становила 44100 Гц. В якості вагової функції обрано вікно Хеммінга. Середня тривалість аудіодоріжки однієї групи становить 15 секунд з відповідними паузами між числівниками. Тривалість усієї таблиці становить 2 хвилини

4 секунди з урахуванням невеликих пауз між словами. Аналіз звукового матеріалу проводився за допомогою оцінки Велча з 50% перекриттям між сегментами та довжиною вікна, що дорівнює 441. Всі звукові сигнали нормовані до величини максимальної спектральної потужності.

Отримана частотна залежність рівня спектральної густини потужності для таблиці числівників порівнювалась з усередненим спектром української мови [8]. На основі такого порівняння можна робити подальші висновки про відповідність, чи невідповідність представленого матеріалу інтегральним характеристикам української мови.

Для встановлення збалансованості стовпців таблиці числівників окремо записані звукові доріжки з текстовим матеріалом всіх стовпців. Далі виконувалась обробка звукових сигналів за вказаним методом і знаходилась частотна залежність рівня спектральної густини потужності для кожного стовпця окремо. Це дало змогу порівняти одержані результати між собою і сформувати групи взаємозамінних з точки зору слухового сприйняття стовпців таблиці.

Аналогічним чином виконувались обрахунки рівня спектральної густини потужності для перевірки збалансованості таблиці по строкам і формування акустично взаємозамінних строк.

## 2 Результати роботи та їх обговорення

### 2.1 Порівняння усередненого спектра таблиць числівників українською та російською мовами

Спочатку порівнюємо усереднені спектральні характеристики взятого за основу тесту Харшака [2] і адаптованого україномовного тесту числівників [3]. На Рис. 1 представлені рівні спектральної густини потужності відповідних тестів. По осі ординат вказано нормований рівень спектральної густини потужності мовного сигналу в децибелах. По осі абсцис відкладені частотні третино-октавні інтервали в межах діапазону від 100 Гц до 10 кГц.

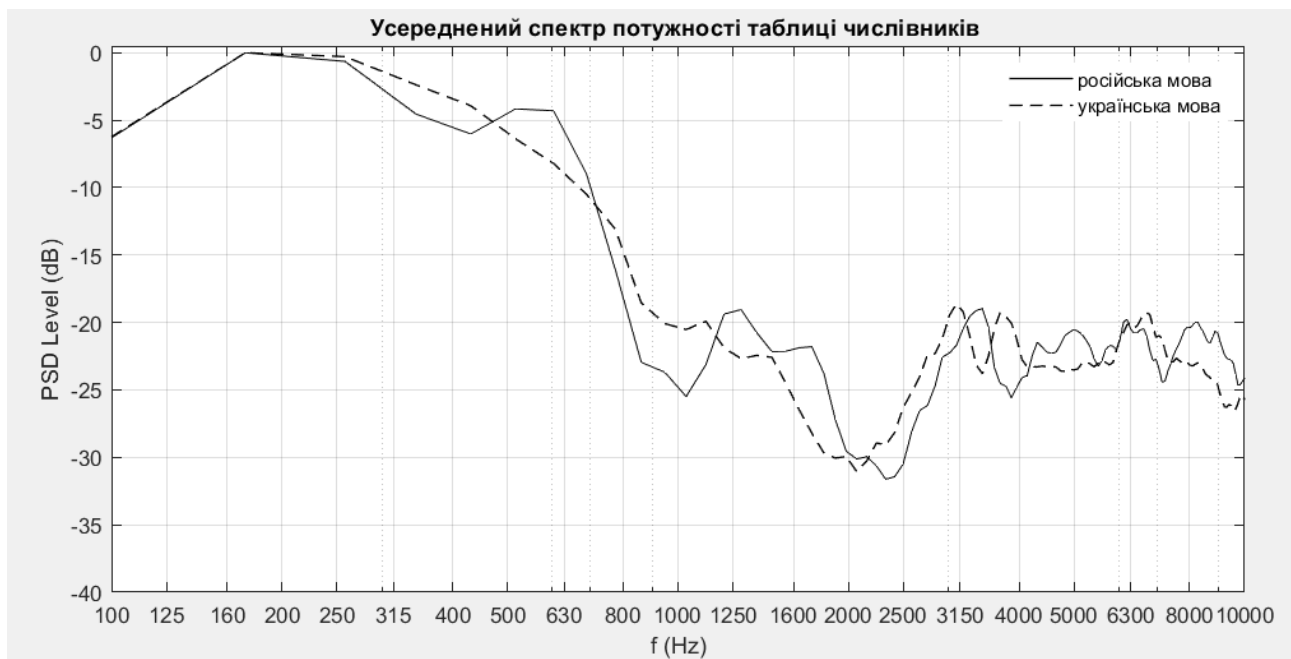


Рис. 1. Порівняння частотних залежностей рівнів спектральної густини потужності тесту числівників українською і російською мовами

