

Херсонський національний технічний університет  
Міністерство освіти і науки України

Вінницький національний технічний університет  
Міністерство освіти і науки України

Кваліфікаційна наукова  
праця на правах рукопису

**МЄШКОВ ОЛЕКСАНДР ЮРІЙОВИЧ**

УДК 534.87: 615.47: 534.6

**ДИСЕРТАЦІЯ**  
**МЕТОД ТА СИСТЕМА АУТЕНТИФІКАЦІЇ ТА ОЦІНЮВАННЯ**  
**ФУНКЦІОНАЛЬНОГО СТАНУ ВОДІЯ ЗА ГОЛОСОВИМ СИГНАЛОМ**

05.11.17 – біологічні та медичні прилади і системи  
технічні науки

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

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

О.Ю.Мєшков

Науковий керівник Новіков Олександр Олександрович, доктор хімічних наук,  
професор

Херсон – 2019

## АНОТАЦІЯ

*Мешков О.Ю.* Метод та система аутентифікації та оцінювання функціонального стану водія за голосовим сигналом. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.11.17 «Біологічні та медичні прилади і системи» – Херсонський національний технічний університет, МОН України, Херсон. – Вінницький національний технічний університет, МОН України, Вінниця, 2019.

У дисертаційній роботі викладені результати досліджень щодо розробки методу та системи для аутентифікації та оцінювання функціонального стану водія за голосовим сигналом. Система базується на розроблених методах обробки та математичних моделях голосового сигналу. Експериментальне дослідження показало високу достовірність розроблених методів та моделей, а також процедури аутентифікації та оцінювання функціонального стану на їх основі загалом.

Голосовий сигнал людини – це природний сигнал, який формується голосовим апаратом людини. Він утворюється за рахунок модуляції повітряного потоку, що виходить з легень, за рахунок роботи ряду органів. З огляду на те, що фізіологія та анатомія голосового апарату у кожної людини є унікальною, голосовий сигнал людини також набуває індивідуальних особливостей.

З іншого боку, на голосовий сигнал людини значний вплив справляє її фізичний та емоційний стан. Якщо у здоров'ї людини відбуваються певні зміни, вони тим чи іншими чином відображаються на голосовому сигналі в цілому та на його основних характеристиках зокрема. Отже, за зміною цих характеристик є можливість визначати зміни, що сталися у функціональному стані людини.

Останнім часом особливого значення набули наукові дослідження, що пов'язані з розробкою сучасних методів та засобів біометричної аутентифікації, у тому числі і голосової, яка може забезпечувати високий ступінь достовірності

результатів. Водночас голосовий сигнал може використовуватись і у якості бази для побудови системи оцінювання функціонального стану людини. Однак, для сучасних систем голосової аутентифікації характерним є низький рівень точності та достовірності роботи. До того ж, досить часто ці системи мають низьку швидкодію, і тому не завжди можуть використовуватись у режимі реального часу. При цьому на сьогоднішній день практично відсутні системи, які би поєднували одночасно процедуру аутентифікації та оцінювання функціонального стану людини, що можна реалізувати на базі єдиного голосового сигналу. Отже, гостро постає проблема побудови єдиної системи, яка би поєднувала процедуру аутентифікації та оцінювання функціонального стану людини на основі більш простого та швидкого алгоритму обробки голосового сигналу з високим рівнем достовірності.

Тому тема даної дисертаційної роботи, що спрямована на розроблення нових та удосконалення існуючих методів та засобів аналізу голосового сигналу та розробку системи аутентифікації та оцінювання функціонального стану водія за голосовим сигналом, є актуальною науково-практичною задачею.

Застосування в дисертаційній роботі нових методів аналізу голосових сигналів людини дозволило підвищити достовірність виділення основних характеристик голосового сигналу, які в подальшому використовуються для задачі голосової аутентифікації та оцінювання функціонального стану водія.

Дослідження базуються на комплексному використанні методів теорії аналогової та цифрової обробки сигналів, математичного моделювання, теорії прийняття рішень, метрології та статистичного аналізу, комп'ютерного моделювання. Для визначення основних характеристик голосового сигналу та виділення вокалізованих ділянок використовувались методи спектрального та кепстрального аналізу. Математичне моделювання використовувалось для формування локалізованих структур голосового сигналу у просторі характеристик «структура-частота» та формування персоніфікованого голосового еталону. Теорія прийняття рішень використовувалась при розробці

критерію аутентифікації та оцінювання функціонального стану. Теорія метрології та методи статистичного аналізу використовувались для оцінки достовірності та ефективності розроблених моделей. Комп'ютерне моделювання використовувалось при програмній реалізації розроблених методів засобами пакету прикладних математичних програм SciLab 6.0.1.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у вирішенні актуальної науково-технічної задачі – підвищення достовірності та швидкодії процедур аутентифікації та оцінювання функціонального стану водія шляхом розробки нових моделей та методів аналізу голосового сигналу.

1. Уперше запропоновано методи аутентифікації та оцінювання функціонального стану людини, які полягають у формуванні локалізованих структур голосового сигналу конкретної людини шляхом багаторазового акустичного запису голосового сигналу та його обробки розробленими методами з подальшим порівнянням сформованих локалізованих структур з базовими, що дозволило підвищити достовірність процедур аутентифікації та оцінювання функціонального стану у порівнянні з існуючими методами.

2. Уперше запропоновано подання голосових сигналів людини у вигляді локалізованих структур у комбінованому просторі характеристик «структура-частота» як комбінації точок даного простору, які відповідають тому чи іншому звуку голосу людини, що дозволяє одночасно враховувати як амплітудні, так і частотні характеристики голосового сигналу.

3. Удосконалено метод сегментації голосового сигналу за допомогою визначення локальних максимумів спектру сигналу, який відрізняється тим, що враховує відмінності у спектрах вокалізованих ділянок, що дозволило підвищити достовірність виділення меж вокалізованих ділянок голосового сигналу у порівнянні з відомими методами.

4. Удосконалено метод фреймування вокалізованої ділянки, який відрізняється тим, що кінцевий момент фрейму уточнюється на основі кепстрального уточнення з подальшим пошуком точки переходу сигналу із від'ємної в додатну область, що дозволило підвищити достовірність визначення

основної частоти голосового сигналу та процедури фреймування сигналу у порівнянні з існуючими автоматичними методами.

На основі проведених теоретичних та практичних досліджень розроблено та впроваджено наступне:

Розроблено методи виділення основних характеристик голосового сигналу, на основі яких формуються локалізовані структури голосового сигналу та персоніфіковані голосові еталони, які забезпечують аутентифікацію та оцінювання функціонального стану водія з високою достовірністю.

Розроблено програмне забезпечення для прийняття аутентифікаційного рішення та оцінювання функціонального стану водія на основі аналізу персоніфікованих голосових еталонів у пакеті прикладних математичних програм SciLab 6.0.1, що дозволило підвищити швидкодію даних процедур з високим рівнем достовірності.

Розроблено систему аутентифікації та оцінювання функціонального стану водія у вигляді поєднання апаратної та програмної підсистем, основними складовими і блоками яких є блоки: вхідних сенсорів і перетворювачів, обробки голосового сигналу; виділення основних характеристик голосового сигналу; система прийняття рішення, які в сукупності з програмним забезпеченням реалізують розроблені методи і моделі.

Експериментальне дослідження розроблених математичних моделей та методів обробки голосових сигналів показало їх адекватність, високу достовірність (95%) та точність (коефіцієнт кореляції математичної моделі складає 0,9405). Загалом достовірність процедури аутентифікації та оцінювання функціонального стану водія на основі розроблених методів та моделей складає 95%.

Результати дисертаційної роботи випробувано у вигляді програмно-апаратного комплексу для аутентифікації та оцінювання функціонального стану в КНП Херсонська міська клінічна лікарня ім. О.С. Лучанського та на підприємстві ТОВ «Агро-Транзит-Інвест», і впроваджено на підприємстві ТОВ «Агро-Транзит-Інвест» та в навчальному процесі при вивченні дисциплін

«Сигнали та методи їх обробки», «Техніка фізичного експерименту», «Біофізика», «Методи медико-біологічних досліджень та первинні перетворювачі» Херсонського національного технічного університету, що підтверджено такими актами:

– про випробування результатів дисертаційної роботи в КНП Херсонська міська клінічна лікарня ім. О.С. Лучанського від 30 січня 2019 року. Форма випробування – програмно-апаратний комплекс для аутентифікації особистості за аналізом голосового сигналу. Випробування підтверджує високу достовірність розроблених методів та засобів аутентифікації особистості за голосовим сигналом;

– про випробування результатів дисертаційної роботи в ТОВ «Агро-Транзит-Інвест» від 04 лютого 2019 року. Форма випробування – програмно-апаратний комплекс для аутентифікації водіїв та вантажників за аналізом голосового сигналу. Випробування показали високу достовірність розроблених методів та систем аутентифікації та оцінювання функціонального стану за голосовим сигналом, а також доцільність використання даних методів для оцінювання функціонального стану водіїв та вантажників;

– про впровадження результатів дисертаційної роботи в ТОВ «Агро-Транзит-Інвест» від 04 лютого 2019 року. Форма впровадження – система аутентифікації та оцінювання функціонального стану водіїв та вантажників за голосовим сигналом для підвищення ефективності та безпеки умов праці водіїв та вантажників у 2018-2019 рр. Використання розроблених методів та системи аутентифікації та оцінки функціонального стану водіїв дозволило підвищити безпеку експлуатації транспортних засобів на підприємстві та покращити умови праці водіїв та вантажників;

– про впровадження результатів дисертаційної роботи в навчальний процес ХНТУ від 29 січня 2019 року. Форма впровадження – методика аналізу та виділення основних характеристик квазіперіодичних сигналів;

– про впровадження результатів дисертаційної роботи в

науково–дослідній роботі кафедри інформаційно–вимірювальних технологій електроніки та інженерії ХНТУ від 25 лютого 2019 року. Форма впровадження – методика аутентифікації особистості за голосовим сигналом. Використання результатів дисертаційної роботи дозволило сформулювати і розвинути уявлення про сучасні методи досліджень в біомедичній електроніці, медицині та біоінженерії.

**Ключові слова:** аутентифікація, функціональний стан, голосовий сигнал, математична модель, простір характеристик, локалізовані структури голосового сигналу, персоніфікований голосовий еталон особистості.

## ANNOTATION

*Mieshkov O.Yu.* Method and system for authentication and driver's functional state evaluation by voice signal – Qualifying science work manuscript copyright.

Dissertation for the degree of a candidate of technical sciences in specialty 05.11.17 «Biological and medical devices and systems» – Kherson National Technical University, MES of Ukraine, Kherson. – Vinnytsia National Technical University, MES of Ukraine, Vinnytsia, 2019.

The dissertation deals with the results of researches concerning development of a method and system for authentication and estimation of driver's functional state by voice signal are outlined. The system is based on developed methods of processing and mathematical models of the voice signal. The experimental study showed the high reliability of the developed methods and models, as well as the procedures for authentication and the functional state evaluation on their basis in general.

A human voice signal is a natural signal that is formed by a human voice apparatus. It is formed by modulation of the air flow coming from the lungs, due to the work of a number of organs. Given that the physiology and anatomy of the vocal system are unique to each person, the voice signal of a person also acquires individual peculiarities.

On the other hand, the human physical and emotional state has a significant impact on its voice signal. If there are certain changes in human health, they are, in one way or another, are reflected on the voice signal as a whole and on its main characteristics in particular. Thus, by changing these characteristics, it is possible to determine the changes that have occurred in the human functional state.

Recently, scientific researches related to the development of modern methods and means of biometric authentication, including voice, which can provide a high results reliability degree, have received special significance. At the same time, the voice signal can be used as the basis for constructing a system for evaluating the person functional state. However, modern systems of voice authentication are characterized by a low level of accuracy and reliability. In addition, these systems are



often low-speed, and therefore cannot always be used in real-time. At the same time, for today there are practically no systems that would combine both the authentication and person functional state analysis, which can be realized on the basis of a single voice signal. Consequently, the problem of constructing a unified system that combines the procedures of personal authentication and the person's functional state evaluation based on a simpler and faster algorithm of processing a voice signal with a high reliability degree is a matter of urgency.

Therefore, the topic of this dissertation, aimed at developing new and improving existing methods and means of voice signal analysis and developing the system for authentication and human functional state evaluation by voice signal, is an actual scientific and practical task.

The application of new methods of human voice signals analysis in the dissertation has increased the reliability of the voice signal main characteristics allocation, which are used later for the task of voice authentication and driver's functional state evaluation.

The research is based on the integrated use of analog and digital signal processing techniques, mathematical modeling, decision making theory, metrology and statistical analysis, computer simulation. Methods for spectral and cepstral analysis has been used to determine the voice signal basic characteristics and the vocalized areas selection. Mathematical modeling has been used to form the voice signal localized structures in the space of characteristics "structure-frequency" and the personified voice standard formation. Decision-making theory has been used in developing the authentication criteria and the functional state evaluation. The theory of metrology and methods of statistical analysis have been used to assess the reliability and effectiveness of the developed models. Computer simulation has been used in the software implementation of the developed methods by means of the package of applied mathematical software SciLab 6.0.1.

The scientific novelty of the obtained results is to solve the actual scientific and technical task – to increase the reliability and speed of authentication procedures and the driver's functional state evaluation by developing new models and methods of the

voice signal analysis.

1. For the first time, methods of personal authentication and person's functional state evaluation, which consist in the voice signal localized structures formation of a particular person by means of multiple acoustic recording of a voice signal and its processing by developed methods, with the subsequent comparison of the formed localized structures with the basic, has been proposed, which has allowed to increase the authentication and human functional state evaluation procedures authenticity in comparison with the existing methods.

2. For the first time, the representation of human voice signals in the form of localized structures in the combined space of characteristics "structure-frequency" as a combination of points of this space, which correspond to a particular voice sound of a particular person, which allows simultaneously to take into account both the amplitude and frequency characteristics of the voice signal.

3. The method of the voice signal segmentation by means of determining the local signal spectrum maxima is improved, which differs in that it takes into account the differences in the spectra of the vocalized areas, which made it possible to increase the reliability of the vocalized regions boundaries allocation in comparison with the known methods.

4. The method of the vocalized area framing is improved, which is characterized by the fact that the final frame point is specified on the basis of the cepstral refinement with the subsequent search for the point of the signal transition from the negative to the positive region, which increased the reliability of determining the voice signal basic frequency and the signal framing procedure compared with the known automatic methods.

On the basis of theoretical and practical research the following has been developed and implemented:

The methods of the voice signal basic characteristics allocation on the basis of which the human voice signal localized structures and personalized voice standards of the person are formed, which provide authentication and the driver's functional state evaluation with high reliability are developed.

The software for making an authentication decision and the person's functional state evaluating based on the analysis of the person's personalized voice standards in the package of applied mathematical programs SciLab 6.0.1 has been developed, which allowed to improve the speed of these procedures with a high reliability level.

The system for authentication and the human functional state evaluation has been developed in the form of a combination of hardware and software subsystems, the main components and blocks of which are the blocks: input sensors and converters, voice signal processing; voice signal basic characteristics allocation; a decision-making system that, in conjunction with software, implements developed methods and models.

Experimental research of the developed mathematical models and methods of voice signals processing showed their adequacy, high reliability (95%) and accuracy (the correlation coefficient of the mathematical model is 0,9405). In general, the authenticity of the authentication and the driver's functional state evaluation based on the developed methods and models is 95%.

The results of the dissertation have been tested in the form of a software and hardware complex for authentication and functional state evaluation at the KNP Kherson City Clinical Hospital. Named after O.S. Luchansky and at the enterprise "Agro-Transit-Invest LLC" and implemented at the enterprise "Agro-Transit-Invest LLC" and in the educational process in the study of the disciplines "Signals and methods of their processing", "Physical experiment technique", "Biophysics", "Methods of medical-biological research and primary transformers" of Kherson National Technical University, that is confirmed by the following acts:

- about testing the results of the dissertation at the KNP Kherson City Clinical Hospital named after O.S. Luchansky from January 30, 2019. Test form – a software and hardware complex for the personal authentication by the voice signal analysis. The test confirms the high authenticity of developed methods and means of personal authentication by voice signal;

- about testing the results of the dissertation at “Agro-Transit-Invest LLC” from February 4, 2019. Test form – software and hardware complex for the drivers

and loaders authentication by the voice signal analysis. The tests showed the high reliability of the developed methods and systems of authentication and assessing of the functional state by the voice signal, as well as the feasibility of using these methods for assessing the functional state of drivers and loaders;

– about implementation of the results of dissertation at "Agro-Transit-Invest LLC" from February 4, 2019. Implementation form – system of authentication and evaluation of the functional state of drivers and loaders by voice signal to improve the efficiency and safety of drivers and loaders in 2018-2019. The use of developed methods and the system of authentication and evaluation of the functional state of drivers has allowed to increase the safety of the operation of vehicles in the enterprise. and improve the working conditions of drivers and loaders;

– about implementation of the results of dissertation in the educational process of the KNTU from January 29, 2019. Form of implementation – method of analysis and quasi-periodic signals main characteristics allocation;

– about implementation of the results of dissertation in the scientific and research work of the Department of Informational and Measurement Technologies of Electronics and Engineering of KNTU from February 25, 2019. Form of implementation – method of authentication of the person by voice signal. Using the results of dissertation work allowed to formulate and develop the idea of modern research methods in biomedical electronics, medicine and bioengineering.

**Key words:** authentication, functional state, voice signal, mathematical model, space of characteristics, voice signal localized structures, personalized voice standard of the person.

## СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

[1] O. Mieshkov and O. Novikov, “Mathematical model of human voice for the task of personal identification and human condition analysis”, *Visnyk of Kherson National Technical University*, №1 (56), с. 163–169, 2016.

[2] О. Мешков, О. Новіков та С. Злепко, “Метод локальних максимумів для виділення вокалізованих ділянок голосового сигналу людини”, *Вісник Хмельницького національного технічного університету. Серія: Технічні науки*, №2 (259), с. 197–210, 2018.

[3] О. Мешков, “Запис та обробка первинного акустичного матеріалу для задачі аналізу голосового сигналу людини та виділення його основних характеристик”, *Наукові праці Чорноморського національного університету імені Петра Могили. Серія: Комп’ютерні технології*, т. 307, № 295, с. 76–81, 2017.

[4] О. Мешков, “Розробка персоніфікованого голосового еталону для задачі аутентифікації особистості”, *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І.Вернадського. Серія: Технічні науки*, т. 29 (68), Ч. 2, № 5, с.11–17, 2018.

[5] О. Мешков та Д. Барановський, “Розробка та дослідження критерію аутентифікації особистості на основі локалізованих структур голосового сигналу”, *Вісник Хмельницького національного технічного університету. Серія: Технічні науки*. т. 1 (267), №6, с. 151–156, 2018.

[6] О. Мешков. “Дослідження часової динаміки критерію аутентифікації особистості за голосовим сигналом”, *Вісник Херсонського національного технічного університету*, №4 (67), с. 85–90, 2018.

[7] О. Мешков, “Програмно-апаратний комплекс для задачі аутентифікації особистості за голосовим сигналом”, *Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського*, Випуск 6 (113), с. 15–20, 2018.

*Монографія*

[8] О. Мєшков, О. Новіков та В. Новіков, *Аналіз голосових сигналів людини та аутентифікація особистості за голосом*, Монографія. – Херсон, Україна: вид-во ФОП Вишемирський В.С., 2018.

*Опубліковані праці апробаційного характеру*

[9] О. Новіков та О. Мєшков, “Розробка системи ідентифікації голосу людини”, на *15-м юбилейном Международном молодежном форуме «Радиоэлектроника и молодежь в XXI ст.»*, Харків, 2011, с.178–179.

[10] О. Мєшков, “Розробка системи діагностики фізичного стану людини за аналізом голосу з використанням цифрових технологій”, на *Міжнародному форумі студентів, аспірантів та молодих учених*, Дніпропетровськ, 2013. с. 291–293.

[11] O. Mieshkov and O. Novikov, “Development of Universal Program Complex for Human Condition Analysis, Based on the Analysis of Human Voice”, at *the 4th International Scientific Conference of Students and Young Scientists Theoretical and Applied Aspects of Cybernetics (ТААС)*, Kyiv, 2014, pp. 294–305.

[12] О. Новіков та О. Мєшков, “Алгоритми аналізу голосових сигналів людини для задачі ідентифікації та діагностики фізичного стану”, на *тридцять шостій Всеукраїнській науково-практичній конференції «Інноваційний потенціал світової науки – XXI сторіччя»*, Запоріжжя, 2015-2016, с. 26–28.

[13] O. Mieshkov and O. Novikov, “Automated system for identification and human condition diagnostics based on its voice signal analysis”, at *18-th International conference System Analysis and Information Technology (SAIT–2016)*, Kyiv, 2016, pp. 35–38.

[14] O. Mieshkov, O. Novikov, V. Novikov, L. Fainzilberg, A. Kotyra, S. Smailova, A. Kozbekova, B. Imanbek, “Identification and human condition analysis based on the human voice analysis” at *SPIE 10445, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High Energy Physics Experiments*, 2017, 104453T (7 August 2017); doi: 10.1117/12.2281003

[15] О. Мешков та О. Новіков, “Аналіз стану людини за змінами її голосового сигналу” на *науково-практичній конференції Вітчизняні інженерні розробки для охорони здоров’я*, Київ, 2016, с. 70–71.

[16] О. Мешков, “Спосіб аутентифікації особистості на основі хмарних структур голосового сигналу людини” на *I Міжнародній науково-практичній конференції Інформаційні системи та технології в медицині (ISM-2018)*, Харків, 2018, с. 222–224.

*Патенти України на корисні моделі:*

[17] О. О. Новіков та О. Ю. Мешков, “Електричний аналог голосового апарату людини”, *МПК H02K 39/00 (2013.01)*, № 80645, черв. 10, 2013.

[18] О. О. Новіков та О. Ю. Мешков, “Спосіб моделювання електричного аналогу голосового апарату людини”, *МПК H02K 39/00 (2014.01)*, № 91233, черв. 25, 2014.

[19] О. О. Новіков та О. Ю. Мешков “Спосіб визначення основної частоти голосового сигналу людини”, *МПК G10L 15/00 (2017.01)*, № 122225, груд. 26, 2017.

*Опубліковані праці, які додатково відображають наукові результати дослідження*

[20] А. Новиков и А. Мешков, “Электрический аналог голосового аппарата человека”, *Биомедицинская инженерия и электроника*, № 2, с. 40–50, 2012. [Електронний ресурс]. Доступно: <http://biofbe.esrae.ru/183-890>. Дата обращения: Янв. 21, 2019.

[21] О. Мешков та О. Новіков, “Двоступенева система аналізу голосового сигналу для задачі контролю стану водія під час керування автомобілем”, *Биомедицинская инженерия и электроника*. № 2, 2016. [Електронний ресурс]. Доступно: <http://biofbe.esrae.ru/208-1053>. Дата обращения: Янв. 21, 2019.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	19
РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ І ЗАСОБІВ АУТЕНТИФІКАЦІЇ ТА ОЦІНЮВАННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО СТАНУ ВОДІЯ.....	28
1.1. Психофізіологічні особливості функціонального стану водія.....	28
1.2. Поняття аутентифікації, ідентифікації та верифікації.....	32
1.3. Методи аналізу голосового сигналу і виділення його характеристик.....	34
1.4. Сучасні методи і засоби оцінювання функціонального стану та аутентифікації водія.....	48
Висновки до розділу 1.....	70
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА МЕТОДУ АУТЕНТИФІКАЦІЇ ТА ОЦІНЮВАННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО СТАНУ ВОДІЯ В РЕЖИМІ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ ЗА ГОЛОСОВИМ СИГНАЛОМ.....	74
2.1. Дослідження об'єкта та розробка методу аутентифікації та оцінювання функціонального стану людини за голосовим сигналом.....	74
2.2. Структуризація голосового сигналу у просторі характеристик «структура-частота».....	75
2.3. Розробка методу аутентифікації та оцінювання функціонального стану людини за персоніфікованим голосовим еталоном.....	78
2.4. Розробка математичної моделі локалізованої структури голосового сигналу.....	84
2.5. Статистичний аналіз параметрів локалізованих структур голосу.....	89
Висновки до розділу 2.....	94
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА СИСТЕМИ АУТЕНТИФІКАЦІЇ ТА ОЦІНЮВАННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО СТАНУ ВОДІЯ В РЕЖИМІ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ ЗА ГОЛОСОВИМ СИГНАЛОМ.....	97
3.1. Розробка структурної схеми системи.....	97
3.2. Обґрунтування вибору перетворювачів голосового сигналу.....	100
3.3. Розробка методів параметризації голосового сигналу.....	109



	17
3.4. Розробка персоніфікованого голосового еталону.....	130
3.5. Розробка алгоритму роботи системи та його програмна реалізація.....	134
Висновки до розділу 3 .....	137
РОЗДІЛ 4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗРОБЛЕНОГО МЕТОДУ ТА СИСТЕМИ.....	140
4.1. Розробка методики експериментального дослідження.....	140
4.2. Дослідження впливу шумових завад на формування персоніфікованого голосового еталону .....	142
4.3. Дослідження критеріїв аутентифікації та оцінювання функціонального стану водія за голосовим сигналом .....	146
4.4. Обробка статистичних даних і визначення достовірності розроблених методів та системи .....	149
Висновки до розділу 4 .....	157
ВИСНОВКИ.....	160
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	162
ДОДАТКИ.....	174
Додаток А Список публікацій здобувача за темою дисертації .....	175
Додаток Б Акти випробування та впровадження матеріалів дисертаційної роботи .....	178
Додаток В Спектри різних ділянок голосового сигналу.....	183
Додаток Г Диктори, які входили у базову вибірку.....	187
Додаток Д Конфігурації локалізованих структур різних фраз різних дикторів .....	198
Додаток Е Приклади базових сигналів, що аналізувались у ході дослідження, накладені на різні звуки голосу людини та типова форма локалізованих структур, утворених на основі різних базових сигналів (диктор №29, фраза Справи ідуть добре) .....	200
Додаток Ж Розрахунковий критерій для вибору базового сигналу (найбільше значення для кожного диктора виділене).....	206
Додаток З Блок схема алгоритму роботи розробленої системи.....	213

Додаток К Проект медико-технічних вимог на систему аутентифікації та оцінювання функціонального стану водія за голосовим сигналом .....	219
Додаток Л Визначення адекватного значення критерію аутентифікації (дослідження з урахуванням часового фактору).....	230
Додаток М Порівняння похибок аутентифікації першого та другого роду при різних рівнях порогового значення критерію аутентифікації.....	232
Додаток Н Статистична обробка акустичних матеріалів дикторів.....	234
Додаток О Оцінка достовірності процедури аутентифікації.....	275
Додаток П Зведені таблиці експертних оцінок (з позицій обробки голосових сигналів).....	277

## ВСТУП

**Обґрунтування вибору теми дослідження.** Актуальність теми аутентифікації та оцінювання функціонального стану людей різних професій обумовлена активним розвитком сучасних програмних технологій, значною інформатизацією суспільства та автоматизацією більшості сфер життя та діяльності людини. При цьому сучасний стан технологій оцінювання функціонального стану людини та аутентифікації свідчить про значний ухил в бік біометричних технологій. У першу чергу таке активне використання біометричних процедур пов'язано з тим, що вони вимагають досить високого ступеня достовірності в умовах реального часу.

На сьогоднішній день інформаційні технології, пов'язані з біометричними системами аутентифікації, доволі активно використовують у великих компаніях, де необхідно проводити моніторинг персоналу. Досить часто останнім часом постає питання про необхідність використання біометричних систем з деякою періодичністю безпосередньо під час виконання службових обов'язків персоналу для задачі оцінювання функціонального стану людини.

Сучасні інформаційні системи, у яких впроваджено біометричні системи захисту, аутентифікують людей на основі багатьох анатомічних особливостей. Серед тих, що використовуються для задачі аутентифікації, виділяють відбитки пальців, аналіз райдужної оболонки, голосу, контурів обличчя тощо. Одним із поширених методів біометричної аутентифікації є голосова аутентифікація. Голосовий сигнал людини – це природний сигнал, який формується голосовим апаратом людини. Він утворюється за рахунок модуляції повітряного потоку, що виходить з легень, за рахунок роботи ряду органів. З огляду на те, що фізіологія та анатомія голосового апарату у кожної людини є унікальною, голосовий сигнал людини також набуває індивідуальних особливостей.

З іншого боку, на голосовий сигнал людини значний вплив справляє її фізичний та емоційний стан. Якщо у здоров'ї людини відбуваються певні зміни, вони тим чи іншими чином відображаються на голосовому сигналі в цілому та

на його основних характеристиках зокрема. Отже, за зміною цих характеристик є можливість визначати зміни, що сталися у функціональному стані людини.

Серед основних характеристик голосового сигналу, які аналізуються з вищевказаною метою багато дослідників виділяють основну частоту голосового сигналу, спектр та кепстр сигналу, розподіл амплітуди сигналу у часовому просторі тощо. Більшість цих характеристик неможливо визначити на слух, тому з метою їх виділення з голосового сигналу використовується ряд спеціальних методів. На основі цих методів будується програмне забезпечення.

Водночас певні зміни функціонального стану можна визначити безпосередньо на слух, при цьому все одно впізнаючи людину. Це пояснюється особливостями психофізіологічного сприйняття мови людиною. Кожен окремий звук формується не чітко визначеним набором характеристик – ці параметри мають певний розкид. Якщо розглядати звуки голосу людини як точки у просторі характеристик, то реалізація одного і того ж звуку може представляти собою набір точок, які сформують деяку область простору. Будь-який сигнал, який є точкою тієї чи іншої області визначається людиною як чітко визначений звук голосу тієї чи іншої людини.

Тим не менше, для сучасних систем аутентифікації та визначення функціонального стану людини за голосовим сигналом характерним є низький рівень достовірності роботи. До того ж, досить часто ці системи мають низьку швидкодію, і тому не завжди можуть використовуватись у режимі реального часу. При цьому на сьогоднішній день практично відсутні системи, які би поєднували одночасно процедуру аутентифікації та аналізу функціонального стану людини, що можна реалізувати на базі єдиного голосового сигналу. Отже, гостро постає проблема побудови єдиної системи, яка би поєднувала процедуру аутентифікації особистості та визначення функціонального стану людини на основі більш простого та швидкого алгоритму обробки голосового сигналу з високим рівнем достовірності.

Тому тема даної дисертаційної роботи, що спрямована на розробку нових та удосконалення існуючих методів аналізу голосового сигналу та розробку

системи аутентифікації та оцінювання функціонального стану людини при виконанні професійних обов'язків в режимі реального часу за голосовим сигналом, є актуальною науково–практичною задачею.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Тематика дисертаційної роботи відповідає пріоритетним напрямкам розвитку біомедичної інженерії в Україні. Робота пов'язана із загальним напрямком роботи кафедри інформаційно–вимірювальних технологій електроніки та інженерії Херсонського національного технічного університету. Основу роботи складають результати теоретичних та практичних досліджень, виконаних здобувачем у рамках держбюджетних науково–дослідних робіт за темою «Моделювання впливу фізичних факторів на біологічні об'єкти» (№ держреєстрації 0106U005699). У зазначеній темі здобувач був виконавцем окремих розділів.

**Мета і завдання дослідження.** Метою роботи є підвищення достовірності та швидкодії процедур аутентифікації та оцінювання функціонального стану водія в режимі реального часу шляхом розробки нових моделей та методів аналізу голосового сигналу.

Для досягнення мети сформульовано такі задачі:

– Провести аналітичний огляд вітчизняного та світового досвіду моделей, принципів та методів обробки голосового сигналу для виявлення можливості використання його у якості бази для процедур аутентифікації та оцінювання функціонального стану людей різних професій, і зокрема водіїв.

– Розробити метод аутентифікації особистості та оцінювання функціонального стану людини в режимі реального часу безпосередньо під час виконання професійних обов'язків на основі аналізу та порівняння вхідного акустичного матеріалу з базовим.

– Обґрунтувати вибір амплітудних та частотних характеристик голосового сигналу для побудови спеціального простору характеристик.

– Дослідити особливості формування локалізованих структур голосового сигналу людини у даному просторі характеристик в залежності від

індивідуальних та функціональних особливостей.

– Розробити математичну модель локалізованої структури голосового сигналу в залежності від функціонального стану людини та індивідуальних особливостей.

– Розробити персоніфікований голосовий еталон особистості у вигляді набору даних про форму та взаємне розміщення локалізованих структур голосового сигналу.

– Дослідити можливість використання розробленого методу аутентифікації та оцінювання функціонального стану для різних людей, зокрема водіїв транспортних засобів, та зовнішніх умов.

– Розробити алгоритмічне забезпечення та підібрати необхідні апаратні компоненти системи аутентифікації та оцінювання функціонального стану водія в режимі реального часу безпосередньо під час виконання професійних обов'язків за голосовим сигналом.

**Об'єкт дослідження** – процес аутентифікації та оцінювання функціонального стану людини при виконанні професійних обов'язків за голосовим сигналом.

**Предмет дослідження** – математичні моделі і методи аутентифікації та оцінювання функціонального стану людини при виконанні професійних обов'язків за голосовим сигналом.

**Методи дослідження** базуються на комплексному використанні теорії аналогової та цифрової обробки сигналів, математичного моделювання, теорії прийняття рішень, метрології та статистичного аналізу, комп'ютерного моделювання. Для визначення основних характеристик голосового сигналу та виділення вокалізованих ділянок використовувався спектральний та кепстральний аналіз. Математичне моделювання використовувалось для формування локалізованих структур голосового сигналу у просторі характеристик «структура-частота» та формування персоніфікованого голосового еталону особистості. Теорія прийняття рішень використовувалась при розробці критерію аутентифікації та визначення функціонального стану

людини. Теорія метрології та статистичний аналіз використовувались для оцінки достовірності та ефективності розроблених моделей. Комп'ютерне моделювання використовувалось при програмній реалізації розроблених методів засобами пакету прикладних математичних програм SciLab 6.0.1.

**Наукова новизна отриманих результатів** полягає в тому що:

1. Уперше запропоновано метод аутентифікації та оцінювання функціонального стану людини в режимі реального часу, які полягають у формуванні локалізованих структур голосового сигналу конкретної людини шляхом багаторазового акустичного запису голосового сигналу та його обробки розробленими методами з подальшим порівнянням сформованих локалізованих структур з базовими безпосередньо під час виконання професійних обов'язків, що дозволило підвищити достовірність процедур аутентифікації та оцінювання функціонального стану людини при виконанні професійних обов'язків у режимі реального часу у порівнянні з існуючими методами.

2. Уперше запропоновано подання голосових сигналів людини у вигляді локалізованих структур у комбінованому просторі характеристик «структура-частота» як комбінації точок даного простору, які відповідають тому чи іншому звуку голосу людини, що дозволяє одночасно враховувати як амплітудні, так і частотні характеристики голосового сигналу.

3. Удосконалено метод сегментації голосового сигналу за допомогою визначення локальних максимумів спектру сигналу, який відрізняється тим, що враховує відмінності у спектрах вокалізованих ділянок, що дозволило підвищити достовірність виділення меж вокалізованих ділянок голосового сигналу у порівнянні з відомими методами.

4. Удосконалено метод фреймування вокалізованої ділянки, який відрізняється тим, що кінцевий момент фрейму уточнюється на основі кепстрального уточнення з подальшим пошуком точки переходу сигналу із від'ємної в додатну область, що дозволило підвищити достовірність визначення основної частоти голосового сигналу та процедури фреймування сигналу у

порівнянні з існуючими автоматичними методами.

**Практичне значення отриманих результатів** полягає в тому що:

– розроблено алгоритм виділення основних характеристик голосового сигналу, на основі яких формуються локалізовані структури голосового сигналу та персоніфіковані голосові еталони, які забезпечують аутентифікацію та оцінювання функціонального стану водія безпосередньо під час виконання професійних обов’язків з високою достовірністю;

– розроблено програмне забезпечення для прийняття аутентифікаційного рішення та оцінювання функціонального стану водія в режимі реального часу на основі аналізу персоніфікованих голосових еталонів у пакеті прикладних математичних програм SciLab 6.0.1, що дозволило підвищити швидкодію даних процедур з високим рівнем достовірності;

– розроблено систему аутентифікації та оцінювання функціонального стану водія в режимі реального часу безпосередньо під час виконання професійних обов’язків у вигляді поєднання апаратної та програмної підсистем, основними складовими і блоками яких є блоки: вхідних сенсорів і перетворювачів, обробки голосового сигналу; виділення основних характеристик голосового сигналу; система прийняття рішення, які в сукупності з програмним забезпеченням реалізують розроблені методи і моделі.

Результати дисертаційної роботи випробувано у вигляді програмно-апаратного комплексу для аутентифікації та оцінювання функціонального стану в КНП Херсонська міська клінічна лікарня ім. О.С. Лучанського та на підприємстві ТОВ «Агро-Транзит-Інвест», і впроваджено на підприємстві ТОВ «Агро-Транзит-Інвест» та в навчальному процесі при вивченні дисциплін «Сигнали та методи їх обробки», «Техніка фізичного експерименту», «Біофізика», «Методи медико-біологічних досліджень та первинні перетворювачі» Херсонського національного технічного університету, що підтверджено такими актами:

– про випробування результатів дисертаційної роботи в КНП Херсонська міська клінічна лікарня ім. О.С. Лучанського від 30 січня 2019 року. Форма



випробування – програмно-апаратний комплекс для аутентифікації особистості за аналізом голосового сигналу. Випробування підтверджує високу достовірність розроблених методів та засобів аутентифікації особистості за голосовим сигналом;

– про випробування результатів дисертаційної роботи в ТОВ «Агро-Транзит-Інвест» від 04 лютого 2019 року. Форма випробування – програмно-апаратний комплекс для аутентифікації водіїв та вантажників за аналізом голосового сигналу. Випробування показали високу достовірність розроблених методів та систем аутентифікації та оцінювання функціонального стану за голосовим сигналом, а також доцільність використання даних методів для оцінювання функціонального стану водіїв та вантажників;

– про впровадження результатів дисертаційної роботи в ТОВ «Агро-Транзит-Інвест» від 04 лютого 2019 року. Форма впровадження – система аутентифікації та оцінювання функціонального стану водіїв та вантажників за голосовим сигналом для підвищення ефективності та безпеки умов праці водіїв та вантажників у 2018-2019 рр. Використання розроблених методів та системи аутентифікації та оцінки функціонального стану водіїв дозволило підвищити безпеку експлуатації транспортних засобів на підприємстві та покращити умови праці водіїв та вантажників;

– про впровадження результатів дисертаційної роботи в навчальний процес ХНТУ від 29 січня 2019 року. Форма впровадження – методика аналізу та виділення основних характеристик квазіперіодичних сигналів;

– про впровадження результатів дисертаційної роботи в науково-дослідній роботі кафедри інформаційно-вимірювальних технологій електроніки та інженерії ХНТУ від 25 лютого 2019 року. Форма впровадження – методика аутентифікації особистості за голосовим сигналом. Використання результатів дисертаційної роботи дозволило сформулювати і розвинути уявлення про сучасні методи досліджень в біомедичній електроніці, медицині та біоінженерії.

**Особистий внесок здобувача.** Усі основні результати дисертації, які виносяться на захист, отримані здобувачем самостійно. У роботах, опублікованих у співавторстві, особистий внесок здобувача полягає в наступному: у [9] та [17] розроблено електричні аналоги голосового апарату людини та початкові математичні моделі голосових сигналів; у [18] та [20] досліджено вплив індивідуальних особливостей людини на електричні аналоги голосових сигналів; у [11] проведено дослідження можливості використання електричних та акустичних аналогів для задачі аналізу стану людини; у [1] та [12] розглянуто можливість використання голосового сигналу для задачі персональної аутентифікації диктора; у [19] розроблено метод визначення основної частоти голосу; у роботах [13] та [14] розроблено методи аутентифікації дикторів на основі простору характеристик «структура-частота»; у [15] та [21] проведено експериментальні дослідження можливості використання розроблених моделей для задачі аутентифікації людей певних професій; у [2] розроблено метод локальних максимумів для задачі виділення вокалізованих ділянок голосового сигналу; у [8] подано механізм побудови локалізованих структур голосового сигналу у просторі характеристик «структура-частота», а також подано математичні моделі та способи обробки голосового сигналу людини для задачі персональної аутентифікації; у [5] проведено експериментальне дослідження критерію аутентифікації особистості за розробленим методом.

Роботи [3], [4], [6], [7], [10], [16] виконані здобувачем самостійно.

**Апробація матеріалів дисертації.** Наукові та практичні результати дисертаційної роботи доповідались і обговорювались на міжнародних та вітчизняних науково-технічних семінарах і конференціях, зокрема:

- 15–му Міжнародному молодіжному форумі «Радіоелектроніка і молодь у XXI столітті (Харків, 2011);
- Міжнародному форумі студентів, аспірантів і молодих учених (Дніпропетровськ, 2013);
- Другому конкурсі молодіжних ідей та проектів соціально-економічного

розвитку регіону та території Придунав'я у рамках Програми фундаментальних досліджень Російської академії наук та Національної академії наук України «Перспективи скоординованого соціально-економічного розвитку Росії та України в загальноєвропейському контексті (2011-2014 рр.)» (Одеса, 2014);

– IV Міжнародній науковій конференції студентів та молодих учених «Theoretical and Applied Aspects of Cybernetics» (Київ, 2014);

– Тридцять шостій Всеукраїнській науково-практичній конференції «Інноваційний потенціал світової науки – XXI сторіччя» (Запоріжжя, 2016);

– VII Міжнародному медичному форумі «Інновації в медицині – здоров'я нації», науково-практична конференція «Вітчизняні інженерні розробки для охорони здоров'я» (Київ, 2016);

– XVIII Міжнародній науково-технічній конференції System Analysis and Information Technology SAIT-2016 (Київ, 2016);

– Міжнародній науково-практичній конференції «Інформаційні системи та технології в медицині» ISM-2018 (Харків, 2018).

**Публікації.** Основні положення і результати дисертації опубліковано в 21 науковій праці: 9 статей у наукових журналах [1] – [7], [20], [21] з яких 7 у фахових наукових виданнях, що входять до переліку фахових видань з технічних наук [1] – [7], 1 монографії [8]; у 2 статтях в наукових нефахових виданнях [20], [21]; в 8 матеріалах тез конференцій [9] – [16]; у 3 патентах України на корисну модель [17] – [19].

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертаційна робота викладена на 281 сторінках машинописного тексту, складається з вступу, 4 розділів, загальних висновків, списку використаних джерел та 14 додатків. Основна частина дисертації викладена на 137 сторінках і містить 12 таблиць та 40 рисунків. Список використаних джерел містить 108 найменувань, з них 91 кирилицею та 17 латиницею.

