

Акустичні прилади та системи

УДК 534.134

Аналіз спектральних характеристик української та декількох європейських мов

Гарасюк^f А. О., ORCID [0000-0001-7212-4174](https://orcid.org/0000-0001-7212-4174)Глюк^f І. Р., ORCID [0000-0002-4389-0790](https://orcid.org/0000-0002-4389-0790)Вдовенко М. В., ORCID [0000-0003-1666-3389](https://orcid.org/0000-0003-1666-3389)Педченко О. І., ORCID [0000-0001-6882-8494](https://orcid.org/0000-0001-6882-8494)Луньова^s С. А., к.ф.-м.н. доц., ORCID [0000-0003-0683-1211](https://orcid.org/0000-0003-0683-1211)Кафедра акустики та акустoeлектроніки acoustic.kpi.ua

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» kpi.ua

Київ, Україна

Анотація—Для вирішення ряду задач науково-технічного, медичного та лінгвістичного спрямування існує потреба встановлення акустичних особливостей української мови у порівнянні з європейськими мовами. Дослідження виконуються на основі найбільш об'єктивної акустичної характеристик мовного сигналу — усередненої спектральної густини потужності. Одержані спектральні характеристики української, російської, польської, італійської та англійської мов шляхом обробки звукових сигналів аудіозаписів публіцистичного та художнього стилів мовлення. Виконане порівняння усереднених за стилями спектрів іноземних мов із відповідними характеристиками української мови. Проаналізовані спільні та відмінні риси цих характеристик у різних частотних областях спектру.

Ключові слова — інтегральні спектральні характеристики мови; спектральна густина потужності; спектр української мови; спектр російської мови; спектр польської мови; спектр італійської мови; спектр англійської мови; порівняння спектрів європейських мов.

І. ВСТУП

У сучасному світі все більшого поширення набувають системи керування голосом процесами повсякденного життя, починаючи від голосового відповідача, «розумного дому» і сягаючи до управління безпілотними літальними апаратами та значно складнішими комплексами.

Більшість таких систем розроблена з орієнтуванням на англійську мову. Частково, із найбільш наближених до нас мов, існують програми, виконані російською або польською мовами.

Для діагностики слуху або встановлення акустичної відповідності призначення приміщення використовують суб'єктивну оцінку на основі артикуляційних таблиць. В Україні досі не існує стандартизованих таких таблиць державною мовою; за потреби користуються російськомовними таблицями [1]. Тому виникає питання про спорідненість або особливість української мови у порівнянні зі східноєвропейськими та західноєвропейськими мовами. Ці питання досі досконало не вивчені.

Проблема полягає у двоякісному підході до мови як акустичного й інформативного сигналів. З одного боку, мова є акустичним сигналом, представленим

у вигляді звукових хвиль. Виходячи з цього визначення, мова аналізується як випадковий процес із такими об'єктивними параметрами, як амплітуда звукового тиску, часова структура звукової хвилі, тривалість звучання, спектральний склад та ін., які викликають слухові суб'єктивні відчуття гучності, висоти тону, тембру, локалізації джерела та ін.

З іншого боку, знайома або рідна для людини мова сприймається спочатку як фонетична, а потім — як семантична інформація. У цьому разі досліджують фонему (типизований звук мови). Розуміння процесів, які зумовлюють формування фонем, а саме: як мозок отримує інформацію про змістовність повідомлення за зміненням звукового тиску, можливо одержати на основі аналізу зв'язку між акустичними характеристиками сигналу та його фонетичними ознаками. Такий взаємозв'язок відкриває можливість створення пристроїв, здатних розпізнати будь-який потік мовлення.

Фонетичні особливості української мови активно досліджуються лінгвістами, починаючи з 70-х років минулого століття [2]–[7]. Але при цьому, переважно досліджуються словотворення з погляду притаманних мові префіксів, суфіксів, зменшувальних та скорочених форм.



Акустичні характеристики звуків української мови вивчені дуже вибірково. Слід виділити роботу [8] про розподілення звуків мови в залежності від діапазону частот, а також фонетичні дослідження, проведені на базі інших мов [2], [5], [8]. Зазначимо, що методика досліджень мала ряд недоліків, які суттєво вплинули на результат. Навіть, формантні частоти (F-картини українських голосних), представлені різними фонетиками, мають достатньо широкий діапазон [9].