Як видно з Рис. 1, найбільш суттєва відмінність в наведених характеристиках спостерігається в діапазоні 250-2500 Гц. Це не відповідає загальним розбіжностям в спектрах української і російської мови [11] і пов'язане з обмеженістю набору слів і їх однотипністю. Але наявність відмінностей в спектрах свідчить про певну адаптованість тесту числівників до української мови. Перевіримо відповідність таблиці числівників [3] українській мові.

### 2.2 Відповідність таблиці числівників спектру української мови

Результати обрахунку спектральної густини потужності мовленнєвого матеріалу артикуляційної таблиці числівників (Табл. 1) представлені на Рис. 2 у порівнянні з аналогічною характеристикою, а саме з усередненим спектром української мови [11].

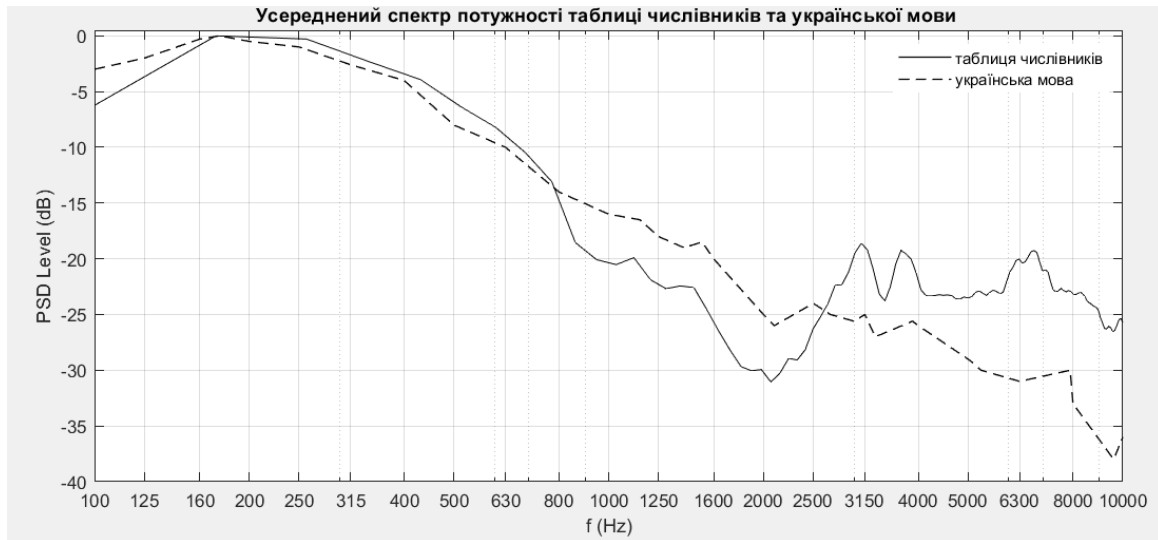


Рис. 2. Порівняння частотних залежностей рівнів спектральної густини потужності таблиці числівників та української мови

З графіків, представлених на Рис. 2, добре видно, що основні відмінності між усередненими спектрами таблиці числівників і української мови спостерігаються в діапазоні частот вищих за 800 Гц, де розбіжність в середньому складає 5 дБ. В діапазоні високих частот (5-10 кГц) енергія мовного сигналу таблиці числівників перевищує середні значення для української мови на 10 дБ і більше, тобто в 10 разів.

Такий результат цілком очікуваний, оскільки мовний матеріал таблиці числівників доволі специфічний. Він складається з однотипних слів, більшість з яких відрізняється тільки початком слова і має однакове закінчення типу «-дцять». Високо-частотний спектр цих закінчень і зумовлює підйом усередненого спектра на відповідних частотах.