## РОЗДІЛ 1

### ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ І ЗАСОБІВ АУТЕНТИФІКАЦІЇ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО СТАНУ ВОДІЯ

#### 1.1. Психофізіологічні особливості функціонального стану водія

Під час керування транспортним засобом водій повинен сприймати велику кількість інформації про характер і режим руху всіх учасників, про стан значної кількості параметрів дороги, навколишнього середовища, засобів регулювання та самого автомобіля [22]. Крім того, слід мати на увазі, що ряд факторів (вдома, захворювання та стресові ситуації) впливають на водія негативно, знижуючи його психофізіологічну надійність [23].

До індивідуальних психофізіологічних якостей, які визначають правильність дій водія в критичних дорожніх ситуаціях, відносяться перш за все його оперативні якості, тобто здатність швидко та надійно сприймати і опрацьовувати інформацію, що надходить, та своєчасно виконувати необхідні дії. Не менш важливими є емоційна стійкість водія та його вольові якості. Однак ці особливості залежать від окремих психофізіологічних якостей, які в комплексі визначають надійність роботи водія (рис. 1.1).

Для характеристики ефективної сторони діяльності або поведінки людини, і зокрема водія, вводиться поняття функціонального стану. Мова йде про можливість людини, що знаходиться в тому чи іншому стані, виконувати певний вид діяльності [24].

Поняття «функціональний стан людини» є одним з найбільш невизначених. З позицій системного підходу функціональний стан можна визначити як:

- якісно своєрідна відповідь функціональних систем різних рівнів на зовнішні й внутрішні впливи, що виникають у процесі діяльності;
- можливість виконувати конкретний вид діяльності з урахуванням впливу на здоров'я людини;

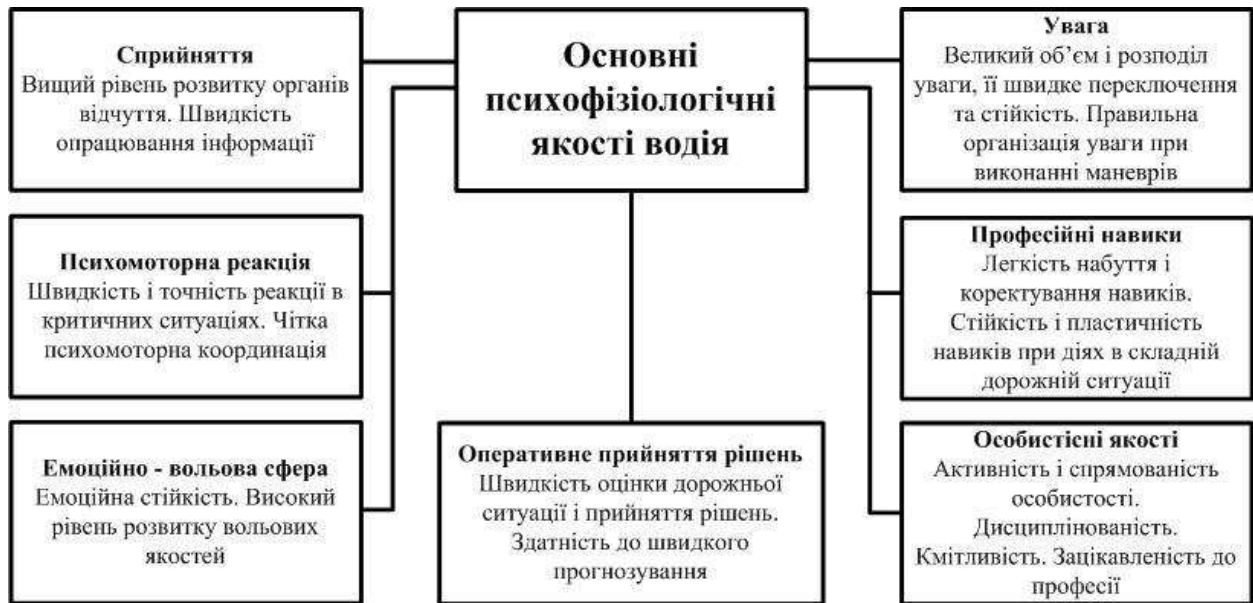


Рисунок 1.1 – Основні психофізіологічні якості водія, які є визначальними в надійності його роботи [23]

- динамічний результат взаємодії різних підсистем організму;
- інтегральний комплекс тих функцій і характеристик, які прямо або побічно спричиняють виконання діяльності;
- складна системна реакція організму на діяльність, відповідь організму на зовнішні й внутрішні фактори діяльності.

Більш чітким є визначення «функціонального стану» людини, як інтегрального комплексу існуючих характеристик тих функцій і якостей людини, які прямо чи побічно обумовлюють виконання діяльності. Основними моментами в цьому визначенні виділяються інтегральний характер змін, що відбуваються, і прямий зв'язок з динамікою ефективності трудової діяльності.

Функціональні стани формуються під впливом показників тих систем, що безпосередньо впливають на ефективність діяльності, причому частіше вивчаються психологічні показники, що характеризують зміни в протіканні психологічних процесів, і фізіологічні, що відбивають зміни різних систем організму людини [25, 26].

Функціональний стан організму є інтегральним показником мобілізації працездатності. Працездатність визначається як здатність людини виконувати

певну роботу протягом заданого часу і залежить від чинників як суб'єктивного, так і об'єктивного характеру.

Існує велика кількість факторів, що впливають на формування функціонального стану людини. Серед цих факторів можна виділити:

- фактори виробничого середовища (фізичні, психофізіологічні, соціально-психологічні, біологічні, естетичні);
- фактори соціального середовища в сукупності із цілями трудової діяльності;
- характеристики трудового процесу й технічної оснащеності виробництва визначають рівень напруженості, важкості діяльності;
- індивідуальні особливості людини [24].

З іншого боку у [27] наведено систему чинників, що визначають складність робочих умов водіїв, яку подано в табл. 1.1.

*Таблиця 1.1*

**Система чинників, що визначають складність робочих умов водіїв [27]**

Ергономічні	наявність шуму та вібрації в кабіні; зміна теплового режиму в кабіні залежно від пори року; перепад температур; розміри кабіни та обладнання; вентиляція; вологість повітря; запиленість; забруднення повітря шкідливими речовинами; оглядовість; тепла радіація; освітлення тощо
Технічні	технічний стан транспорту; тип покриття; стан дороги; пасажиромісткість; габаритна довжина транспортного засобу
Організаційні	насиченість маршруту, його непрямолінійність; інтенсивність руху; пасажиропотік; відсутність спеціальної смуги для громадського транспорту; пропускна здатність зупиночних пунктів; необхідність дотримання розкладу; виконання інших обов'язків; напруга уваги, зору та слуху; відокремленість трудового процесу від підприємства тощо

*Продовження табл. 1.1*

Соціально-економічні	нераціональний режим праці та відпочину; періодична зміна графіка руху; керування автобусом в години “пік”; наявність понаднормових робіт в будь-яку годину доби; стаж і вік водія тощо
Психологічні (нервово-емоційні)	висока залежність організації і якості перевезення від особистісних якостей водіїв; високе нервово-емоційне напруження і переважання навантаження на центральну нервову систему і аналізатори над фізичним навантаженням; висока відповідальність за безпеку пасажирів та пішоходів; занепокоєння про збереженість транспортного засобу; постійний дефіцит часу для прийняття одноосібних відповідальних рішень; можливість виникнення аварійних ситуацій тощо

Поняття функціонального стану вводиться для характеристики ефективної сторони діяльності або поведінки людини. Цей аспект розгляду проблеми передбачає насамперед вирішення питання про можливості людини, що знаходиться в тому чи іншому стані, виконувати конкретний вид діяльності. Відповідно, функціональні стани поділяються на два основні класи:

– допустимі – дозволяють здійснювати діяльність, ефективність якої не нижче допустимого рівня (оцінка за критерієм надійності) і не впливають негативно на здоров’я людини (оцінка за критерієм ціни діяльності);

– недопустимі – при яких ефективність діяльності переходить нижні межі заданої норми (оцінка за критерієм надійності) або з’являються симптоми порушення здоров’я (оцінка за критерієм ціни діяльності) [28].

При цьому для кожної людини існує індивідуальна норма функціонального стану як за критерієм надійності, так і за критерієм ціни діяльності.

## 1.2. Поняття аутентифікації, ідентифікації та верифікації

У сучасній літературі наявний ряд протиріч у використанні таких понять як ідентифікація, верифікація та аутентифікація. Наведемо ряд визначень з різних джерел.

Ідентифікація – це процес визначення особистості за деяким зразком чи ознакою шляхом порівняння даного зразка з шаблонами, які зберігаються у базі даних. Результатом процесу ідентифікації є список кандидатів з деякою ймовірністю. Система ідентифікації може видавати на виході список фіксованого розміру або приймати рішення про включення користувача в список кандидатів на основі заданого порогу. Якщо передбачена можливість того, що у процесі ідентифікації буде брати участь користувач, не зареєстрований у системі, то вважають, що проходить ідентифікація на відкритій множині. В ідеальному випадку для такого користувача система повинна видати пустий список кандидатів. Якщо ж усі користувачі, які проходять процедуру ідентифікації, зареєстровані у системі, то говорять про ідентифікацію на замкненій множині.

Верифікація диктора – процес, за якого за допомогою порівняння наданого зразка з тими, що зберігаються у базі, перевіряється запитувана особа. Результатом верифікації є позитивне або негативне рішення [29].

Інші ж автори [30] указують, що процес ідентифікації полягає у наданні користувачем ідентифікатора і зіставленні його зі зразками ідентифікаторів усіх користувачів у системі (відношення 1:m). При цьому у якості перевірки особистості користувача при доступі до ресурсів сучасних систем ідентифікація не використовується з причин значно меншої надійності, у порівнянні з аутентифікацією.

У процесі аутентифікації користувач також повинен надати системі ідентифікатор, заявляючи про те, хто він, і підтвердити свою особистість. Для цього на додачу до ідентифікатора використовується дещо, що називається аутентифікатор. Після знаходження у базі даних необхідного запису про



користувача за допомогою ідентифікатора, система виконує порівняння аутентифікатора, який зберігається у базі, з тим, що надав користувач. Таким чином, при аутентифікації послідовно відбувається порівняння 1:m ідентифікаторів та 1:1 аутентифікаторів.

З урахуванням цього, для того, щоб система функціонувала з необхідними рівнями швидкодії та надійності, необхідно правильно обирати, що використовувати у якості ідентифікатора, а що в якості аутентифікатора [30].

Згідно з [31], ідентифікація – це процедура яка забезпечує визначення особистості в системі безпеки. Це зазвичай забезпечується у формі персонального ідентифікатора. Система безпеки при цьому проводить типовий пошук серед наявних у ній абстрактних об'єктів і знаходить саме той об'єкт, який фактично повинен використовувати користувач. Як тільки такий об'єкт знайдено, користувач вважається ідентифікованим.

Аутентифікація є процесом перевірки ідентичності користувача. Той факт, що користувач стверджує, що він може бути представлений системі за допомогою даного абстрактного об'єкта (ідентифікатора), не обов'язково може бути правдою. Щоб переконатися, що фактичний користувач може бути пов'язаний з конкретним абстрактним користувачем в системі, і таким чином, отримати права та дозволи, доступні абстрактному користувачеві, користувач повинен надати докази, які підтверджують його ідентичність у системі. Таким чином, аутентифікація – це процес встановлення ідентичності користувача шляхом перевірки доказів, наданих при цьому користувачем [31].

У багатьох іноземних джерелах процедуру аутентифікації асоціюють з процедурою верифікації і частіше використовують саме цей термін [32]. Досить часто автори помилково використовують термін «ідентифікація» для опису процедури аутентифікації, як приміром у [33]. Аналогічна ситуація спостерігається і при використанні терміну «верифікація», однак він зустрічається значно рідше.

Надалі будемо використовувати термін «ідентифікація» на позначення

процесу введення у систему індивідуального ідентифікатора особи, а термін «аутентифікація» – на позначення процедури підтвердження належності даного ідентифікатора конкретно цій особі.

### **1.3. Методи аналізу голосового сигналу і виділення його характеристик**

У більшості випадків інформаційні характеристики голосового сигналу визначають для так званих вокалізованих ділянок. В утворенні цих ділянок бере участь голосове джерело – голосові зв'язки. Отже, ці вокалізовані ділянки необхідно виділяти з потоку мови для подальшої обробки та аналізу.

Тому одним із основних етапів обробки голосового сигналу є сегментація. Під процедурою сегментації розуміють процес визначення меж між ділянками, що відповідають різним звукам [34].

У дослідницьких задачах та на етапах попередніх розробок доцільним є використання ручної сегментації. Однак вона потребує наявності досвідчених лінгвістів, а також значних затрат сил та часу. Причиною цього є складна структура суцільного потоку мови, яка може містити паузи між словами, а може і не містити. Ще однією причиною, яка ускладнює процедуру ручної сегментації є коартикуляція, яка виникає на межі звуків, що вимовляються послідовно, і значно полегшує правильне сприйняття та розуміння мови людиною в режимі реального спілкування. Крім того, практично неможливо точно відтворити результати ручної сегментації внаслідок суб'єктивності людського слухового та зорового сприйняття. Подібні проблеми не виникають при автоматичній сегментації, яка, хоч і не є безпомилковою, але дає відтворювані результати [35].

Методи визначення моментів початку та кінця різних звуків можна використовувати для зменшення кількості обчислювальних операцій, якщо обробляти лише сегменти, у яких власне міститься голосовий сигнал. В основі більшості методів обробки мови лежить припущення про те, що властивості

голосового сигналу повільно змінюються у часі. Це припущення приводить до того, що голосові сигнали аналізуються методами короткочасного аналізу. У такому випадку сегменти сигналу виділяються та обробляються так, як би вони були короткими ділянками окремих звуків [36].

У ряді досліджень також указано, що різні звуки мови можна охарактеризувати розподілом енергії по частотному діапазону. Для кожного звуку такий розподіл буде різним, відповідно, при переході від одного звуку до іншого цей розподіл буде змінюватись. Ділянки ж голосового сигналу, де цей розподіл не змінюється, або змінюється не так істотно, називаються фонемами.

Енергія сигналу у короткотривалому інтервалі визначається виразом

$$E_n = \sum_{m=n-N+1}^n x^2(m), \quad (1.1)$$

де  $n$  – кінцевий відлік аналізованого інтервалу сигналу;

$N$  – кількість відліків в аналізованому інтервалі сигналу.

Саме за допомогою функції енергії сигналу у короткотривалому інтервалі (або короткотривалої енергії [36]) добре описуються відмінності між вокалізованими та невокалізованими сегментами голосового сигналу. Причиною цього є те, що амплітуда невокалізованих сегментів значно менше амплітуди вокалізованих сегментів. Водночас недоліком функції короткострокової енергії є її чутливість до великих рівнів сигналу. Це пояснюється піднесенням кожного відліку сигналу до квадрату у виразі (1.1), внаслідок чого значно спотворюється співвідношення між значеннями сигналу.

При обробці дискретного сигналу вважається, що між двома послідовними відліками, які мають різні знаки, відбувається перехід сигналу через нуль. Частота появи переходів через нуль у сигналі може бути використана як одна з найпростіших характеристик його спектральних властивостей. Ця властивість найбільше справджується для сигналів, що мають

вузьку смугу частот.

Застосування функції середнього числа переходів через нуль для сегментації голосового сигналу базується на тому, що енергія вокалізованих сегментів концентрується в діапазоні частот нижче 3 кГц, що обумовлено спадаючим спектром сигналу збудження голосового тракту. У той же час, для невокалізованих сегментів більша частина енергії зосереджена в області високих частот. Оскільки високі частоти призводять до більшої кількості переходів сигналу через нуль, а низькі – до малої їх кількості, то існує чіткий зв'язок між кількістю переходів сигналу через нуль та розподілом енергії за частотними діапазонами. Логічним видається припущення, про те, що більшій кількості таких переходів відповідають невокалізовані сегменти, а меншій – вокалізовані. Тим не менше, практично неможливо встановити точні кількісні оцінки меж розділення вокалізованих та невокалізованих ділянок на основі такого критерію [36].

Очевидно, що число переходів через нуль залежить від рівня шуму, що наявний на акустичному записі, незалежно від роду його появи. З іншого боку, велика кількість приголосних звуків будь-якої мови мають шумовий або фрикативний характер. Тому багато методів сегментації можуть просто не врахувати їх як голосовий сигнал людини, віднісши до категорії шуму.

Тому на сьогоднішній день, окрім класичних методів енергії у короткотривалому періоді та переходів через нуль, розроблено ряд альтернативних методів сегментації.

Більшість методів передбачають визначення спектру сигналу чи його ділянок, з подальшим аналізом. Наприклад, у роботі [37] наведено математичну модель, яка описує спектр сигналу як комбінацію вокалізованої ділянки та білого шуму. За цією моделлю голосовий сигнал після дискретизації подається у вигляді дискретного часового ряду  $x_n$ , для якого визначається Фур'є-образ.

У якості основної статистики автори [37] обрали нормальний розподіл, який відповідає білому шуму, що може бути наявним у голосовому сигналі. Шляхом математичних перетворень автори отримали критерій того, що

елемент загального спектру  $S_0$  належить іншій статистиці, тобто відповідає регулярній (вокалізованій) компоненті сигналу:

$$S_0 > \sigma(S_{III}) \ln\left(\frac{N}{2}\right), \quad (1.2)$$

де  $\sigma(S_{III})$  – середнє квадратичне відхилення значень спектральної густини шумової складової сигналу.

На основі даного критерію у роботі [37] було подано метод визначення періодичності дискретного сигналу  $x_n$ , який полягав у наступному:

- 1) визначення одностороннього спектру потужності  $S(\omega)$  часового ряду;
- 2) пошук максимального значення отриманого масиву  $S(\omega)$ ;
- 3) перевірка критерію (1.2) для максимального значення масиву.

У випадку отримання позитивного результату за критерієм, робиться висновок про наявність у сигналі регулярної складової – тобто вокалізованої ділянки – з частотою, яка відповідає максимальному значенню масиву  $S(\omega)$ .

Автори вказують, що розроблений метод дозволяє здійснювати визначення періодичних сигналів в нормальному білому шумі спектральним методом. Формалізацію даного методу для шумових сигналів, що мають статистику, відмінну від нормальної, слід проводити аналогічним чином, підставляючи у вихідні співвідношення відповідні параметри шумового сигналу [37].

Однак на практиці при обробці голосових сигналів виникне істотна проблема визначення спектральних характеристик шумових сигналів чи завад, що матимуть місце в акустичному записі. До того ж, вони можуть також динамічно змінюватись у часі, що значно ускладнить процес сегментації.

Інший клас методів передбачає аналіз спектру сигналу у частотному просторі за рахунок перетворень Фур'є та на основі теорії слухового сприйняття голосу людини. При цьому деякі автори вказують, що ділянки голосового сигналу, що мають стаціонарні та перехідні характеристики

викликають активність в різних відділах кори головного мозку. Як наслідок, сегментація голосового сигналу повинна проводитись з використанням як динамічних, так і статичних його властивостей [38].

Однією із таких характеристик є спектрограма голосового сигналу. У ряді досліджень [38, 39] дану характеристику називають сонограмою. Для обчислення сонограми найчастіше використовується швидке перетворення Фур'є, зважене функцією вікна Лапласа:

$$w_{lap}(t) = e^{-\alpha^2 t^2}, \quad (1.3)$$

де  $\alpha$  – величина порядку 400 Гц.

Вибір даного вікна забезпечує найкращу роздільну здатність як у часовому, так і в частотному просторі [38]. Спектр такого вікна визначається за формулою:

$$S_{lap}(\omega) > \frac{\sqrt{\pi}}{\alpha} e^{-\omega^2/4\alpha^2}. \quad (1.4)$$

З урахуванням особливостей сприйняття людиною голосових сигналів для кожного спектрального профілю шкала частот перетворюється на мел-шкалу. Одночасно з цим, профіль згладжується віконною функцією у вигляді нерівнобедреного трикутника.

Канонічне подання динамічного спектру голосового сигналу, тобто сонограми  $S(\omega, t)$ , супроводжується також логарифмуванням по амплітуді. З одного боку ця операція відповідає особливостям сприйняття, а з іншого, зменшує динамічний діапазон та полегшує візуальний аналіз.

Отримана таким чином сонограма нормується. Нормована сонограма слабо залежить від коефіцієнта підсилення (рівня гучності) і нахилу спектрального профілю по вісі частот. Це дозволяє використовувати її для оцінки рівня однорідності спектрального складу голосового сигналу незалежно

від змін його рівня [38].

Метод автоматичної сегментації, який базується на аналізі нормованої спектрограми полягає у наступному. Припускається, що відомий початковий момент поточного сегменту – нехай він співпадає з кінцем попереднього сегменту чи початком сигналу. Зміщуючи вікно уздовж попередньо визначеної спектрограми сигналу, рекурентно обчислюється середній спектр поточного сегменту:

$$\bar{S}_i(\omega) = \frac{\bar{S}_{i-1}(\omega) \cdot (i - 1) + S(\omega, t_i)}{i}, \bar{S}_0(\omega) = S(\omega, t_0). \quad (1.5)$$

Момент часу  $t$  вважається кінцем сегменту, якщо міра близькості середнього спектру сегменту та кожного профілю спектру на інтервалі  $[t, t + \Delta t]$  перевищує деякий встановлений поріг  $\Delta_m$ . У такому випадку, накопичений середній спектр анулюється, і поновлюється пошук кінця наступного сегменту. Кінцем поточного сегменту вважається момент  $t + \Delta t$  [38].

Тим не менше, даний метод не дозволяє визначити межу двох вокалізованих сегментів, якщо зміни відбуваються переважно у значенні енергії сигналу. Для врахування цих особливостей у роботі [34] пропонується не проводити нормування спектру. Однак це призводить до появи ефекту пересегментації внаслідок підвищення чутливості методу. До того ж, вибір достатньо великого порогу  $\Delta_m$  призводить до пропуску великої кількості меж, особливо між голосними та сонорними приголосними. Зменшення ж порогового значення призводить до появи хибно встановлених меж, особливо для приголосних звуків, які мають неоднорідний розподіл енергії.

Вокалізовані ділянки голосового сигналу у цифровій формі значно простіше аналізувати за допомогою ряду методів. Велику роль у теорії сигналів, зокрема, голосових, відіграє кореляційний аналіз. Його суть полягає у кількісному вимірюванні міри подібності різних сигналів. Для цього

використовуються спеціальні кореляційні функції.

Кореляційна функція детермінованого сигналу зі скінченною енергією являє собою інтеграл у нескінченних межах від добутку двох копій сигналу, зміщених одна відносно одної на деякий час  $\tau$ :

$$B_s(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} s(t)s(t-\tau)dt. \quad (1.6)$$

У випадку, якщо сигнал є періодичним, або сигналом з нескінченною енергією, кореляційну функцію обчислюють, усереднюючи добуток зміщених копій сигналу у межах одного його періоду:

$$B_s(\tau) = \frac{1}{T} \int_{-\tau/2}^{\tau/2} s(t)s(t-\tau)dt. \quad (1.7)$$

Також широко в аналізі сигналів використовується взаємна кореляційна функція. Якщо кореляційна функція показує ступінь подібності між зміщеними копіями одного і того ж сигналу, то взаємна кореляційна функція дозволяє визначити аналогічну величину для зміщених фрагментів двох різних сигналів.

Загальний вигляд формули взаємної кореляційної функції:

$$B_{12}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} s_1(t)s_2(t-\tau)dt. \quad (1.8)$$

Кореляційна функція показує міру подібності між сигналом та його зміщеною копією – чим більшим є значення даної функції, тим ця подібність більша [40].

Досить часто у літературі кореляційну функцію називають



автокореляційною, з огляду на те, що визначається вона для одного і того ж сигналу. Найбільш поширеним є використання даної функції для визначення основної частоти сигналу. З цією метою визначається значення кореляційної функції при різних значеннях зміщення сигналу  $\tau$ . Інколи для наглядності будується графік залежності даної функції від величини зміщення. Локальні максимуми цієї функції відповідають таким значенням зміщення  $\tau$ , які є кратними основній частоті сигналу (рис. 1.2).

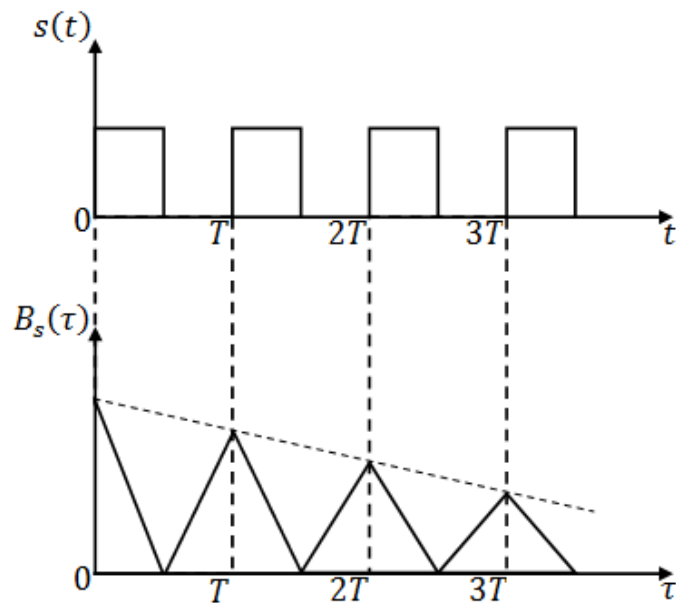


Рисунок 1.2 – Приклад використання кореляційної функції для визначення частоти періодичного сигналу (у даному випадку – послідовності прямокутних імпульсів) [40]

Тим не менше, даний метод є досить складним з точки зору обчислювальної складності і не рідко потребує уточнень отриманих результатів.

Одним із видів кореляційного аналізу сигналів є метод аналізу структури сигналу у часовому просторі. З цією метою найчастіше використовується коефіцієнт середньоквадратичного відхилення структури сигналу, запропонований А.В.Кобзєвим, Г.Я.Михальченко та В.Д.Семеновим:

$$K_T = \frac{\sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (s_H(t) - s(t))^2 dt}}{\sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T s_H^2(t) dt}}, \quad (1.9)$$

де  $s_H(t)$  – еталонний сигнал,

$s(t)$  – сигнал, що аналізується,

$T$  – період сигналу.

Для аналізу сигналів у дискретній формі дана формула змінюється:

$$K_T = \frac{\sqrt{\frac{1}{T} \sum_{i=1}^N (s_H(i) - s(i))^2 \Delta t}}{\sqrt{\frac{1}{T} \sum_{i=1}^N s_H^2(i) \Delta t}}, \quad (1.10)$$

де  $s_H(i)$  – амплітуда  $i$ -го відліку еталонного сигналу,

$s(i)$  – амплітуда  $i$ -го відліку сигналу, що аналізується,

$\Delta t$  – інтервал між відліками,

$N$  – кількість відліків сигналу,

$T$  – період сигналу [41].

Окремо слід зазначити, що визначення даного коефіцієнту можливе лише для сигналів, що мають однаковий період або однакову кількість відліків. З цією метою сигнали повинні масштабуватись до певної однакової кількості відліків.

Серед методів обробки сигналів, що працюють в частотній області, можна виділити методи, що засновані на фільтрації та кепстральному перетворенні. Методи, засновані на фільтрації, передбачають наявність набору фільтрів з різними центральними частотами та фільтрацію сигналу за допомогою цих фільтрів. Чим ближча частота сигналу до частоти фільтру, тим вищі вихідні значення цього фільтру. Таким чином, по тому, у якого фільтру більші вихідні значення, можна робити висновок про миттєву частоту сигналу

та інші його параметри. Описані методи є досить надійними, однак їх обчислювальна здатність досить складна [42].

Кепстральний аналіз – це форма спектрального аналізу, за якої сигнал  $s(t)$  піддається наступному кепстральному перетворенню:

$$c(t) = \text{ifft}(\log|\text{fft}(s(t))|), \quad (1.11)$$

де  $c(t)$  – кепстр сигналу;

$\text{fft}$  та  $\text{ifft}$  – пряме та обернене перетворення Фур'є.

Метод кепстрального аналізу заснований на тому, що в спектрі, який утворюється після прямого перетворення Фур'є гармоніки сигналу розміщені на кратних частотах, тобто даний спектр також є періодичним. Однак амплітуди гармонік, як правило відрізняються на значні величини, інколи навіть на декілька порядків. Операція логарифмування дозволяє більш менш згладити ці розбіжності. Обернене перетворення Фур'є дозволяє визначити відстань між частотами гармонік в спектрі Фур'є. Ця відстань формується у вихідному сигналі  $c(t)$ , який називається кепстром, у вигляді піку. Цей пік відповідає періоду сигналу, що аналізується, і за ним визначається частота сигналу [43].

І спектр, і кепстр мають таку ж кількість точок даних, як і вихідний сигнал. Тому можна стверджувати, що інформація за рахунок даних перетворень подається нехай і у стисненому вигляді, однак у повній мірі. Тим не менше, якщо сигнал має значну тривалість, кількість точок даних буде дуже великою. І тоді обробка масивного набору даних за рахунок спектральних та кепстральних перетворень потребуватиме значних обчислювальних можливостей. Із цим пов'язують основний недолік використання кепстральних методів досліджень сигналів.

Усі методи обробки та виділення характеристик голосового сигналу, описані вище, можуть використовуватись як для визначення функціонального стану людини, так і для задачі аутентифікації особистості.

Серед систем та програмних продуктів, які пов'язані з обробкою та аналізом голосового сигналу, розглянемо такі програмні продукти:

- Audizr;
- Sound Analyzer Free;
- Sound Analyzer;
- AudioUtil – Audio Analysis Tools Free;
- Voice Analyst;
- Speech Analyzer 3.1.

Audizr є одним із найбільш розвинених аналізаторів спектру. Аналіз проводиться у режимі реального часу з можливістю динамічного регулювання частоти дискретизації у межах від 3 Гц до 48 кГц. Програма візуалізує звуковий сигнал у вигляді графічного зображення спектру, спектрограми, з можливістю використання логарифмічної, лінійної чи мел-шкали частот. Амплітудні та формантні характеристики, а також динаміка основної частоти за допомогою даної програми не визначаються. Є можливість аналізу спектральних характеристик для кожної частоти з виведенням числових параметрів на екран [44]. Програма поширюється у вільному доступі.

Sound Analyzer Free також аналізує спектральні характеристики звуку у режимі реального часу. Діапазон частоти дискретизації даної програми значно більший на верхній межі (96 кГц), однак також високий і на нижній (2 кГц). Програма візуалізує звуковий сигнал у вигляді графічного зображення спектру, з можливістю використання логарифмічної чи лінійної шкали частот [45]. В усьому іншому технічні можливості програми не відрізняються від попередньої. Програма поширюється у вільному доступі, однак має і платну версію з розширеними характеристиками та можливостями.

Sound Analyzer TiniaSoft дозволяє відображати та аналізувати сигнал у трьох варіантах – у часовому, частотному просторі та спектрограму (рис. 1.3).

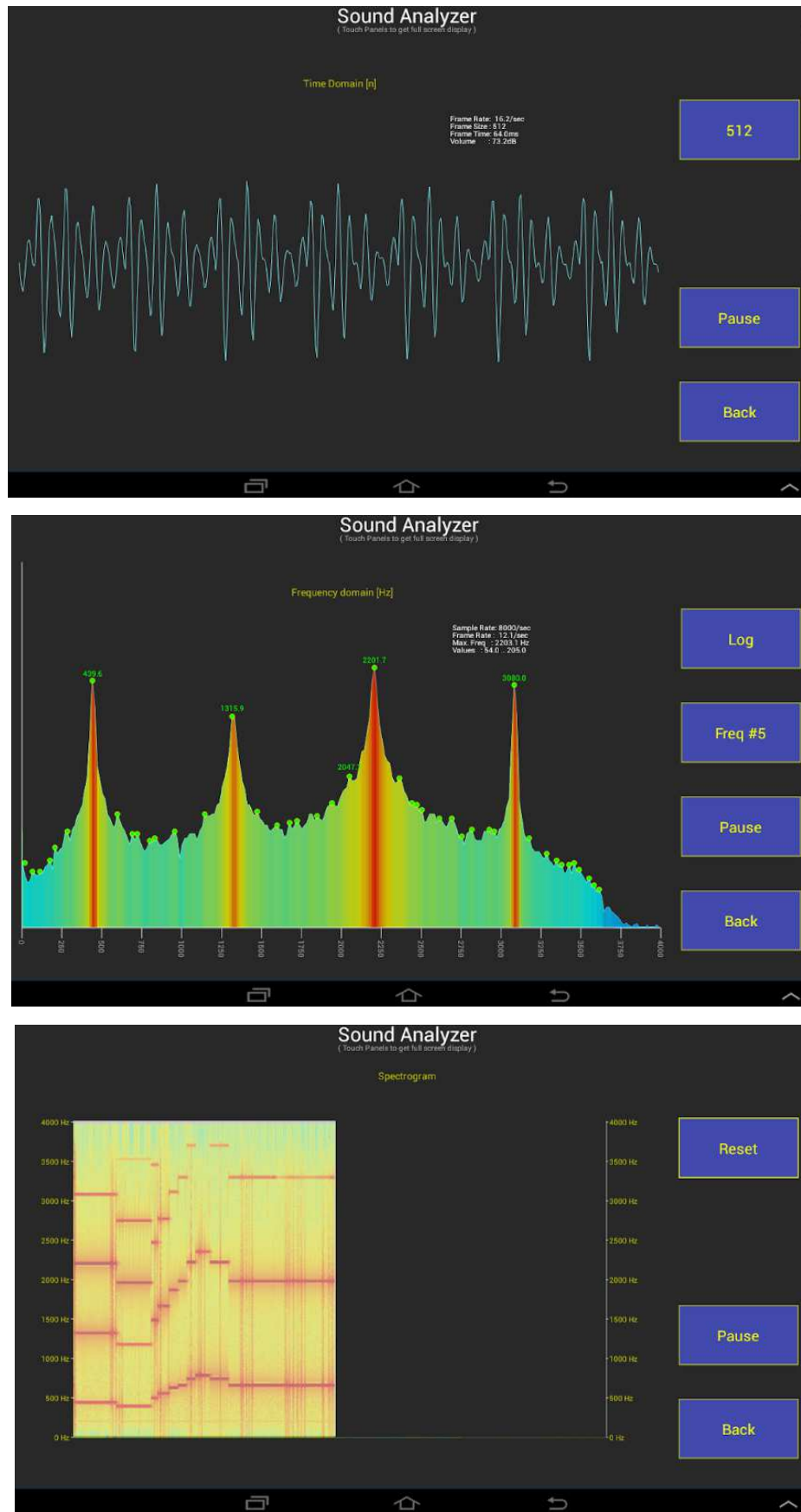


Рисунок 1.3 – Графічні подання голосового сигналу за допомогою програмного продукту Sound Analyzer TiniSoft [46]

Частота дискретизації сигналу у даній програмі може змінюватись від 8 до 48 кГц. Також у програмі є можливість відображення 5 формантних частот на спектральній панелі з визначенням їх значень, що забезпечується спеціальним алгоритмом. Доступне використання лінійної та логарифмічної шкали частот. Програма не працює у режимі реального часу, для проведення аналізу необхідно завантажувати до неї аудіо-файл [46]. Поширюється у вільному доступі.

AudioUtil – Audio Analysis Tools Free також дозволяє візуалізувати голосовий сигнал у вигляді кривої амплітуди звукового тиску у часовому просторі, спектру у часовому просторі та спектрограми. Спектр сигналу визначається на основі алгоритму швидкого перетворення Фур'є. У програмі є можливість визначень показників амплітуди та частоти сигналу, однак вони відображаються лише на екрані. При аналізі спектру є можливість використовувати лінійну та логарифмічну шкалу. Програма поширюється у вільному доступі та має платну версію, і працює у режимі реального часу, аналізуючи сигнал, який надходить з мікрофона пристрою чи гарнітури [47].

Voice Analyst є платною спеціалізованою медичною програмою. Вона застосовується у клініках терапії голосових вад, дослідницьких центрах та у домашніх умовах. За допомогою даної програми є можливість аналізувати основну частоту голосу та амплітудні показники сигналу безпосередньо під час мовлення, визначати усереднені чи пікові характеристики голосу, проводити терапію певних захворювань (таких, як хвороба Паркінсона) у клінічних чи домашніх умовах, а також поширювати чи зберігати записи цілком, чи їх виділені характеристики [48].

Усі вказані програмні продукти використовуються операційною системою Android, окрім Speech Analyzer 3.1, який використовується Windows [49]. Speech Analyzer 3.1 є комп'ютерною системою аналізу мовлення і застосовується для фонетичного та фонологічного аналізу звукового матеріалу. Програма візуалізує звуковий сигнал, подаючи його у вигляді графічного зображення форми хвилі, спектрограми, діаграми зміни основної

частоти голосу, діаграми інтенсивності та формантної площини (рис. 1.4). Дане графічне представлення передає структуру складів мови, розподіл пауз, динаміку основної частоти голосу [50]. Є можливість виведення даних про амплітуду та динаміку основної частоти голосу у спеціальний файл. Програма поширюється у вільному доступі.

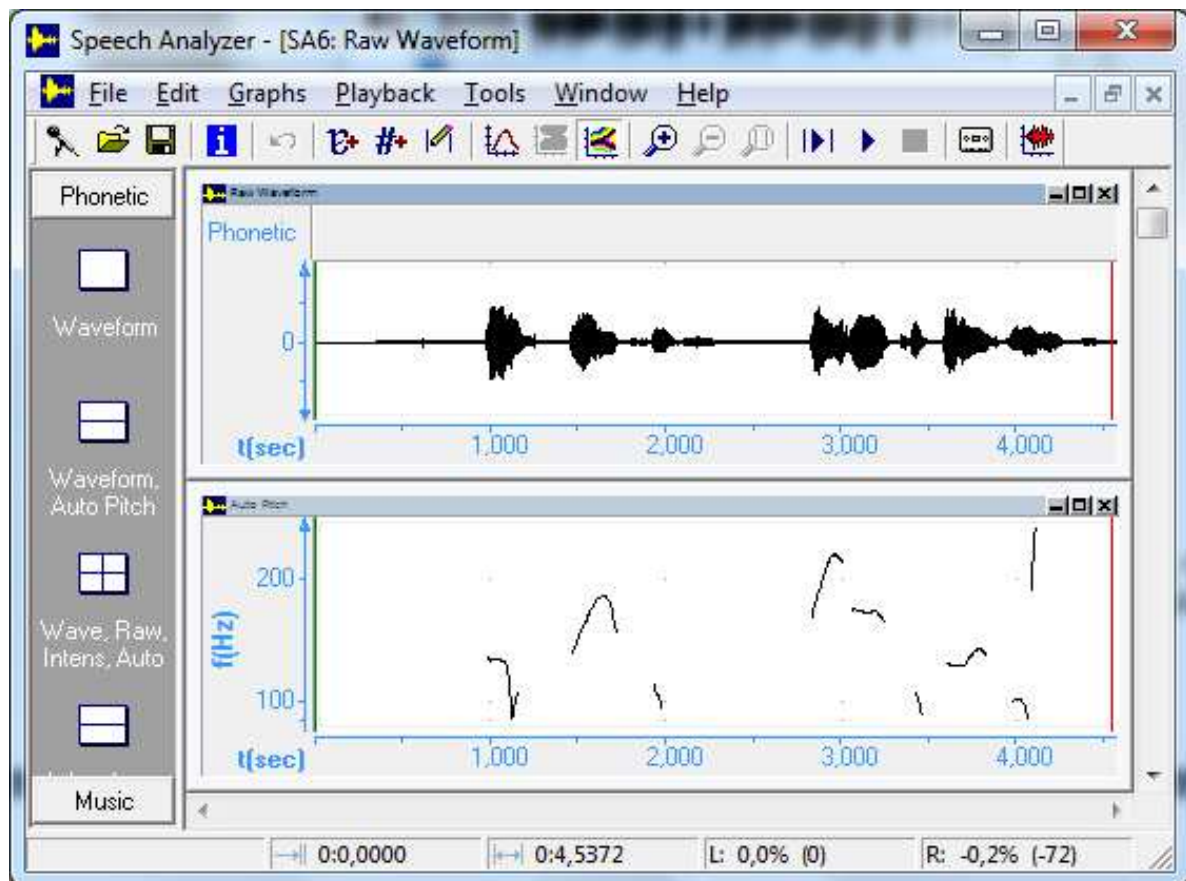


Рисунок 1.4 – Приклад роботи програми Speech Analyzer 3.1

Однак при аналізі акустичних матеріалів диктора за допомогою усіх розглянутих програмних продуктів було визначено, що у більшості з них відсутня можливість автоматичного аналізу голосу з визначенням та числовим виведенням відповідних характеристик у форматі, зручному для їх подальшої обробки. Будь-які процедури, пов'язані з сегментацією сигналу чи виділенням певних ділянок, адекватних для подальшого аналізу, відсутні. При цьому при визначенні частоти основного тону та фреймуванні вокалізованих ділянок розглянуті програми мають значні похибки, які до того ж при потоковій

обробці мови мають кумулятивний характер. Як наслідок, недостатня точність та відсутність необхідного рівня автоматизації не дозволяють використовувати дані програми ні для виділення основних характеристик голосового сигналу, ні для первинної обробки голосового матеріалу.

#### **1.4. Сучасні методи і засоби оцінювання функціонального стану та аутентифікації водія**

Для задачі оцінювання функціонального стану використовується велика кількість методів. З цією метою можна використовувати методи, які застосовуються в психології, фізіології та інженерній психології [51,52].

З великої кількості методів, що застосовують у інженерній психології й ергономіці, для психофізіологічної оцінки діяльності водія, застосування знайшли наступні: електроенцефалографія, електропневмографія, електрокардіографія, електроміографія, шкірно-гальванічна реакція, окулографія, а також методи оцінки функціонального стану зорової системи – критична частота кліпань і фосфен [53, 54]. Серед фізіологічних показників, які застосовуються з даною метою, виділяють: артеріальний тиск, частоту і глибину дихання, життєвий об'єм легень та обсяг видихуваного повітря за хвилину, тощо.

Функціональний стан людини можна оцінювати шляхом реєстрації електроенцефалограми. Вона дозволяє отримувати інформацію як про роботу окремих центрів, так і про всю центральну нервову систему в цілому [55, 56]. При аналізі електроенцефалограми враховують, насамперед, частоту, амплітуду, форму, тривалість, характер розподілу її хвиль [57].