Для порівняння усереднених спектральних характеристик української мови з характеристиками ряду західноєвропейських і східноєвропейських мов виконується дослідження за методом, наведеним у роботі [10].

Метою статті є одержання та аналіз усереднених спектрів декількох європейських мов, а саме: російської, польської, італійської та англійської, а також порівняння їх з відповідними спектральними характеристиками української мови.

У статті проаналізовані усереднені спектри мов, які згідно прийнятої класифікації [11], [12] належать до східнослов'янської, західнослов'янської, романської та західногерманської груп мов.

II. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

До інтегральних характеристик мови, які визначають властивості мовного процесу загалом, відносяться: спектр мови; спектр формант та амплітудний склад мови.

Найбільш об'єктивною узагальненою характеристикою мови вважається її спектр або спектральний рівень мовлення [13]. Під ним розуміють рівень потужності звукового сигналу, який припадає на смугу шириною в 1 Гц і називається густиною потужності. З урахуванням діапазону частот функція густини потужності звукового сигналу інтегрується в межах заданої частотної області.

Для знаходження усередненого спектру густини потужності мовленнєвих сигналів їхня обробка виконувалася у програмному середовищі MATLAB®. Під час побудови спектру густини потужності сигналів використовували вагове вікно Хемінга, що відповідає алгоритму, запропонованому в роботі [10]. Для проведення дослідження використанні звукові записи аудіокниг з електронних ресурсів:

<https://www.twirpx.com/>,
<http://www.litteratureaudio.com>,
<https://www.lingq.com>, <https://tracker.cztorrent.net>.

Тексти читають професійні диктори, які є носіями мови, що дозволяє виключити акценти та нетипову вимову або наголоси.

Оскільки особливості лексики, інтонація та емоційний стан диктора впливають на спектральні характеристики мови [10], то доцільним є аналіз декількох стилів з наступним усередненням результатів. Обрані уривки творів, належать до двох стилів мови — художнього та публіцистичного:

- художній стиль
 - 1) Східнослов'янська група
Українська мова — Василь Манько «Жовтий князь».
Російська мова — Микола Гоголь «Вій».
 - 2) Західнослов'янська група
Польська мова — Ернст Теодор Амадей Гофман «Лускунчик і Мишачий король».
 - 3) Романська група
Італійська мова — Жюль Верн «Двадцять тисяч лье під водою».
 - 4) Західногерманська група
Англійська мова — Стівен Кінг «11/22/63».
- публіцистичний стиль
 - 1) Східнослов'янська група
Українська мова — Еплблом Енн «Історія ГУЛАГу».
Російська мова — Сухотін Анатолій «Парадокси науки».
 - 2) Західнослов'янська група
Польська мова — Рафал Земкевіч «Polactwo».
 - 3) Романська група
Італійська мова — МакКенна Пол «Зміни своє життя за 7 днів».
 - 4) Західногерманська група
Англійська мова — Пеллі Скотт «Істина, гідна розповіді: репортер шукає сенс в історіях нашого часу».

Тривалість досліджуваних записів становила 2 хв. 30 с.±5 с. Похибка читання зумовлена тим, що файли формувалися таким чином, щоб слова були дочитані до кінця аби не порушувати інтонаційну картину.

Досліджуваний діапазон частот обраний, спираючись на діапазон слуху людини. Нижня межа становила 100 Гц, що відповідає першій формантній частоті чоловічого голосу (перша формантна частота жіночого голосу є вищою); верхня межа — 20 кГц, оскільки для італійської та польської мов характерні звуки, що потрапляють у дану частотну область.

III. РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

На рис. 1 порівнюються усереднені спектри української та російської мови.

Представлені частотні характеристики підкреслюють більший рівень спектральних складових української мови в низькочастотному діапазоні (область перших формант), що свідчить про грудний характер голосних звуків. Деяке зниження рівня спектру української мови в області середніх частот говорить про меншу представленість дзвінких приголосних і, взагалі, не підкреслення приголосних звуків. Дуже цікавим моментом є яскраво виражена високочастотна форманта з максимумом в районі 4 кГц, яку можна вважати «співочою формантою». На більш високих



частотах значне зниження рівня спектра в порівнянні з російською мовою свідчить про відсутність присвистів і пришиптувань в українській вимові.