Зрозуміло, що мовний матеріал таблиці не є характерним для української мови в цілому, оскільки він не містить широкого набору часто вживаних слів. Цим пояснюється і заниженість рівня спектральної густини потужності таблиці числівників на

низьких частотах (в межах 100-150 Гц), в той час як для української мови характерний підйом звукової енергії саме в цьому діапазоні через грудний характер вимовлення і велику кількість голосних звуків в мові [16].

### 2.3 Аналіз збалансованості таблиці числівників по стовпцям

Для перевірки стовпців таблиці числівників на збалансованість (взаємозамінність) знаходився усереднений спектр матеріалу кожного стовпця окремо. Далі добирались взаємозамінні стовпці на основі подібності їх усередненого спектра. В якості критерію обрана максимальна величина розбіжності рівнів спектральної густини потужності 6 дБ (або  $\pm 3$  дБ) відхилення від середнього значення [4].

За попереднім аналізом усередненого спектра стовпців створені 7 груп числівників, кожна з яких складається з двох стовпців (Табл. 2).

Табл. 2 Групи числівників за подібністю усередненого спектра стовпців

№ групи	1		2		3		4		5		6		7	
№ стовпчика	1	2	3	4	5	6	7	8	8	9	10	12	6	11
Числівники	46	26	19	42	18	45	82	46	46	12	19	61	45	16
	12	15	51	17	25	13	16	15	15	26	46	46	13	63
	73	67	20	57	31	38	39	63	63	89	51	17	38	20
	59	34	58	61	83	64	42	34	34	67	34	51	64	58
	87	96	63	23	74	78	79	57	57	32	87	95	78	69
	35	32	47	71	14	27	65	36	36	96	36	36	27	47
	92	68	95	90	43	90	37	92	92	68	95	27	90	92
	28	56	62	49	75	41	52	86	86	21	72	76	41	62
	65	21	29	76	48	72	96	28	28	56	29	82	72	41
	24	86	82	97	93	85	21	65	65	93	65	65	85	86

Наступним етапом проводилось більш детальне порівняння спектральних характеристик стовпців в межах групи. Для цього оцінювалось відхилення від середнього значення спектральної густини потужності для двох стовпців в межах аналізованого частотного діапазону.

Для прикладу на Рис. 3-5 наведені усереднені спектри потужності для груп числівників 2, 5 і 6.

Максимальні відхилення рівня спектральної густини потужності третього і четвертого стовпчиків від середнього значення знаходяться в межах 3 дБ (Рис. 3).



Рис. 3. Рівень спектральної густини потужності для числівників групи 2 по стовпцях

Для групи числівників 5 максимальні відхилення рівня спектральної густини потужності восьмого і дев'ятого стовпчиків від середнього значення складають, відповідно, 2 дБ і 4 дБ (Рис. 4).



Рис. 4. Рівень спектральної густини потужності для числівників групи 5 по стовпцях

Аналогічні відхилення (2 дБ і 4 дБ) від середнього значення рівня спектральної густини потужності для стовпчиків 10 і 12 групи 6 (Рис. 5).



Рис. 5. Рівень спектральної густини потужності для числівників групи 6 по стовпцях

Табл. 3 Таблица груп числівників зі взаємозамінними стовпчиками

№ групи	1		2		4		5		6	
№ стовпчика	1	2	3	4	7	8	8	9	10	12
Числівники	46	26	19	42	82	46	46	12	19	61
	12	15	51	17	16	15	15	26	46	46
	73	67	20	57	39	63	63	89	51	17
	59	34	58	61	42	34	34	67	34	51
	87	96	63	23	79	57	57	32	87	95
	35	32	47	71	65	36	36	96	36	36
	92	68	95	90	37	92	92	68	95	27
	28	56	62	49	52	86	86	21	72	76
	65	21	29	76	96	28	28	56	29	82
	24	86	82	97	21	65	65	93	65	65

Виконаний таким чином аналіз дав наступні результати: з семи сформованих груп числівників тільки в групах 3 і 7 максимальна різниця між рівнями спектральної густини потужності між стовпцями складала 8-10 дБ в межах аналізованого діапазону частот. В решті груп ця різниця в цілому не перевищувала 6 дБ.

Отже, з Таблиці 2 виключаємо групи числівників 3 і 7. Формуємо таблицю числівників з груп зі взаємозамінними стовпчиками слів (Табл. 3).

Зазначимо, що найбільші спектральні розбіжності в збалансованих групах числівників спостерігаються в середньому діапазоні частот, де впливає їх відмінність в сонорних складах. Добра відповідність спектральних характеристик на низьких і високих частотах пов'язана з однотипністю слів у вживанні певних голосних і однотипним закінченням слів, яке у своєму спектрі містить високочастотну складову.