Не дивлячись на високу інформативність, використання електроенцефалограми в умовах реального часу є ускладненим з технічних причин. Іншим недоліком цього методу є те, що електроди необхідно щільно притискати до відповідних зон голови випробовуваного для підтримки постійного опору на місці контакту, що викликає больові відчуття. З



урахуванням цього використання даного методу можливе лише в стаціонарних умовах [58]. Також до недоліків електроінцефалограмми слід віднести: варіабельність реакції в той самій особі, близькість реакцій у різних осіб, подібність реакцій при істотно різних станах [53, 54].

При використанні методу електропневмографії вивчають частоту й глибину подиху. У нормальному стані частота подиху становить близько 20 коливань за хвилину. У стані збудження або напруги частота подиху збільшується до 50-60 коливань за хвилину. Спостерігається також зменшення глибини подиху і скорочення фази виходу в порівнянні із входом [57].

Ще одним методом оцінки функціонального стану є метод шкіряно-гальванічної реакції. Суть даного методу полягає у вимірюванні різниці потенціалів між окремими точками на поверхні шкіри людини при несподіваній появі сигналу зовнішнього подразника. У деяких дослідженнях виявлено зв'язок між емоційним станом людини і електричним опором шкіри.

Основними характеристиками шкіряно-гальванічної реакції є: лабільність фону, латентний період реакції, тривалість реакції, амплітуда й швидкість вгасання рефлексу при повторних застосуваннях подразника [57].

Результати шкіряно-гальванічної реакції дають можливість оцінювати надійність водія не тільки за емоційним станом, але й за відображенням таких психічних процесів, як готовність до майбутньої дії, рівень пильності, напруженість уваги й ступінь перевтоми [57, 59].

Не дивлячись на простоту реєстрації шкіряно-гальванічної реакції і її інформативність, вона має недоліки, які не дозволяють використовувати її в дослідженнях для вирішення завдань визначення функціонального стану у режимі реального часу. По-перше, використання окремо шкіряно-гальванічної реакції недостатньо для загальної оцінки стану людини; по-друге, отримувана інформація не є кількісною [58].

Як недолік також слід виділити те, що шкіряно-гальванічна реакція вгасає, як тільки подразники втрачають для людини властивості новизни або значимості. Крім цього, різні способи відведення електродів дають

нерівнозначні показання, внаслідок цього велике значення має спосіб і метод реєстрації шкірно-гальванічної реакції [59].

Діагностика функціонального стану організму людини можлива на основі експрес-оцінки поточних електричних характеристик рефлексогенних біологічно активних зон шкіри. На вивченні електричних властивостей цих зон заснована дія комп'ютерного електропунктурного сканера, що призначений для дослідження динаміки функціонального стану [59].

Для задачі оцінювання функціонального стану людей різних професій, і зокрема водіїв, можливе використання біохімічних методів [60]. Так, у роботі [61], при оцінці нервово-емоційної напруги водіїв проводили біохімічний аналіз крові, і визначали концентрацію натрію й калію в слині.

Для дослідження нейромоторної системи людей різних професій, використовують електроміографію. Електроміографія – це реєстрація сумарних коливань потенціалів, що виникають як компонент процесу збудження в області нервово-м'язових з'єднань і м'язових волокон при надходженні до них імпульсів від мононейронів спинного чи довгастого мозку [62]. Цей метод можна використовувати для виявлення за показником електричної активності м'язів ступеня емоційного збудження людини при нервово-емоційній роботі [57].

Для реєстрації рухомої активності ока людини застосовують електроокулографію [57, 59, 62], фізична й фізіологічна сутність якої базується на існуванні різниці потенціалів між переднім і заднім полюсами очного яблука [62]. Лінія, що з'єднує обидва полюси, збігається з оптичною віссю ока. Це означає, що при зміні положення електричної осі фактично змінюється напрямок погляду. Якісними показниками сприйняття, є наявність або відсутність тривалих фіксацій, що простежують рух ока й частоту кліпань [59].

Оцінити стан зорового аналізатора і властивості нервової діяльності можливо шляхом визначення критичної частоти кліпань людини. Даний метод полягає в наступному: людина поміщається перед джерелом світла, частота спалахів якого поступово зростає. Частота кліпань, при якій людина відчуває

безперервний потік світла, оцінюється як критична частота [148].

Також, для оцінки функціонального стану водія використовують фосфен, заснований на фіксації виникнення відчуття мерехтливого світіння на краях поля зору при прямому подразненні сітківки ока змінним струмом. Однак результати фосфена можна використовувати тільки як додаткові показники стану водія [57].

В інженерній психології широко використовують різноманітні методики оцінки стану різних психічних функцій: сприйняття, пам'яті, уваги, мислення. У дорожніх дослідженнях звичайно використовують лише такі тести, надійність яких доведена в попередніх дослідженнях, при вивченні операторської праці, що схожа з працею водія. Застосування одних лише тестів недостатнє, найбільш часто їх проводять разом з електрофізіологічними методами.

Найбільш розповсюдженим методом вивчення сприйняття водієм дорожніх умов є метод, що фіксує рішення водія, прийняті під впливом різних поєднань досліджуваних факторів, головним чином через зміну швидкості й траєкторії руху автомобіля [63]. Недоліком даного методу є відсутність безпосереднього контакту дослідника з водієм. Можливо також досліджувати коригувальні рухи й повороти кермового колеса й педалі керування дросельною затулкою, дії з гальмовою педаллю [60]. При дослідженні доцільно отримувати інформацію від самого водія. Для цього фіксуються суб'єктивні критерії самооцінки почуття небезпеки в транспортних обставинах, втоми. Крім того, можна використовувати методи, які застосовуються в психології, фізіології й інженерній психології для оцінки психофізіологічного або функціонального стану людини [60].

Також при вивченні функціонального стану людини, велике поширення отримав метод комплексної реєстрації психофізіологічних функцій (поліефекторний метод), цінність якого полягає в можливості одночасної реєстрації багатьох психофізіологічних параметрів. За допомогою такого методу можна дати цілісний опис роботи основних функціональних систем організму.

Інформацію про функціональний стан організму можна одержати за даними варіабельності серцевого ритму шляхом реєстрації електрокардіограми [64]. На думку [58] із всіх методів для даних завдань найбільш придатним є метод оцінки функціонального стану шляхом реєстрації електрокардіограми. З усіх психофізіологічних показників електрокардіограма найбільш вивчена і методика її виміру і аналізу найбільш досконала. Це пояснюється тим, що електрокардіограму широко використовують у клінічній практиці для вивчення серцево-судинної системи. Широке дослідження структури серцевого ритму в спортивній, авіаційній і космічній медицині, а також у клініці, дало можливість диференційованого підходу до кількісної оцінки ступеня участі центральних і автономних механізмів регуляції серцевого ритму при впливі різних факторів на організм.

У психофізіології електрокардіограма служить як основний індикатор емоційного стану людини при фізичному й розумовому навантаженні [58]. При цьому значимими є такі її характеристики, як частота пульсу, зміна в зубцях і інтервалах. Потенціали, що виникають у серцевому м'язі, проводяться навколишніми тканинами до кінцевих покривів. Зміни цих потенціалів фіксуються спеціальними приладами – електрокардіографами.

Для оцінки психофізіологічного стану людини, найчастіше, аналізують зміну пульсу, форму зубців і співвідношення інтервалів між окремими комплексами. При цьому відносні зміни цих характеристик електрокардіограми не залежать від місця її відведення [59].

Одним з основних методів дослідження механізмів регуляції серцево-судинної системи є аналіз варіабельності серцевого ритму, використання якого дозволяє оцінити стан механізмів регуляції фізіологічних функцій в організмі людини [65]. Даний метод базується на розпізнаванні й вимірюванні тимчасових інтервалів між кардіоінтервалами, побудові динамічних рядів кардіоінтервалів і подальшому аналізі отриманих числових рядів математичними методами [65].

При математичному аналізі ритму серця важливе значення має обсяг

вибірки, тобто кількість кардіоінтервалів, що підлягають аналізу [58]. У залежності від мети дослідження різні автори вибирають для математичного аналізу реалізації різної довжини: від 100 до 400-800 серцевих циклів [66].

Функціональний стан людини можна оцінювати на основі аналізу голосового сигналу та мови. Існують стійкі фізичні параметри емоційної виразності мови, які відображають динаміку функціонального стану. Приміром, за змінами частотних характеристик мови можна робити висновок щодо ступеню і характеру емоційної напруги [57].

Основними інструментами дослідження емоційної мови є спектральний аналіз і його кепстральні варіанти. Для практичної реалізації методики було розроблене відповідне програмне забезпечення, що дозволяє на основі відповідей оператора автоматично визначати його функціональний стан [51, 52].

У той же час голосовий сигнал може використовуватись і для процедури аутентифікації. Голосова аутентифікація є одним із видів біометричної аутентифікації. Біометрична аутентифікація – це спосіб аутентифікації особи за окремими специфічними біометричними ознаками або аутентифікаторами, які властиві саме конкретній людині. Сучасний рівень розвитку комп'ютерних технологій дозволяє використовувати подібні ознаки як основу для аутентифікації людини і ухвалення рішення про можливість або неможливість доступу до тих чи інших систем, процесів чи механізмів.

Усі біометричні системи працюють практично за однаковою схемою. На першому етапі система запам'ятовує зразок біометричної характеристики. Це називається процесом запису або навчання. Під час навчання деякі біометричні системи можуть вимагати зробити декілька зразків для того, щоб скласти найточнішу модель біометричної характеристики. Отримана інформація обробляється і перетворюється в математичний код. Методи обробки інформації різняться в залежності від виду отриманої інформації і складності характеристик, що виділяються для аутентифікації. Окрім цього, система може вимагати проведення ще деяких дій для того, щоб присвоїти отриманий

біометричний зразок конкретній особі. Надалі при надходженні аналогічної інформації від користувача за тими ж самими принципами формується зразок біометричної характеристики користувача, який уже порівнюється з тим, що збережений у системі. На останньому етапі система проводить порівняння виділених зразків і на основі аналізу співпадіння чи неспівпадіння цих зразків приймає певне рішення.

Серед біометричних механізмів аутентифікації можна виділити такі:

- за статичними ознаками – у системі використовуються такі ознаки, які практично не змінюються з часом, починаючи від народження;
- за динамічними ознаками – для задачі аутентифікації використовуються поведінкові характеристики, тобто ті, які побудовані на особливостях, характерних для підсвідомих рухів у процесі відтворення якої-небудь дії. Динамічні ознаки можуть змінюватись у часі, але не різко, а поступово [33].

Голосова аутентифікація відноситься до динамічних методів. На даний час існує безліч програм по розпізнаванню голосу. У методі аутентифікації за голосом важливі частотні та статистичні характеристики голосу людини. Саме за цими характеристиками і будується цифрова модель.

На сьогоднішній день голосова аутентифікація, як і усі біометричні технології, є ймовірнісною. Жодна з існуючих технологій не здатна гарантувати повну відсутність помилок першого та другого роду (FAR/FRR) і нерідко дана обставина є основою критики голосової аутентифікації. Неможливість одночасного зменшення рівня помилок першого та другого роду визначає також високу вартість цих технологій [67, 68].

У роботі [69] наведено результати дослідження ефективності деяких комерційних пристроїв для біометричної аутентифікації, яке було проведено компанією «Sandia». Дані про надійність різних методів наведено у табл. 1.2.

Таблиця 1.2

**Надійність біометричних методів аутентифікації [69]**

Метод	Відсоток похибок
Розпізнавання голосу (метод 1)	3%
Розпізнавання голосу (метод 2)	2%
Динаміка факсимільного підпису	2%
Сканування сітківки	0,4%
Геометрія руки	0,1%
Відбитки пальців	9% помилкових відмов, помилковий доступ відсутній

Для порівняння існуючих методів у роботі [70] було проаналізовано найбільш значимі показники біометричних систем. Результати оцінювання біометричних методів аутентифікації після ранжування за шкалою важливості показників (від 1 до 9, чим більше, тим краще), наведено у табл. 1.3.

Таблиця 1.3

**Порівняльний аналіз показників біометричних методів аутентифікації [70]**

Біометрична технологія	Показник								
	Визнання користувачами	Стійкість до підробок та атак	Вартість	Простота використання	FRR	FAR	Час розпізнавання об'єкту	Розмір шаблону	Стабільність роботи при хворобах людини
Відбиток пальця	5	5	7	8	5	5	6	5	9
Геометрія руки	5	6	4	8	5	5	8	9	4
Геометрія обличчя	9	3	7	9	1	6	8	5	3

Продовження табл. 1.3

Біометрична технологія \ Показник	Визнання користувачами	Стійкість до підробок та атак	Вартість	Простота використання	FRR	FAR	Час розпізнавання об'єкту	Розмір шаблону	Стабільність роботи при хворобах людини
Райдужна оболонка	4	6	5	6	7	7	7	7	8
Динаміка підпису	7	4	6	8	8	7	9	7	6
Голос	9	1	9	9	3	5	6	2	3

Для оцінювання найбільш ефективного методу аутентифікації авторами роботи [70] використовувався метод власних векторів – метод Сааті. Були розраховані матриці попарних порівнянь Сааті для кожного критерію, коефіцієнти пріоритету альтернатив та визначені усереднені значення пріоритетності методів біометричної аутентифікації з урахуванням усіх критеріїв, тобто визначено найкращий біометричний метод на основі багатокритеріального аналізу.

Результати порівняння показали, що найбільш високий коефіцієнт пріоритету має біометрична технологія розпізнавання підпису, близькими за значеннями виявилися методи розпізнавання особистості за райдужною оболонкою ока та відбитком пальцю, а найгіршим – розпізнавання за голосом [70].

У той же час, якщо аналізувати дані таблиці 1.3., слід зазначити, що голосовий сигнал, який наведено в останньому рядку таблиці, має одні з найкращих показників за вартістю та простотою використання. Низькі показники похибок першого та другого роду, а також швидкодії технології



можуть бути пояснені недосконалістю наявних технологій аутентифікації, які потребують впровадження та удосконалення. Сумніви викликає низький показник стійкості до підробки, оскільки голосовий сигнал є динамічним і на практиці інколи виникають незначні проблеми з аутентифікацією особистості, яка реально наявна у базі. При цьому низькі показники залежності від фізичного стану людини видаються не стільки недоліком, скільки можливістю оцінювати функціональний стан людини за голосовим сигналом одночасно з процедурою аутентифікації.

Процедура голосової аутентифікації диктора завжди ускладнюється тим, що надійність рішення в основному залежить від якості мовного сигналу, записаного на матеріальний або віртуальний носій. Це пов'язано з тим, що людська мова при проходженні через канали аналогового чи цифрового запису та передачі у будь-якому випадку буде спотворюватись [71]. Аутентифікація в сигналі, який було модифіковано, закодовано, стиснено чи оброблено іншими видами аналогового чи цифрового перетворення значно ускладнюється. Якщо ж мова передається по каналах зв'язку, то дослідженню підлягатиме синтезований мовний сигнал, з якого алгоритмом кодування найчастіше виключаються істотні признаки аутентифікації. Доступними для дослідження при цьому залишаються рівень мовної організації диктора, яка обумовлена специфікою образу мислення, розуміння теми, повноти аргументації, зв'язності, цільності та інформативності мовлення [72].

Мовний сигнал вважається придатним для аутентифікації при обробці його алгоритмами стиснення з певною нижньою межею швидкості цифрового потоку, а саме:

- 32 кбіт/с для ADPCM;
- 9,6 кбіт/с для лінійних передбачень.

Мовний сигнал може бути визначений як придатний для аутентифікації, коли ці значення можуть складати:

- 16 кбіт/с для ADPCM;
- 8 кбіт/с для лінійних передбачень.

В усіх інших випадках кодований мовний сигнал визнається умовно непридатним для експертної чи автоматичної аутентифікації, оскільки фонетична структура мовного відбитку, який пройшов таку обробку, істотно відрізняється від оригіналу [73].

Залежно від способу аутентифікації за голосом вона поділяється на текстозалежну та текстонезалежну. Системи текстозалежної аутентифікації в основі працюють з дискретними словами, і при роботі з ними диктору необхідно робити паузи між словами чи звуками. Це найбільш проста форма розпізнавання голосового сигналу, і, оскільки у таких системах кількість слів обмежена, то їх простіше проектувати. Системи текстонезалежної аутентифікації працюють з неперервним потоком мови, в якому слова і звуки зливаються за рахунок коартикуляції, відсутні чіткі межі фонем та слів, а процедура аутентифікації дуже сильно залежить від темпу мовлення [74].

Переважає більшість сучасних методів аутентифікації за голосом та мовою базуються на статистичному аналізі розподілу аудитивно-лінгвістичних чи акустичних параметрів. На сьогоднішній день для розв'язання задачі аутентифікації широко використовуються як експертні (суб'єктивні) так і автоматичні (об'єктивні) методи.

Використання експертних методів при фоноскопичних дослідженнях дає можливість скоригувати та уточнити роботу автоматичних засобів аналізу та порівняння мовних сигналів. Крім того, експертні методи аутентифікації застосовуються у тих випадках, коли робота автоматичних методів є ускладненою – наприклад, в умовах сильного рівня шуму. [75].

Для задачі аутентифікації за голосовим сигналом можуть використовуватись практично усі методи аналізу цього сигналу. Однак, аналізувати весь голосовий сигнал навіть для сучасних електронно-обчислювальних систем є складним завданням. Тому для задач автоматичної аутентифікації голосовий сигнал у більшості випадків параметризується, тобто подається у вигляді малої кількості інформаційно-значущих параметрів.

Традиційними для вирішення таких задач є методи, засновані на

перетвореннях Фур'є. Найбільш поширеними серед них є методи виділення мел-частотних кепстральних коефіцієнтів (MFCC) та кепстральних коефіцієнтів лінійного передбачення [31]. Переваги таких методів обумовлені незалежністю отриманого вектору від довжини вихідного зразка, їх відносно малий розмір та врахування розкиду індивідуальних характеристик голосового апарату людини, що проходить аутентифікацію [76]. Опубліковані результати практичних досліджень систем, які використовують для параметризації ці методи, свідчать, що відсоток точної аутентифікації перевищує 98% [77]. Однак, за даними інших джерел, при використанні зразків та шаблонів, отриманих на реальних каналах зв'язку, точність даної процедури рідко перевищує 90%, навіть для текстонезалежних систем аутентифікації [78].

Указані методи дозволяють досить точно визначити спектральні максимуми, які характеризують резонансні частоти голосового апарату людини для окремих звуків та формантні частоти. Останні у свою чергу обумовлені індивідуальними анатомічними особливостями голосового тракту. Але ознаки такого роду легко спотворюються шумами та змінами у мовному тракті, спричиненими змінами фізичного стану людини [79]. До того ж, не дивлячись на усі переваги спектрального аналізу, методи, засновані на цій технології мають ряд недоліків:

- обмеження на відображення фазової структури сигналу;
- ускладнення знаходження формантних частот при некоректному виборі вікна;
- спотворення при передачі каналом зв'язку [80]

Використання методів лінійного передбачення та кепстральних коефіцієнтів при аналізі сигналу сприяє більш швидкому виконанню розрахунків. Однак використання моделей на основі цієї технології також не позбавлене недоліків:

- виникають труднощі при виборі порядку моделі;
- результати, отримані за рахунок лінійного передбачення, не завжди

задовольняють умовам стійкості;

- низька надійність при використанні у системах з декількома дикторами;
- часто моделі не відображають впливу фазових характеристик мови.

На практиці ж для побудови систем розпізнавання мови та аутентифікації перевага відводиться методам, точність яких не залежить від особистості людини. Серед них приховані Марковські моделі (Hidden Markov Model – НММ) та методи розпізнавання на основі «машинно опорних дикторів» (Support Vector Machine – SVM).

Неоголошеним стандартом в області мовних технологій є використання прихованих Марковських моделей, які визначаються як подвійний випадковий процес. Випадковий процес, що лежить в основі моделі (ядро), являє собою однорідний Марковський ланцюг з кінцевою кількістю станів. Послідовність станів не спостерігається і тому модель називається прихованою. Цей ланцюг станів впливає на інший випадковий процес, який і виконує послідовність спостережень.

Перевагами даного методу є:

- простота математичної структури;
- можливість моделювати складний ланцюг спостережень;
- автоматичний вибір параметрів моделей для описання наявного набору даних з метою навчання.

На сьогоднішній день можна виділити наступні підходи до формування НММ:

- формування моделей фонем – мінімальних мовних одиниць;
- моделювання фонем трьома станами (початкове, середнє, кінцеве);
- моделювання різних типів фонем (монофони і трифони) на основі ефекту коартикуляції;
- для розпізнавання відмежованих слів формуються НММ для кожного слова;

– для розпізнавання потоку мови формується одна НММ, склеюючи її через проміжні стани.

Суттєвим недоліком підходу з використанням НММ є можливість використання її з достатньою точністю розпізнавання лише для чітко фіксованих умов. Під впливом шумів, завад, середовища чи каналу зв'язку модель стає нестійкою.

Методи, засновані на SVM, широко використовуються в системах, що працюють з природною мовою при обробці мовних сигналів, наприклад, для задачі розпізнавання спотвореного тексту та аутентифікації. Ідея SVM заснована на наступних передумовах: вважатимемо, що існують два класи об'єктів у деякому  $n$ -вимірному просторі, які можна розділити гіперплощиною так, що з одного боку від гіперплощини будуть знаходитись вектори одного класу, а з іншого – другого. Очевидно, що така гіперплощина може існувати не одна. Побудуємо дві такі паралельні гіперплощини. Для кращого розділення класів необхідно, щоб відстань між площинами була якомога більшою. Зазвичай, для знаходження паралельних роздільних гіперплощин з максимальною відстанню між ними в методі опорних векторів мінімізується квадратична функція з лінійними обмеженнями. Розв'язання цієї задачі виражається через координати навчальних векторів, які лежать на краю роздільної полоси – так званих опорних векторів. У випадку, коли класи лінійно нероздільні у вихідному просторі, будується відображення (необов'язково лінійне) у простір більшої розмірності, образи класів у якому лінійно роздільні. Цей простір називається простором вторинних ознак.

Алгоритм SVM має наступні переваги:

– в силу розв'язання задачі мінімізації випуклої функції алгоритм гарантує отримання єдиного розв'язку. Це є суттєвою перевагою перед нейронними мережами, у яких розв'язанням може бути локальний мінімум або відповідь взагалі може бути невизначена;

– у зв'язку з тим, що алгоритм є робастним до зашумлення вхідного сигналу, він добре адаптується для розпізнавання мови;

– алгоритм дозволяє працювати з даними дуже великих розмірностей, що важливо при розпізнаванні мови, де розмірність вектору ознак може досягати сотень і тисяч [80].

На сьогоднішній день для обробки голосових сигналів та дослідження особливостей голосових даних активно використовуються підходи, засновані на використанні проекційних методів аналізу багатовимірних даних. Наприклад, у роботі [81] подібні дослідження проводились за допомогою методу головних компонент та методу проекцій на латентні структури.

Ідея застосування проекційних методів полягає у заміні характеристик вихідних голосових даних (як правило, спотворених випадковими факторами чи шумами) їх геометричними проекціями на підпростір. Цей підпростір орієнтується таким чином, щоб виявити досліджувану властивість (у даному випадку – належність мовного сигналу тій чи іншій людині). У методі головних компонент перший вектор, який визначає орієнтацію підпростору, спрямований уздовж найбільшої варіації вихідних даних  $X$  у вихідному просторі. Другий вектор орієнтується уздовж наступного за значенням напрямком варіації даних і т. д. Цей метод може використовуватись для попереднього виявлення в загальному обсязі голосових даних латентних закономірностей, які проявляються у вигляді розподілу їх по групах.

Для більш надійного встановлення залежностей між вихідними голосовими даними та їх належністю певній людині перевага надається методу проекцій на латентні структури. У цьому методі, крім вихідних даних  $X$ , враховуються дані про передбачувані зміни  $Y$ . У даному випадку такими є апіорні дані про належність мовного сигналу конкретній людині.

У обох проекційних методах необхідно певне подання мовного сигналу, тобто подання інформаційних характеристик, які характеризують необхідні властивості цього сигналу для аутентифікації за голосом. Саме ці характеристики (ознаки) використовуються надалі у якості даних, що обробляються, для співвіднесення з людиною, що аутентифікується. У випадку використання певних перетворень чи розкладань сигналу, у якості його ознак

використовуються коефіцієнти відповідних розкладань [81].

Деякі автори також пропонують використовувати для побудови системи аутентифікації аналіз спектральних характеристик голосу за допомогою лінійного класифікатора. Це один із методів статистичної теорії розпізнавання образів. Для неї найзручнішим є Байєсовський класифікатор, однак його складно реалізувати, особливо коли розмірність простору ознак висока. Лінійний класифікатор поєднує в собі високу якість розпізнавання і простоту реалізації.

Альтернативним є підхід експертних систем та нейронних мереж. Реалізація одношарової нейронної мережі дає результат, аналогічний лінійному класифікатору, а підхід навчання експертних систем, описаний в [82], еквівалентний побудові гіперплощини між множинами, що розділяються.

Для побудови таких лінійних класифікаторів автори [83] пропонують побудувати роздільну функцію, яка мінімізує ймовірність помилки розв'язання. У дослідженні формувались акустичні записи голосів ряду дикторів, для кожного з яких на основі перетворень Фур'є формувались набори частот з відповідними значеннями їх інтенсивності. Оскільки для розв'язку задачі аутентифікації необхідно оперувати однотипними даними, використовувалась інтерполяція усього спектру частот в діапазоні від 0 до 600 Гц кубічними сплайнами. Далі для отримання вектора інтенсивності частот обирались 50 частот з інтервалу від 51 до 500 Гц. Це пояснюється тим, що у цьому інтервалі спостерігаються характерні особливості кожного голосу [83].

Дослідження показало, що для використання лінійного класифікатора в системах, де людина зацікавлена в тому, щоб її аутентифікація пройшла успішно, ефективніше буде використовувати записи різних фраз по декілька разів. За рахунок цього буде накопичено інформація, що буде найбільш яскраво відображати особливості голосу людини.

Однак можливість використання усієї акустичної інформації обмежується кількістю записів для навчання класифікатора. Для підвищення надійності аутентифікації, на думку авторів, необхідно використовувати вибірку з

великою кількістю записів. З цією метою цілком можуть бути використані записи різних фраз людиною з різним настроєм. У той же час для аутентифікації особистості, якщо людина свідомо змінює чи спотворює голос, лінійний класифікатор, який розділяє за спектром частот, погано справляється з поставленою задачею [83].

При формуванні нейронних мереж для задачі аутентифікації в режимі навчання для фіксації мовних особливостей людей формується система ознак мовного сигналу. Наприклад, у роботі [84] було сформовано таку систему з 14 векторів ознак мовного сигналу, які відображають частотні, автокореляційні та енергетичні характеристики мови людей, їх мовного тракту слухового апарату і використовуються для створення векторів параметрів моделей класифікаторів. На основі цих векторів у якості моделі класифікатора дослідниками [84] було обрано модель модифікованої ймовірнісної нейронної мережі. У даній мережі компонентам вектору ознак мовного сигналу відповідають нейрони вхідного шару. Еталонам (параметрам моделі) відповідають нейрони прихованого шару. Номерам дикторів відповідають нейрони вихідного шару. Компоненти еталонів можуть розглядатись як вагові коефіцієнти прихованого шару.

Запропоновані класифікатори нейронної мережі серед переваг мають:

- високу швидкодію при навчанні та адаптації за рахунок відсутності тривалого налаштування параметрів моделі;
- високу швидкість прийняття рішення за рахунок паралельної обробки інформації;
- високу точність і надійність рішень, що приймаються [84].

Інші автори [85] пропонують використовувати для процедури аутентифікації нейронні мережі зустрічного поширення Кохонена-Гроссберга. У такій топології поєднано відомі алгоритми: самоорганізовану мережу Кохонена та зірку Гроссберга [85].

Багатошарові нейронні мережі також можуть використовуватись для зниження розмірності векторів ознак, які виділяються при попередній обробці



мовного матеріалу на початковому етапі розпізнавання. Така нейронна мережа має однакову кількість входів та виходів, і один чи більше прихованих шарів. При навчанні такої нейронної мережі її вагові коефіцієнти підбираються таким чином, щоб вона могла відтворювати на виході будь-який вхідний вектор через невеликий шар прихованих вузлів. Виходи цих вузлів після навчання мережі можуть використовуватись у якості вхідних векторів меншої розмірності для подальшої обробки та розпізнавання мови [86]. У випадку використання нейронної мережі для класифікації статичних образів фонем, складів та невеликих словників ізольованих слів у якості вхідного образу може використовуватись вектор ознак, який характеризує стаціонарну ділянку.

Особливий інтерес викликають динамічні нейромережеві класифікатори, які розроблені спеціально для розпізнавання мови. Вони включають в себе короткі часові затримки та вузли, які виконують часове інтегрування, чи рекурентні зв'язки. Зазвичай такі класифікатори мало чутливі до невеликих змін навчальних та контрольних вибірок і, відповідно, не вимагають високоякісної роботи точної сегментації мовних даних. Використання динамічних мереж при розпізнаванні мови дозволяє подолати основні недоліки, які притаманні статичним мережам, і, як показують експериментальні дослідження, дозволяє отримати відмінну якість розпізнавання для акустично схожих слів, приголосних та голосних [87].

Серед математичних моделей та методів прийняття рішень для задачі аутентифікації досить часто використовуються методи динамічного програмування. При порівнянні вхідних сигналів з набором еталонних сигналів формуються наступні обмеження:

- алгоритм порівняння не повинен працювати у зворотному напрямку;
- кожен елемент вхідного сигналу повинен використовуватись для порівняння;
- локальні оцінки співпадіння поєднуються додаванням до глобального розходження.

Алгоритми, які базуються на динамічному програмуванні, у випадку

застосування для задачі розпізнавання мови на базі еталонів, досить часто називають динамічним спотворенням часу. Вони гарантують знаходження мінімального розходження в матриці еталонів при зменшенні обсягу обчислень [88]. Тим самим спрощується та прискорюється процедура знаходження найбільш близької за виділеними параметрами людини, тобто власне її аутентифікація.

Водночас для задачі аутентифікації за голосовим сигналом постає питання визначення вагових коефіцієнтів, які визначають ступінь вкладу кожного із виділених параметрів мовного сигналу в міру розмежування двох голосів. Дана проблема, як правило, розв'язується емпіричним шляхом, заснованим на зіставленні підібраних вагових коефіцієнтів з результатами аутентифікації за голосом. Найчастіше з цією метою використовуються різні міри роздільності (близькості чи ступеня подібності), на основі параметрів мовного сигналу чи його математичної моделі [89].

Одним із найбільш ефективних прийомів для підвищення надійності аутентифікації є векторне квантування. Сутність цього прийому полягає в наступному. Параметричний простір при формуванні еталону для даної людини розбивається на скінченну кількість комірок (кластерів), які найбільш детально описують потрапляння векторів параметризації у цей простір при заданій кількості кластерів. При аутентифікації за вхідним мовленнєвим повідомленням розподіл кластерів – або інтегральний, або часовий – повинен виявитись схожим на еталонний для нього. В іншому випадку людина не пройде аутентифікацію. Навчання системи аутентифікації полягає у створенні бази даних еталонних моделей. Ці моделі формуються на основі параметрів, виділених з мовного зразка людини [90].

Таким чином, загальна схема системи аутентифікації реалізується за допомогою наступних основних етапів або рівнів:

1. Рівень обробки сигналів. На даному рівні сигнал обробляється та параметризується, тобто виділяються ознаки, необхідні для задачі аутентифікації. Перелік ознак визначається при розробці системи, а їх

виділення найчастіше проводиться за відомими стандартними методами. Загалом вони складають послідовність векторів ознак для кожної ділянки голосового сигналу.

2. Рівень моделей. На даному рівні здійснюється створення, зберігання та порівняння моделей користувачів. При реєстрації користувача у системі даний рівень використовує отриману від рівня обробки сигналів послідовність векторів ознак для побудови моделі користувача. Моделювання може бути представлено як у вигляді простого копіювання векторів ознак і використанні їх як готової моделі, так і в побудові ймовірнісних моделей чи інших структур. Після цього стає можливим за даними структурами визначити ступінь подібності між ознаками і збереженими моделями.

3. Рівень прийняття рішень. На даному рівні відбувається прийняття остаточного рішення. Функції прийняття рішень традиційно виділяють в окремий рівень, хоча він може виконувати тривіальні функції чи бути взагалі відсутнім, якщо на рівні моделей визначаються остаточні рішення. Для прийняття рішень найчастіше використовуються ступені подібності, визначені на рівні моделей і, якщо необхідно, задані пороги. Досить часто даний рівень набуває функції моделювання простору дикторів [29].

Серед існуючих систем голосової аутентифікації розглянемо декілька програмних продуктів, а саме:

- Say-Tec's Voice Biometrics 2.0;
- VoiceKeyID;
- VoiceKey;
- GritTec's Speaker-ID: Automatic Text Independent Speaker Identification.

Say-Tec's Voice Biometrics 2.0 використовує числові цифри, які розробники називають VoicePIN. Процедура аутентифікації є двоступеневою, оскільки користувач повинен пам'ятати 4-6- або 8-розрядний Say-Tec VoicePIN і вимовити його голосом на свій мобільний додаток. Механізм роботи програмних алгоритмів залежить від виду телефону чи смартфона, на якому використовується програма.

VoicePIN-in-Vox компанії Say-Tec надає компаніям набір інструментів для швидкого та легкого інтегрування власної біометричної перевірки автентичності голосу. SDK VoicePIN інтегрується у iOS або Android-додаток, використовуючи надану структуру розробки, що інкапсулює користувальницький інтерфейс захоплення мови та біометричну обробку голосу, щоб зробити додавання голосових біометричних даних до програми максимально простим. Весь код, що дозволяє підключення до серверів VoicePIN, керувати реєстрацією голосу та перевіркою голосу для користувачів, а також для функціональних можливостей пристрою, таких як запис і маніпулювання зразками аудіо, забезпечується простою бібліотекою VoicePIN. Впровадження біометричної безпеки голосу стає таким же простим, як додавання цієї бібліотеки та включення простих фрагментів вихідного коду, наданих у вашу програму.

VoicePIN-in-a-Vox підтримує опцію, що рекомендується використовувати для розпізнавання голосу на основі цифр. Параметр фрази також доступний за запитом [91]. Програма має тріал-версію, а також повну версію, яка однак є платною. Процедура аутентифікації проводиться орієнтовно за 6-8 с, в залежності від тривалості паролльної фрази.

VoiceKeyID є програмним продуктом, який забезпечує мульти-факторну біометричну аутентифікацію. Вона є мово- та текстонезалежною, не потребує інтернет-підключення. Усі данні зберігаються на пристрої у цифровому форматі, аудіо записи не зберігаються з метою збереження конфіденційності. Процедура аутентифікації займає 1-2 секунди, при цьому програма визначає також і достовірність процедури аутентифікації (рис. 1.5.).

Голосова аутентифікація у програмному продукті VoiceKey базується на попередньому навчанні системи шляхом вимови трьох різних паролльних фраз, які формують три різні моделі голосового сигналу диктора. Моделлю голосу у даному випадку виступають 74 унікальні характеристики голосу людини, які відображаються у вигляді матриці і зберігаються у спеціальному файлі.



Рисунок 1.5 – Приклад роботи програми VoiceKeyID [92]

З цією метою використовуються 4 незалежні методи: аналіз статистики основної частоти голосу, метод суміші гаусових розподілів та SVM, спектрально-формантний аналіз, а також метод повної змінності.

Процедура аутентифікації передбачає визначення деякого відсотку відповідності введеного голосового сигналу створеним моделям для даного диктора. Далі цей відсоток відповідності порівнюється з пороговим значенням, яке називають порогом довіри. Якщо розрахункове значення критерію є вищим, ніж встановлене порогове значення, вважається, що користувач проходить процедуру аутентифікації.

Програмний продукт VoiceKey працює як у телефонних мережах, так і в мережі Інтернет. Для його адекватного функціонування необхідний зв'язок з біометричними серверами та базою даних голосів дикторів, що реалізується через мережу Інтернет. У більшості випадків процедура аутентифікації займає 0,8-1 с в залежності від швидкості з'єднання, а порогове значення встановлюється на рівні 50-70% [93].

GritTec's Speaker-ID: Automatic Text Independent Speaker Identification є технологією текстонезалежної аутентифікації за голосом у відкладеному режимі шляхом парного порівняння вхідного аудіозапису зі зразками аудіозаписів відомих користувачів. Порівняння проводиться на основі спектральних характеристик голосового сигналу. Обчислення цих характеристик відбувається з урахуванням динамічного визначення рівня шумів та спотворень сигналу.

Система в основі використовується у каналах телефонного зв'язку для автоматичної аутентифікації невідомого голосу за фонограмами телефонних переговорів або в системах з підвищеним рівнем безпеки. При цьому сигнал, що аналізується, повинен відповідати стандартним вимогам, описаним вище.

Мінімальна тривалість голосового сигналу для виділення індивідуальних особливостей голосу повинна складати не менше 15 секунд. У той же час, мінімальна тривалість голосового сигналу для проведення процедури аутентифікації повинна складати не менше 7 секунд. Достовірність роботи даного програмного продукту перевищує 80% [94].

## **Висновки до розділу 1**

Проведений огляд та аналіз літературних джерел дозволив сформулювати наступні висновки.

1. Голосовий сигнал людини – це комплексний акустичний сигнал, який утворюється в організмі людини, і який несе велику кількість інформації не лише комунікативного характеру, а й про індивідуальні особливості організму людини та її функціональний стан.

2. Охарактеризовано поняття функціонального стану людини. Визначено понятійні відмінності між поняттями аутентифікації, верифікації та ідентифікації особистості. Указано, що процедура підтвердження належності певних властивостей чи особливостей конкретно даній особі визначається поняттям аутентифікації.

3. Охарактеризовано основні характеристики голосового сигналу та методи його первинної обробки та аналізу. Відзначена особлива роль окремих характеристик голосового сигналу при інформаційному обміні людини з навколишнім середовищем, таких як розподіл амплітуди сигналу у часовому просторі, основна частота голосу, спектр та інші.

4. Охарактеризовано існуючі методи визначення функціонального стану. Визначено місце методів, заснованих на аналізі голосового сигналу людини.

5. Розглянуто існуючі програмні продукти, за допомогою яких виконується аналіз голосових сигналів та голосова аутентифікація. Указано, що більшість цих програм характеризуються низьким рівнем достовірності при виділенні вокалізованих ділянок та визначенні основної частоти голосового сигналу. Також деякі методи голосової аутентифікації характеризуються низькою швидкістю, що не дозволяє використовувати їх у системах, що працюють у режимі реального часу. Розглянуто можливість використання голосового сигналу людини як єдиної бази для визначення функціонального стану людини та аутентифікації особистості.

*Результати експериментальних досліджень цього розділу наведено в таких публікаціях:*

1. О. Мешков and О. Новіков, “Mathematical model of human voice for the task of personal identification and human condition analysis”, *Visnyk of Kherson National Technical University*, №1 (56), с. 163–169, 2016.

2. О. Мешков, “Запис та обробка первинного акустичного матеріалу для задачі аналізу голосового сигналу людини та виділення його основних характеристик”, *Наукові праці Чорноморського національного університету імені Петра Могили. Серія: Комп’ютерні технології*, т. 307, № 295, с. 76–81, 2017.

3. О. Мешков, О. Новіков та В. Новіков, *Аналіз голосових сигналів людини та аутентифікація особистості за голосом*, Монографія. – Херсон, Україна: вид-во ФОП Вишемирський В.С., 2018.

4. О. Новіков та О. Мешков, “Розробка системи ідентифікації голосу людини”, на 15-му ювілейному Міжнародному молодіжному форумі «Радіоелектроніка та молодь у XXI ст.», Харків, 2011, с.178–179.
5. О. Мешков, “Розробка системи діагностики фізичного стану людини за аналізом голосу з використанням цифрових технологій”, на Міжнародному форумі студентів, аспірантів та молодих учених, Дніпропетровськ, 2013. с. 291–293.
6. O. Mieshkov and O. Novikov, “Development of Universal Program Complex for Human Condition Analysis, Based on the Analysis of Human Voice”, at the 4th International Scientific Conference of Students and Young Scientists Theoretical and Applied Aspects of Cybernetics (TAAC), Kyiv, 2014, pp. 294–305.
7. О. Мешков та О. Новіков, “Алгоритми аналізу голосових сигналів людини для задачі ідентифікації та діагностики фізичного стану”, на тридцять шостій Всеукраїнській науково-практичній конференції «Інноваційний потенціал світової науки – XXI сторіччя», Запоріжжя, 2015-2016, с. 26–28.
8. O. Mieshkov and O. Novikov, “Automated system for identification and human condition diagnostics based on its voice signal analysis”, at 18-th International conference System analysis and information technology (SAIT–2016), Kyiv, 2016, pp. 35–38.
9. О. Мешков, “Спосіб аутентифікації особистості на основі хмарних структур голосового сигналу людини” на I Міжнародній науково-практичній конференції Інформаційні системи та технології в медицині (ISM-2018), Харків, 2018, с. 222–223.
10. О. О. Новіков та О. Ю. Мешков, “Електричний аналог голосового апарату людини”, МПК H02K 39/00 (2013.01). № 91233; черв. 10, 2013.
11. О. О. Новіков та О. Ю. Мешков, “Спосіб моделювання електричного аналогу голосового апарату людини”, МПК H02K 39/00 (2014.01). № 122225, черв. 25, 2014.
12. А. Новиков и А. Мешков, “Электрический аналог голосового апарата человека”, Биомедицинская инженерия и электроника, № 2, с. 40–50,



2012. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://biofbe.esrae.ru/183-890>. Дата звернення: Квіт. 04, 2019.

13. О. Мєшков та О. Новіков, “Двоступенева система аналізу голосового сигналу для задачі контролю стану водія під час керування автомобілем”, *Биомедицинская инженерия и электроника*. № 2, 2016. [Электронный ресурс]. Доступно: <http://biofbe.esrae.ru/208-1053>. Дата звернення: Квіт. 04, 2019.