На рис. 2 наведені графіки усереднених спектрів української та польської мов.

Як видно з наведеного графіку спектри української і польської мов достатньо подібні приблизно до частоти 1,5 кГц. Далі в польській мові проявляється наявність цокаючих і шелестячих звуків (значна кількість поєднань зі звуком «ш»), в той час як в українській мові з'являється «співоча форманта» і спостерігається різкий спад рівнів спектральних складових, що свідчить про відсутність вказаних звукових фонем.

На рис. 3 зображені спектри української та італійської мов.

Із порівнянь спектральних характеристик очевидно, що рівень складових спектру української мови в діапазоні частот 100-1500 Гц значно перевищує італійську. Тільки в межах 20-100 Гц італійська мова

має перевагу. Це свідчить про більш низькочастотний характер української мови. Дійсно, італійська мова має потужні високочастотні спектральні складові, причому її високочастотні форманти також мають місце в районі 4 кГц (як і українська співоча форманта), але більш суттєвий підйом частотної характеристики спостерігається в межах 7-9 кГц, де рівень спектру української мови в середньому на 20 дБ нижче.

На рис. 4 представлені спектри української та англійської мов.

Спостерігаємо дивовижну схожість спектральних характеристик майже до частоти 1800 Гц. Далі до 8 кГц, в той час, як в англійській мові підтримується рівень високочастотних складових, в українській мові формується яскраво виражена «співоча» форманта. Після 8 кГц спектри спадають майже однаково, на відміну від решти розглянутих мов.

Отже, при порівнянні української мови з російською, польською, італійською та англійською наведених даних, бачимо значну кількість спільних фонологічних рис, проте відмінностей між ними не менше.