Нижче наведено два варіанти збалансованих таблиць числівників для проведення слухової аудіометрії (Табл. 4, 5), складених на основі таблиці числівників з груп зі взаємозамінними стовпчиками слів (див. Табл. 3).

Табл. 4 Варіант 1 артикуляційної таблиці зі стовпців числівників

№ стовпчика	1	3	7	10
Числівники	46	19	82	19
	12	51	16	46
	73	20	39	51
	59	58	42	34
	87	63	79	87
	35	47	65	36
	92	95	37	95
	28	62	52	72
	65	29	96	29
	24	82	21	65

Табл. 5 Варіант 2 артикуляційної таблиці зі стовпців числівників

№ стовпчика	2	4	8	12
Числівники	26	42	46	61
	15	17	15	46
	67	57	63	17
	34	61	34	51
	96	23	57	95
	32	71	36	36
	68	90	92	27
	56	49	86	76
	21	76	28	82
	86	97	65	65

## 2.4 Аналіз збалансованості таблиці числівників по рядках

Аналогічний аналіз спектрального складу таблиці числівників виконувався по строкам. Хоча окреме зачитування рядків таблиці аудіологами використовується рідше, ніж стовпців, створення збалансованої таблиці по строкам також може бути доцільним. Оскільки рядок містить дванадцять числівників, для разової перевірки слуху вона може бути застосована окремо.

Порівняння результатів знаходження рівнів спектральної густини потужності рядків призвело до створення попередніх груп таблиці числівників за подібністю усередненого спектра (Табл. 6).

Для сформованих п'яти груп числівників виконувалося порівняння рівнів спектральної густини потужності між рядками та середнім значенням в межах групи. Для прикладу на Рис. 6, 7 наведені результати такого аналізу для груп 2 і 4.

Табл. 6 Групи числівників за подібністю усередненого спектра рядків

№ групи	№ рядка	Числівники											
1	1	46	26	19	42	18	45	82	46	12	19	16	61
	2	12	15	51	17	25	13	16	15	26	46	63	46
2	4	59	34	58	61	83	64	42	34	67	34	51	58
	8	28	56	62	49	75	41	52	86	21	72	62	76
3	5	87	96	63	23	74	78	79	57	32	87	69	95
	6	35	32	47	71	14	27	65	36	96	36	47	36
4	9	65	21	29	76	48	72	96	28	56	29	41	82
	10	24	86	82	97	93	85	21	65	93	65	86	65
5	3	73	67	20	57	31	38	39	63	89	51	20	17
	7	92	68	95	90	43	90	37	92	68	95	92	27



Рис. 6. Рівень спектральної густини потужності числівників групи 2 по рядках

Максимальне відхилення четвертого і восьмого рядків від середнього значення рівня спектральної густини потужності в межах аналізованого діапазону частот становить 8 дБ. Отже, групу 2 виключаємо з попередньо сформованої Табл. 3.

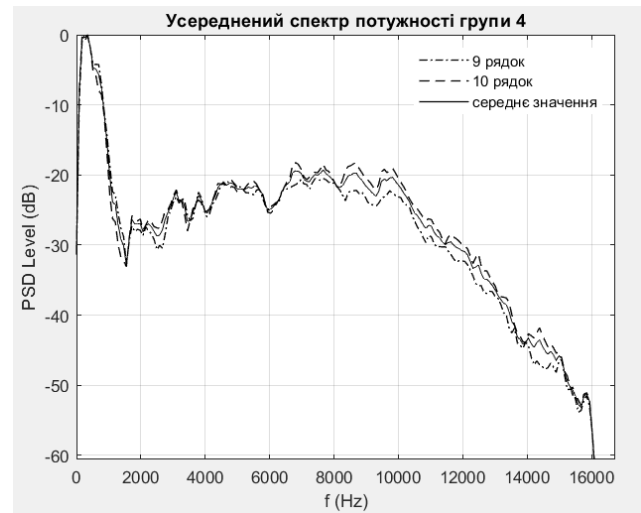


Рис. 7. Рівень спектральної густини потужності числівників групи 4 по рядках

Максимальне відхилення від середнього рівня спектральної густини потужності в рядках 9 і 10 не перевищує 3 дБ, отже словарний матеріал цих рядків можна вважати взаємозамінним.