## РОЗДІЛ 2

### РОЗРОБКА МЕТОДУ АУТЕНТИФІКАЦІЇ ТА ОЦІНЮВАННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО СТАНУ ЛЮДИНИ В РЕЖИМІ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ ЗА ГОЛОСОВИМ СИГНАЛОМ

#### **2.1. Дослідження об'єкта та розробка методу аутентифікації та оцінювання функціонального стану людини за голосовим сигналом**

Основну увагу у роботах з розробки систем та програмно-апаратних комплексів для задачі аутентифікації [95, 96] приділено розробці нових, більш точних і швидких методів обробки акустичного матеріалу та виділення інформаційно-значущих параметрів голосового сигналу. Однак існуючі технології, такі як штучні нейронні мережі чи вейвлет-перетворення, не дивлячись на досить високу точність мають низьку швидкодію, і не завжди можуть ефективно використовуватись у режимі реального часу. Висока ж швидкодія даних процедур найчастіше досягається встановленням низьких порогових значень, як у [93], що може значно знижувати достовірність процедури аутентифікації.

До того ж досить часто виникає потреба в моніторингу функціонального стану людей різних професій безпосередньо під час виконання ними професійних обов'язків. Важливим моментом при цьому є те, що процедура оцінювання функціонального стану не повинна призводити до переривання чи зупинки роботи людини, тобто буди до певної міри неінвазивною, бути зручною у користуванні, не відволікати увагу людини тощо. При цьому дана процедура повинна надавати якомога більш повну інформацію про загальний функціональний стан людини, чи окремих систем організму чи органів, які безпосередньо використовуються людиною у процесі виконання професійних обов'язків. Особливо актуальним це є для людей таких професій, як водії пасажирського та вантажного транспорту, рятувальники, які працюють у надзвичайних ситуаціях, пожежники, оператори call-центрів тощо.

Отже, є необхідність розробки методу аутентифікації та оцінювання функціонального стану людини безпосередньо при виконанні професійних обов'язків за голосовим сигналом у режимі реального часу та з високим рівнем достовірності.

## 2.2. Структуризація голосового сигналу людини у просторі характеристик «структура-частота»

Якщо розглядати голосовий сигнал з точки зору процесів сприйняття мови людиною, то умовно можна стверджувати, що людський мозок об'єднує і запам'ятовує в собі різні зразки мови кожної фонемі як єдине ціле у відповідній «сфері» пам'яті навколо деякого абстрактного «центра» з заданим «радіусом» (рис. 2.1). Не дивлячись на можливі істотні відмінності у реалізації фонем одного і того ж диктора, усі вони сприймаються людиною як дещо однакове, інакше мова втратила би свою інформативність. Тому можна стверджувати, що однойменні реалізації фонемі у свідомості людини групуються у відповідні класи чи мовні образи навколо деякого центра – еталонної мітки даного образу. Ця центральна, еталонна мітка у межах множини реалізацій характеризується мінімальною сумою інформаційних розбіжностей, або відстаней відносно усіх інших міток [97].

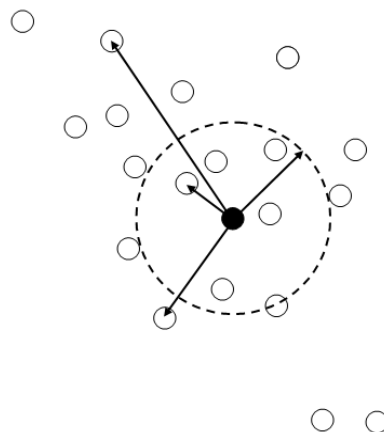


Рисунок 2.1 – Приклад сприйняття вимови деякої фонемі у відповідній їй «сфері» [97]

Якщо розглядати процедури аутентифікації та оцінювання функціонального стану людини на основі такого уявлення, то першочергово необхідно провести навчання системи і формування еталонних міток не лише для кожної фонемі, а й для кожного окремого користувача. Сигнал, який подається на вхід системи після параметризації ототожнюється з тою множиною реалізацій, якій відповідає мінімуму інформаційної розбіжності між вектором характеристик даного сигналу та еталонної мітки. У такому випадку система зможе прийняти рішення про належність даного сигналу до відповідної множини і аутентифікувати даного користувача чи оцінити його функціональний стан людини [29].

Для оцінювання функціонального стану людини чи задачі аутентифікації, найчастіше використовують частотний або часовий простір характеристик, у якому одна з вісей є віссю часу. Тобто голосовий сигнал аналізується з позицій динаміки зміни його характеристик. До таких способів відносяться частотограми, спектрограми тощо.

У даній роботі пропонується використання простору характеристик, який частково поєднує стандартні частотний та часовий простори. У якості координат даного простору використовується значення основної частоти голосового сигналу та коефіцієнту середньоквадратичного відхилення структури сигналу у часовому просторі  $K_T$ , який визначається за формулою (1.10). Оскільки коефіцієнт  $K_T$  характеризує структуру розподілу амплітуди сигналів у часовому просторі, надалі називатимемо даний простір характеристик «структура-частота» (рис. 2.2).

З урахуванням того, що основна частота голосу є характеристикою вокалізованих ділянок, то у даному просторі можуть бути відображені виключно вокалізовані ділянки. До таких ділянок найчастіше відносяться фрагменти голосового сигналу, які містять голосні звуки, чи інші ділянки, в утворенні яких беруть участь голосові зв'язки.

Кожна вокалізована ділянка голосового сигналу буде локалізуватися у певній частині простору характеристик, тому логічно називати їх

локалізованими структурами голосового сигналу [5]. Таке визначення буде використовуватись надалі.

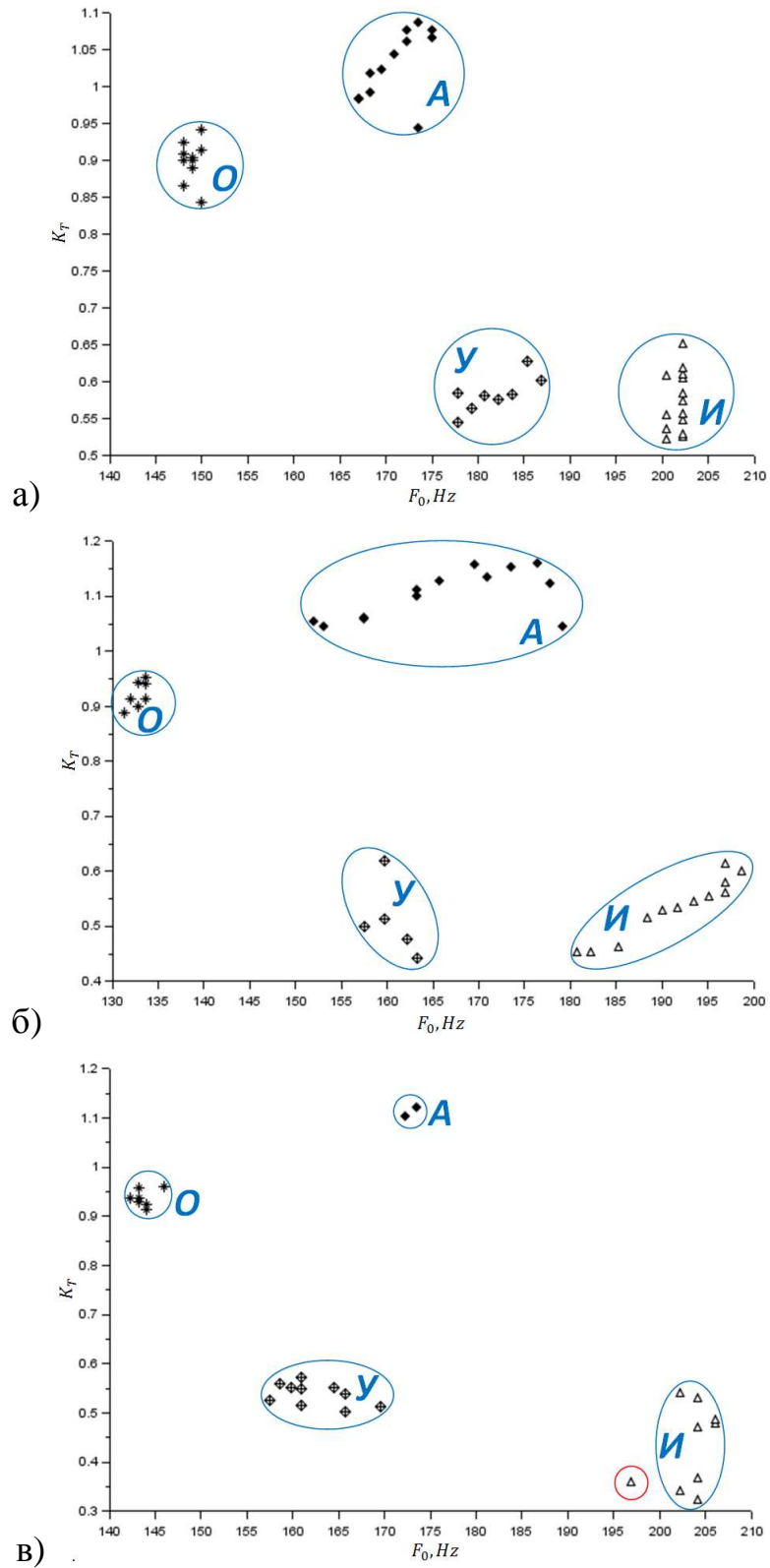


Рисунок 2.2 – Приклади локалізованих структур, сформовані чотирма голосними звуками у просторі ознак «структура-частота»

Голосові сигнали різних людей можуть формувати у просторі характеристик локалізовані структури різної форми. Найчастіше утворюються структури довільної форми з деяким розкидом характеристик (рис. 2.2. а).

Водночас можуть спостерігатись ланцюгові структури, у яких чітко виражена значна динаміка зміни основної частоти сигналу (рис. 2.2. б). Також доволі часто при аналізі спостерігається значне усічення сигналу, тобто придатною для аналізу виявляється лише незначна кількість фреймів (рис. 2.2. в, звук А). Водночас деякі фрейми розглянутих звуків можуть сприйматись як викид із загального числа фреймів з огляду на їх положення в обраному просторі характеристик (рис. 2.2. в, звук И).

Для значення коефіцієнту середньоквадратичного відхилення структури сигналу важливою є форма сигналу, обраного у якості базового. У залежності від структури базового сигналу, форма утворених структур та їх взаємне розташування у просторі характеристик для одної і тої ж людини може змінюватись. До того ж при повторюваних записах парольної фрази для одної і тої ж людини можуть спостерігатись деякі зміни як у розміщенні отриманих структур, так і у їх формі.

Набір даних про взаємне розміщення та розміри локалізованих структур голосового сигналу конкретної людини у просторі характеристик «структура-частота» надалі називатимемо персоніфікованим голосовим еталоном [4]. Саме на основі цього персоніфікованого голосового еталону пропонується проводити процедуру аутентифікації та оцінювання функціонального стану водія.

### **2.3. Розробка методу аутентифікації та оцінювання функціонального стану водія в режимі реального часу за персоніфікованим голосовим еталоном**

Процедура навчання системи передбачає акустичний запис великої кількості акустичних матеріалів користувача з їх подальшою обробкою. У результаті у просторі основних характеристик голосового сигналу сформуються

доволі широкі локалізовані структури голосового сигналу, які відповідатимуть кожному із виділених звуків кожного окремого користувача (рис. 2.3.). Усі фрейми, наявні у кожній вокалізованій ділянці вважаються рівноправними.

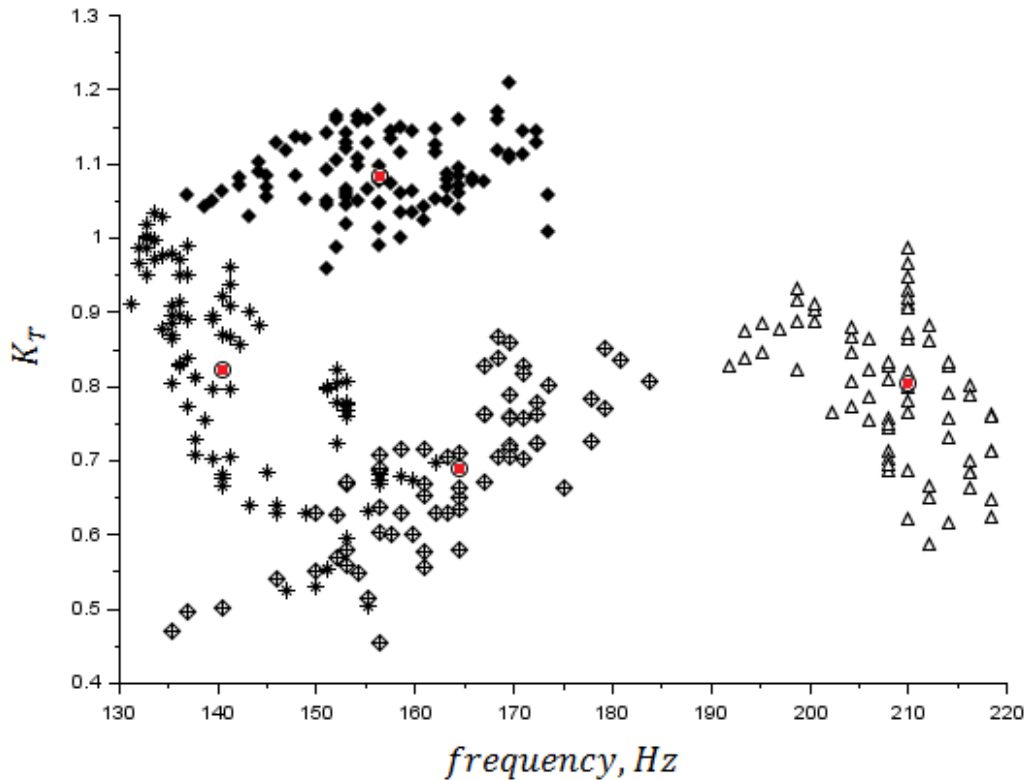


Рисунок 2.3 – Приклад розподілу аналізованих звуків у просторі характеристик «структура-частота» (базовий сигнал – потрійна гармоніка)

Для кожної із сформованих таким чином локалізованих структур визначається середньозважений центр та деяка область простору навколо нього. Координати центру даної структури визначаються як середнє арифметичне значень частоти фреймів та коефіцієнтів  $K_T$  відповідно:

$$K_{Tj} = \frac{\sum_{i=1}^{n_j} K_{Ti}}{n_j},$$

$$F_{0j} = \frac{\sum_{i=1}^{n_j} F_{0i}}{n_j},$$
(2.1)

де  $K_{T_j}, F_{0_j}$  – відповідні координати центру  $j$ -ї структури;

$K_{T_i}, F_{0_i}$  – відповідні координати  $i$ -ї точки  $j$ -ї структури;

$n_j$  – кількість точок в  $j$ -й структурі;

$j = 1..m$  – кількість аналізованих звуків і відповідних локалізованих структур голосового сигналу у просторі характеристик.

Область простору, що виділяється навколо середньозваженого центру, має форму прямокутника. Це пов'язано з необхідністю швидкого та простого визначення меж координат точок простору характеристик, які потрапляють чи не потрапляють у дану область (рис. 2.4.).

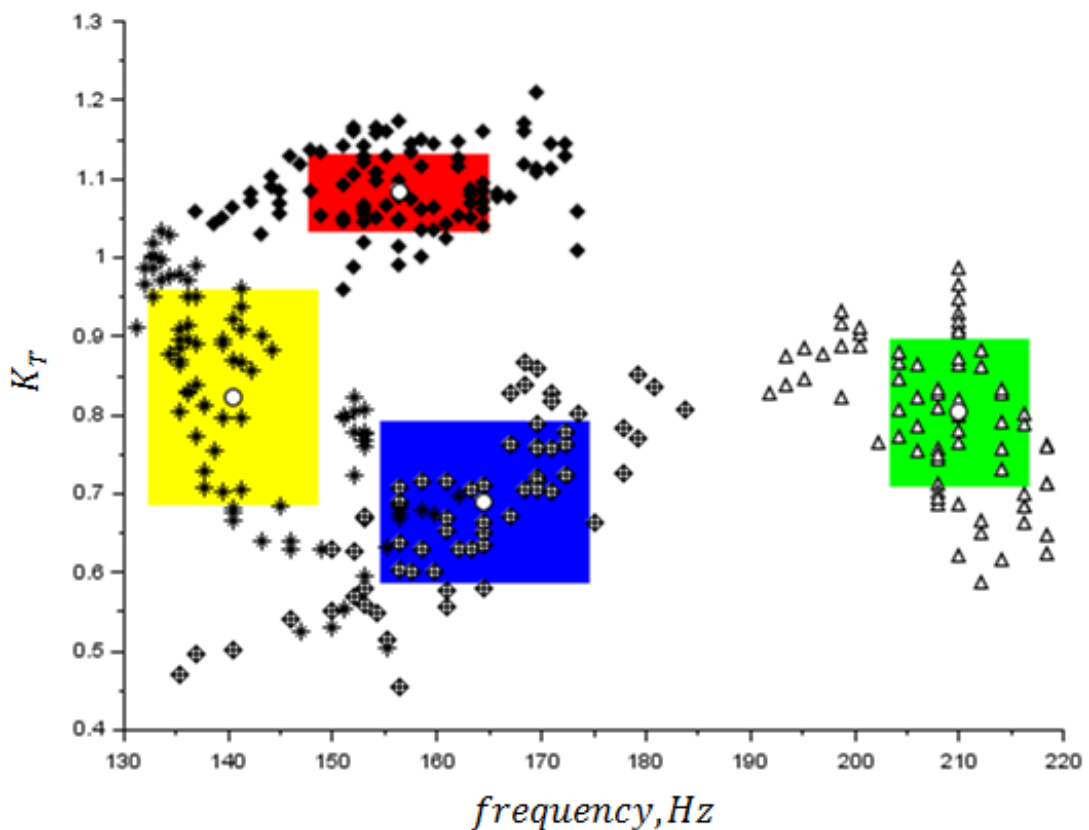


Рисунок 2.4 – Формування локалізованих структур голосового сигналу у просторі характеристик «структура-частота»

Для кожного окремо взятого користувача система формує описані локалізовані структури голосового сигналу на основі даних його акустичних записів, які несуть індивідуальну інформацію про нього. Геометричні розміри



сторін прямокутників, які обмежують локалізовані структури, визначаються на основі статистичного аналізу, який буде розглянуто далі.

При оцінюванні функціонального стану людини чи виконанні процедури аутентифікації виконується одиничний запис паролльної фрази. Отриманий акустичний матеріал обробляється аналогічними методами і для нього формуються такі ж локалізовані структури із середньозваженими центрами (рис. 2.5., базові структури подано суцільним кольором).

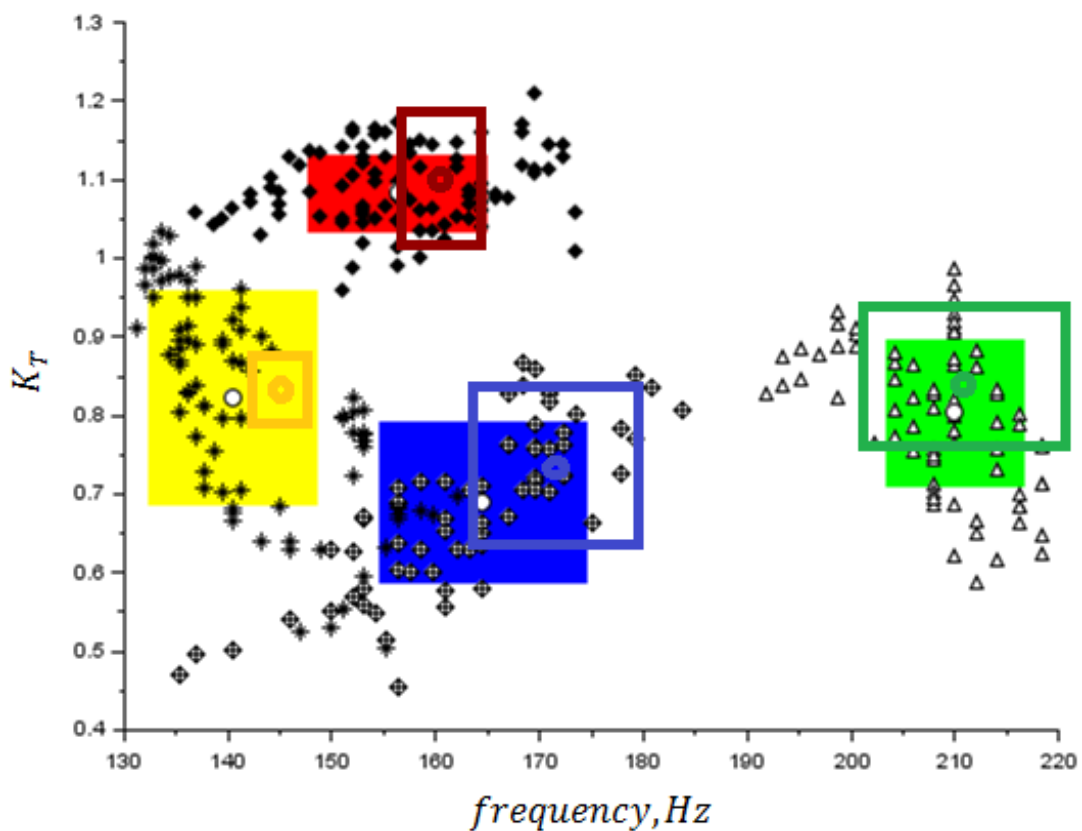


Рисунок 2.5 – Графічне подання процедури аутентифікації та оцінювання функціонального стану водія у просторі характеристик «структура-частота»

Критерій точності аутентифікації та оцінювання функціонального стану людини за такою процедурою визначається як середнє значення часток площі локалізованих структур усіх фонем, які потрапили у базові локалізовані структури відповідних фонем:

$$square\_fit = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{S_i}{S_{0i}}}{m} * 100\%, \quad (2.2)$$

де  $S_i$  – площа локалізованої структури аналізованої фонемі, яка потрапила до базової структури даної фонемі;

$S_{0i}$  – загальна площа локалізованої структури аналізованої фонемі;

$m$  – кількість аналізованих фонем.

Для визначення загальної площі локалізованої структури аналізованої фонемі  $S_0$  достатньо перемножити сторони відповідного прямокутника у просторі характеристик голосового сигналу. Для визначення площі  $S_i$  необхідно спочатку перевірити, які вершини локалізованої структури аналізованої фонемі потрапляють у межі базової локалізованої структури даної фонемі. Якщо усі 4 вершини знаходяться у межах базової локалізованої структури, то коефіцієнт відношення площ для даної фонемі автоматично приймається рівним 1. Якщо ж деякі вершини виходять за межі базової локалізованої структури, програмним чином визначаються точки перетину меж базової та аналізованої структур. Ці точки обираються як вершини області перекриття і на їх основі визначаються довжини сторін області перекриття. За відомими сторонами визначається площа даної області.

Прийняття рішення системою залежить від того, у якому режимі вона функціонує. Якщо отримані середньозважені центри разом із локалізованими структурами фонемі потрапляють у межі аналогічних базових структур для даного користувача, вважається, що він успішно пройшов процедуру аутентифікації, або що його функціональний стан є допустимим. Якщо ж центр аналізованої локалізованої структури хоча б однієї фонемі не потрапляє до базової структури, або критерій визначення функціонального стану має значення менше деякого порогового значення, то вважається, що користувач не проходить процедуру аутентифікації, або його функціональний стан є недопустимим. Рівень даного порогу визначається на основі

експериментального дослідження розробленого методу на акустичних матеріалах реальних людей.

Для оцінки якості та точності розробленого методу аутентифікації використовуються два показники. Першим з них є FAR (False Acceptance Rate) – ймовірність помилки першого роду, тобто ймовірність того, що система визнає «чужого» за «свого». Другий показник – FRR (False Rejection Rate) – ймовірність помилки другого роду, тобто ймовірність того, що система не аутентифікує користувача, який наявний у її базі.

Будь-яку систему аутентифікації можна налаштувати на різний рівень жорсткості відбору, тобто на різний рівень помилки першого роду. Чим нижчий показник FAR, тим більш чутливою є система, тим вище ймовірність помилкового не розпізнання FRR (рис. 2.6).

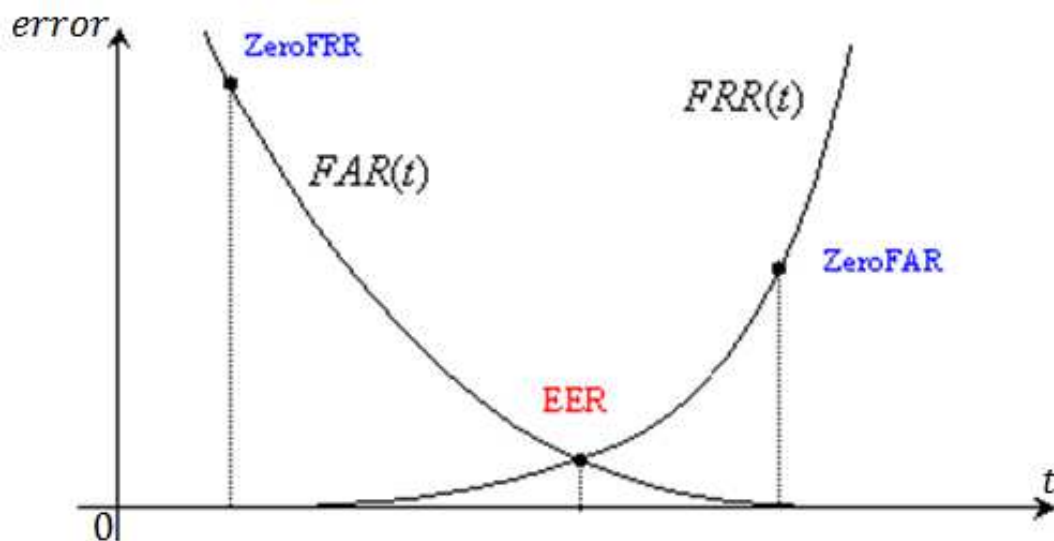


Рисунок 2.6 – Похибки першого (**FAR**) та другого (**FRR**) роду в залежності від порогу чутливості  $t$  [98]

При аналізі біометричних систем також визначаються додаткові показники:

- **ERR** (Equal Error Rate) – системна помилка, за якої помилки першого та другого роду співпадають (**FAR = FRR**);
- **ZeroFAR** – значення помилки другого роду, за якого значення помилки першого роду дорівнює 0 (**FAR = 0**);

– **ZeroFRR** – значення помилки першого роду, за якого значення помилки другого роду дорівнює 0 ( $FRR = 0$ ) [98].

Ідеальними є такі показники помилки і відмови аутентифікації, за яких при достатньо високій надійності аутентифікації досягається досить мала відмова аутентифікації. У загальному випадку, для кожної технології ці показники різняться. Залежно від конкретної задачі система налаштовується на певний компроміс між допустимими значеннями FAR і FRR.

#### **2.4. Розробка математичної моделі локалізованої структури голосового сигналу**

Якщо розглядати формування локалізованих структур голосового сигналу з точки зору індивідуальних особливостей людини, то окремо розглянемо взаємозв'язок основної частоти голосового сигналу та коефіцієнту середньоквадратичного відхилення структури сигналу від антропометричних показників людини. У роботі [11] було розглянуто модель множинної регресії для основної частоти голосу, яка передбачає врахування таких параметрів людини як

- вік;
- зріст;
- маса.

До того ж, розглянута модель розділяла людей за статевою ознакою.

Значення основної частоти голосового сигналу у описаній моделі визначалось як

$$F_0 = C * A^a * H^h * M^m, \quad (2.3)$$

де  $F_0$  – значення основної частоти голосового сигналу;

$A$  – вік людини (у роках);

$H$  – зріст людини (у см);

$M$  – маса людини (у кг);

$C, a, h, m$  – коефіцієнти моделі, які визначаються за методом множинної регресії [11].

У даній роботі пропонується доповнити дану модель множинної регресії такими параметрами, як життєва ємність легень, обхват шиї в області гортані та індекс напруженості регуляторних систем за Р.М. Баєвським. Аналогічну модель будемо використовувати для коефіцієнту середньоквадратичного відхилення структури сигналу.

Загалом математична модель основних характеристик голосового сигналу для центрів виділених локалізованих структур має вигляд:

$$\begin{aligned} F_0 &= C_F * A^{a_F} * H^{h_F} * M^{m_F} * V^{v_F} * D^{d_F} * B^{b_F}, \\ K_T &= C_K * A^{a_K} * H^{h_K} * M^{m_K} * V^{v_K} * D^{d_K} * B^{b_K}, \end{aligned} \quad (2.4)$$

де  $V$  – життєва ємність легень (у л);

$D$  – обхват шиї в області гортані (у см);

$B$  – індекс напруженості регуляторних систем за Р.М. Баєвським (у од);

$C_F, a_F, h_F, m_F, v_F, d_F, b_F$  – відповідні коефіцієнти моделі основної частоти;

$C_K, a_K, h_K, m_K, v_K, d_K, b_K$  – відповідні коефіцієнти моделі коефіцієнту середньоквадратичного відхилення структури сигналу.

Коефіцієнти обох моделей визначаються за методом множинної регресії.

Для подання даної моделі у лінійному вигляді проводиться логарифмування лівої та правої частини рівнянь (2.4):

$$\begin{aligned} \ln F_0 &= \ln C_F + a_F \ln A + h_F \ln H + m_F \ln M + v_F \ln V + d_F \ln D + b_F \ln B, \\ \ln K_T &= \ln C_K + a_K \ln A + h_K \ln H + m_K \ln M + v_K \ln V + d_K \ln D + b_K \ln B, \end{aligned} \quad (2.5)$$

Для визначення коефіцієнтів моделей дані про основну частоту голосу,

коефіцієнт середньоквадратичного відхилення структури сигналу та індивідуальні параметри людини подаються у матричній формі:

– матриці натуральних логарифмів відгуків (значень основної частоти та коефіцієнту середньоквадратичного відхилення структури сигналу):

$$Y_F = \begin{pmatrix} \ln F_{01} \\ \ln F_{02} \\ \ln F_{03} \\ \vdots \\ \ln F_{0N} \end{pmatrix}, Y_K = \begin{pmatrix} \ln K_{T1} \\ \ln K_{T2} \\ \ln K_{T3} \\ \vdots \\ \ln K_{TN} \end{pmatrix}$$

– матриця значень натуральних логарифмів вільних параметрів (індивідуальних параметрів людини):

$$X = \begin{pmatrix} \ln A_1 & \ln H_1 & \ln M_1 & \ln V_1 & \ln D_1 & \ln B_1 \\ \ln A_2 & \ln H_2 & \ln M_2 & \ln V_2 & \ln D_2 & \ln B_2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \ln A_N & \ln H_N & \ln M_N & \ln V_N & \ln D_N & \ln B_N \end{pmatrix}$$

– транспонована матриця натуральних логарифмів вільних параметрів:

$$X^T = \begin{pmatrix} \ln A_1 & \ln A_2 & \dots & \ln A_N \\ \ln H_1 & \ln H_2 & \dots & \ln H_N \\ \ln M_1 & \ln M_2 & \dots & \ln M_N \\ \ln V_1 & \ln V_2 & \dots & \ln V_N \\ \ln D_1 & \ln D_2 & \dots & \ln D_N \\ \ln B_1 & \ln B_2 & \dots & \ln B_N \end{pmatrix}$$

– матриця коефіцієнтів моделі:

$$Z_F = \begin{pmatrix} \ln C_F \\ a_F \\ h_F \\ m_F \\ v_F \\ d_F \\ b_F \end{pmatrix}, Z_K = \begin{pmatrix} \ln C_K \\ a_K \\ h_K \\ m_K \\ v_K \\ d_K \\ b_K \end{pmatrix}$$

У матричній формі система нормованих рівнянь, для визначення коефіцієнтів моделі за методом найменших квадратів, записується наступним чином:

$$\begin{aligned} X^T X Z_F &= X^T Y_F, \\ X^T X Z_K &= X^T Y_K, \end{aligned} \tag{2.6}$$

звідки

$$\begin{aligned} Z_F &= (X^T X)^{-1} X^T Y_F, \\ Z_K &= (X^T X)^{-1} X^T Y_K, \end{aligned} \quad (2.7)$$

Для оцінки якості даної моделі використовують показники адекватності та точності моделі, а також значимості та довірчого інтервалу коефіцієнтів моделі.

Перевірка математичної моделі на адекватність виконується на основі критерію Фішера, який формують наступним чином:

$$F = \begin{cases} \frac{\sigma_{ад}^2}{\sigma_{відтв}^2}, \text{ якщо } \sigma_{ад}^2 > \sigma_{відтв}^2 \\ \frac{\sigma_{відтв}^2}{\sigma_{ад}^2}, \text{ якщо } \sigma_{відтв}^2 > \sigma_{ад}^2 \end{cases}, \quad (2.8)$$

де  $\sigma_{ад}^2$  – дисперсія адекватності;

$\sigma_{відтв}^2$  – дисперсія відтворення [99].

Дисперсія адекватності визначається як:

$$\sigma_{ад}^2 = \frac{1}{N-r} \sum_{i=1}^N (F_{\varphi_i} - F_{\varphi_i}^M)^2, \quad (2.9)$$

де  $N$  – кількість вимірювань;

$r$  – кількість значущих коефіцієнтів моделі;

$F_{\varphi_i}$  – значення основної частоти голосу при певних значеннях факторів, отримане у ході вимірювань;

$F_{\varphi_i}^M$  – значення основної частоти голосу при певних значеннях факторів, отримане за розробленою моделлю.

Число ступенів свободи дисперсії адекватності складає  $f_1 = N - r$  [99].

Дисперсія відтворюваності, як правило, визначається за допомогою повторних дослідів для даних значень факторів:

$$\sigma_{\text{відтв}}^2 = \frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m (F_{0_i} - \overline{F_{0_i}})^2, \quad (2.10)$$

де  $m$  – кількість повторних дослідів.

Число ступенів свободи дисперсії відтворюваності складає  $f_2 = m - 1$  [99].

Критерій полягає у тому, що якщо при рівні значимості  $\alpha$  розрахункове значення  $F \leq F(f_1, f_2, 1 - \alpha)$ , то з ймовірністю  $1 - \alpha$  можна вважати, що  $\sigma_{\text{ад}}^2 = \sigma_{\text{відтв}}^2$  і вважати модель адекватною [99].

Для оцінки точності моделі визначається коефіцієнт детермінації:

$$R^2 = 1 - \frac{RSS}{TSS}, \quad (2.11)$$

де  $RSS = \sum_{i=1}^N (F_{0_i} - F_{0_i}^M)^2$  – сума квадратів регресійних залишків;

$TSS = \sum_{i=1}^N (F_{0_i} - \overline{F_{0_i}})^2$  – загальна дисперсія.

Інколи у якості критерію точності використовують коефіцієнт кореляції:

$$R = \sqrt{1 - \frac{RSS}{TSS}} \quad (2.12)$$

У випадку, якщо коефіцієнт детермінації перевищує 0,8 (коефіцієнт кореляції перевищує 0,9) модель вважається такою, що має високу точність. Точністю у даному випадку вважають значення коефіцієнта кореляції [100].

Оцінка значимості коефіцієнтів моделі виконується за критерієм



Стьюдента, який у даному випадку визначається як:

$$t_j = \frac{|z_j|}{\sqrt{\frac{\sigma_{\text{відтв}}^2}{N}}}, \quad (2.13)$$

де  $z_j$  – значення  $j$ -го коефіцієнта моделі.

Критерій полягає у тому, що якщо при рівні значимості  $\alpha$  розрахункове значення  $t_j > t(f_2, 1 - \alpha)$ , то з ймовірністю  $1 - \alpha$  можна вважати, що коефіцієнт моделі  $z_j$  є значимим.

Довірчий інтервал коефіцієнту моделі  $z_j$  визначається як

$$\Delta z_j = \pm t \sqrt{\frac{\sigma_{\text{відтв}}^2}{N}}, \quad (2.14)$$

де  $t$  – табличне значення критерію Стьюдента при рівні значимості  $\alpha$  з  $f_2$  ступенями свободи.

Значення цього довірчого інтервалу є однаковим для усіх коефіцієнтів моделі. По суті, коефіцієнт моделі вважається значимим, якщо його значення є більшим, ніж значення довірчого інтервалу для нього [101].

Оцінка точності моделі коефіцієнту середньоквадратичного відхилення структури сигналу проводиться за аналогічними формулами (2.8-2.14).

## **2.5. Статистичний аналіз параметрів локалізованих структур голосу**

Аналіз акустичних матеріалів та локалізованих структур голосового сигналу людини проводиться на основі статистичного аналізу. Основними завданнями є визначення чисельності вибірки дикторів для проведення

експериментального дослідження, геометричних розмірів локалізованих структур голосового сигналу та порівняльний аналіз розроблених методів та засобів голосової аутентифікації з існуючими аналогами.

Мінімальний розмір вибірки дикторів, необхідний для експериментального дослідження розробленого методу аутентифікації особистості визначається за формулою:

$$n = \frac{N}{1 + \alpha^2 N} \quad (2.15)$$

де  $n$  – шуканий розмір вибірки;

$N$  – розмір генеральної сукупності;

$\alpha$  – рівень значимості, який у даній роботі задавався на рівні 0,05 [102].

У випадку, якщо обидві характеристики голосового сигналу, які використовуються у якості координатних вісей, для кожної фонемі розподілені за законом нормального розподілу, то сторони кожного з цих прямокутників визначаються середньоквадратичним відхиленням точок простору, що відповідають фреймам досліджуваних сигналів:

$$\alpha_{K_T} = 2\sigma_{K_T} = 2\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_j} (K_{T_i} - K_{T_j})^2}{n_j - 1}}, \alpha_{F_0} = 2\sigma_{F_0} = 2\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_j} (F_{0_i} - F_{0_j})^2}{n_j - 1}}, \quad (2.16)$$

де  $\sigma_{K_T}, \sigma_{F_0}$  – відповідні середньоквадратичні відхилення коефіцієнту середньоквадратичного відхилення сигналу та основної частоти голосу.

Сторона кожного з утворених прямокутників приймається вдвічі більшою, ніж отримане значення середньоквадратичного відхилення відповідної характеристики голосового сигналу, оскільки відхилення враховується як в більшу, так і в меншу сторону.

Можна вважати, що випадкова величина розподілена за нормальним

законом, якщо виконуються умови, які є наслідком з нормального закону розподілу:

1. 99,7% відхилень від середнього менші, ніж потрійне значення середньоквадратичного відхилення;
2. 68,3% відхилень від середнього менші, ніж значення середньоквадратичного відхилення;
3. 50% відхилень від середнього менші, ніж  $5/8$  середньоквадратичного відхилення.

Якщо дані умови виконуються, то можна вважати, що гіпотеза про нормальний розподіл величин є істинною [103].

Для визначення достовірності процедури аутентифікації використовувався ряд статистичних критеріїв. Достовірність оцінювалась окремо для кожної характеристики голосового сигналу – основної частоти голосу та коефіцієнту середньоквадратичного відхилення сигналу.

Достовірність процедури аутентифікації оцінюється за t-критерієм Стьюдента для незалежних вибірок. Однак для використання даного критерію першочергово необхідно переконатися, що дисперсії виділених ознак рівні. Це виконується за допомогою аналізу статистики критерію Бартлетта:

$$T = \frac{(\sum_{i=1}^k n_i - k) \ln \left( \frac{1}{\sum_{i=1}^k n_i - k} \sum_{i=1}^k (n_i - 1) s_i^2 \right) - \sum_{i=1}^k (n_i - 1) \ln s_i^2}{1 + \frac{1}{3(k-1)} \left( \sum_{i=1}^k \left( \frac{1}{n_i - 1} \right) - \frac{1}{\sum_{i=1}^k n_i - k} \right)}, \quad (2.17)$$

де  $k$  – кількість вибірок;

$n_i$  – обсяг  $i$ -ї вибірки;

$s_i^2$  – вибіркова оцінка дисперсії.

Критерій Бартлетта перевіряє нульову гіпотезу про те, що дисперсії усіх  $k$  вибірок однакові. У випадку, якщо у кожній вибірці більше, ніж 3 значення і нульова гіпотеза є справедливою статистика критерію Бартлетта має розподіл

$\chi_{k-1}^2$  з  $k - 1$  ступенями свободи.

Критерій полягає у тому, що якщо при рівні значимості  $\alpha$  значення  $T < \chi_{k-1, \alpha}^2$ , то нульова гіпотеза про рівність дисперсій виділених характеристик у аналізованій та базовій локалізованій структурі приймається [104].

t-критерій Стьюдента для незалежних вибірок визначається як:

$$t = \frac{|M_1 - M_2|}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{N_1} + \frac{\sigma_2^2}{N_2}}}, \quad (2.18)$$

де  $M_1$  – середнє арифметичне значення першої вибірки;

$M_2$  – середнє арифметичне значення другої вибірки;

$\sigma_1$  – стандартне відхилення першої вибірки;

$\sigma_2$  – стандартне відхилення другої вибірки;

$N_1$  – обсяг першої вибірки;

$N_2$  – обсяг другої вибірки.

Дана статистика має нормальний розподіл зі ступенями свободи 0 та 1. Критерій полягає у тому, що якщо при рівні значимості  $\alpha$  значення  $t < \Phi_{1-\alpha/2}(0,1)$ , то гіпотеза про рівність середніх значень виділених характеристик у аналізованій та базовій локалізованій структурі приймається [104].

Порівняння розроблених методів з існуючими аналогами проводилось на основі експертних оцінок. Для цього було обрано 15 незалежних експертів, кожен з яких проводив аналіз результатів роботи розроблених методів з результатами роботи існуючих аналогічних методів, описаних у розділі 1. За результатами експертних оцінок визначався коефіцієнт конкордації:

$$W = \frac{12}{k^2(m^3 - m)} \sum_{i=1}^m \left( \sum_{j=1}^k r_{ij} - \frac{k(m+1)}{2} \right)^2, \quad (2.19)$$

де  $m$  – кількість оцінюваних альтернатив;

$k$  – кількість експертів;

$r_{ij}$  – ранг  $i$ -го показника, визначений  $j$ -м експертом [105].

У випадку наявності повторюваних експертних оцінок (зв'язок) коефіцієнт конкордації визначається як:

$$W = 12 \frac{\sum_{i=1}^m \left( \sum_{j=1}^k r_{ij} - \frac{k(m+1)}{2} \right)^2}{k^2(m^3 - m) - k \sum_{i=1}^m (t_i^3 - t_i)}, \quad (2.20)$$

де  $t_i$  – кількість елементів у кожній зв'язці для  $i$ -го експерта.

На основі даного коефіцієнту визначалась ступінь узгодженості оцінок експертів. У випадку, якщо значення даного коефіцієнту наближається до нуля, стверджують, що оцінки експертів є узгодженими [105].