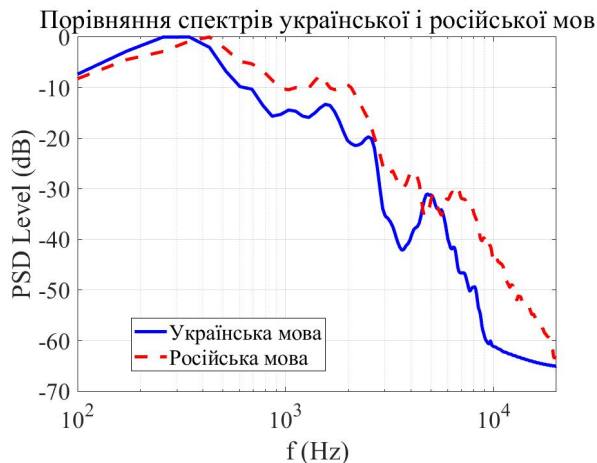


Рис. 1 Спектральна густина потужності української та російської мов

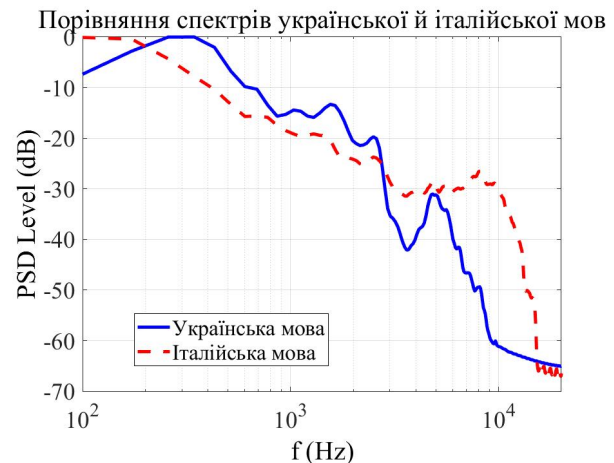


Рис. 3 Спектральна густина потужності української та італійської мов

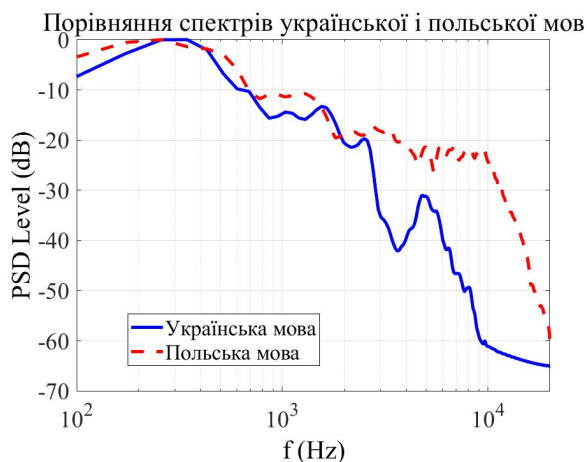


Рис. 2 Спектральна густина потужності української та польської мов

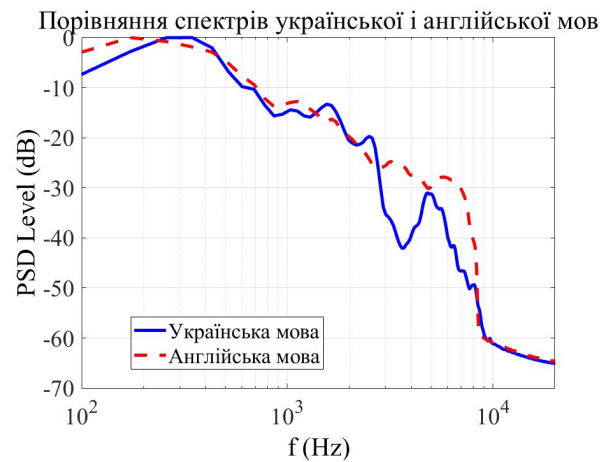


Рис. 4 Спектральна густина потужності української та англійської мов



ВИСНОВКИ

Одержані усереднені спектральні характеристики української, російської, польської, італійської та англійської мов. Виконане порівняння спектрів іноземних мов із відповідними характеристиками української мови.

У процесі аналізу отриманих результатів виявлена акустична подібність української мови до польської та англійської мов в низькочастотному діапазоні, частково — до італійської і англійської в високочастотному діапазоні та до російської — майже у всій області слухових частот, враховуючи різницю в рівнях спектральних складових та зміщення високочастотної форманти (в російській мові в бік високих частот).