Результатом проведеного аналізу стало формування таблиці числівників з груп взаємозамінних строк (Табл. 7). Ця таблиця отримана з Таблиці 4 виключенням групи 2.

Табл. 7 Таблиця груп числівників з взаємозамінними рядками

№ групи	№ рядка	Числівники											
		1	1	46	26	19	42	18	45	82	46	12	19
	2	12	15	51	17	25	13	16	15	26	46	63	46
3	5	87	96	63	23	74	78	79	57	32	87	69	95
	6	35	32	47	71	14	27	65	36	96	36	47	36
4	9	65	21	29	76	48	72	96	28	56	29	41	82
	10	24	86	82	97	93	85	21	65	93	65	86	65
5	3	73	67	20	57	31	38	39	63	89	51	20	17
	7	92	68	95	90	43	90	37	92	68	95	92	27

В таблиці, збалансованій по рядках, так само, як і в таблиці, збалансованій по стовпчикам, найбільша розбіжність усередненого спектра в межах групи припадає на область середніх частот.

Нижче наведено два варіанти збалансованих таблиць числівників для проведення слухової аудіометрії (Табл. 8, 9), складених на основі таблиці числівників з груп взаємозамінних рядків (див. Табл. 7).

Табл. 8 Варіант 1 артикуляційної таблиці з рядків числівників

№ рядка	Числівники											
1	46	26	19	42	18	45	82	46	12	19	16	61
5	87	96	63	23	74	78	79	57	32	87	69	95
9	65	21	29	76	48	72	96	28	56	29	41	82
3	73	67	20	57	31	38	39	63	89	51	20	17

Табл. 9 Варіант 2 артикуляційної таблиці з рядків числівників

№ рядка	Числівники											
2	12	15	51	17	25	13	16	15	26	46	63	46
5	87	96	63	23	74	78	79	57	32	87	69	95
10	24	86	82	97	93	85	21	65	93	65	86	65
3	73	67	20	57	31	38	39	63	89	51	20	17

## Висновки

Адаптована таблиця числівників за інтегральними акустичними характеристиками, а саме, усередненим спектром, не відповідає аналогічним характеристикам української мови. Причиною є однотипність представлених в таблиці слів, що не відображає широкого словника української мови, в тому числі притаманного різним стилям мови.

Отже, тестування розбірливості мови тільки числівниками не може бути вичерпним для діагностики слуху. Але, оскільки тест числівників використовується в багатьох мовах світу, не зважаючи на його надлишковість (людина добре знає ці слова і може додумати не почуте), рекомендуємо застосування адаптованого тесту числівників для первісної оцінки розбірливості мови у пацієнта.

Для зручності користування тестом запропоновані таблиці груп числівників збалансованих по стовпцях і по рядках на основі інтегральних характеристик мови, а саме, за максимальною розбіжністю  $\pm 3$ дБ між рівнями спектральної густини потужності словарного матеріалу стовпців або рядків з їх середнім значенням в межах групи в аналізованому діапазоні частот від 100 Гц до 15 кГц.