Статистична значимість коефіцієнта конкордації перевіряється за критерієм  $\chi_{m-1}^2$  з  $m - 1$  ступенями свободи.

$$\chi_{m-1}^2 = 12 \frac{\sum_{i=1}^m \left( \sum_{j=1}^k r_{ij} - \frac{k(m+1)}{2} \right)^2}{km(m+1) - \frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m (t_i^3 - t_i)}, \quad (2.21)$$

Розраховане значення  $\chi_{m-1}^2$  порівнюється з табличним значенням розподілу  $\chi^2$  з  $m - 1$  ступенями свободи для рівня значимості  $\alpha$ . Якщо розрахункове значення перевищує табличне, то коефіцієнт конкордації є істотно значимим; в іншому випадку необхідно збільшувати кількість експертів.

## Висновки до розділу 2

1. Визначено локалізовані структури голосового сигналу людини як геометричне місце точок простору характеристик «структура-частота». У якості показника структури сигналу використовується коефіцієнт середньоквадратичного відхилення структури сигналу у часовому просторі. Дані структури будуються для вокалізованих ділянок голосового сигналу людини. Кожен фрейм вокалізованої ділянки у даному просторі подається у вигляді точки, координатами якої є виділені характеристики голосового сигналу. З урахуванням того, що основна частота голосу та структура фреймів у процесі вимови характеризуються певною динамікою, у просторі характеристик кожна вокалізована ділянка таким чином являє собою доволі складну структуру, тобто займає деяку частину простору.

2. Розроблено математичну модель локалізованої структури голосового сигналу людини в залежності від параметрів функціонального стану та індивідуальних особливостей людини. Модель реалізовано за принципом множинної регресії. Також описано статистичні методи оцінки адекватності та точності даної моделі, а також оцінки значимості коефіцієнтів моделі.

3. Визначено, що якщо розподіл обох характеристик голосового сигналу, які виступають у якості координат сформованого простору, у межах кожної локалізованої структури є нормальним, то для кожної локалізованої структури визначається середньозважений центр та область простору у формі прямокутника, обмежена середньоквадратичним відхиленням кожної характеристики.

4. Запропоновано використання подвійного критерію аутентифікації та оцінювання функціонального стану на основі отриманих локалізованих структур. Перша частина критерію передбачає, що середньозважені центри кожної вокалізованої ділянки повинні знаходитись у межах базових локалізованих структур. Друга частина критерію визначається як середнє значення часток площі локалізованих структур усіх фонем, які потрапили у

базові області відповідних вокалізованих ділянок.

5. Розглянуто основні методи статистичного аналізу, які використовуються при формуванні локалізованих структур голосового сигналу та оцінці достовірності даних, які використовуються при експериментальному дослідженні даного методу.

*Результати експериментальних досліджень цього розділу наведено в таких публікаціях:*

1. O. Mieshkov and O. Novikov, “Mathematical model of human voice for the task of personal identification and human condition analysis”, *Visnyk of Kherson National Technical University*, №1 (56), с. 163–169, 2016.

2. О. Мешков, “Розробка персоніфікованого голосового еталону для задачі аутентифікації особистості”, *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І.Вернадського. Серія: Технічні науки*, т. 29 (68), Ч. 2, № 5, с.11–17, 2018.

3. [5] О. Мешков та Д. Барановський, “Розробка та дослідження критерію аутентифікації особистості на основі локалізованих структур голосового сигналу”, *Вісник Хмельницького національного технічного університету. Серія: Технічні науки*. т. 1 (267), №6, с. 151–156, 2018.

4. О. Мешков. “Дослідження часової динаміки критерію аутентифікації особистості за голосовим сигналом”, *Вісник Херсонського національного технічного університету*, №4 (67), с. 85–90, 2018.

5. О. Мешков, “Програмно-апаратний комплекс для задачі аутентифікації особистості за голосовим сигналом”, *Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського*, Випуск 6 (113), с. 15–20, 2018.

6. О. Мешков, О. Новіков та В. Новіков, *Аналіз голосових сигналів людини та аутентифікація особистості за голосом*, Монографія. – Херсон, Україна: вид-во ФОП Вишемирський В.С., 2018.

7. O. Mieshkov and O. Novikov, “Development of Universal Program

Complex for Human Condition Analysis, Based on the Analysis of Human Voice”, at *the 4th International Scientific Conference of Students and Young Scientists Theoretical and Applied Aspects of Cybernetics (TAAC)*, Kyiv, 2014, pp. 294–305.

8. О. Мешков та О. Новіков, “Алгоритми аналізу голосових сигналів людини для задачі ідентифікації та діагностики фізичного стану”, на *тридцять шостій Всеукраїнській науково-практичній конференції «Інноваційний потенціал світової науки – XXI сторіччя»*, Запоріжжя, 2015-2016, с. 26–28.

9. O. Mieshkov and O. Novikov, “Automated system for identification and human condition diagnostics based on its voice signal analysis”, at *18-th International conference System analysis and information technology (SAIT-2016)*, Kyiv, 2016, pp. 35–38.

10. O. Mieshkov, O. Novikov, V. Novikov, L. Fainzilberg, A. Kotyra, S. Smailova, A. Kozbekova, B. Imanbek, “Identification and human condition analysis based on the human voice analysis” at *SPIE 10445, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High Energy Physics Experiments 2017*, 104453T (7 August 2017); doi: 10.1117/12.2281003

11. О. Мешков, “Спосіб аутентифікації особистості на основі хмарних структур голосового сигналу людини” на *I Міжнародній науково-практичній конференції Інформаційні системи та технології в медицині (ISM-2018)*, Харків, 2018, с. 222–223.



## РОЗДІЛ 3

### РОЗРОБКА СИСТЕМИ АУТЕНТИФІКАЦІЇ ТА ОЦІНЮВАННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО СТАНУ ВОДІЯ В РЕЖИМІ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ ЗА ГОЛОСОВИМ СИГНАЛОМ

#### 3.1. Розробка структурної схеми системи

Розроблена система включає в себе апаратну та програмну частини. Кожна з цих частин має у своєму складі декілька основних блоків, які пов'язані між собою комутаційним чи програмним способом. Загалом структуру розробленої системи подано у вигляді схеми на рис. 3.1.

Апаратна частина системи являє собою блок вхідних сенсорів і перетворювачів, до якого входять петличний мікрофон Rode SmartLav +, модуль живлення для мікрофона Micronic BM1-TRS, стерео аудіо-адаптер ALLOYSEED XLR 3 pin to 3.5mm та аудіо-інтерфейс Focusrite Scarlett Solo 2nd Gen.

Петличний мікрофон Rode SmartLav + оснащений вбудованою активною електронікою у вигляді JFET-перетворення, що дозволяє йому повністю перекривати увесь голосовий частотний діапазон людини та гасити шумові складові сигналу у випадку їх наявності. Його було обрано серед інших типів мікрофонів на основі ряду характеристик та експериментальних досліджень, про які мова піде далі.

Дискретизація та оцифрування аналогового сигналу, записаного за допомогою мікрофону виконується за допомогою аудіо-інтерфейсу Focusrite Scarlett Solo 2nd Gen. Оскільки даний аудіо-інтерфейс не передбачений для безпосереднього підключення мікрофонів з роз'ємами 3.5mm, яким оснащений мікрофон Rode SmartLav +, для комутації між ними використовується стерео аудіо-адаптер ALLOYSEED XLR 3 pin to 3.5mm.

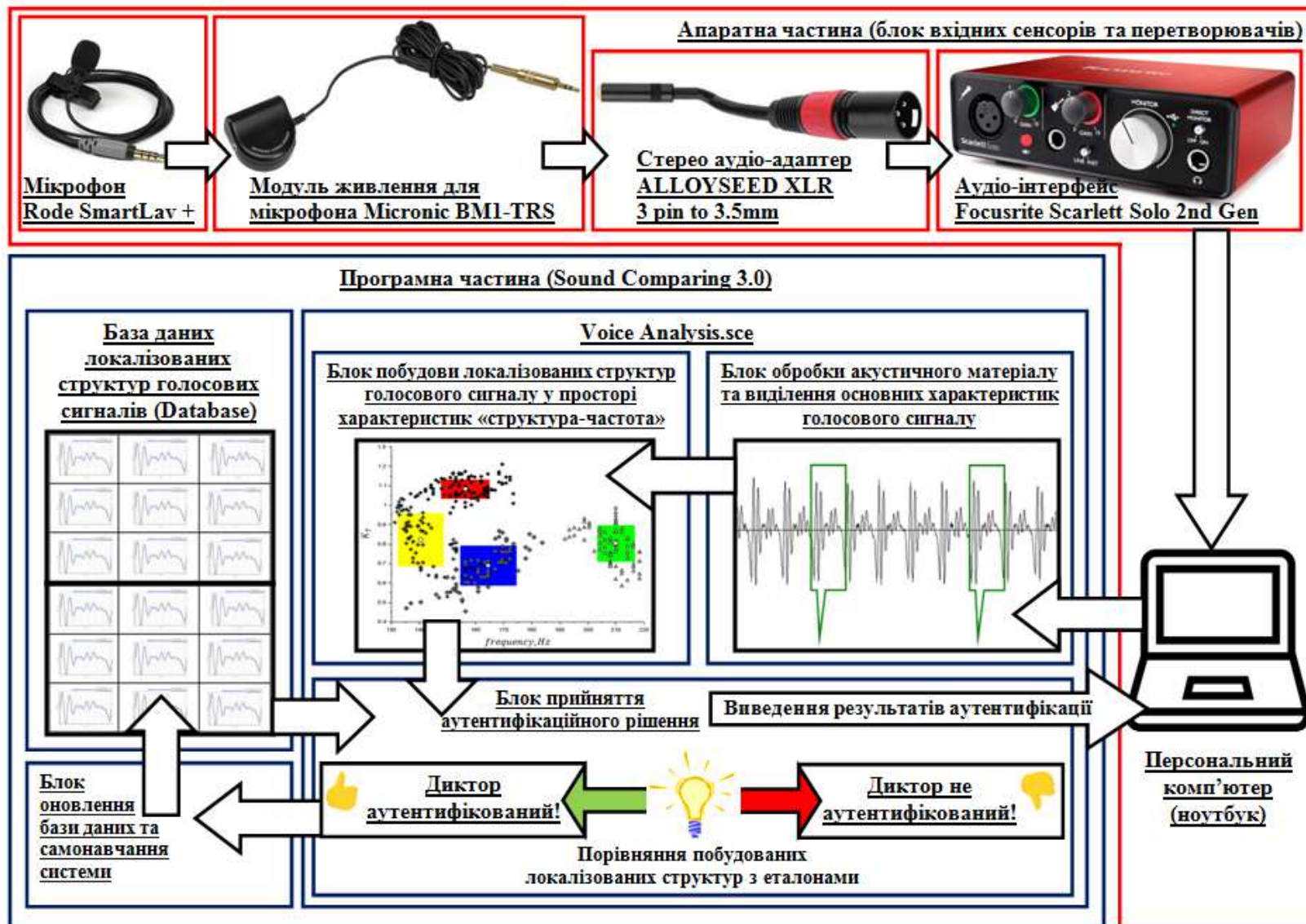


Рисунок 3.1 – Загальна структура системи аутентифікації та оцінювання функціонального стану людини за голосовим сигналом

Аудіо-інтерфейс Focusrite Scarlett Solo 2nd Gen має вбудований мікрофонний передпідсилювач з фантомним живленням 48 В, що дозволяє підключати професійні конденсаторні мікрофони, яким є Rode SmartLav +. Розрядність в 24 біти та максимальна частота дискретизації до 192 кГц дозволяють виконувати записи з дуже високою якістю. Також даний аудіо-інтерфейс було обрано за результатами первинних експериментальних досліджень, оскільки досить часто при записі на вбудовані звукові карти персональних комп'ютерів чи ноутбуків спостерігалось наведення сигналів з мережі. У даному ж аудіо-інтерфейсі наявний вбудований захист аналогових схем на вході та виході від перепадів напруги та наведень мережі.

Однак при безпосередньому підключенні даного мікрофону з вказаним аудіо-адаптером сигнал отримувався на рівні загального шуму. Інколи сигнал відгуку системи не спостерігався взагалі. Причиною цього є те, що RODE SmartLav + є мікрофоном з підтримкою від живлення пристрою, тобто він потребує живлення близько 5 В. З цієї причини він адекватно працює зі смартфонами, ноутбуками та більшістю камер, і не працює з передпідсилювачем Focusrite Scarlett Solo 2nd Gen, який має лише 48 В фантомного живлення. З метою повноцінної комутації мікрофона та аудіо-інтерфейсу використовується модуль живлення для мікрофона Micronic BM1-TRS, який підключається до мікрофона.

Аудіо-інтерфейс підключається до персонального комп'ютера чи ноутбука через USB-з'єднання, і використовується як зовнішнє джерело звукозапису. При проведенні досліджень запис проводився за допомогою програми Audacity і зберігався у цифровому форматі у файлі формату \*.wav.

Усі подальші операції відбуваються у програмній частині системи Sound Comparing 3.0. Вони виконуються за допомогою скрипт-файлу 'Voice Analysis.sce' для пакету прикладних математичних програм SciLab 6.0.1. Загальний скрипт-файл може бути умовно розглянутий як поєднання декількох основних блоків:

- блок обробки акустичного матеріалу та виділення основних

характеристик голосового сигналу;

– блок побудови локалізованих структур голосового сигналу у просторі характеристик «структура-частота»;

– блок прийняття аутентифікаційного рішення;

– блок визначення функціонального стану людини;

– блок оновлення бази даних та самонавчання розробленої системи;

– база даних локалізованих структур голосових сигналів.

Робота програмної частини розробленої системи відбувається за розробленим алгоритмом.

### 3.2. Обґрунтування вибору перетворювачів голосового сигналу

3.2.1. Визначення параметрів дискретизації голосового сигналу для задачі аутентифікації.

Якщо розглядати індустріальні стандарти обробки звуку, то виділяють ряд типових частот дискретизації, які використовуються у різних сферах (табл. 3.1).

Таблиця 3.1

**Частоти дискретизації звукових сигналів [106]**

Частота, Гц	Сфера використання
96000	Студії звукозапису, де вимагається ідеальна якість звуку – DVD-Audio за стандартом MLP 5.1. Також може застосовуватись у спеціальних науково-технічних дослідженнях.
44100	Стандартна частота дискретизації, яка використовується при записі компакт-дисків, так звана CD-якість. Визначена на основі того, що людина сприймає звуки з частотою до 20 кГц.

## Продовження табл. 3.1.

Частота, Гц	Сфера використання
22050	Так звана радіо-якість, використовується при кодуванні звуку FM-радіостанціями. Також використовується у онлайн-плеєрах типу Flash для створення фонові музики та звуків сповіщення. Для передачі людського голосу є надлишковою.
11025	Телефонна якість. Найкраще підходить для передачі людського голосу. Використовується в IP-телефонії.
5500	Звук на межі втрати інформаційної складової. Може застосовуватись для передачі низьких звуків, а також голосу, щоправда з низькою якістю.

У той же час у [36] на основі аналізу спектрів голосу визначено, що для вокалізованих звуків найвища частота, нижче якої максимумами спектру не досягають рівня 40 дБ, складає близько 4 кГц. З іншого боку, для невокалізованих звуків спектр не затухає навіть на частотах вище 8 кГц. Таким чином, для відтворення усіх звуків мови необхідно використовувати частоту дискретизації близько 20 кГц. Однак, у більшості практичних застосувань така частота не вимагається. Приміром, для стандартного телефонного каналу її значення цілком може становити 4 кГц.

У роботі [107] вказано, що при аналізі неперервного голосового сигналу дикторів чоловічої та жіночої статі усереднена спектральна густина має максимум в діапазоні 250-500 Гц і затухає зі швидкістю 8-10 дБ/октаву. Тобто, на частотах вище 4 кГц спектральна густина падає до рівня 60 дБ, що відповідає послабленню потужності сигналу, у порівнянні з максимумом, в 20 і більше разів. Це, на думку авторів, дозволяє використовувати для передачі звукових повідомлень каналів, обмежених частотою 4-5 кГц, а відповідно, частота дискретизації цих сигналів повинна складати 8-10 кГц [107].

У ході дослідження було розроблено ряд методів, про які мова піде далі, і проведено їх тестування на основі акустичних матеріалів чоловічих та жіночих

голосів. Записи проводились за допомогою аудіо редактора Audacity і в ньому ж було отримано первинні спектри записаних сигналів (рис. 3.2).

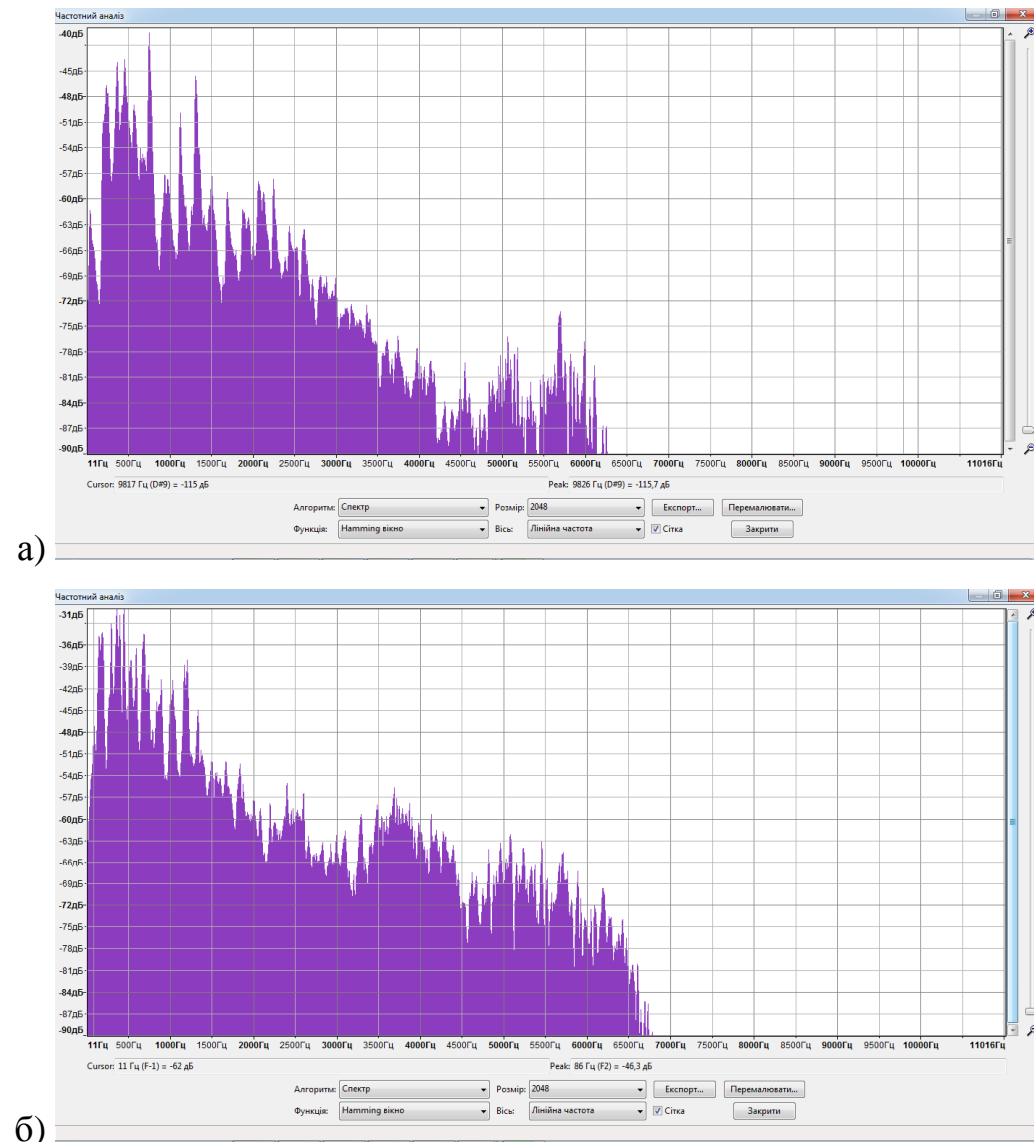


Рисунок 3.2 – Приклад спектрів жіночого (а) та чоловічого (б) голосових сигналів

Результати показують, що спектр як чоловічого, так і жіночого голосу можна вважати обмеженим у діапазоні 6-7 кГц. Тому, для адекватної дискретизації голосового сигналу необхідно використовувати частоту дискретизації близько 12-14 кГц, або більше, з деяким запасом.

Для перевірки отриманих даних голосові сигнали піддавались дискретизації зі стандартними частотами 11025, 22050 та 44000 Гц (рис. 3.3).

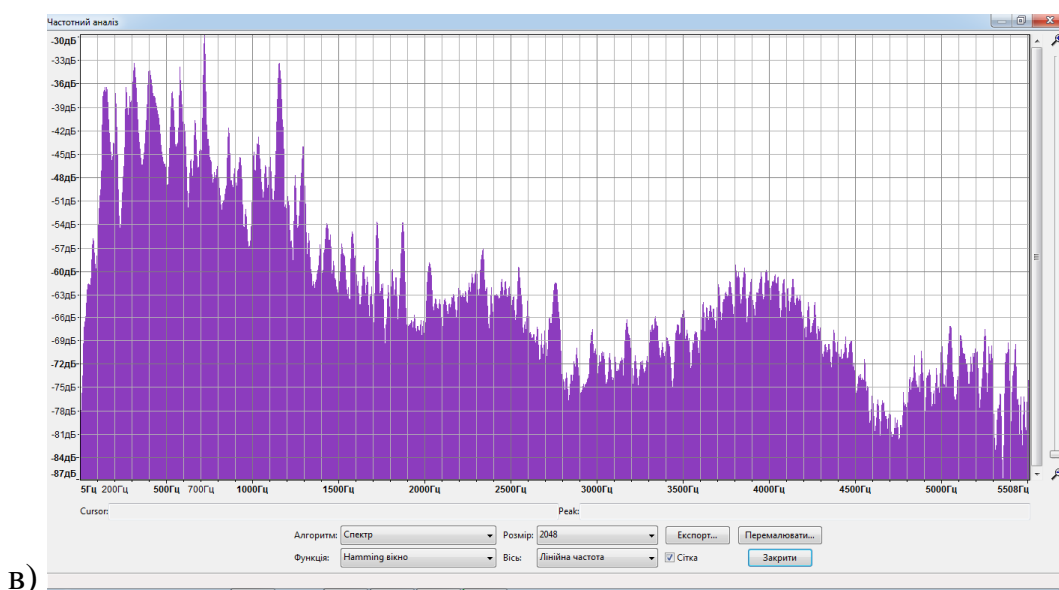
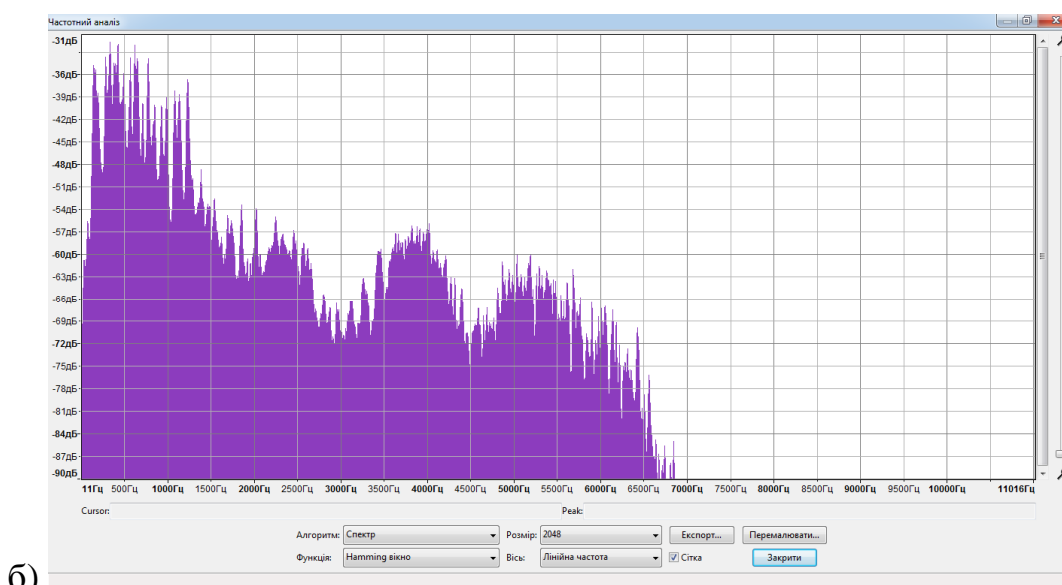
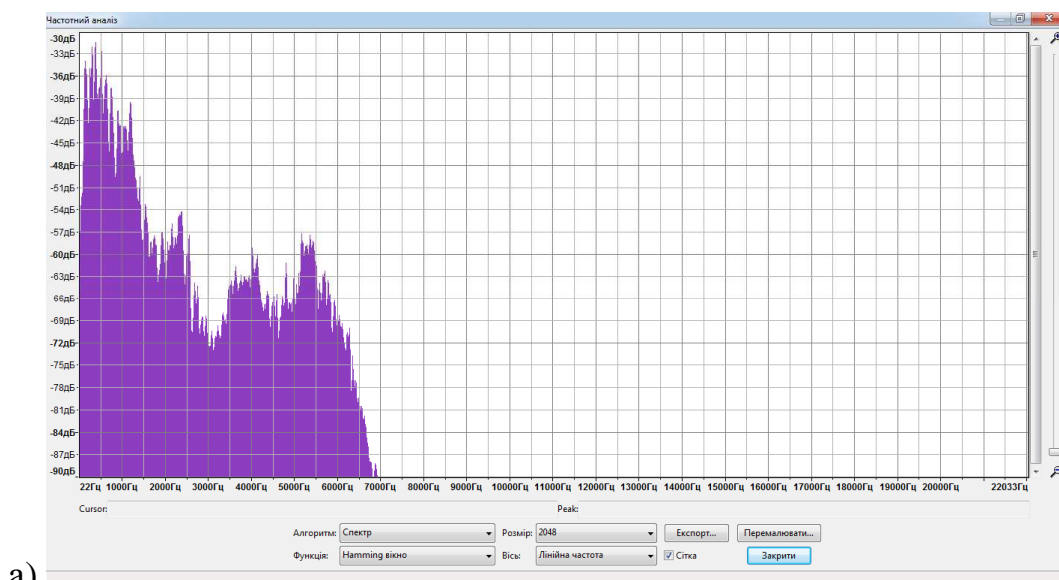


Рисунок 3.3 – Аналіз спектрів сигналу з різною частотою дискретизації:

а) 44100 Гц; б) 22050 Гц; в) 11025 Гц

Частота дискретизації 96000 Гц, яка невиправдано використовувалась авторами у дослідженні [11], після аналізу спектрів не розглядалась як така, що призводить до отримання надлишкової інформації. Спектри, отримані для кожної частоти дискретизації, показують, що використання частоти 11025 Гц для аналізу голосових сигналів людини спричинює мінімальну втрату сигналу, що тим не менше суттєво впливає на якість подальшого визначення основних характеристик сигналу. Водночас аналіз дискретних сигналів з частотою дискретизації 22050 та 44000 Гц за рівнем якості був цілком задовільним, однак при використанні частоти 44000 Гц значно підвищувався час обробки сигналів через збільшення кількості даних вдвічі.

Таким чином, для обробки та аналізу голосових сигналів на початковому етапі необхідно провести їх дискретизацію з частотою 22050 Гц. Слід зазначити, що дане значення, визначене авторами у ході експериментальних досліджень, цілком зіставне з даними літературних джерел, як класичного рівня [34], так і більш сучасних [90]. Отримані дані також є близькими до результатів роботи [107], однак не відповідають даним, наведеним у табл. 3.1. Це пояснюється тим, що для задач передачі звуку з метою розпізнавання людським вухом стандартної частоти 11025 Гц цілком достатньо. Однак для задач повноцінного аналізу голосового сигналу з виділенням необхідних характеристик використання такої малої частоти дискретизації може призвести до втрати інформації.

### 3.2.2. Обґрунтування вибору компонентів апаратної частини системи.

У ході експериментального дослідження авторами використовувався ряд мікрофонів, серед яких:

- динамічний мікрофон Philips SBC MD 140.
- гарнітура Sven AP-525MV.
- петличний мікрофон Sennheiser ME 2-US.
- петличний мікрофон Rode SmartLav+.
- стійковий мікрофон Plantronics Audio 300.



Порівняння основних характеристик даних мікрофонів подано у табл. 3.2.

Таблиця 3.2.

**Порівняння основних характеристик типів мікрофонів, що  
використовувались під час дослідження**

№	Модель мікрофона	Тип мікрофона	Чутливість, дБ	Направленість	Частотний діапазон, Гц
1	Philips SBC MD 140	Динамічний мікрофон	-30	Кардіоїдний	20-20000
2	Sven AP-525MV	Гарнітура	-52	Однонаправлений	20-16000
3	Sennheiser ME 2-US	Петличний мікрофон	-31	Ненаправлений	40-18000
4	Rode SmartLav+	Петличний мікрофон	-35	Ненаправлений	20-20000
5	Plantronics Audio 300	Стійковий мікрофон	-58	Ненаправлений	100-8000

Як бачимо, за технічними характеристиками усі дані мікрофони практично відповідають вимогам дослідження. Тим не менше, при проведенні реальних записів голосових сигналів людини, результати записів різними мікрофонами суттєво відрізнялись.

При проведенні досліджень усі записи проводились за наступних умов. Людина знаходиться у сидячому положенні, спина рівна, можливий невеликий похил уперед. Мікрофон знаходиться у безпосередній близькості до ротового отвору для виключення акустичних ефектів затухання та реверберації голосу. Вимова спокійна, середнього темпу з невеликими паузами на початку та в кінці.

При записі за допомогою гарнітури Sven AP-525MV спостерігалось наведення сигналу з системи живлення ноутбука. При цьому значно спотворювався корисний сигнал, знижувався його рівень, а на записі з'являлись

непотрібні акустичні ефекти (луна, повільне згасання тощо). Тому для запису голосових сигналів людини даний вид мікрофону не придатний.

Записи, отримані за допомогою студійного мікрофона Philips SBC MD 140, були позбавлені описаних вище недоліків. Це може бути пов'язане з наявністю екранованого кабелю у конструкції даного мікрофона. При зміні орієнтації мікрофона на малі кути відносно ротового отвору диктора чутливість мікрофона змінювалась незначно, на якості акустичних записів це не позначалось. Аналогічна ситуація спостерігалась для петличного мікрофона Sennheiser ME 2-US.

При використанні петличного мікрофона Rode SmartLav+ якість записів після обробки була найкращою. Це пояснюється ідеальним підбором характеристик – частотного діапазону мікрофона та його рівномірною чутливістю у всіх напрямках. До того ж, у даному мікрофоні конструкційно передбачено пониження рівня власних шумів, а також активна електроніка у вигляді JFET-перетворення. Трішки гірші показники мав стаціонарний мікрофон Plantronics Audio 300, що пояснюється його більш вузьким частотним діапазоном. Однак його перевагою перед мікрофоном типу Rode SmartLav+ є значно більша зручність у використанні при виконанні людиною певних дій чи професійних обов'язків. Тим не менше, за необхідності мікрофон Rode SmartLav+ можна закріпити і в безпосередній близькості до ротового отвору у якості гарнітури, тому цей недолік можна технічно нівелювати.

Для вибору найбільш адекватного виду мікрофону було проведено експертну оцінку можливості використання кожного з вищенаведених пристроїв з відповідним йому способом комутації. Зведена таблиця експертних оцінок різних видів мікрофонів подана у табл. 3.3.

Таблиця 3.3

## Зведена таблиця оцінок експертів для різних видів мікрофонів з урахуванням комутації

Експерти Вид мікрофона	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Сума рангів	Відхилення від середньої суми рангів	Квадрат відхилення від середньої суми рангів
Philips SBC MD 140	2,5	1	2	2	2	3	3	1	2	2	2	3	2	2,5	1	31	-14	196
Sven AP-525MV	5	4	5	5	5	5	5	4	4	5	5	5	5	5	5	72	27	729
Sennheiser ME 2-US	4	5	3	3	3,5	4	1	3	3	3	3	2	3	2,5	3	46	1	1
Rode SmartLav+	1	2	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	4	21	-24	576
Plantronics Audio 300	2,5	3	4	4	3,5	2	4	5	5	4	4	4	4	4	2	55	10	100
Сума	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	225	0	1602

За отриманими експертними оцінками було розраховано значення коефіцієнту конкордації та критерію  $\chi^2_{m-1}$  за формулами (2.19-2.21). Значення коефіцієнту конкордації для експертних оцінок видів мікрофонів склало 0,7192, що свідчить про високий ступінь узгодженості експертних оцінок. Розрахункове значення критерію  $\chi^2_{m-1}$  склало 42,297, а для рівня значимості  $\alpha = 0,05$  та 4 ступенів свободи табличне значення даного коефіцієнту складає 9,488. З урахуванням того, що розрахункове значення даного критерію перевищує табличне, можна стверджувати, що експертні оцінки видів мікрофонів є статистично значимими.

З огляду на експертні рангові оцінки для подальшого дослідження акустичні записи виконувались за допомогою петличного мікрофона Rode SmartLav+, закріпленого у безпосередній близькості до ротового отвору диктора (рис. 3.4).

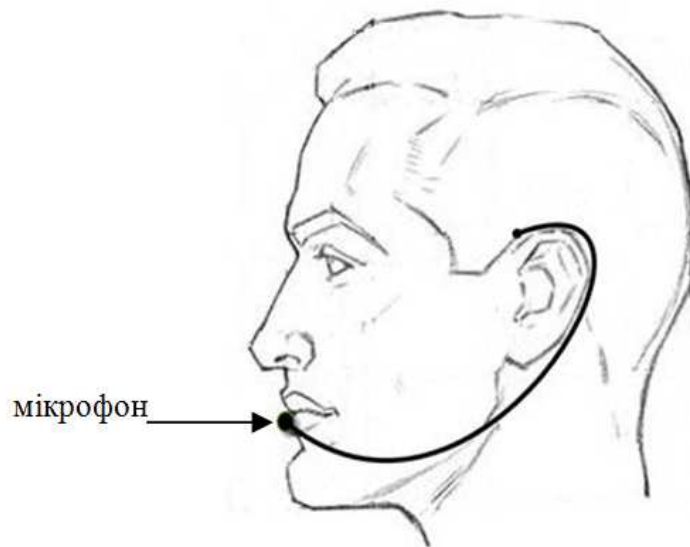


Рисунок 3.4 – Схематичне зображення положення мікрофона при виконанні акустичного запису голосу диктора

Отримані акустичні записи зберігалися у форматі \*.wav (частота дискретизації 22050 Гц). Подальша обробка акустичного матеріалу здійснюється на основі ряду стандартних процедур та методів, описаних далі.

### 3.3. Розробка методів параметризації голосового сигналу

3.3.1. Використання методу локальних максимумів для задачі виділення вокалізованих ділянок.

На основі розглянутих методів сегментації, які вже наявні на сьогоднішній день, розроблено метод сегментації, який базується на так званих локальних максимумах спектру сигналу.

Весь сигнал розбивається на послідовність вікон, які потім зміщуються по сигналу з кроком у половину ширини вікна. При ручній сегментації реальних записів голосових сигналів різних дикторів було визначено, що тривалість вокалізованих ділянок може змінюватись у межах від 0,05 до 0,25 сек [75]. Тому для подальшого дослідження було обрано вікно шириною 0,05 сек. З урахуванням того, що при дослідженні використовувались акустичні записи у форматі \*.wav з частотою дискретизації 22050 Гц, таке вікно містить у собі 1100 відліків, а зміщуватиметься на 550 відліків.

Для виділеного вікна визначається спектр за допомогою швидкого перетворення Фур'є без накладання яких-небудь вікон. За структурою спектри вокалізованих ділянок, ділянок, що містять приголосні чи шуми, та пауз суттєво відрізняються (додаток В). Величина амплітуди спектру вокалізованої ділянки значно більша, ніж аналогічні показники у приголосних звуках. Структура спектрів шуму та паузи суттєво відрізняється від спектру вокалізованої ділянки і їх амплітудні показники також істотно менші.

Саме цю особливість пропонується використати для визначення локалізації голосової ділянки в потоці мови. У якості критерію наявності у межах обраного вікна вокалізованої ділянки пропонується обрати максимальне значення амплітуди спектру виділеного вікна сигналу. У порівнянні з методами, які передбачають визначення енергії спектру вікна чи енергії, що сконцентрована у певних частотних діапазонах, даний метод має меншу обчислювальну складність, і, відповідно менший час на виконання, що досить актуально у сучасних системах аналізу інформації у режимі реального часу.

Приклад візуалізації акустичного запису фрази, яка використовувалась при дослідженні, подано на рис. 3.5.

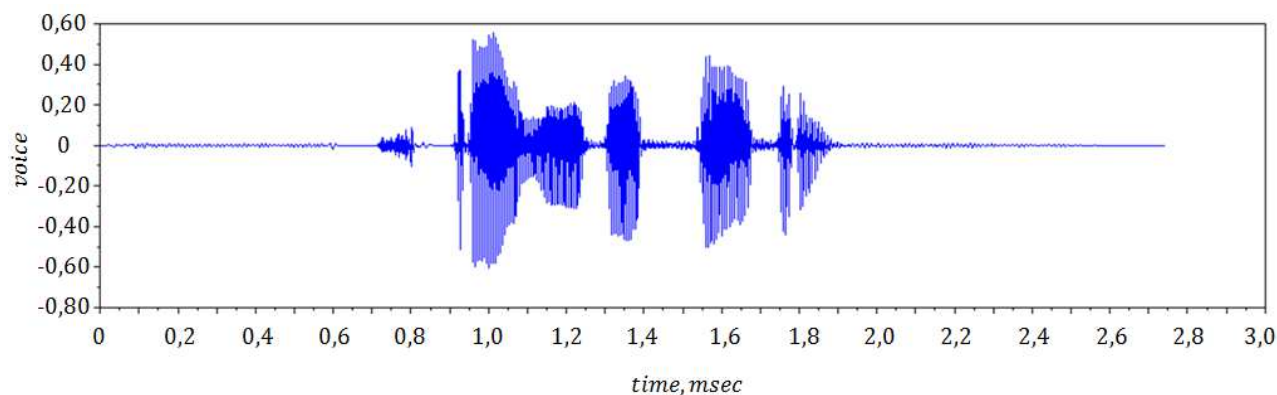


Рисунок 3.5 – Типовий розподіл амплітуди у часі при вимові фрази «Справи ідуть добре»

Акустичні дані переводились у цифрову форму – формувалась масив даних амплітуди сигналу *voice*. При перекритті даного масиву вікнами обраної тривалості у 1100 відліків з подальшим зміщенням на половину ширини вікна визначалось максимальне значення спектру сигналу у межах даного вікна. Як наслідок утворюється масив максимальних значень спектру *peaks* (рис. 3.6).

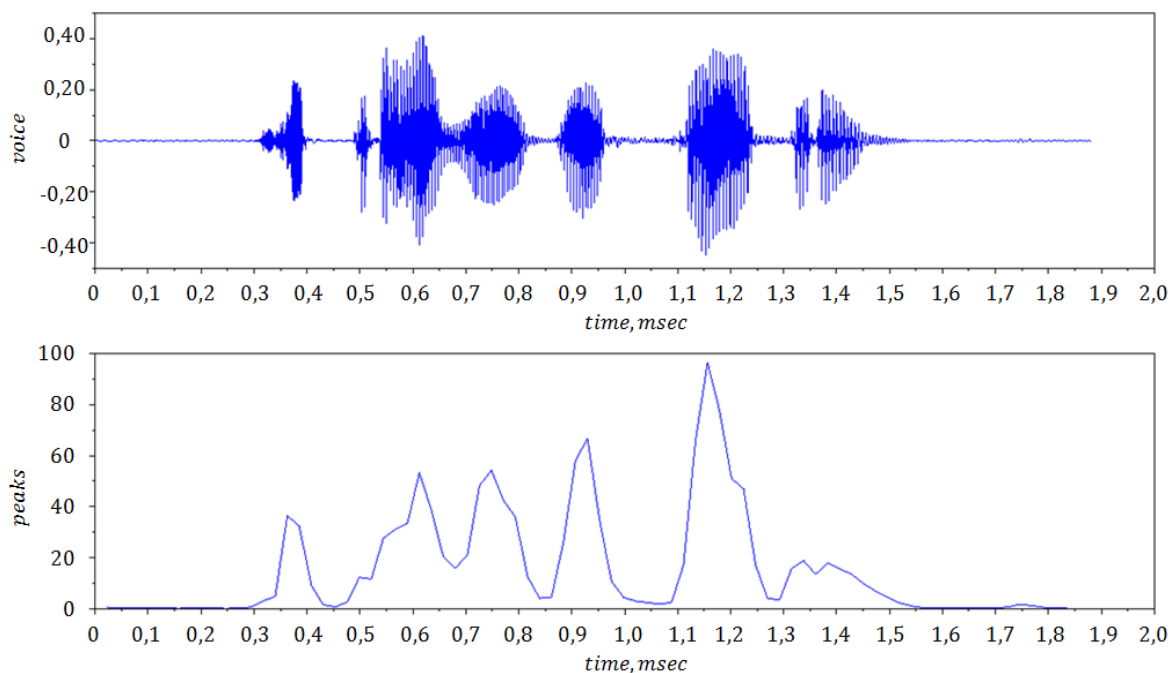


Рисунок 3.6 – Приклад розподілу максимумів спектру голосового сигналу

Як видно з рис. 3.6, кожній вокалізованій ділянці відповідає значне збільшення максимального значення спектру. Тим не менше, аналогічний сплеск може спостерігатись і для приголосних («сп» на початку фрази). З іншого боку, деякі голосні звуки можуть мати спектри близькі до приголосних (комбінація «ре» наприкінці фрази). Тобто виникає необхідність розрізнення вокалізованих ділянок голосового запису та ділянок, що містять приголосні чи шум за критерієм максимуму спектру (рис. 3.7).