Результати порівняння спектральних характеристик європейських мов і української мови будуть корисними для лінгвістів, фонетиків, проектувальників систем голосового керування, розробникам тестових артикуляційних таблиць і в інших галузях науки та техніки.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- [1] O. Pedchenko and S. Lunova, "ANALYSIS OF UKRAINIAN DIAGNOSTIC ARTICULATION TABLES," *EUREKA Phys. Eng.*, vol. 1, pp. 63–72, Jan. 2018, DOI: [10.21303/2461-4262.2018.00559](https://doi.org/10.21303/2461-4262.2018.00559).
- [2] V. H. Shatukh, "Porivnialnyi analiz formantnoho skladu ukrainskykh ta anhliiskyykh holosnykh fonem [Comparative Analysis of the Formant Composition of Ukrainian and English Vowel Phonemes]," in *Pytannia eksperymentalnoi fonetyky*, Kyiv, Ukraine, 1963, pp. 82–93.
- [3] T. S. Mishchenko, "Pro intensyvnykh holosnykh ukrayinskoi movy [The intensity of vowels Ukrainian language]," *Movoznavstvo*, no. 4, pp. 56–62, 1974.
- [4] B. M. Belyavs'kiy, N. Í. Geyl'man, and L. P. Shcherbakova, "Stil', temp i segmentnyye kharakteristiki rechi [Style, pace and segmented characteristics of speech]," *Eksp. Anal. rechi Probl. i Metod.*, no. 1, pp. 39–50, 1984.
- [5] M. M. Chorna, "Zistavnyi analiz fonem ukrayinskoi, anhliiskoi ta nimetskoï movnykh system [Comparative phoneme analysis of Ukrainian, English and German language systems]," *Aktual. Probl. slov'yans'koyi Filol. Seriya Lnhvistyka i Lit. Mizhvuz. zb. Nauk. st.*, vol. XXIII, no. 2, pp. 518–528, 2010, URL: <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/38081>.
- [6] M. O. Vakulenko, "Invariantno-akustychnyi analiz movlennia ta postini kharakterystyky ukrainskykh holosnykh [Invariant-acoustic analysis of speech and constant characteristics of Ukrainian vowels]," in *Dialoh mov-dialoh kul'tur. Ukrayina i svit*, 2011, pp. 164–177.
- [7] L. M. Khomenko and M. K. Hubarev, "Zasady stvorennia atlasu holosnykh zvukiv suchasnoi ukrayinskoi literaturnoi movy [Basics of creating an atlas of the vocal sounds of modern Ukrainian literary language]," in *Na khvylyakh movy.*, A. Y. Bahmut, Ed. Kyiv, Ukraine, 2011, pp. 195–209.
- [8] L. V. Bondarko, *Fonetika sovremennogo russkogo yazyka [Phonetics of the modern Russian language]*. St.-Peterburg, Russia, 1998.
- [9] O. S. Ishchenko, *Holosni zvuky ukrayinskoi movy zalezno vid tempu movlennia [Vowel Ukrainian language depending on the rate movlennia]*. Kyiv, Ukraine: Instytut ukrayinskoi movy NAN Ukrainy, 2012.
- [10] O. Pedchenko, S. Lunova, and I. Rudenko, "Speech spectrum of the Ukrainian language," in *2019 IEEE 39th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO)*, 2019, pp. 444–448, DOI: [10.1109/ELNANO.2019.8783816](https://doi.org/10.1109/ELNANO.2019.8783816).
- [11] Y. V. Kravchenko and Y. B. Shcherbina, "Ukrayinska mova — zolota skarbnitsia dushi narodnoi [The Ukrainian language is the golden treasure trove of the soul of the people]," in *VSEUKRAYINS'KA NAUKOVA KONFERENTSIYA PROFESORS'KO-VYKLADAT'SKOHO SKLADU I STUDENTIV KHDADM*, 2017, pp. 172–175.
- [12] O. V. Tsaruk, "Pro nadiynist kryteriiv henealohichnoi klasyfikatsii slovanskykh mov [On the reliability of the criteria for the genealogical classification of Slavic languages]," in *Skladni pytannia ukrayinskoi movy*, Kryvyi Rih, Ukraine, 1997, pp. 113–115.
- [13] S. A. Lunova, V. S. Didkovskiy, and O. I. Pedchenko, *Akustyka movotvorennia [Speech Acoustics]*. LAP: Lambert Academic Publishing, 2018.

Надійшла до редакції 20 червня 2019 р.



УДК 534.134

Анализ спектральных характеристик украинского и нескольких европейских языков

Гарасюк^f А. О., ORCID [0000-0001-7212-4174](https://orcid.org/0000-0001-7212-4174)Глюк^f И. Р., ORCID [0000-0002-4389-0790](https://orcid.org/0000-0002-4389-0790)Вдовенко М. В., ORCID [0000-0003-1666-3389](https://orcid.org/0000-0003-1666-3389)Педченко О. И., ORCID [0000-0001-6882-8494](https://orcid.org/0000-0001-6882-8494)Лунёва^s С. А., к.ф.-м.н. доц., ORCID [0000-0003-0683-1211](https://orcid.org/0000-0003-0683-1211)Кафедра акустики и акустоэлектроники acoustic.kpi.ua

Национальный технический университет Украины

"Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского" kpi.ua

Киев, Украина

Аннотация—Было исследовано наиболее объективную характеристику языка, — усредненную спектральную плотность сигнала. Первая оценка такой характеристики для украинского языка выполнена авторами в предыдущей работе. В этой статье полученные интегральные спектральные характеристики языков индоевропейской семьи, а именно: украинского, русского, польского, итальянского и английского языков на основе аудиозаписей публицистического и художественного стилей речи. Выполнено сравнение усредненных по стилям спектров иностранных языков с соответствующими характеристиками украинского языка. Проанализированы общие и отличительные черты этих характеристик в различных частотных областях спектра.