## References

- [1] Mishhanchuk N.S., Radchenko O.I., Karamzina L.A. (2016). Movna audiometriia dlia klinichnoi audiologii v suchasnykh umovakh [Speech audiometry in modern audiology]. *Journal of Ear, Nose and Throat Diseases*, No. 2, pp. 49–53.
- [2] Harshak E.M. (1964). Sbalansirovannyiy chislovy test dlya rechevoy audiometrii [Balanced numerical test for speech audiometry]. *Aktualnyie voprosy otolaringologii*, Kyiv, 140 p.
- [3] Zabolotniy D. I., Lutsenko V. I., Bieliakova I. A., Svitlychna Ye. I., Berestova A. A., Kholodenko T. Yu., Hradiuk N. M. (2020). Ukrainian translation and adaptation of Kharshak numerals test. *Otorhinolaryngology*, No. 1-2(3), pp. 11-16. DOI 10.37219/2528-8253-2020-1-11.
- [4] Pedchenko, O., & Lunova, S. (2018). ANALYSIS OF UKRAINIAN DIAGNOSTIC ARTICULATION TABLES. *EUREKA: Physics and Engineering*, Vol. 1, pp. 63-72. doi:10.21303/2461-4262.2018.00559.
- [5] Arkhypova O., Zhuravlov V., Kumeiko V. (2009). Artykuliatsiini tablytsi sliv ukraïnskoi movy [Articulation tables of words of the Ukrainian language]. *Pravove, normatyvne ta metrolohichne zabezpechennia systemy zakhystu informatsii v Ukraini: naukovno-tekhnichnyi zbirnyk*, Vol. 2, Iss. 19, pp. 13-17.
- [6] Arkhypova O. O. and Zhuravlov V. M. (2009). *Chastotnyi analiz vykorystannia bukiv ukraïnskoi movy [Frequency analysis of the use of the letters of the Ukrainian language]*. Radioelektronika, Inform. Upr., No. 2, pp. 53–56.
- [7] Pedchenko O. I. (2018). Evaluation of the rhythmic dynamic structure of the Ukrainian language diagnostic articulation tables. *Microsystems, Electron. Acoust.*, Vol. 23, No. 5, pp. 57–62. DOI: 10.20535/2523-4455.2018.23.5.122914.
- [8] Karamzina L. A. (2016). Psychophysiological Models Sensation and Perception of Speech Signals: in what Intelligibility Difference. *Ukr. zhurnal medytsyny, Biol. ta Sport.*, No. 1, pp. 58–61. doi:10.26693/jmbs01.01.058.
- [9] Stoakes H., Butcher A., Fletcher J., and Tabain M. (2011). 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.
- [10] McCullough J. A., Tu C., and Lew H. L. (1993). 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, PMID: 8422484.
- [11] Yashnyk O. I., Lunova S. A., Rudenko I. L. (2021). Sposib vyznachennia userednenooho spektra movy. Patent na vynakhid. [The method of determining the averaged speech spectrum. Patent for the invention]. *State Enterprise "Ukrainian Institute of Intellectual Property"*, #16290/3A/21 from 20.07.2021., 15 p.
- [12] Didkovskii V.S., Didkovskaya M.V., and Prodeus A.N. (2008). *Akusticheskaya ekspertiza kanalov rechevoi komunikatsii [Acoustic expertise of speech communication channels]*. Kiev: Imeks-LTD, 420 p.
- [13] Prodeus A. M. (2018). Kompiuterna obrobka akustychnykh sygnaliv [Computer processing of acoustic signals]. *NTUU "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"*, Kyiv, 237 p.
- [14] Ultra-Linear Measurement Condenser Microphone ECM8000 [Accessed: 06-Febr-2023].
- [15] Fast Track Pro Benutzerhandbuch [Accessed: 06-Febr-2023].
- [16] Ishchenko O. S. (2012). Holosni zvuky ukraïnskoi movy zalezno vid tempu movlennia [Vowel Ukrainian language depending on the rate of speech]: monohrafiia. K.: *Institut ukraïnskoi movy NAN Ukrainy*, 220 p.



## Acoustic Analysis of Articulation Tables of Numbers

*Khvost A. M., Lunova S. A., Grebin O. P.*

The article uses the methods of acoustic analysis to study the sound material of the vocabulary sample, which forms an articulation table of numerals in the Ukrainian language.

The adapted table of numerals is created by employees of the Institute of Otolaryngology of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine based on the translation of a similar Russian-language articulation table by E. M. Harshaka and is recommended for testing the state of hearing.

The authors of the article check the general compliance of the proposed test of numerals with the integral characteristics of the Ukrainian language, which is a mandatory condition for the use of the diagnostic test. For this, the method of estimating the averaged speech power spectrum is used. The text of the table is written according to standard requirements. The sound material is processed according to the methodology developed by the authors.

The obtained integral spectrum of the sound material of the articulation table and its comparison with the average power spectrum of the Ukrainian language indicate the limited possibilities of using this test for comprehensive hearing diagnostics. In addition, the large size of the articulation table makes it impossible to read it in its entirety. The columns of numerals formed within the table are not interchangeable, as they have a significant difference in spectral characteristics.

In the article, for direct testing, based on the general table of numerals, it is proposed to create separate diagnostic tables, balanced by columns or by rows based on the integral characteristics of the language. Balanced tables of numbers are formed according to the maximum difference of  $\pm 3$  dB between the levels of the spectral density of the power of the sound material within the group in the analyzed frequency range. Recommendations are also provided for using the table of numbers as a test to test hearing and speech intelligibility.

*Keywords:* articulation; speech intelligibility; numerals; table of numerals; audiometry; hearing diagnostics; power spectral density; speech signal; Ukrainian language