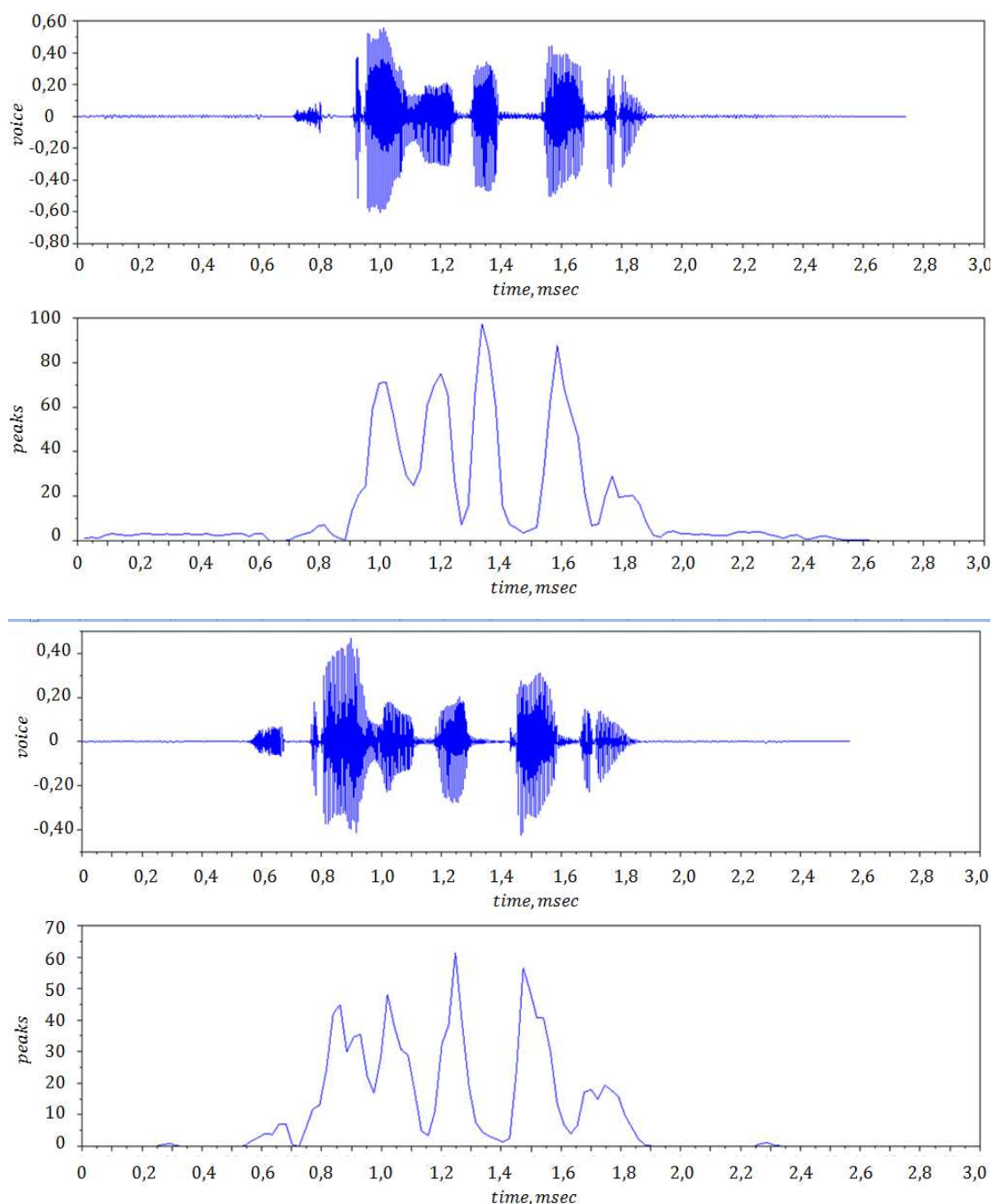


Рисунок 3.7 – Масив **peaks**, отриманий для різних дикторів

Як видно з рис. 3.7, за показником максимуму спектру голосові сигнали не лише різних дикторів, а й одного і того ж диктора, можуть істотно відрізнятись. Тому встановлення меж, що визначають наявність чи відсутність вокалізованої ділянки у певній локалізації, на деякому чітко встановленому рівні вихідного масиву не є доцільним.

Визначення меж відсічення ділянок на рівні певного відсотка від максимального значення масиву *peaks* дало задовільні результати для ряду дикторів, однак не може використовуватись для загальної бази. Причиною цього є те, що досить часто значення максимуму тієї вокалізованої ділянки, на яку диктор робить логічний наголос у фразі, перевищують значення інших піків у декілька разів (рис. 3.8). Це унеможливує визначення усіх інших вокалізованих ділянок, окрім тієї, що відповідає цьому логічному наголосу.

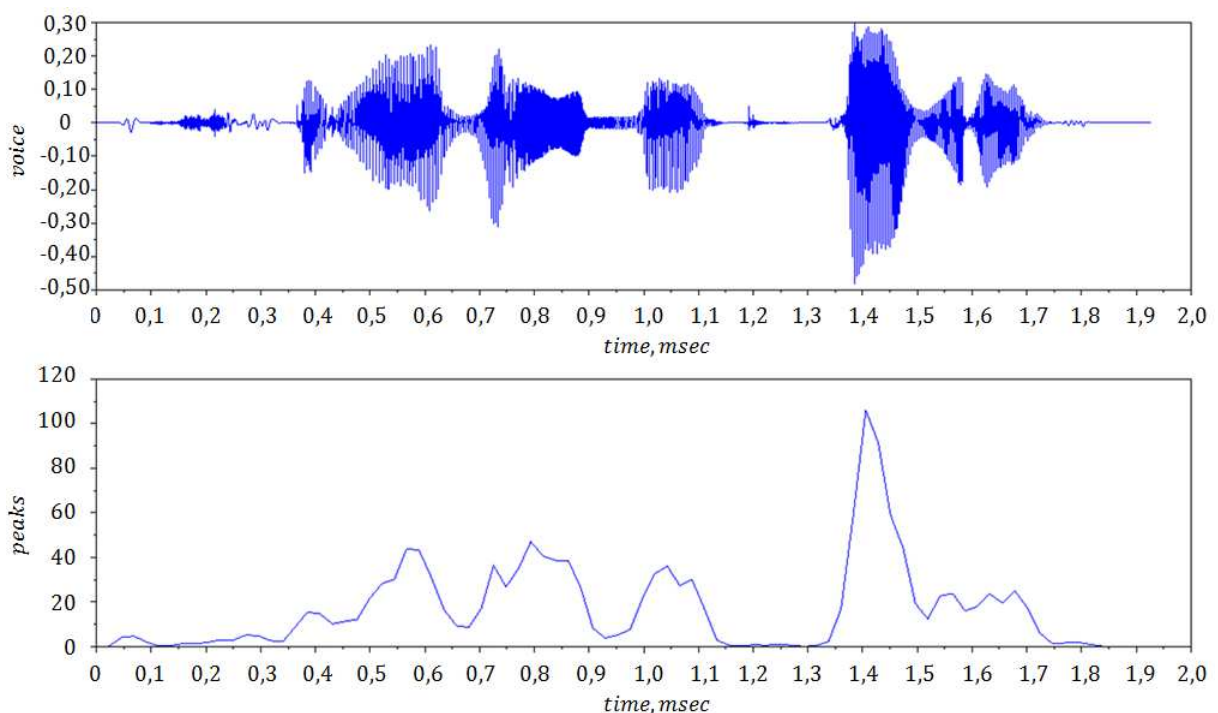


Рисунок 3.8 – Масив *peaks* за наявності логічного наголосу у фразі

З метою усунення усіх зазначених недоліків було вирішено визначати не межі вокалізованої ділянки, а її основну локалізацію – за локальним максимумом масиву *peaks*. Для зменшення впливу логічних наголосів було



проведено процедуру логарифмування отриманого масиву. Приклад результату даної процедури подано на рис. 3.9-3.11.

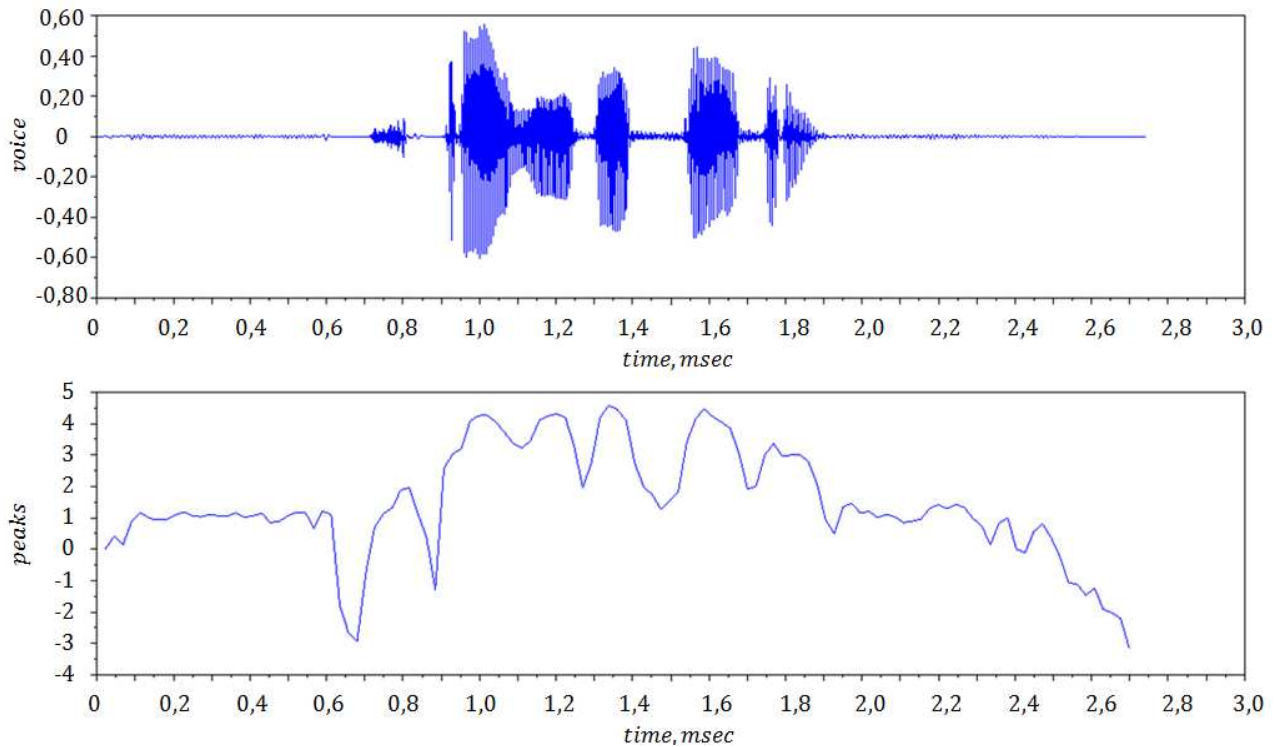


Рисунок 3.9 – Логарифмування масиву *peaks*

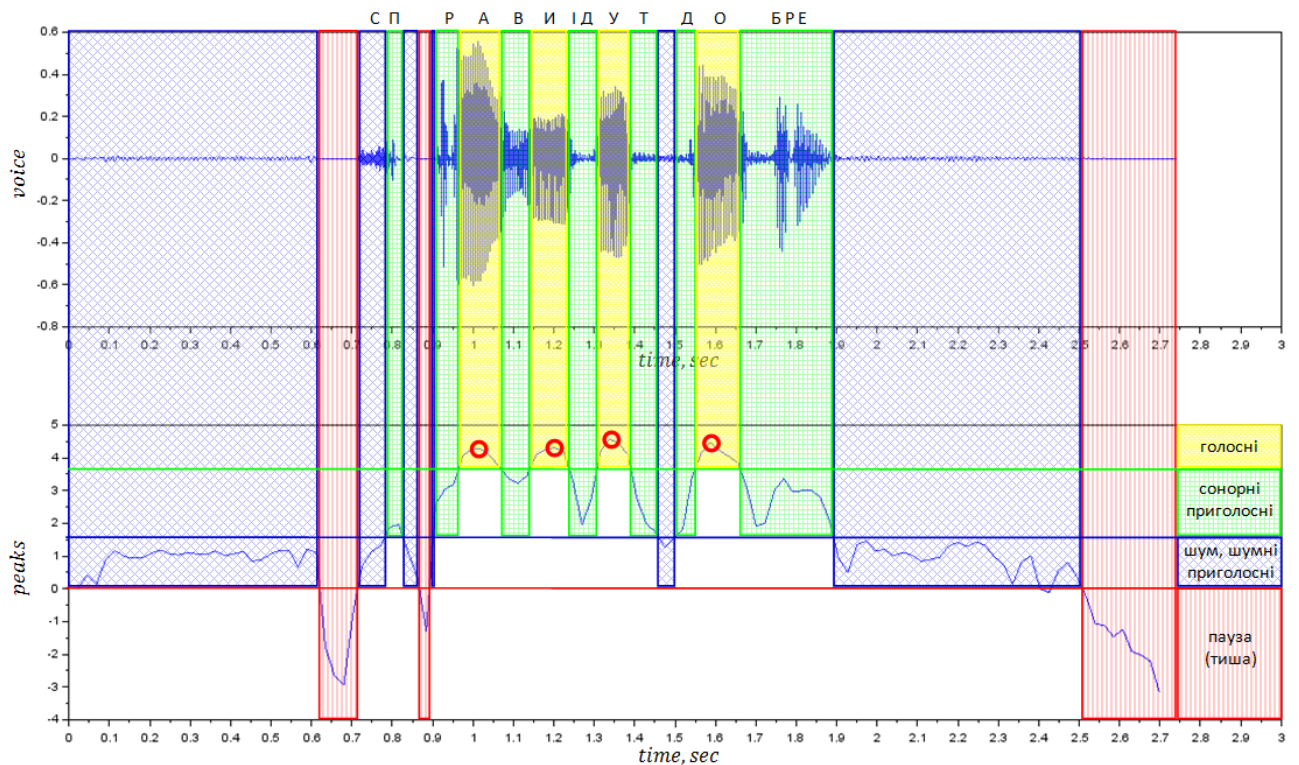


Рисунок 3.10 – Аналіз логарифмованого масиву *peaks* (диктор чоловічої статі)

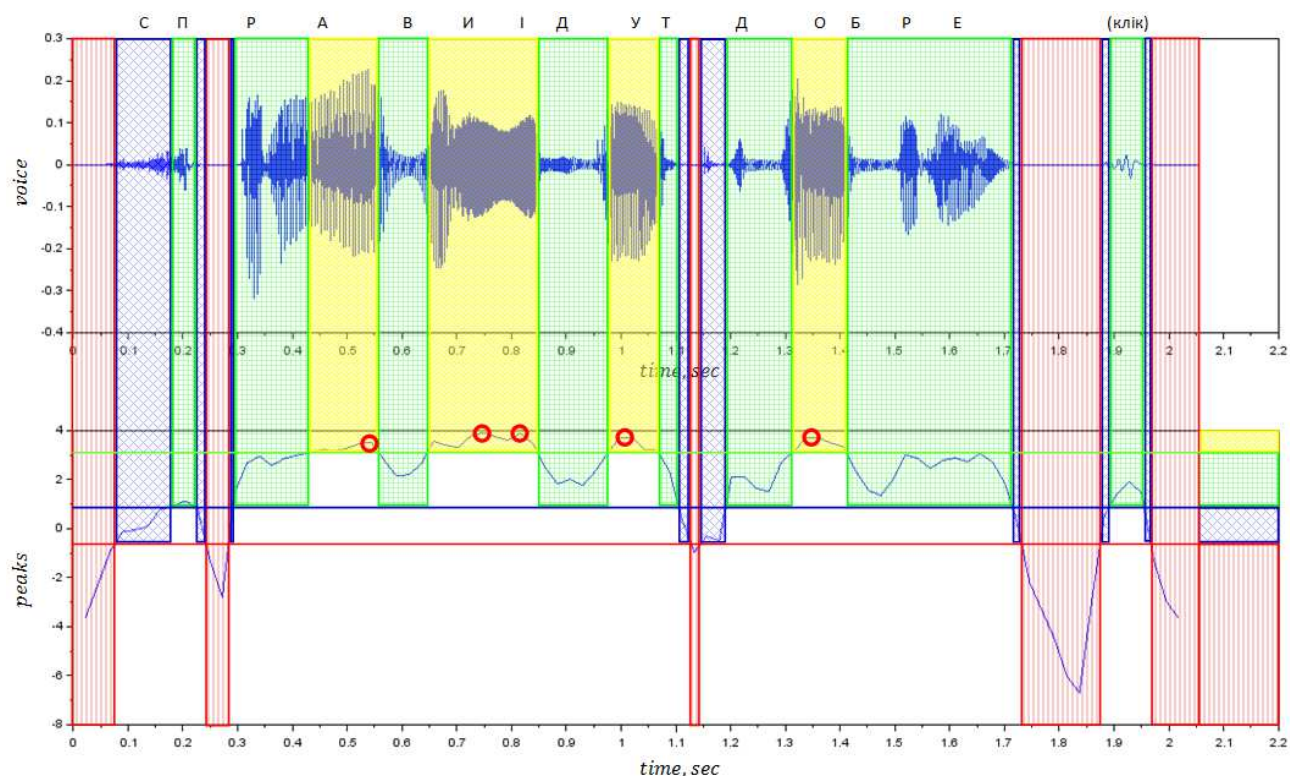


Рисунок 3.11 – Аналіз логарифмованого масиву *peaks* (диктора жіночої статі)

Аналіз отриманого масиву (рис. 3.9–3.11) показує, що від’ємні значення логарифмованого масиву *peaks* відповідають ділянкам абсолютної тиші. Таким чином, даний масив може успішно використовуватись для визначення та видалення таких ділянок з голосового сигналу. Малі значення логарифмованого масиву *peaks* відповідають ділянкам шуму чи шумним приголосним. Якщо існує необхідність видалення із сигналу таких ділянок – використання отриманого масиву також буде доцільним.

З огляду на рис. 3.9–3.11, можна стверджувати, що рівні відсічення, які відповідають тиші, шуму, сонорним приголосним та голосним для різних дикторів також різняться. Тому встановлення певного чітко визначеного рівня з метою визначення меж вокалізованих ділянок не є доцільним. До того ж при встановленні такого рівня можливі помилкові відсічення частин вокалізованих ділянок поблизу перехідних процесів, або включення цих процесів у вокалізовані ділянки.

Тим не менше, знаходження локальних максимумів однозначно визначає

наявність вокалізованої ділянки навколо даної точки. Однак при їх визначенні виникає ряд складнощів.

По-перше, локальним максимумом вважається точка, у якій значення масиву *peaks* більше, ніж у попередній та наступній точках даного масиву. І таких точок у даному масиві буде дуже велика кількість, однак не усі вони відносяться до ділянок, що містять голосні звуки. Локальні максимуми із досить великим значенням спостерігаються не лише для голосних звуків, а й для сонорних приголосних. Тому виникає потреба визначення конкретних максимумів, що відповідають саме голосним звукам.

По-друге, досить часто в межах вимови одного голосного звуку можуть спостерігатися декілька локальних максимумів (рис. 3.12). Найчастіше це не означає, що поряд знаходяться дві вокалізовані ділянки, а лише те, що в межах одного звуку наявні логічні наголоси чи певні зміни артикуляції. У той же час дві окремі вокалізовані ділянки можуть бути розмежовані доволі коротким інтервалом приголосних звуків, шумів чи тиші. Тому виникає необхідність визначення критерію розмежування, чи відносяться два сусідні локальні максимуми до одного голосного звуку, чи до двох різних.

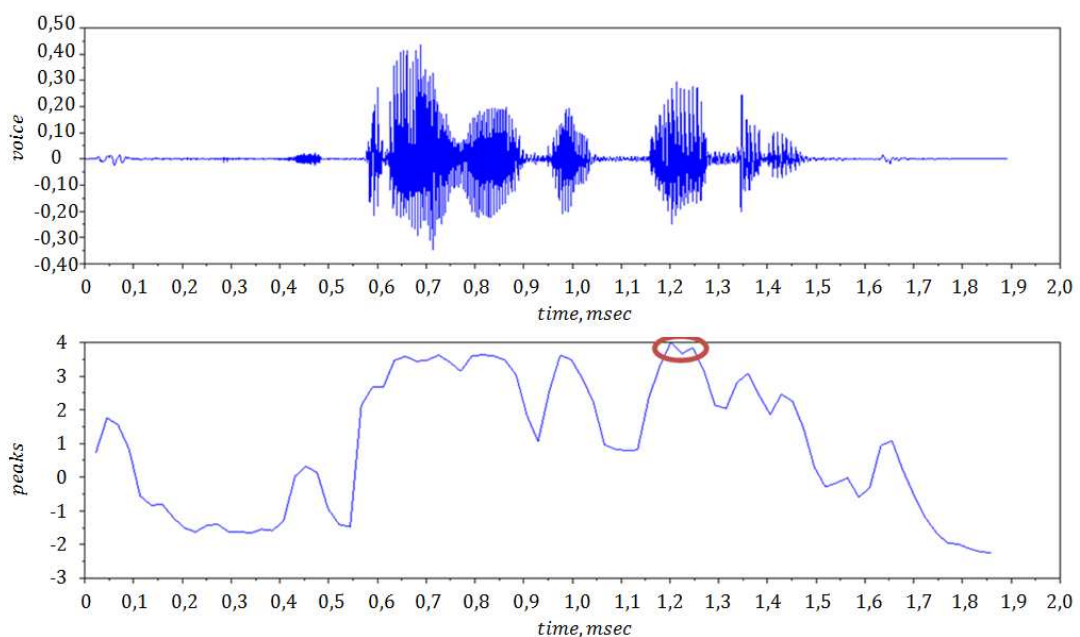


Рисунок 3.12 – Приклад утворення сусідніх локальних максимумів у межах однієї вокалізованої ділянки

Для розв'язання першої проблеми експериментально було встановлено часткову межу відсічення, нижче якої локальні максимуми вважаються такими, що не належать ділянкам, що містять голосні звуки. Для більшості акустичних матеріалів, що використовувались у дослідженні ця межа становила **80%** від максимального значення масиву *peaks*.

Для розмежування двох сусідніх локальних максимумів визначалась відстань між ними у часовому просторі, або ж кількість точок між ними у масиві *peaks*. З урахуванням того, що локальні максимуми найчастіше виникають на початку чи в середині ділянки, що відповідає голосному звуку, і рідше – наприкінці цієї ділянки, то відстань між двома сусідніми максимумами повинна бути не меншою ніж середня тривалість вокалізованої ділянки. За даними літературних джерел ця тривалість складає 0,05-0,25 с, що відповідає кількості відліків від 1 до 5 [75].

Тобто, якщо відстань між двома сусідніми локальними максимумами не перевищує 5 точок масиву *peaks*, вважається, що вони належать до однієї вокалізованої ділянки.

3.3.2. Метод подвійного кепстрального уточнення та його використання при фреймуванні сигналу.

Наступний етап виділення вокалізованої ділянки передбачає амплітудне уточнення її меж поблизу визначених локалізацій. Для більш структурованого виділення вокалізованої ділянки, будемо вважати, що вона складається з цілого числа одиничних коливань з квазіперіодичною структурою, які називаються фреймами. Кожен фрейм починається у момент переходу сигналу з від'ємної області до додатної з подальшим максимальним збільшенням амплітуди. Закінчується фрейм у момент переходу з від'ємної області у додатну, якому передують значне падіння сигналу у від'ємній області (рис. 3.13). Для визначення початкового та кінцевого моменту вокалізованої ділянки голосовий сигнал поблизу кожного локального максимуму, визначеного за описаним вище методом, накривався прямокутним вікном.

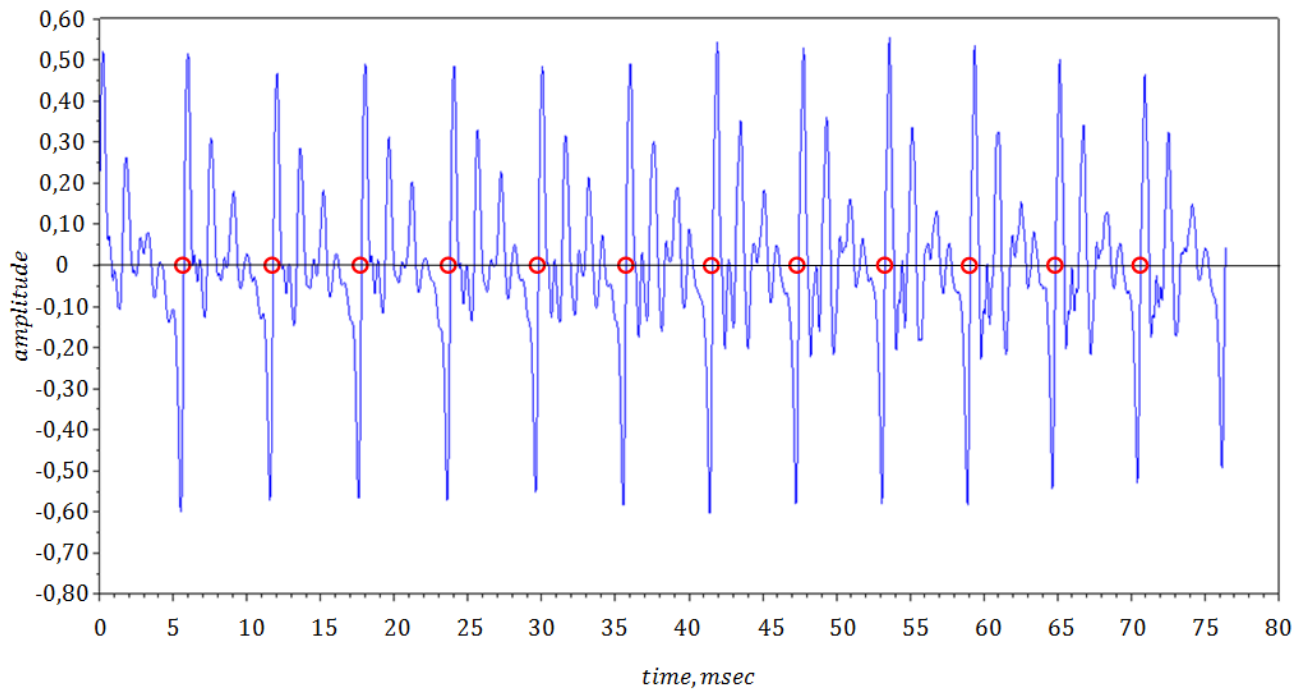


Рисунок 3.13 – Початкові та кінцеві моменти фреймів голосового сигналу

Ширина даного вікна оцінювалась за статистичними даними про тривалість голосних звуків та експериментальними даними, отриманими авторами у ході дослідження. На основі цих даних ширина вікна була обрана на рівні трішки меншому за 0,1 с, що за частоти дискретизації 22050 Гц відповідає 2200 відлікам сигналу. Вікно накладалось на голосовий сигнал таким чином, що локальний максимум спектру знаходився по центру вікна, тобто припускається, що локальний максимум знаходиться приблизно в центрі вокалізованої ділянки, яка рівномірно розподілена навколо нього (рис. 3.14).

Далі визначається початковий момент вокалізованої ділянки. Для цього від початку кожного виділеного вікна сигналу визначається перший момент, в який значення сигналу перевищить певну встановлену межу. Межа ця встановлюється на рівні певного відсотка від максимального значення сигналу у межах виділеного вікна. Знаходження цього моменту означає, що було знайдено момент першого сплеску. Від нього необхідно повернутися до моменту переходу з від'ємної області до додатної. Знайдений момент переходу і буде вважатися початковим для вокалізованої ділянки.



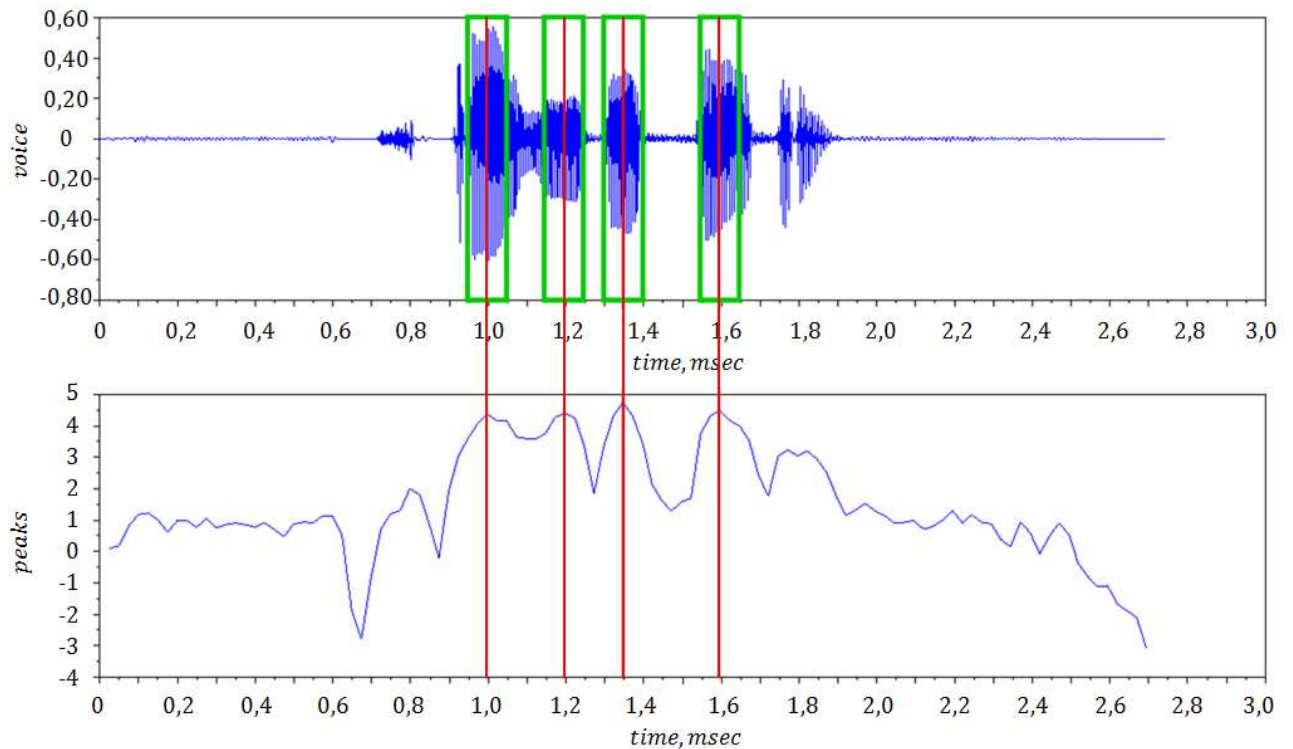


Рисунок 3.14 – Перекриття вокалізованих ділянок прямокутними вікнами

Аналогічним чином визначається кінцевий момент вокалізованої ділянки голосового сигналу. Різниця полягає лише у тому, що в цьому випадку пошук точки переходу сигналу починається з моменту кінця виділеного вікна у зворотному напрямі. У той момент, коли значення сигналу перевищить встановлену межу, вважається, що було знайдено момент останнього сплеску. Від нього необхідно продовжити рух по сигналу у зворотному напрямі до моменту переходу сигналу з від'ємної області до додатної, який буде вважатись кінцевим для вокалізованої ділянки (рис. 3.15).

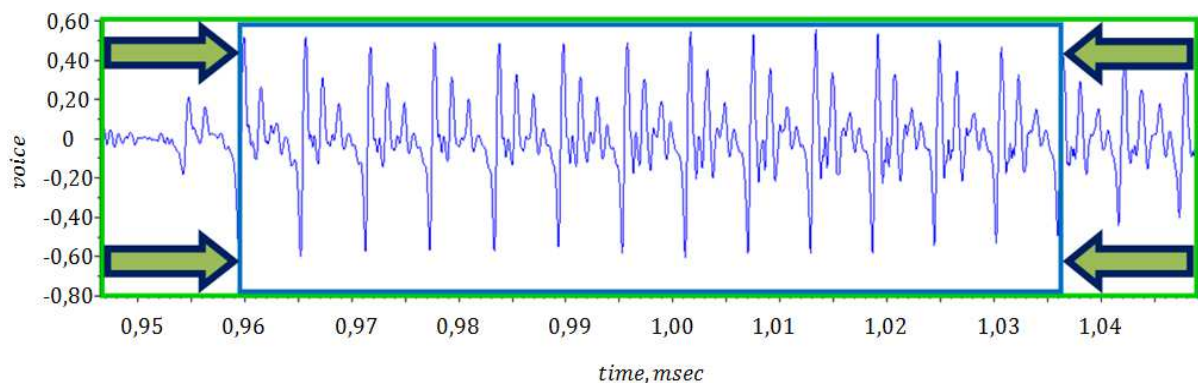


Рисунок 3.15 – Виділення вокалізованої ділянки голосового сигналу

На основі експериментальних досліджень на матеріалах акустичних записів було встановлено, що відсічення перехідних процесів на рівні 0,9 від максимального значення амплітуди вокалізованої ділянки дозволяє з найменшими втратами інформаційно важливих частин голосового сигналу виділити вокалізовані ділянки.

У результаті роботи цієї частини методу з голосового сигналу виділяється вокалізована ділянка, що відповідає певному голосному звуку мови. Ця ділянка складається з цілого числа фреймів. Однак, як показує практика, в залежності від вимови звуку, параметри цих фреймів можуть відрізнятись та навіть змінюватись в динаміці вимови.

Для вокалізованих ділянок голосового сигналу планується виділяти такі характеристики як тривалість вокалізованої ділянки; інтервали між ділянками в загальному потоці мови; кількість фреймів у вокалізованій ділянці; динаміка основної частоти кожного фрейму; динаміка структури розподілу амплітуди фрейму у часі. Якщо перші дві характеристики автоматично визначаються одразу у результаті виділення вокалізованої ділянки з акустичного запису, то для визначення практично усіх подальших характеристик необхідно виконати адекватне розбиття даної ділянки на окремі фрейми.

Основна проблема при розв'язанні задачі фреймування сигналу у першу чергу пов'язана з тим, що голосовий сигнал не можна вважати суто гармонійним. Якщо сигнал є гармонійним, це означає, що він складається з ряду накладених синусоїдальних сигналів, частоти яких кратні одна одній. Амплітуда та спектр такого сигналу мають наступний вигляд (рис. 3.16).

Однак, якщо аналізувати спектри вокалізованих ділянок голосового сигналу (рис. 3.17), явно видно, що вони не є гармонійними. Тому стандартний спектральний аналіз не дасть у даному випадку бажаних результатів.

Наприклад, вокалізована ділянка, наведена на рис. 3.17., має основну частоту близько 170 Гц. І не дивлячись на те, що у її спектрі на даній частоті наявний пік, він є дуже малим у порівнянні з іншими частотами, і за ним визначити основну частоту голосового сигналу практично неможливо.

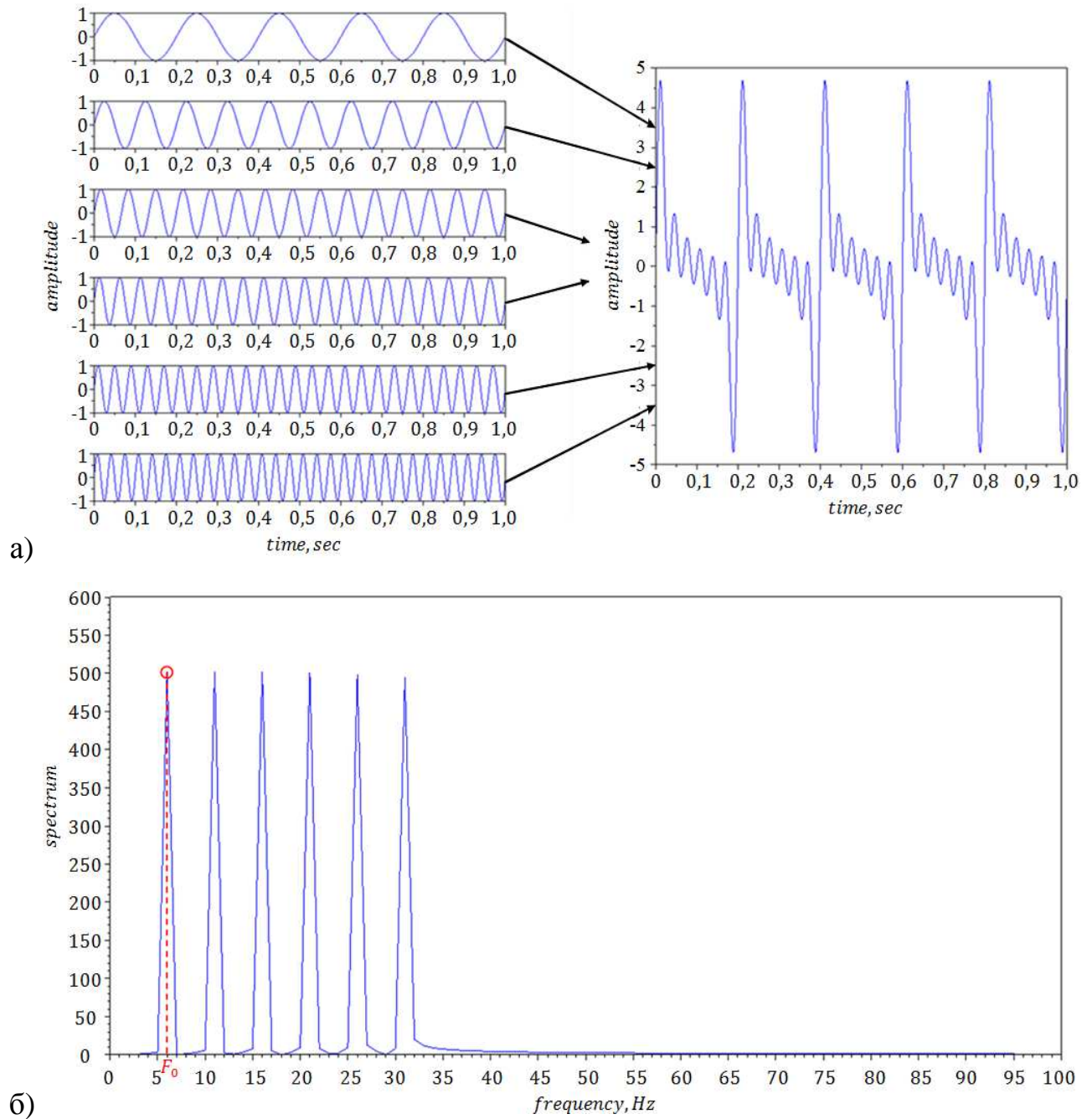


Рисунок 3.16 – Приклад кривої амплітуди (а) та спектру (б) гармонійного сигналу

З урахуванням вищевказаного, пропонується розроблений метод визначення динаміки основної частоти вокалізованої ділянки голосового сигналу. Первинне значення основної частоти для виділеної ділянки визначається за допомогою кепстрального перетворення (формула 1.11), яке виконується для усієї виділеної вокалізованої ділянки.



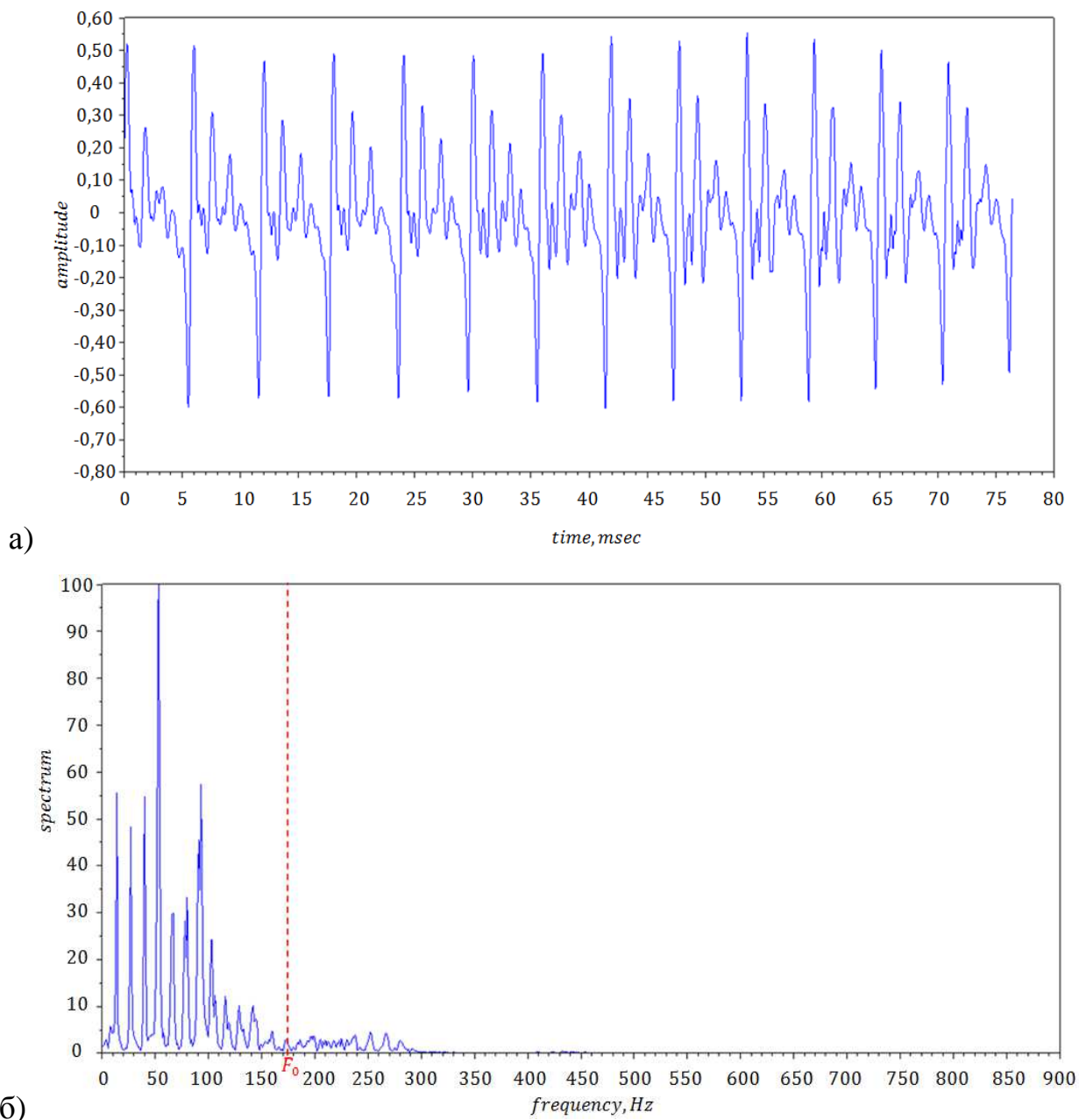


Рисунок 3.17 – Вокалізована ділянка голосу (а) та її спектр (б)

Нехай дані про амплітуду виділеної вокалізованої ділянки сигналу містяться у масиві даних *amplitude*. Спочатку формується спектр ділянки *spectrum* шляхом виконання швидкого перетворення Фур'є. Потім отриманий спектр логарифмується з метою згладжування і за рахунок зворотного перетворення Фур'є отримується кепстр вокалізованої ділянки *kepstrum*. Кепстр сигналу є функцією від часу. Відповідно, локальний максимум кепстру сигналу у межах, що відповідають голосовому діапазону людини, визначатиме первинне значення тривалості фреймів (рис. 3.18).