Ключевые слова — интегральные спектральные характеристики речи; спектральная плотность мощности; спектр украинского языка; спектр русского языка; спектр польского языка; спектр итальянского языка; спектр английского языка; сравнение спектров европейских языков.

UDC 534.134

Analysis of Spectral Characteristics of Ukrainian and Several European Languages

A. O. Harasiuk^f, ORCID [0000-0001-7212-4174](https://orcid.org/0000-0001-7212-4174)I. R. Hliuk^f, ORCID [0000-0002-4389-0790](https://orcid.org/0000-0002-4389-0790)M. V. Vdovenko, ORCID [0000-0003-1666-3389](https://orcid.org/0000-0003-1666-3389)O. I. Pedchenko, ORCID [0000-0001-6882-8494](https://orcid.org/0000-0001-6882-8494)S. A. Lunova^s, PhD Assoc.Prof., ORCID [0000-0003-0683-1211](https://orcid.org/0000-0003-0683-1211)Department of Acoustics and Acoustoelectronics acoustic.kpi.uaNational Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute" kpi.ua

Kyiv, Ukraine

Abstract—A number of scientific, technical, medical and linguistic tasks require the establishment of an acoustic affinity or a peculiarity of the Ukrainian language in comparison with European languages. Today these issues are not thoroughly investigated.

The objective parameters of the speech process as a random signal are not given sufficient attention. And understanding the processes of how the brain receives information can be obtained by analyzing the relationship of the acoustic characteristics of the signal with its phonetic parameters.



The most objective acoustic characteristic of a language is its integral characteristic, namely the averaged spectral density of the speech signal power. The first assessment of this characteristic for the Ukrainian language was made by the authors in previous work.

The purpose of the article is to study the averaged spectra of languages of the Indo-European family, namely, Russian, Polish, Italian and English, as well as to compare them with the corresponding spectral characteristics of the Ukrainian language.

Audiobook audio recordings from the electronic resources indicated in the text were used for the research. The analysis was performed for two styles of language: artistic and nonfiction, followed by averaging the results.

To find the average power density spectrum of speech signals, their processing was performed in the MATLAB® software environment.

The duration of the studied records was 2 minutes. $30 \text{ s.} \pm 5 \text{ s.}$ The tested frequency range is selected from 100 Hz to 20 kHz.

The results obtained are presented in the form of graphical representations of the spectral characteristics of linguistic signals averaged over styles in comparison with the Ukrainian language.

The basic regularities of the spectrum of the Ukrainian language are analyzed. The high level of spectral components of the low-frequency range is characteristic, which indicates the thoracic nature of the loud sounds. Some decrease in the level of the spectrum of the Ukrainian language in the midrange indicates a lower representation of ringing consonants and, in general, no emphasizing of consonant sounds. The high frequency formant with a maximum in the region of 4 kHz, which can be called a "singing formant", is essential. At higher frequencies there is a significant decrease in the level of the spectrum, which indicates the absence of whistles and whispers in the Ukrainian language. The results obtained are in line with the main conclusions of linguists who distinguish the particular sweetness of the Ukrainian language compared to Russian.

A comparison of the spectra of Ukrainian and Polish obvious that they are sufficiently similar to the frequency of about 1.5 kHz. At higher frequencies in Polish the presence of clanging and rustling sounds, while in the Ukrainian language appears "singing formant" and there is a sharp decline in the levels of spectral components.

The level of components of the spectrum of the Italian language is much lower than in the Ukrainian, in the frequency range 100-1500 Hz. Italian has powerful high-frequency spectral components, with its high-frequency formants also occur in the region of 4 kHz, but a more significant rise in frequency response is observed within 7-9 kHz.

There is a significant similarity between the English and Ukrainian spectra at almost the frequency of 1800 Hz. Further up to 8 kHz, while the level of high-frequency components is maintained in English, a "singing" formant is formed in the Ukrainian language. After 8 kHz, the spectra fall almost equally, unlike the other languages considered.

Keywords — *integral spectral characteristics of the language; power spectral density; Ukrainian language spectrum; Russian language spectrum; Polish language spectrum; the spectrum of the Italian language; English language spectrum; comparison of spectra of European languages.*