Рисунок 3.18 – Визначення первинної тривалості фреймів голосового сигналу

Однак, якщо просто розбити вокалізовану ділянку на фрейми однакової тривалості, визначеної таким чином, результати такого розбиття часто можуть бути досить не точними (рис. 3.19). Це пов'язано з тим, що кожен фрейм голосового сигналу має свою власну тривалість, яка може відрізнятись від первинного значення. Найчастіше ці відхилення є незначними (близько 5%), хоча можливі і істотні відхилення. Тому тривалість кожного фрейму  $i$ , відповідно, його основну частоту необхідно уточнювати.

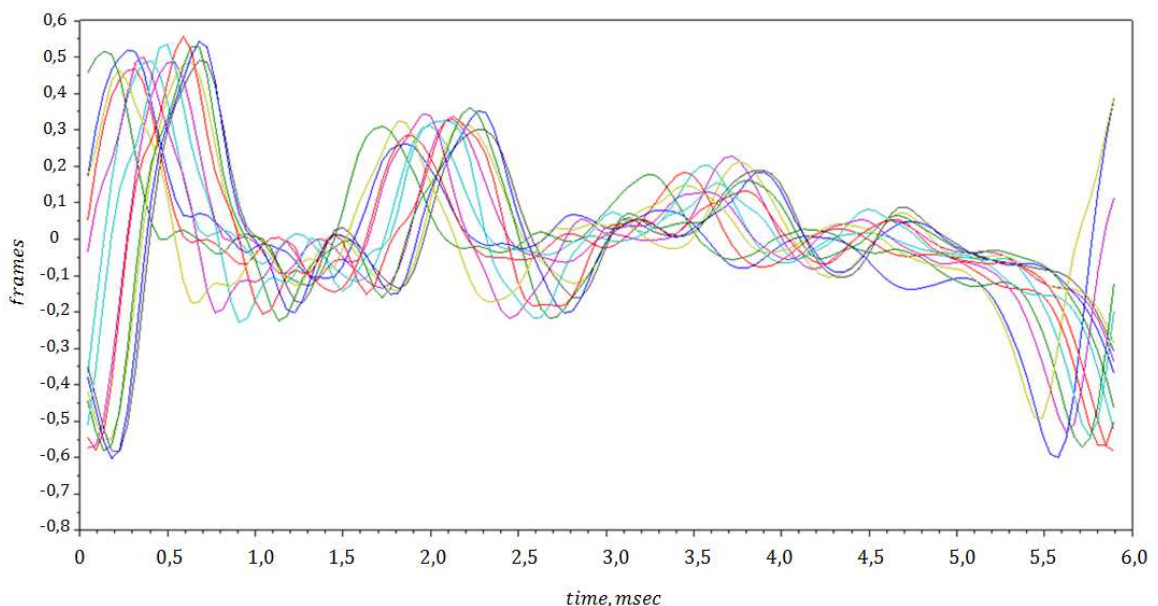


Рисунок 3.19 – Розбиття сигналу на фрейми однакової первинної тривалості

З цією метою розроблено метод подвійного кепстрального уточнення. На початку вокалізованої ділянки виділяється частина сигналу тривалістю, яка була визначена за допомогою першого кепстрального перетворення – первинний фрейм. Далі для цієї ділянки виконується повторне кепстральне перетворення. Кепстр такої ділянки у більшості випадків має типовий вигляд, поданий на рис. 3.20.

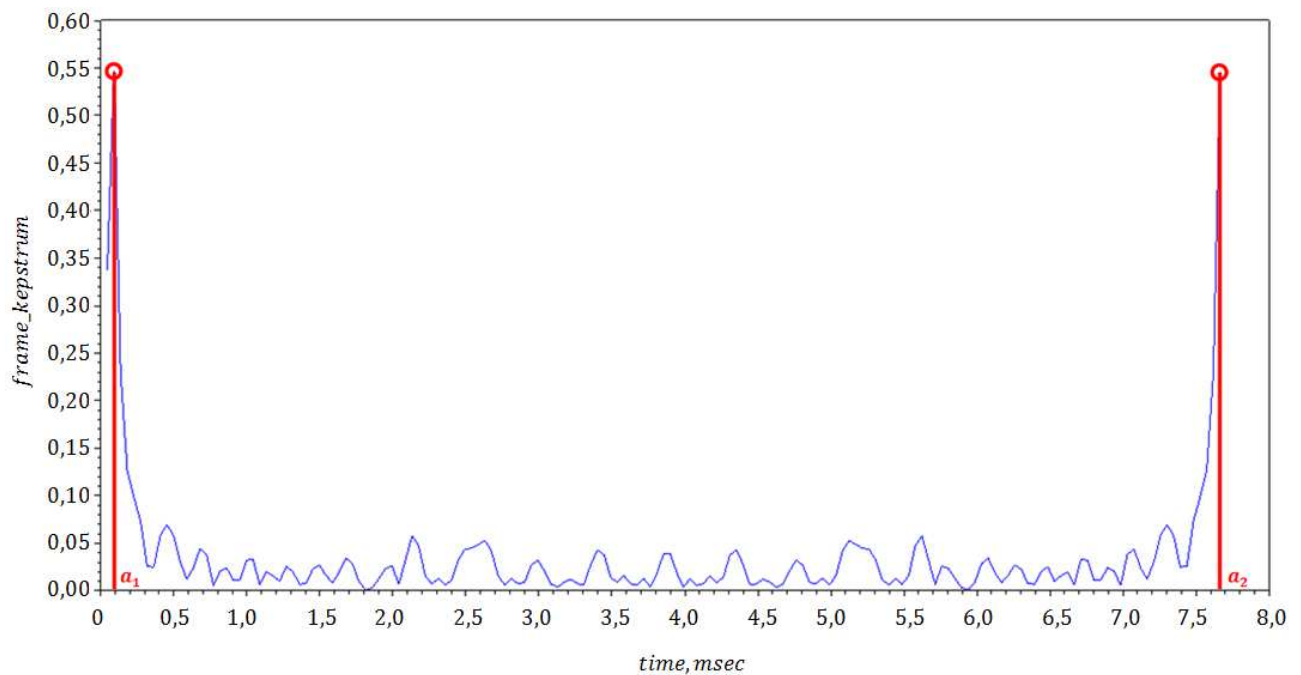


Рисунок 3.20 – Кепстр первинного фрейму голосового сигналу

Як видно з рис. 3.20 даний кепстр має два основних максимуми – на початку та в кінці. Саме локалізація максимумів кепстру первинного фрейму значно уточнює реальну тривалість фрейму. Визначивши локалізацію цих максимумів  $a1$  та  $a2$  їх необхідно порівняти з тривалістю первинного фрейму. На основі експериментальних досліджень було визначено, що якщо сума локалізацій  $a1 + a2$  менша, ніж тривалість первинного фрейму, то тривалість вторинного фрейму відповідатиме тривалості первинного. Якщо ж сума локалізацій  $a1 + a2$  перевищує тривалість первинного фрейму, це означає, що за тривалість вторинного фрейму відповідає друга локалізація максимуму кепстру первинного фрейму  $a2$ .

У результаті цього уточнення формується набір вторинних фреймів, тривалість яких уже відрізняється між собою. Тим не менше, як показує практика, навіть такого уточнення не достатньо для адекватного розділення вокалізованої ділянки на окремі фрейми (рис. 3.21).

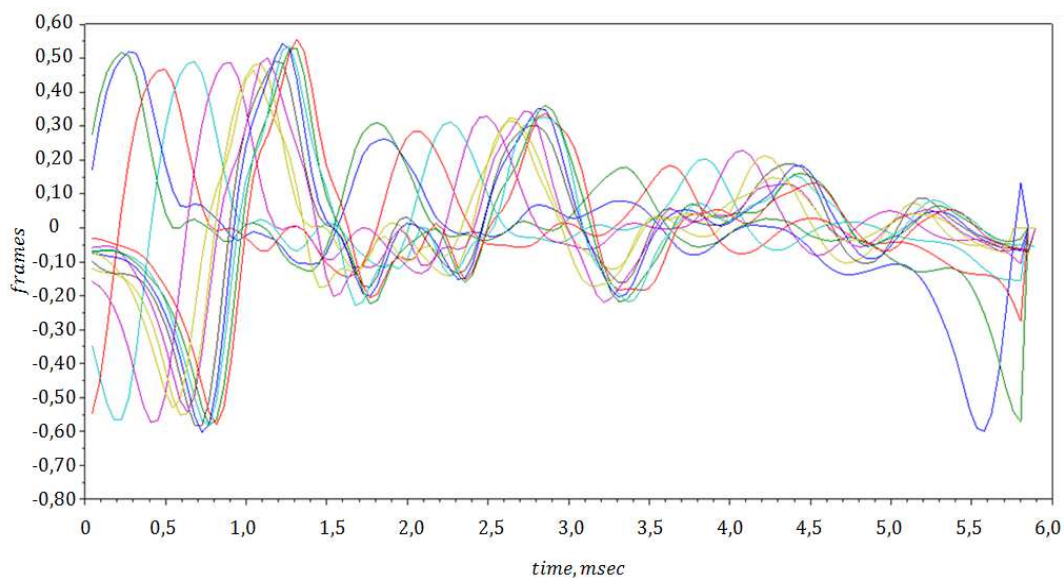


Рисунок 3.21 – Вторинні фрейми після другого кепстрального уточнення

Для усунення цього недоліку використовується повторне амплітудне уточнення. Воно полягає у розгляді трьох можливих варіантів (рис. 3.22):

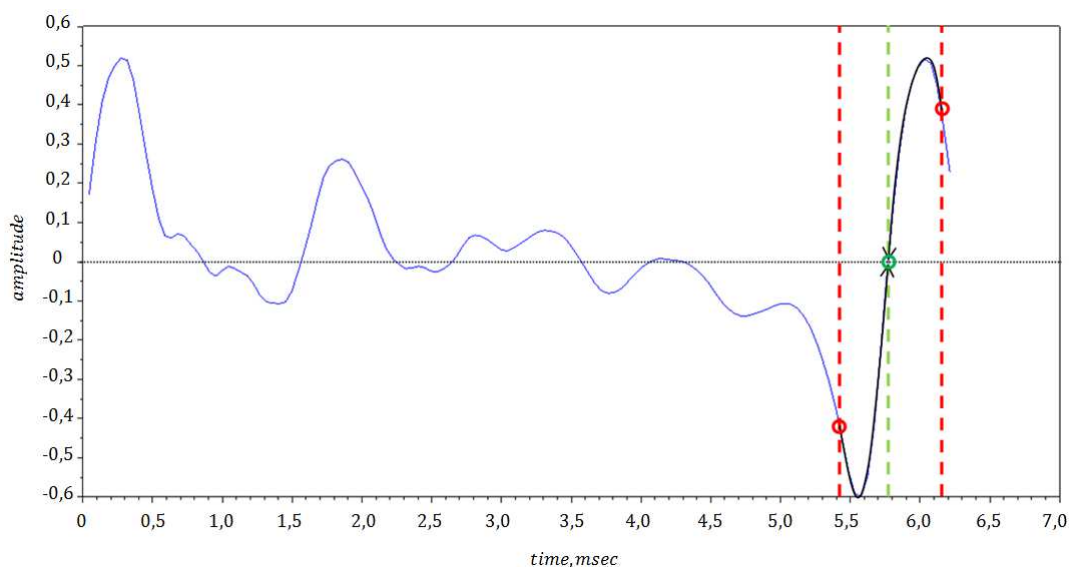


Рисунок 3.22 – Повторне уточнення тривалості фрейму на основі амплітуди сигналу

– тривалість реального фрейму співпадає з тривалістю первинного. У такому випадку не потрібно робити жодних уточнень;

– тривалість реального фрейму менша, ніж тривалість первинного. Приймаючи відхилення тривалості фреймів незначними, можна стверджувати, що у такому випадку ми потрапляємо у зону падіння сигналу у від’ємну область. Для уточнення тривалості фрейму необхідно почати рух по сигналу уперед до моменту переходу сигналу з від’ємної у додатну область. При досягненні цього моменту вважається, що було досягнуто кінця фрейму;

– тривалість реального фрейму більша, ніж тривалість первинного. Приймаючи відхилення тривалості фреймів незначними, можна стверджувати, що у такому випадку ми потрапляємо у зону сплеску, з якої починається наступний фрейм. Для уточнення тривалості фрейму необхідно почати рух по сигналу назад до моменту переходу сигналу з додатної області у від’ємну. При досягненні цього моменту вважається, що було досягнуто кінця фрейму.

Саме за рахунок поєднання усіх описаних процедур у часовому, частотному просторах та кепстральних уточнень, в єдиний метод обробки голосового сигналу людини, отримується правильний поділ сигналу на фрейми. У результаті утворюється так звана хмара фреймів голосового сигналу (рис. 3.23).

Як бачимо, усі фрейми вокалізованої ділянки мають дуже подібну структуру, однак мають незначні відхилення у тривалості. Це пов’язано з динамічністю голосового сигналу та особливостями артикуляції того чи іншого диктора. Даний набір фреймів уже є достатнім для визначення основної частоти голосу людини та її динаміки у межах однієї вокалізованої ділянки.

Якщо тривалість кожного  $i$ -го фрейму позначити як  $\Delta t_i$ , то основна частота кожного окремого фрейму буде визначатись як

$$frequency(i) = 1/\Delta t_i \quad (3.1)$$

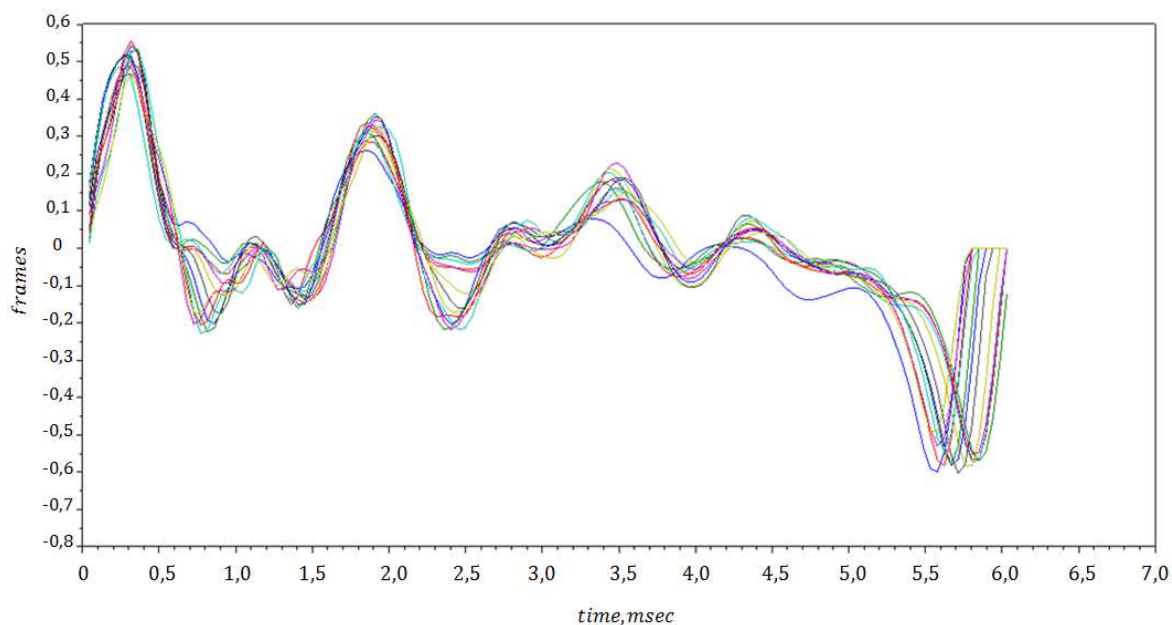


Рисунок 3.23 – Приклад хмари фреймів вокалізованої ділянки голосового сигналу людини

Таким чином, динаміка основної частоти голосу людини у межах вокалізованих ділянок може відслідковуватись як пофреймово, так і у часовому просторі (рис. 3.24).

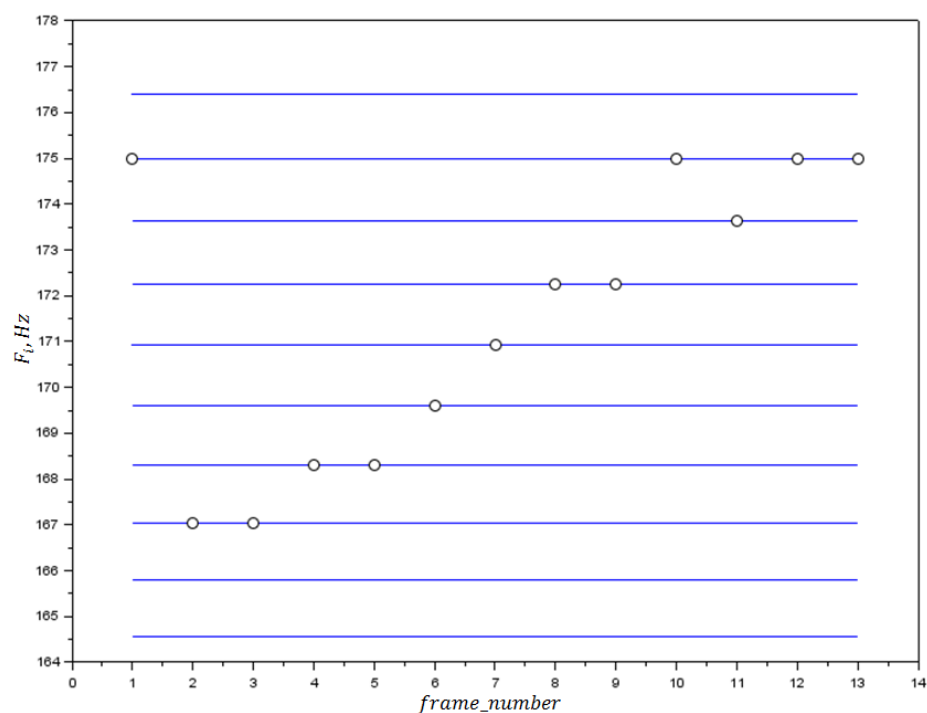


Рисунок 3.24 – Динаміка основної частоти голосу людини у межах однієї вокалізованої ділянки

Як бачимо, значення основної частоти голосу можуть мати лише певні чітко визначені значення, які відображені на рис. 3.24 горизонтальними лініями. Це обумовлено тим, що кожен фрейм містить ціле число відліків сигналу, і при чітко визначеній частоті дискретизації ці фрейми можуть мати лише відповідні значення тривалості та частоти. Ці значення можна уточнювати, проводячи процедури інтерполяції між останнім відліком попереднього фрейму і першим відліком наступного, однак у такій точності немає потреби. До того ж дані процедури потребуватимуть додаткових обчислювальних можливостей.

Діапазон частоти між максимальним та мінімальним значенням у вокалізованій ділянці може сягати до 5% від середнього значення для цієї ділянки. Тим не менше, навіть таке відхилення може спричинювати істотні зміщення у структурі розподілу амплітуди сигналу у часовому просторі.

З метою нівелювання цього фактору та більш детального розгляду структури фреймів пропонується проводити масштабування отриманого набору фреймів до чітко визначеної тривалості. При цьому буде змінюватись амплітуда сигналу, кількість його відліків, спектральні характеристики тощо. Однак процедура масштабування виконуватиметься лише з метою розгляду структури амплітуди, тобто локалізації піків та нулів сигналу. Тому вплив даної процедури на інші характеристики сигналу немає сенсу враховувати, оскільки усі вони визначаються для не масштабованих фреймів.

Дослідження реальних голосових сигналів як чоловічого, так і жіночого голосу показали, що основна частота голосу має доволі широкий діапазон значень. При цьому реальні діапазони частот голосових сигналів відрізняються від вказаних у літературних джерелах. У роботі [108] цей діапазон складає від 97 до 195 Гц для чоловіків та від 195 до 320 Гц для жінок. Однак у ході дослідження було виявлено, що обидва ці діапазони необхідно розширювати (табл. 3.4).



Таблиця 3.4.

**Діапазони основної частоти голосових сигналів людини**

Стать	Основна частота голосу			
	Мінімальне значення		Максимальне значення	
	Частота, Гц	Кількість відліків	Частота, Гц	Кількість відліків
Чоловіча	40	551	220	100
Жіноча	90	245	320	69

Кількість відліків у даній таблиці визначалась для частоти дискретизації 22050 Гц.

Виявлено, що частота голосу, менша, ніж 90 Гц зустрічається у чоловіків переважно підліткового та середнього віку. Це може бути пов'язано з фізіологічними процесами у гортані та статевими особливостями її будови. Тому, будемо надалі вважати, що переважна більшість фреймів голосових сигналів людини містить не більше 250 відліків при частоті дискретизації 22050 Гц. Саме цю кількість відліків було обрано у якості тривалості для масштабованого сигналу.

Збільшення кількості відліків масштабованого сигналу спричинюватиме те, що доведеться визначати амплітуду сигналу між уже наявними відліками. Ця процедура виконується за допомогою лінійної інтерполяції між відліками, з припущення того, що характер зміни сигналу між будь-якими двома відліками можна розглядати як лінійний.

Масштабний коефіцієнт для амплітуди сигналів визначається як відношення тривалості реального сигналу до масштабованого. З урахуванням того, що усі процедури виконуються з сигналами у дискретній формі, то цей коефіцієнт можна визначити, як відношення кількості відліків реального сигналу до кількості відліків масштабованого сигналу, яка дорівнює 250:

$$scale = N/250 \quad (3.2)$$



Далі отриманий масштабний коефіцієнт множиться на лічильник відліків масштабованого сигналу  $i = 1, 2 \dots 250$ . Якщо отримане значення потрапляє між деякими двома відліками фрейму вихідного сигналу з індексами  $j$  та  $j + 1$ , то амплітуда масштабованого відліку визначається за формулою:

$$\text{signal}(i) = \text{amplitude}(j) + \frac{\text{amplitude}(j+1) - \text{amplitude}(j)}{\text{scale}} * (i * \text{scale} - j), \quad (3.3)$$

де **signal** – масив значень амплітуд масштабованого фрейму;

**amplitude** – масив значень амплітуд вихідного фрейму;

**scale** – масштабний коефіцієнт, розрахований за формулою (3.2).

У результаті виконання процедури масштабування усі фрейми вокалізованої ділянки набувають однакової тривалості, що дозволяє адекватно аналізувати структуру розподілу їх амплітуди у часовому просторі (рис. 3.25).

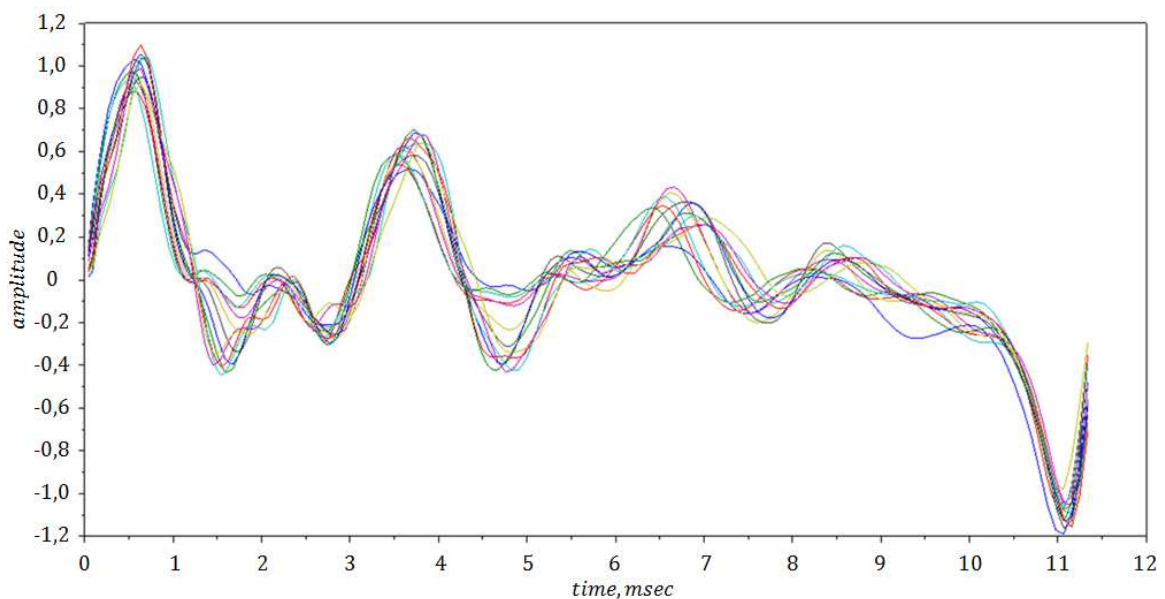


Рисунок 3.25 – Хмара масштабованих фреймів вокалізованої ділянки

Якщо тривалість вокалізованої ділянки, інтервали між ділянками в загальному потоці мови, кількість фреймів у вокалізованій ділянці та динаміка основної частоти кожного фрейму є числовими характеристиками і можуть бути порівняні між собою, то остання характеристика голосового сигналу, яка

розглядається, а саме, динаміка структури розподілу амплітуди фрейму у часі, у вихідному вигляді не має чіткого числового значення, що може використовуватись для порівняння.

По суті, кожен окремо взятий фрейм, є локальним елементом загального сигналу. Тому для порівняння амплітудних характеристик окремих фреймів можна використовувати стандартні методи порівняння амплітуди сигналів. Один із цих методів, а саме визначення коефіцієнту середньоквадратичного відхилення структури сигналу, запропоновано у [41] і використовувався у дослідженнях [13, 14] і був описаний у розділі 1.

### 3.4. Розробка персоніфікованого голосового еталону

#### 3.4.1. Визначення мінімального обсягу вибірки дикторів.

При експериментальній перевірці розроблених методів використовувались акустичні матеріали вибірки дикторів із генеральної сукупності кількістю 92900 осіб. Задаючись рівнем значимості  $\alpha = 0,05$  за формулою (2.15) визначимо мінімальну кількість осіб у базовій вибірці:

$$n = \frac{N}{1 + \alpha^2 N} = \frac{92900}{1 + 0,05^2 * 92900} = 398 \approx 400 \text{ осіб} \quad (3.4)$$

Тому при експериментальних дослідженнях обсяг базової вибірки складав 400 осіб.

3.4.2. Дослідження можливості використання різних парольних фраз для задачі аутентифікації.

У залежності від того, яку парольну фразу використовує диктор для аутентифікації, може змінюватись конфігурація локалізованих структур, утворених у просторі характеристик голосового сигналу. У першу чергу це пов'язано з кількістю голосних звуків у фразі, яка визначатиме кількість

локалізованих структур. Також це пов'язано з комбінаціями приголосних та голосних звуків у словах. Річ у тому, що в залежності від характеру супроводжуючих звуків, один і той же голосний звук може мати різне звучання з точки зору сприйняття, та різну структуру з точки зору аналізу. Тому вибір парольної фрази є важливим моментом у формуванні персоніфікованого голосового еталону людини.

У ході дослідження використовувались фрази з різною кількістю вокалізованих ділянок для ряду дикторів різної статі, віку та антропометрії. Дані дикторів наведено у додатку Г. Приклади конфігурації локалізованих структур різних дикторів, які отримувались при цьому, подано у додатку Д. Усі вокалізовані ділянки виділялись з акустичного запису голосового сигналу за допомогою розробленого методу локальних максимумів з подальшим подвійним кепстральним уточненням.

З огляду на отримані локалізовані структури, слід зауважити, що у якості парольної фрази однозначно не може бути використана фраза, у якій наявні виключно вокалізовані ділянки (додаток Д). Причиною цього є те, що за відсутності приголосних звуків більшість дикторів вимовляла фразу «АУ», протягуючи звуки. Як наслідок у просторі характеристик вони формували ланцюгові структури, що відповідало значній динаміці як частоти, так і структури сигналу. Аналогічна ситуація спостерігається і у випадку, коли дві вокалізовані ділянки динамічно переходять одна в одну, як у слові «Океан» (додаток Д).

Також недоцільним є використання фраз, у яких повторюються однакові чи близькі голосні звуки. Якщо у випадку слова «Молоко» усі три звуки «О» формували різні за локалізацією структури, то у випадку фрази «Усе добре» комбінація двох звуків «Е» з різних частин фрази мала однакову локалізацію (додаток Д). При подальшому аналізі вони можуть бути сприйняті як єдиний звук, що не є дійсним.

Наявність йотованих звуків на початку фрази також формує динамічну ланцюгову структуру, наприклад у слові «Їжачок» (додаток Д). У той же час,

наявність йотованого голосного в середині слова, як у «Поїхали» (додаток Д) спричинює появу динамічної ланцюгової структури не в самому йотованому звуці, а у голосному, який йому передує. Тому наявність йотованого голосного у паролній фразі також не є доцільною.

При застосуванні описаних процедур досить часто серед виділених локальних максимумів отримуються ті, що відповідають сонорним приголосним, які людина вимовляла з особливою чіткістю, зокрема «Р» на початку фрази «Справи ідуть добре». Усі ж інші локальні максимуми для даної фрази відповідають голосним звукам. Відмінність спостерігається лише для звуків «І» та «Е» для більшості дикторів. У випадку звуку «І» це може пояснюватись тим, що досить часто при вимові паролній фрази людина вимовляє більш зручний сонорний приголосний «Й» на місті звуку «І» – отримується фраза «Справи Йдуть добре». У такому випадку для отриманого логарифмованого масиву ця ділянка сприймається як сонорний приголосний.

Аналогічна ситуація спостерігається для голосного звуку «Е», який слідує після двох сонорних приголосних – «Б» та «Р». Ще однією причиною низьких показників останнього звуку може бути те, що наприкінці фрази звук починає переходити у фазу гасіння, голосовий апарат використовує на нього менше енергії і він за характеристиками стає подібним до перехідного процесу. З іншого боку, якщо людина спеціально робить логічний наголос на даному звуці, характеристики його максимуму будуть на рівні інших голосних звуків паролній фрази. При цьому у більшості випадків голосний «Е» наприкінці фрази не потрапляв до виділених вокалізованих ділянок. Усі ж інші вокалізовані ділянки, які відповідають голосним звукам «А», «И», «У» та «О» мають чіткі локальні максимуми. Вони формують у просторі характеристик компактні структури, які у більшості дикторів не мають ланцюгового характеру. З огляду на це для подальшого дослідження було прийнято рішення використовувати саме цю фразу.

У той же час для різних задач аутентифікації чи оцінювання функціонального стану людини цілком можливим є використання інших

парольних фраз чи звукових комбінацій, які як наявні у даному дослідженні, так і відсутні у ньому.

Таким чином, за допомогою розробленого методу локальних максимумів з парольної фрази «Справи ідуть добре» виділяється чотири вокалізовані ділянки, які відповідають голосним звукам «А», «И», «У» та «О». Однак для формування зручних для аналізу локалізованих структур у просторі характеристик «частота-структура» необхідно підібрати такий базовий сигнал, який дозволить чітко розмежувати отримані чотири структури у просторі.

3.4.3. Використання різних базових сигналів для побудови локалізованих структур голосового сигналу.

У ході дослідження було розглянуто можливість використання ряду імпульсних та гармонійних сигналів з метою побудови локалізованих структур голосового сигналу (додаток Е). Амплітуда кожного сигналу приводилась до максимального рівня аналізованого сигналу.

Для кожного аналізованого звуку у межах однієї фрази використовувався один і той же базовий сигнал. За рахунок цього у просторі основних характеристик голосового сигналу «частота-структура» формувались локалізовані структури різної форми та локалізації (додаток Е). Кожна структура містила 200 точок, для формування кожної такої структури використовувалось від 5 до 20 записів парольної фрази. Середньозважені центри кожної локалізованої структури, яка утворюється у просторі характеристик, у послідовності їх вимови вказано стрілками.

У якості критерію для вибору базового сигналу було обрано довжину траєкторії голосу у даному просторі характеристик. Під довжиною траєкторії голосу у даному випадку розуміється сума відстаней між двома послідовними локалізованими структурами у порядку їх вимови (А-И-У-О). При цьому значення частоти сигналу ділилось на 100, щоб звести вплив кожної характеристики до одного рівня. Результати розрахунків даного критерію для кожного з аналізованих базових сигналів подано у додатку Ж.

На основі аналізу даної характеристики очевидним є той факт, що неможливо визначити один єдиний базовий сигнал, який би підійшов для усіх людей. Причиною цього є в першу чергу саме індивідуальність людського голосу. Якщо для розмежування локалізованих структур однієї людини є одинична гармоніка, то для іншої людини це цілком може досягатись з використанням подвійного імпульсу чи взагалі іншого сигналу, який не було розглянуто у ході даного дослідження.

У той же час за допомогою програмних засобів цілком можливо реалізувати гнучке використання базового сигналу. При формуванні бази даних акустичних записів кожної людини система розраховуватиме довжину траєкторії голосу у просторі характеристик для кожного із використовуваних базових сигналів. На основі розрахункового значення даного критерію система для кожного диктора підбиратиме необхідний базовий сигнал і використовуватиме саме його для формування локалізованих структур.

Тим самим у розробленій системі аутентифікації особистості індивідуальні особливості її голосового сигналу фактично враховуватимуться двічі – при підборі необхідного базового сигналу, і при визначенні критерію аутентифікації особистості сигналу, який буде розглянуто далі. При цьому варто зауважити, що виключно необхідний базовий сигнал не можна вважати критерієм аутентифікації, оскільки цілком можливо, що для двох чи більше різних людей доцільно буде використовувати один і той же базовий сигнал.

### **3.5. Розробка алгоритму роботи системи та його програмна реалізація**

Узагальнена блок схема алгоритму роботи програмної частини системи подана на рис. 3.26. Блок-схему алгоритму аутентифікації диктора, в основу якого покладений аналіз його голосового сигналу, подано у додатку 3.

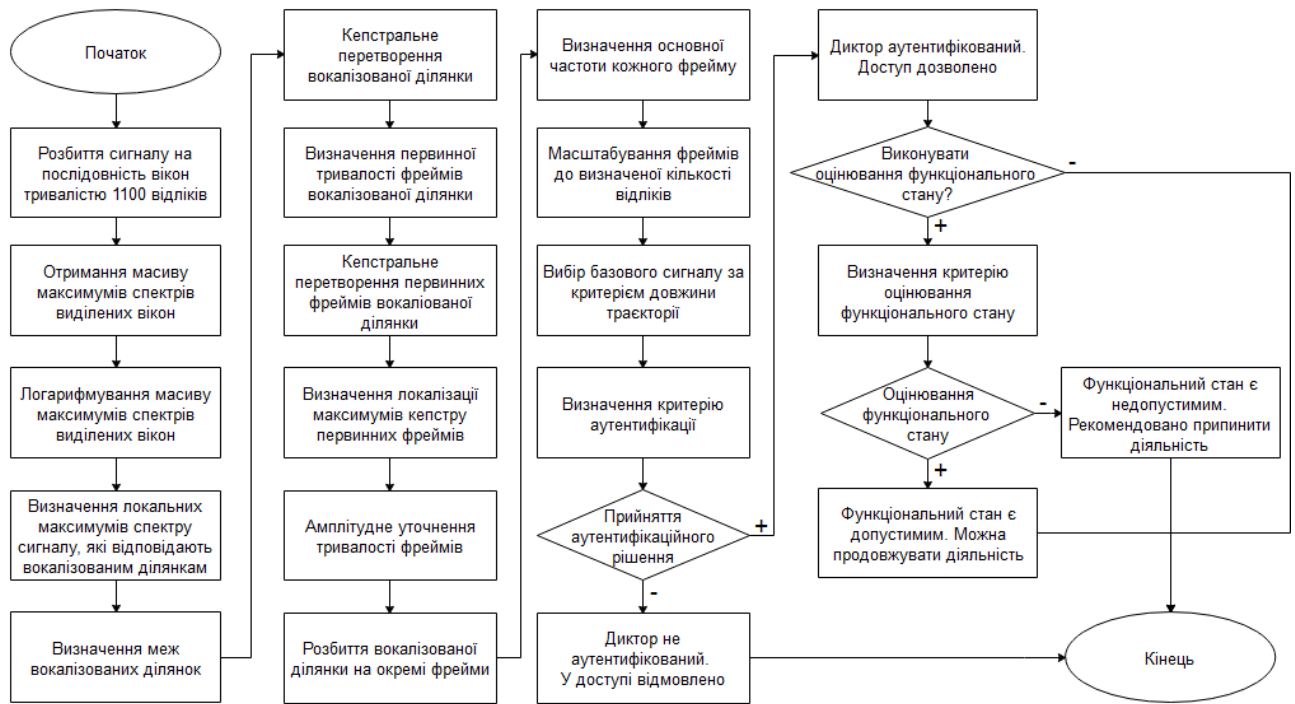


Рисунок 3.26 – Узагальнена блок схема алгоритму роботи програмної частини системи

Розглянемо даний алгоритм більш детально.

1. На першому етапі відбувається зчитування запису голосу з акустичного файлу та визначення максимумів спектру у кожному вікні сигналу з їх подальшим логарифмуванням. Результатом є масив даних амплітуди сигналу та логарифмований масив максимумів спектру вікон сигналу.

2. На другому етапі відбувається пошук локальних максимумів сигналу. Результатом є масив положень локальних максимумів у сигналі.

3. На третьому етапі проводиться виділення меж кожної вокалізованої ділянки. У межах кожної ділянки виконується процедура фреймування та визначення динаміки основної частоти голосу. У результаті утворюється масив основних частот та амплітуд кожного фрейму для кожної вокалізованої ділянки.

4. На четвертому етапі виконується масштабування отриманих фреймів вокалізованих ділянок та визначення коефіцієнту середнього квадратичного відхилення структури сигналу для кожного фрейму на основі ряду базових

сигналів. Визначається базовий сигнал для даного диктору. Результатом є масив коефіцієнтів середнього квадратичного відхилення для кожного фрейму досліджуваного голосового сигналу.

5. На п'ятому етапі будуються локалізовані структури голосового сигналу у просторі характеристик і визначаються їх параметри – середньозважені центри та середньоквадратичні відхилення по вісях.

6. На шостому етапі в залежності від режиму роботи системи визначаються критерії аутентифікації чи оцінювання функціонального стану водія шляхом порівняння отриманих хмарних структур з базовими для даного водія. Визначається, чи знаходяться середньозважені центри досліджуваних локалізованих структур у межах відповідних базових структур, а також критерій *square\_fit*, описаний у розділі 2.

7. На заключному сьомому етапі система в залежності від режиму роботи приймає аутентифікаційне рішення або рішення про допустимість функціонального стану водія. У випадку, якщо середньозважені центри усіх локалізованих структур знаходяться у межах відповідних базових структур, а критерій *square\_fit* не перевищує встановленого порогового значення, диктор вважається таким, що пройшов аутентифікації, або ж його функціональний стан оцінюється як допустимий. Якщо хоча б один із визначених критеріїв не відповідає вищевказаним вимогам система приймає рішення про відмову в аутентифікації чи про недопустимість водія до виконання процесійних обов'язків у зв'язку з відхиленнями у його функціональному стані.

У випадку, якщо диктор успішно пройшов аутентифікацію, або його функціональний стан визначено як допустимий, дані про локалізовані структури досліджуваних вокалізованих ділянок дозаписуються до відповідних даних бази. Тим самим реалізується додатковий етап роботи системи, який передбачає уточнення та самонавчання розроблених алгоритмів.

Загалом для даної системи було розроблено проект медико-технічних вимог, поданий у додатку К.



### Висновки до розділу 3

1. Розроблено структуру системи аутентифікації та оцінювання функціонального стану водія за аналізом голосового сигналу в режимі реального часу. Система включає у себе апаратну частину, яка являє собою блок сенсорів та перетворювачів голосового сигналу, та програмну частину, яка передбачає обробку акустичних матеріалів на основі авторських методів.

2. Проведено дослідження можливості використання різних видів мікрофонів з метою запису та первинної обробки голосового сигналу. Після проведення експертного оцінювання за коефіцієнтом конкордації було обрано петличний мікрофон RODE SmartLav +.

3. Дискретизація та оцифрування аналогового сигналу, записаного за допомогою мікрофону виконується за допомогою аудіо-інтерфейсу Focusrite Scarlett Solo 2nd Gen. Оскільки даний аудіо-інтерфейс не передбачений для безпосереднього підключення мікрофонів з роз'ємами 3.5mm, яким оснащений мікрофон Rode SmartLav +, для комутації між ними використовується стерео аудіо-адаптер ALLOYSEED XLR 3 pin to 3.5mm. З метою повноцінної комутації мікрофона та аудіо-інтерфейсу використовується модуль живлення для мікрофона Micronic BM1-TRS, який підключається до мікрофона.

4. Проведено аналіз можливості використання для задач оцінювання функціонального стану та аутентифікації різних паролівних фраз з різним набором вокалізованих ділянок. Визначено, що найбільш доцільною є фраза з 3-4 ділянками різної природи, які не межують одна з одною безпосередньо і не знаходяться в кінці фрази, тобто не спотворюються явищами гасіння. Для даного дослідження обрано фразу «Справи ідуть добре», з якої виділяються 4 вокалізовані ділянки, які відповідають звукам «А», «И», «У» та «О». У той же час цілком можливим є використання інших паролівних фраз та комбінацій.

5. Запропоновано метод локальних максимумів для задачі виділення вокалізованих ділянок з потоку мови. Даний метод базується на експериментальних дослідженнях реальних голосових сигналів людей та

виділенні ряду особливостей, які вирізняють вокалізовані ділянки з потоку мови. Визначено порогові значення локальних максимумів спектру сигналу, які вирізняють вокалізовану ділянку, а також амплітудні порогові значення, які обмежують дану ділянку від шумових ділянок акустичного запису голосу.

6. Показано, що вокалізовані ділянки голосового сигналу мають фреймову структуру та характеризуються певною динамікою основної частоти голосу. Для задачі фреймування вокалізованої ділянки розроблено метод подвійного кепстрального уточнення, який дозволяє точно розділяти вокалізовану ділянку на окремі фрейми та визначати основну частоту голосу в межах кожного фрейму з урахуванням динаміки даної характеристики.

7. З огляду на те, що аналіз голосових сигналів проводиться у часовому просторі, показано, що для визначення коефіцієнту середньоквадратичного відхилення структури сигналу необхідно проводити масштабування кожного фрейму до певної, чітко визначеної тривалості. Це створює умови для більш точного та простого порівняння фреймів вихідного сигналу з базовими.

8. З урахуванням того, що кожен з цих звуків формує у просторі характеристик локалізовані структури з доволі великими площами, існує ризик перекриття локалізованих структур різних вокалізованих ділянок. З метою усунення даного недоліку проведено дослідження з визначення виду базового сигналу. Визначено, що для різних дикторів доцільним є використання різних видів базових сигналів, тому у розробленій системі впроваджено можливість використання набору з декількох базових сигналів. Для кожного диктора вид базового сигналу визначається безпосередньо у процесі аналізу і частково використовується як додатковий, але не основний, критерій оцінювання функціонального стану та аутентифікації.

9. Програмна частина розробленої системи передбачає реалізацію авторських методів обробки голосового сигналу у вигляді скрипт-файлу 'Voice Analysis.sce' для пакету прикладних математичних програм SciLab 6.0.1.

*Результати експериментальних досліджень цього розділу наведено в таких публікаціях:*

1. О. Мешков, О. Новіков та С. Злепко, “Метод локальних максимумів для виділення вокалізованих ділянок голосового сигналу людини”, *Вісник Хмельницького національного технічного університету. Серія: Технічні науки*, №2 (259), с. 197–210, 2018.

2. [3] О. Мешков, “Запис та обробка первинного акустичного матеріалу для задачі аналізу голосового сигналу людини та виділення його основних характеристик”, *Наукові праці Чорноморського національного університету імені Петра Могили. Серія: Комп’ютерні технології*, т. 307, № 295, с. 76–81, 2017.

3. О. Мешков, О. Новіков та В. Новіков, *Аналіз голосових сигналів людини та аутентифікація особистості за голосом, Монографія*. – Херсон, Україна: вид-во ФОП Вишемирський В.С., 2018.

4. . Мешков, “Розробка персоніфікованого голосового еталону для задачі аутентифікації особистості”, *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І.Вернадського. Серія: Технічні науки*, т. 29 (68), Ч. 2, № 5, с.11–17, 2018.

5. О. Мешков та Д. Барановський, “Розробка та дослідження критерію аутентифікації особистості на основі локалізованих структур голосового сигналу”, *Вісник Хмельницького національного технічного університету. Серія: Технічні науки*. т. 1 (267). №6, с. 151–156, 2018.

6. О. Мешков, “Спосіб аутентифікації особистості на основі хмарних структур голосового сигналу людини” на *I Міжнародній науково-практичній конференції Інформаційні системи та технології в медицині (ISM-2018)*, Харків, 2018, с. 222–223.

7. О. О. Новіков та О. Ю. Мешков “Спосіб визначення основної частоти голосового сигналу людини”, МПК G10L 15/00 (2017.01). № 122225; груд. 26, 2017.

## РОЗДІЛ 4

### ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗРОБЛЕНОГО МЕТОДУ ТА СИСТЕМИ

#### 4.1. Розробка методики експериментального дослідження

Розроблена система аутентифікації та оцінювання функціонального стану водія проходила експериментальні випробування на підприємстві ТОВ «Агро-Транзит-Інвест» та в КНП Херсонська міська клінічна лікарня ім. О.С.Лучанського, що підтверджено відповідними актами (додаток Б). Загальна база дикторів включає у себе 400 дикторів різного віку, статі та антропометрії. Дані дикторів наведено у додатку Г.

У ході дослідження для 40 дикторів, частина з яких була занесена до бази, було сформовано голосові еталони на основі різної кількості акустичних записів парольної фрази. Дані дикторів тестової вибірки подано у додатку Г.

Кожен диктор вимовляв парольну фразу у довільному стані, сидячи на стільці, тримаючи голову рівно. Запис парольної фрази проводився у 5 сесій по дві вимови парольної фрази послідовно. Інтервал між сесіями складав 15-20 хвилин. За необхідності, якщо у результаті сесій запису у локалізованих структурах не отримувалось 200 точок даних, проводились додаткові записи.

Після цього через визначені проміжки часу (6 годин, 1 добу, 3 доби та 7 діб) усім 40 дикторам було запропоновано пройти процедуру аутентифікації та оцінювання функціонального стану шляхом запису парольної фрази і порівняння її зі сформованими персоніфікованими голосовими еталонами. Запис проводився за тою ж технологією, що і записи при формуванні голосового еталону. Відмінність полягала лише у тому, що диктор вимовляв парольну фразу послідовно три рази.

Дана процедура проводилась з метою визначення порогового значення критерію *square\_fit*. Для кожної вимови парольної фрази при процедурі аутентифікації визначалось значення даного критерію та обчислювалось його

середнє значення.

Для оцінювання функціонального стану водія необхідно визначити порогове значення критерію *square\_fit*, нижче якого функціональний стан людини вважається недопустимим для виконання професійних обов'язків водія. З цією метою при дослідженні функціональний стан кожного диктора визначався в медичному закладі на основі ряду методів, а саме:

- зняття кардіограми та визначення на її основі частоти пульсу, амплітуди зубців та інтервалів між ними;
- визначення індексу напруженості Баєвського та показника активності регуляторних систем.

При фізичному навантаженні у міру його зростання спостерігається збільшення зубців Р і Т та зменшення інтервалу Р-Q на фоні почастишання пульсу. При цьому тривалість відновлення початкового рівня також розглядається як показник величини навантаження.

Відомо, що фізичне навантаження, після якого організм легко відновлюється, не відображається на комплексі, а при сильному навантаженні спостерігається скорочення цього інтервалу. При сильних емоційних реакціях зафіксовано два види змін: зниження зубців Р і Т на тлі почастишання серцевого ритму і зсув вниз інтервалу S-T. Зміну зубця Т пов'язують з розвитком втоми, з психічною напругою і з емоційними реакціями.

У нормі індекс напруження Баєвського коливається в межах 80-150 умовних одиниць. Цей показник надзвичайно чутливий до посилення тону симпатичної нервової системи. Невеликі навантаження (фізичні або емоційні) збільшують даний індекс в 1,5-2 рази. При значних навантаженнях він збільшується в 5-10 разів. Значення показника активності регуляторних систем виражається в балах від 1 до 10. При значенні цього показника від 1 до 2 водій перебуває в допустимому робочому режимі.

Кожен диктор виконував записи парольної фрази у допустимому функціональному стані, а потім шляхом фізичного навантаження (декількох серій присідань по 15 разів) доводився до стану близького до недопустимого

для керування транспортним засобом. Недопустимість стану визначалась за вищевказаними показниками під загальним контролем медичних працівників.

Після кожної серії фізичних навантажень через деякий час диктор знову вимовляв парольну фразу, для якої визначалось значення критерію *square\_fit*. За результатами цих досліджень визначалось граничне значення даного критерію.

#### **4.2. Дослідження впливу шумових завад на формування персоніфікованого голосового еталону**

Первинне дослідження розроблених методів проводилось на акустичних записах з низьким рівнем шуму. Для перевірки можливості використання цих методів для зашумлених сигналів, до вже виконаних акустичних записів додавались два види шуму: білий шум та стаціонарний шум від мережі з частотою 50 Гц, який інколи наводився при записі (рис. 4.1-4.3).

Як видно з рис. 4.2, при різних рівнях білого шуму на записі чотири локальних максимуми, які відповідають голосним звуками «А», «И», «У» та «О» виділяються навіть більш чітко, ніж при низькому рівні шуму. Водночас при цьому підвищується також локальний рівень максимуму голосного «Е» наприкінці фрази.

При додаванні ж стаціонарного шуму низького рівня (рис. 4.3) локальні максимуми чотирьох основних голосних звуків тестової фрази все ще розрізняються досить чітко. Однак при додаванні стаціонарного шуму, рівень якого сумісний з рівнем робочого сигналу, деякі з необхідних локальних максимумів можуть бути втрачені.

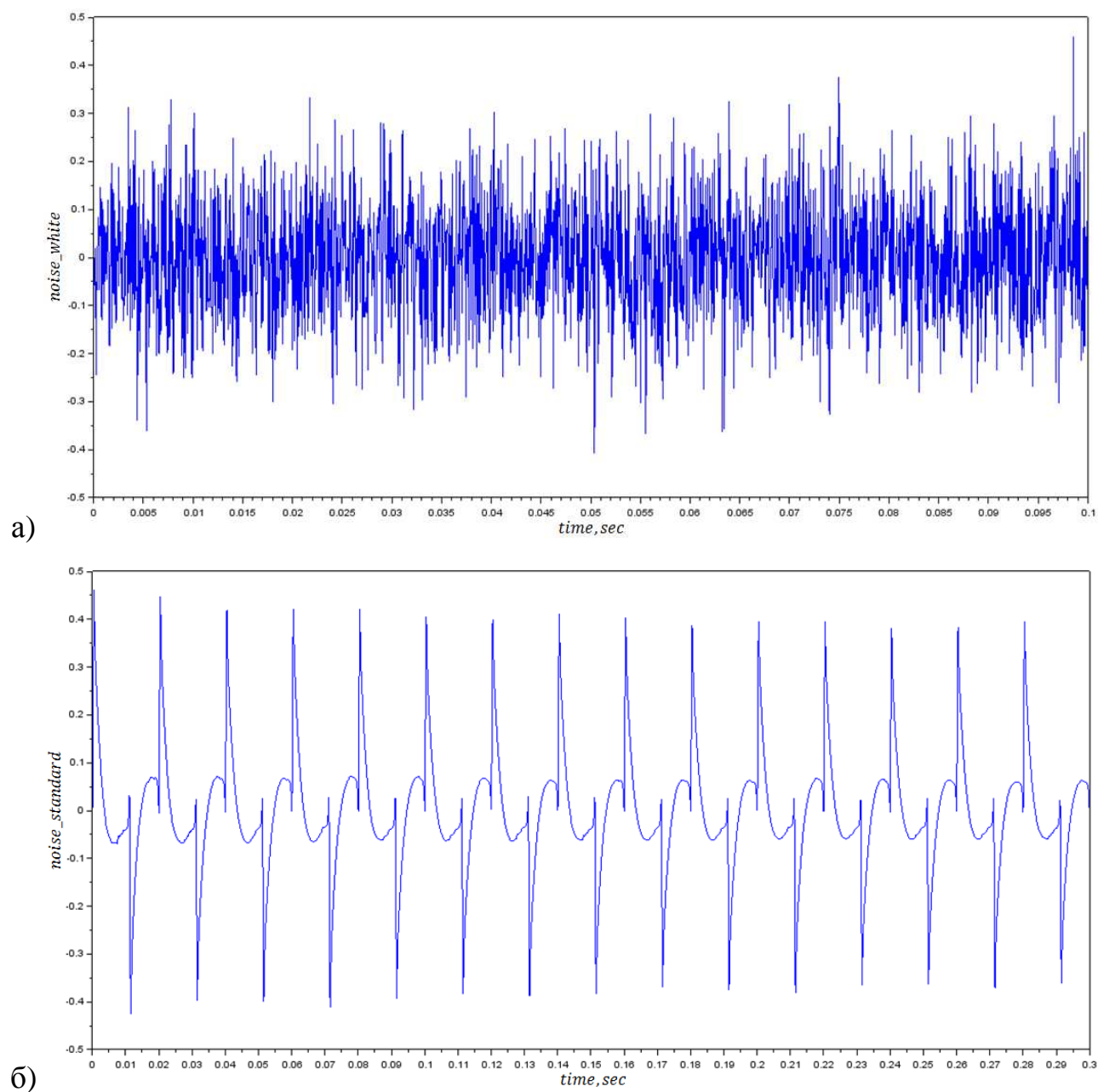


Рисунок 4.1 – Структура білого (а) та стаціонарного (б) шуму, які використовувались у дослідженні

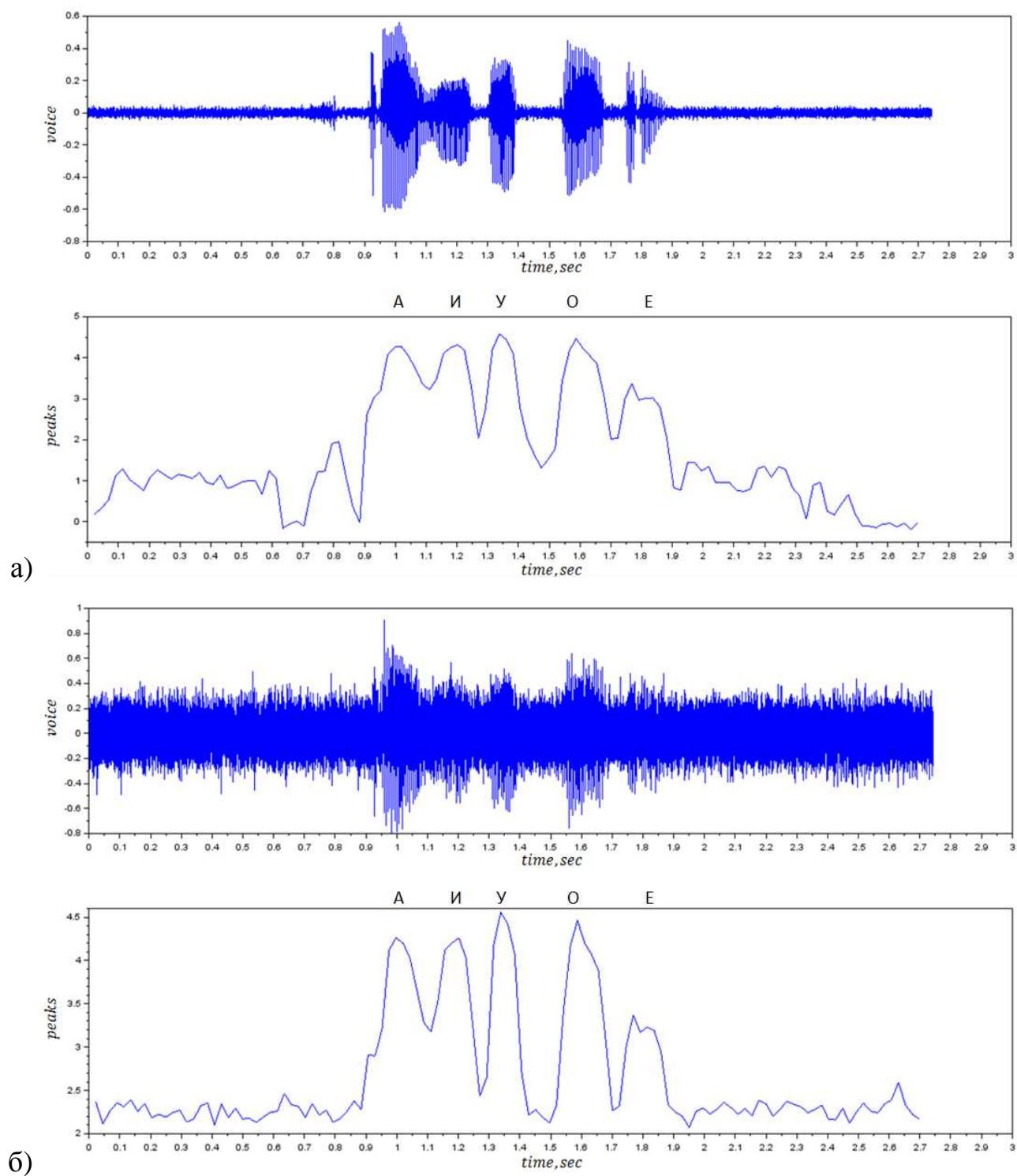


Рисунок 4.2 – Виділення локальних максимумів голосових сигналів з різним рівнем білого шуму а) 10дБ; б) 20дБ



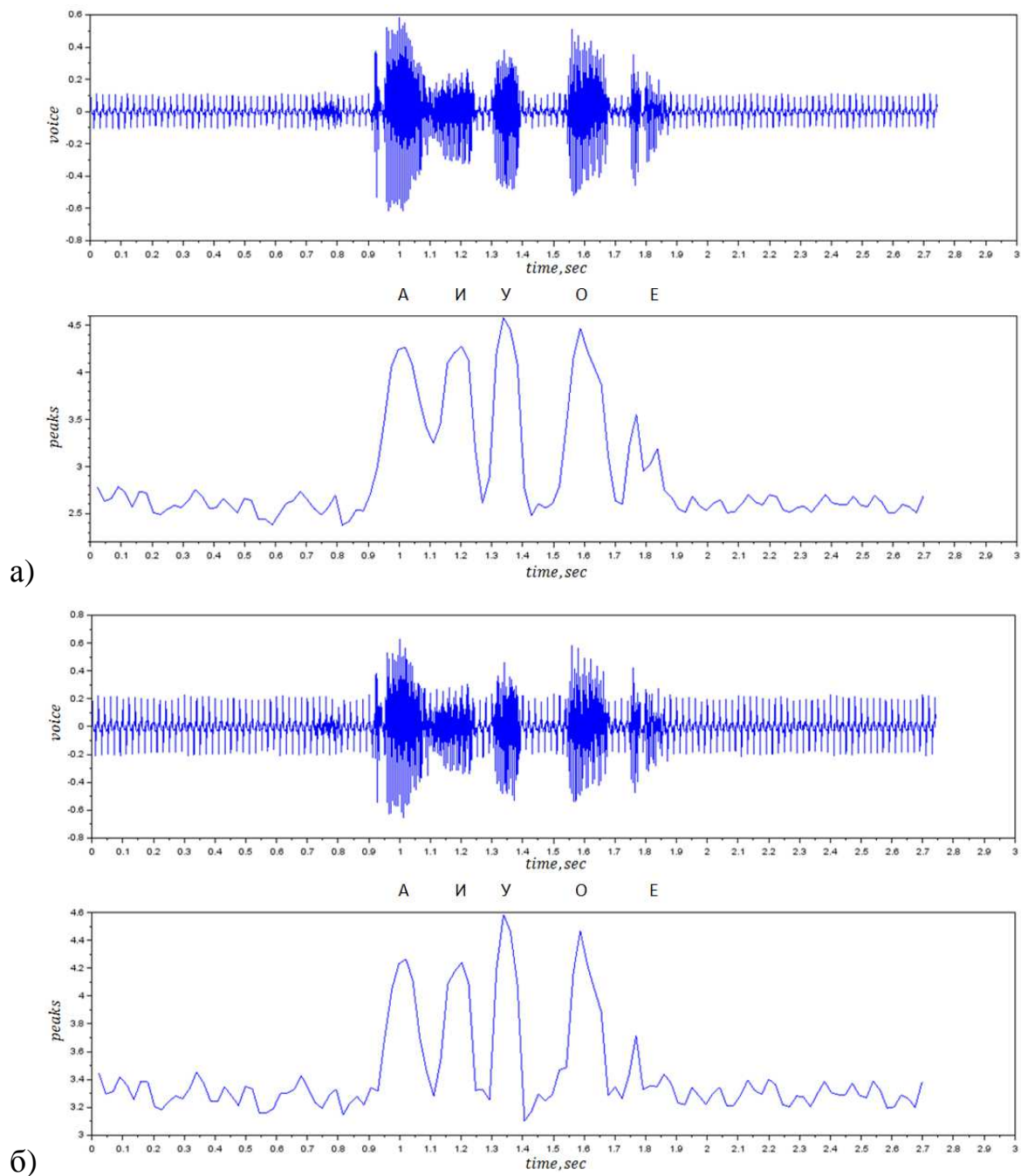


Рисунок 4.3 – Виділення локальних максимумів голосових сигналів з різним рівнем білого шуму а) 10дБ; б) 20дБ

Таким чином, розроблений метод локальних максимумів цілком доцільно використовувати для визначення локалізацій вокалізованих ділянок незалежно від рівня їх зашумленості. Однак при цьому питання виділення чистого голосового сигналу з зашумленого сигналу залишається невирішеним. Якщо формат шуму відомий і відомий його початковий момент, тобто шум є стаціонарним, то його можна видалити з сигналу програмними засобами.

### 4.3. Дослідження критеріїв аутентифікації та оцінювання функціонального стану водія за голосовим сигналом

#### 4.3.1. Дослідження часових особливостей розроблених критеріїв.

Комплекс даних, який включає координати центрів сформованих локалізованих структур голосового сигналу та їх геометричних розмірів у просторі характеристик, використовується у якості персоніфікованого голосового еталону. Метод формування даного еталону детально описаний вище. Результати порівняння записів парольної фрази з голосовими еталонами подано у додатку Л. З огляду на отримані результати, можна стверджувати, що з плином часу у більшості випадків розрахункове значення критерію аутентифікації та оцінювання функціонального стану поступово зменшується. При цьому для більшості дикторів на короткому інтервалі часу критерій *square\_fit* характеризується доволі високими значеннями, а після тривалого часу, близько тижня, стабілізується на рівні близько 0,7.

#### 4.3.2. Дослідження похибок аутентифікації для розробленої системи.

У ході дослідження було визначено критерії похибок аутентифікації FAR та FRR, розглянуті у розділі 2. Показник FAR визначався як відношення кількості аутентифікованих дикторів, які відсутні у базі, до загальної кількості дикторів, відсутніх у базі. Показник FRR визначався як відношення кількості не аутентифікованих дикторів, які наявні у базі, до загальної кількості дикторів, наявних у базі. Поріг чутливості задавався критичним рівнем критерію аутентифікації *square\_fit*. Результати дослідження з урахуванням часових особливостей подано у табл. 4.1. та у додатку М. Як видно з додатку М, загальний вигляд кривих FAR та FRR є подібним до теоретичного, наведеного у розділі 1. Основна відмінність полягає у значному збільшенні помилки першого роду при високих порогових рівнях критерію аутентифікації. У той же час дана особливість вказує на те, що розроблена технологія є надто чутливою до таких рівнів критерію аутентифікації і їх використання на практиці не є бажаним.

Таблиця 4.1.

## Похибки аутентифікації першого та другого роду розробленої системи

FAR											
Часовий інтервал	<i>square_fit</i>										
	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%	100%
6 годин	0,55	0,50	0,50	0,45	0,40	0,30	0,20	0,15	0,05	0,00	0,00
1 доба	0,60	0,55	0,50	0,45	0,45	0,40	0,20	0,10	0,00	0,00	0,00
3 доби	0,60	0,55	0,50	0,35	0,30	0,25	0,15	0,05	0,00	0,00	0,00
7 діб	0,65	0,55	0,40	0,30	0,25	0,20	0,15	0,05	0,00	0,00	0,00
FRR											
Часовий інтервал	<i>square_fit</i>										
	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%	100%
6 годин	0,00	0,02	0,05	0,08	0,15	0,18	0,22	0,37	0,58	0,85	0,93
1 доба	0,00	0,03	0,08	0,13	0,17	0,22	0,32	0,42	0,60	0,85	0,93
3 доби	0,00	0,07	0,08	0,15	0,17	0,23	0,32	0,43	0,62	0,88	0,95
7 діб	0,02	0,07	0,13	0,15	0,20	0,28	0,33	0,50	0,65	0,88	0,97

З іншого боку, використання низьких рівнів критерію аутентифікації призводить до того, що система може аутентифікувати дикторів, які насправді відсутні у базі. З цієї причини використання критерію аутентифікації з пороговим рівнем нижче 50% також не є доцільним.

Якщо розглядати інші показники аутентифікації, то усі вони

характеризуються незначною часовою динамікою. Показник **EER** з плином часу збільшується від 20% до 27,3%. При цьому даний показник поступово зміщується в область менших порогових значень критерію аутентифікації з плином часу. Показник **ZeroFAR** знаходиться у межах 90-95%, у той час, як **ZeroFRR** знаходиться на рівні 50%. Обидва ці показники мають тенденцію до зменшення з плином часу, однак їх динаміка також є незначною.

З огляду на отримані результати, можна стверджувати, що пороговий критерій аутентифікації **square\_fit** для розробленої системи може бути встановлений на рівні 80-85% з подальшим динамічним коригуванням. Точне його значення повинно визначатись для кожної конкретної практичної реалізації у залежності від кількості дикторів в організації, а також особливостей їх голосових матеріалів.

Результати досліджень стосовно визначення граничного значення критерію **square\_fit** для процедури оцінювання функціонального стану водія подано на рис. 4.4.

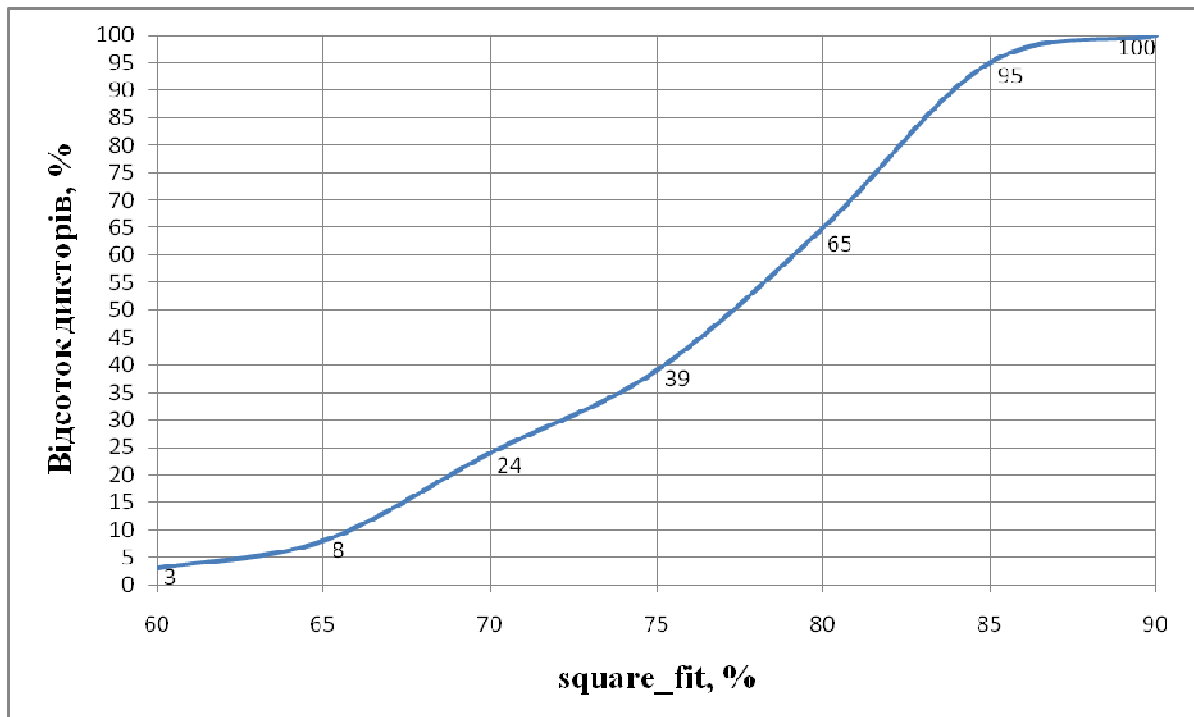


Рисунок 4.4 – Розподіл значень критерію **square\_fit** для процедури оцінювання функціонального стану

Як видно з рис. 4.4, для 95% дикторів встановлення граничного значення критерію *square\_fit* для процедури оцінювання функціонального стану на рівні 85% є достатнім. Тому це значення було прийняте у якості граничного для даного критерію.

У розробленій системі передбачено динамічне регулювання даного параметру, що дозволить гнучко регулювати як процедуру аутентифікації, так і процедуру оцінювання функціонального стану водія.

#### **4.4. Обробка статистичних даних і визначення достовірності розроблених методів та системи**

4.4.1. Перевірка нормальності розподілу основних характеристик голосового сигналу.

Для формування локалізованих структур голосового сигналу людини використовуються багатократні акустичні записи голосового сигналу диктора. У результаті дані локалізовані структури характеризуються певним розкидом характеристик з деякою статистикою.

Для локалізованих структур дикторів було визначено математичне очікування та середньоквадратичне відхилення кожної з двох основних характеристик голосового сигналу – основної частоти та коефіцієнту середньоквадратичного відхилення структури сигналу. На основі цих статистичних показників проводилась перевірка нормальності закону розподілу цих характеристик. Результати для одного з дикторів у якості прикладу подано у табл. 4.2 і на рис. 4.5, а для усієї базової вибірки – у додатку Н.

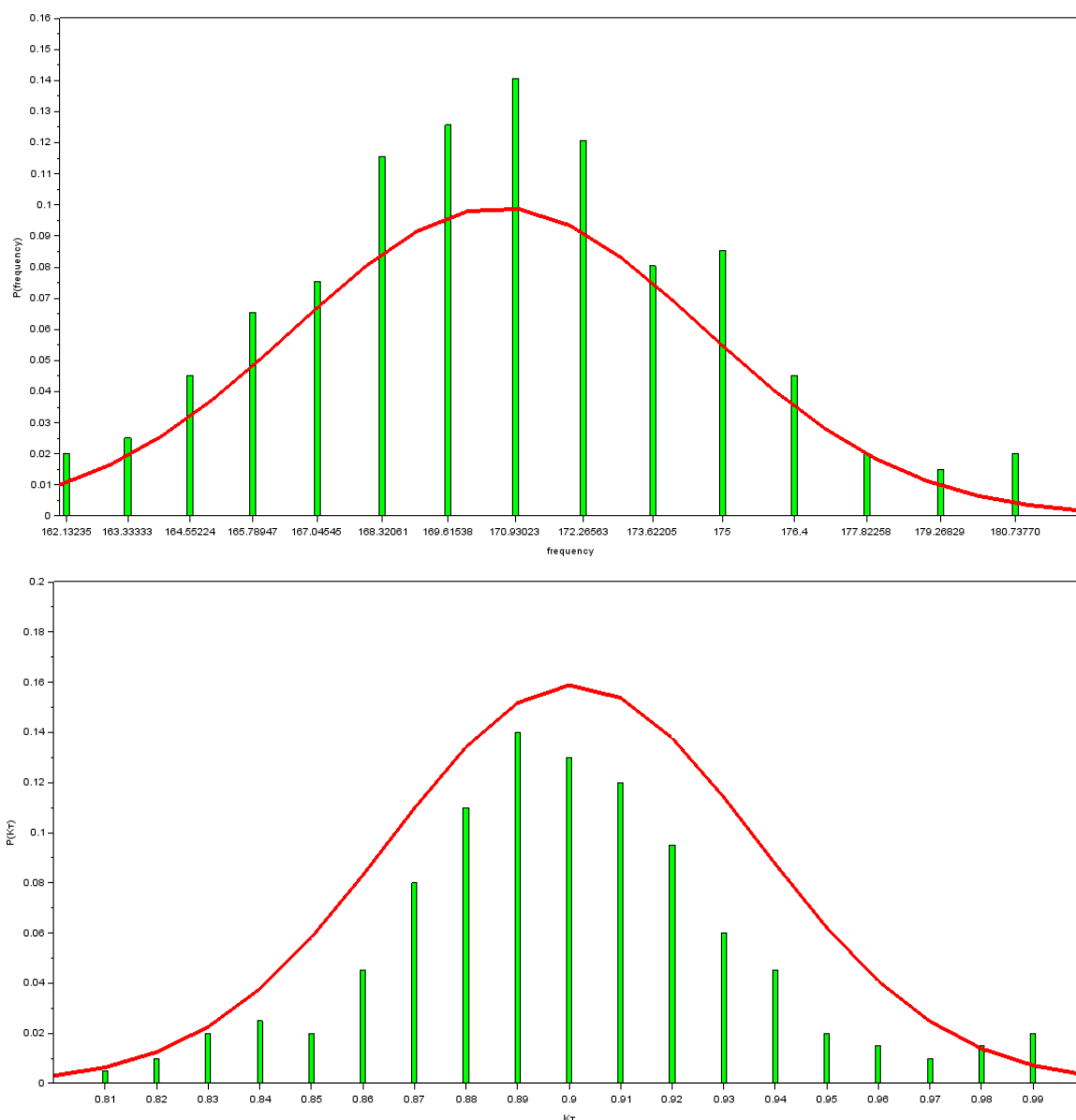


Рисунок 4.5 – Приклад гістограм розподілу основної частоти та коефіцієнту середньоквадратичного відхилення структури сигналу для одного з аналізованих звуків (звук А, диктор № 29)

Гістограма розподілу основної частоти голосу квантована за точними значеннями частоти, оскільки у кожному фреймі сигналу могла міститись лише ціла кількість точок даних. Ці точні значення основної частоти отримувались з урахуванням використання частоти дискретизації сигналу 22050 Гц. У той же час гістограма розподілу коефіцієнту середньоквадратичного відхилення структури сигналу є інтервальною, оскільки даний коефіцієнт може приймати будь-які значення і не є квантованим.

Таблиця 4.2

## Статистичні оцінки характеристик голосового сигналу

Звук	А	И	У	О
Загальна кількість точок у локалізованій структурі	200	200	200	200
Середнє значення основної частоти голосу $\overline{F_0}$	170,6125	201,2674	182,5786	148,8906
Середньоквадратичне відхилення основної частоти голосу $\sigma_{F_0}$	4,1040	1,6191	3,8464	0,8812
Кількість точок локалізованої структури з відхиленням по основній частоті				
У межах $0,625\sigma_{F_0}$	101	107	105	105
У межах $\sigma_{F_0}$	192	186	191	184
У межах $3\sigma_{F_0}$	200	199	200	200
Середнє значення коефіцієнту $\overline{K_T}$	0,9009	0,5681	0,5704	0,8997
Середньоквадратичне відхилення коефіцієнту $\sigma_{K_T}$	0,0338	0,0401	0,0523	0,0282
Кількість точок локалізованої структури з відхиленням по коефіцієнту середньоквадратичного відхилення структури сигналу				
У межах $0,625\sigma_{K_T}$	102	103	100	105
У межах $\sigma_{K_T}$	161	152	163	154
У межах $3\sigma_{K_T}$	199	200	199	200

Як видно з табл. 4.2 та рис. 4.5, у диктора, взятого у якості прикладу, розподіл основних характеристик є нормальним. Якщо розглядати усю вибірку дикторів (додаток Н), то у 383 дикторів розподіл характеристик голосового сигналу для усіх чотирьох фонем був нормальним. Ще у 9 дикторів нормальний розподіл спостерігався для трьох фонем (виділені у додатку Н синім кольором), у 6 дикторів – для двох фонем (виділені у додатку Н жовтим кольором), і у 2 дикторів – для однієї фонемі (виділені у додатку Н червоним кольором). З огляду на це, розподіл основних характеристик голосового сигналу можна вважати нормальним, а у якості сторін виділених локалізованих структур доцільно використовувати середньоквадратичне відхилення відповідних характеристик.

4.4.2. Перевірка значимості, адекватності та точності математичної моделі основних характеристик голосового сигналу.

Для кожного диктора із базової вибірки на основі його акустичних записів за методом множинної регресії, описаному у розділі 2, було розраховано значення коефіцієнтів моделей основної частоти та коефіцієнту середньоквадратичного відхилення структури сигналу. Для кожного коефіцієнту моделі було визначено дисперсію відтворення за формулою 2.10 та довірчий інтервал за формулою 2.14. З урахуванням того, що кожен фрейм голосового сигналу вважається незалежним, кількість повторних дослідів приймалась рівною кількості фреймів, які було обрано для дослідження (тобто 200). Отже, число ступенів свободи дисперсії відтворюваності приймалось рівним 199. Для рівня значимості  $\alpha = 0,05$  табличне значення коефіцієнту Стьюдента зі 199 ступенями свободи рівне 1,972. Результати розрахунку наведено у табл. 4.3.

З огляду на це, за результатами розрахунків можна стверджувати, що для усіх чотирьох досліджуваних фонем усі коефіцієнти моделі як для основної частоти голосу, так і для коефіцієнту середньоквадратичного відхилення структури сигналу, є значимими.

У свою чергу це свідчить про те, що основні характеристики голосового сигналу залежать у тій чи іншій мірі від обраних параметрів.

За розрахованими коефіцієнтами математичної моделі було визначено значення основних характеристик голосового сигналу для кожного диктора. За цими даними, використовуючи формули 2.8-2.10, було визначено значення критерію Фішера для кожної окремої фонемі кожного диктора. З урахуванням того, що кількість вимірювань дорівнює кількості дикторів, а усі коефіцієнт запропонованої моделі є значимими, то число ступенів свободи для дисперсії адекватності складає 393. Табличне значення критерію Фішера з параметрами (199, 393, 0,05) складає 1,220. Результати розрахунків подано у табл. 4.4.



Таблиця 4.3.

**Коефіцієнти математичної моделі основних характеристик  
голосового сигналу**

Характеристика: основна частота голосового сигналу		Звук			
		А	И	У	О
Дисперсія відтворення $\sigma_{\text{сідм}}^2$		51,067	92,432	74,771	12,08461
Фактори	Коефіцієнти моделі				
Вік	$a_F$	-1,002	-1,393	-1,568	-0,503
	$\Delta a_F$	0,996	1,341	1,206	0,485
Зріст	$h_F$	1,825	1,591	1,288	0,864
	$\Delta h_F$	0,996	1,341	1,206	0,485
Маса	$m_F$	-1,535	-1,405	-1,307	-1,123
	$\Delta m_F$	0,996	1,341	1,206	0,485
Життєвий об'єм легень	$v_F$	1,0686	1,470	1,232	1,538
	$\Delta v_F$	0,996	1,341	1,206	0,485
Обхват шиї	$d_F$	-1,163	-1,813	-1,491	-0,891
	$\Delta d_F$	0,996	1,341	1,206	0,485
ІНБ	$b_F$	1,666	1,912	1,875	1,564
	$\Delta b_F$	0,996	1,341	1,206	0,485
Характеристика: коефіцієнт середньоквадратичного відхилення структури сигналу		Звук			
		А	И	У	О
Дисперсія відтворення $\sigma_{\text{сідм}}^2$		0,404	0,066	0,842	0,473
Фактори	Коефіцієнти моделі				
Вік	$a_K$	0,102	0,180	0,134	0,100
	$\Delta a_K$	0,089	0,036	0,128	0,096
Зріст	$h_K$	0,093	0,236	0,235	0,203
	$\Delta h_K$	0,089	0,036	0,128	0,096
Маса	$m_K$	0,115	0,342	0,404	0,098
	$\Delta m_K$	0,089	0,036	0,128	0,096
Життєвий об'єм легень	$v_K$	-0,413	-0,865	-0,225	-0,330
	$\Delta v_K$	0,089	0,036	0,128	0,096
Обхват шиї	$d_K$	-0,280	-0,439	-0,653	-0,215
	$\Delta d_K$	0,089	0,036	0,128	0,096
ІНБ	$b_K$	0,135	0,562	0,679	0,539
	$\Delta b_K$	0,089	0,036	0,128	0,096

**Оцінка адекватності математичної моделі основних характеристик  
голосового сигналу**

Характеристика: основна частота голосового сигналу			
Звук	Дисперсія адекватності	Дисперсія відтворення	Розрахункове значення критерію Фішера
А	856,420	723,939	1,183
И	102,450	93,905	1,091
У	385,069	429,737	1,116
О	0,860	0,775	1,109
Характеристика: коефіцієнт середньоквадратичного відхилення структури сигналу			
Звук	Дисперсія адекватності	Дисперсія відтворення	Розрахункове значення критерію Фішера
А	0,373	0,404	1,082
И	0,058	0,066	1,134
У	0,922	0,842	1,095
О	0,520	0,473	1,100

Оскільки розрахункове значення критерію Фішера для усіх чотирьох звуків є меншим, ніж табличне, то з достовірністю 95% можна стверджувати, що запропонована модель основних характеристик голосового сигналу є адекватною.

Коефіцієнт детермінації даної моделі складає 0,8846, а коефіцієнт кореляції відповідно 0,9405. З огляду на отриманий результат можна стверджувати, що розроблена модель має високу точність.

4.4.3. Оцінка достовірності процедур визначення функціонального стану людини та аутентифікації за голосовим сигналом.

Для оцінки рівності дисперсій базових та аналізованих локалізованих структур було проведено аналіз статистики Бартлетта за формулою 2.17. Аналіз проводився на основі тестової вибірки для усіх дикторів, функціональний стан яких за результатами роботи системи визначено як допустимий, або які успішно пройшли процедуру аутентифікації в залежності від режиму роботи

системи. З урахуванням того, що порівнюються дві вибірки, то число ступенів свободи розподілу у даному випадку дорівнює 1.

Розрахунки було проведено для рівня значимості  $\alpha = 0,05$ , для якого при 1 ступені свободи табличне значення розподілу  $\chi_{1:0.05}^2 = 3,84$ , а відповідний квантиль нормального розподілу становить 1,96. Результати розрахунків, подані у додатку О, вказують на те, що з ймовірністю 95% для абсолютної більшості аналізованих дикторів, гіпотеза про рівність дисперсій є статистично достовірною.

Достовірність процедури оцінюється за t-критерієм Стьюдента для незалежних вибірок за формулою 2.18. Результати розрахунків даного критерію подано у додатку К.

Результати розрахунку даного критерію також свідчать про те, що з ймовірністю 95% для більшості аналізованих дикторів, гіпотеза про рівність середніх значень основних характеристик голосового сигналу є статистично достовірною. Перевищення даного критерію спостерігається лише в одиничних випадках, які не впливають на загальну тенденцію. Отже, загалом можна стверджувати, що достовірність процедур визначення функціонального стану людини та аутентифікації особистості за розробленим методом складає 95%.

Порівняння розробленої системи з існуючими аналогами проводилось окремо для програмних продуктів для обробки голосового сигналу, і окремо для програмних продуктів для задачі оцінювання функціонального стану чи аутентифікації особистості. Причиною цього є те, що для існуючих аналогів систем аутентифікації практично відсутня інформація про методи обробки голосового сигналу, які вони використовують.

З метою порівняння було обрано 1000 записів парольної фрази різних дикторів. Порівняння проводилось на основі експертних оцінок 15 незалежних експертів. Оцінка з позицій обробки голосових сигналів проводилась на основі наступних показників:

- достовірність визначення меж вокалізованих ділянок;

- достовірність визначення основної частоти голосового сигналу;
- достовірність поділу вокалізованої ділянки на окремі фрейми.

Оцінка з позицій оцінювання функціонального стану та аутентифікації проводилась на основі наступних показників:

- швидкодія процедур;
- достовірність результатів.

За результатом експертних оцінок за кожним з показників було побудовано зведені таблиці експертних висновків (додаток П). Для кожного показника було визначено коефіцієнт конкордації за формулами (2.19-2.20) та розрахункове значення критерію  $\chi_{m-1}^2$  за формулою (2.21). Результати подано у табл. 4.5.

Якщо розглядати рангові оцінки у додатку П за кожним із критерієм, можна зробити висновок, що за показниками достовірності як обробки голосового матеріалу, так і процедури аутентифікації загалом, розроблений програмно апаратний комплекс переважає розглянуті аналоги.

Таблиця 4.5

**Коефіцієнти конкордації, розраховані за кожним із обраних показників**

Показник	Коефіцієнт конкордації $W$	Розрахунковий критерій $\chi_{m-1}^2$	Табличне значення критерію $\chi_{3;0.05}^2$
Достовірність визначення меж вокалізованих ділянок	0,7596	30,722	7,815
Достовірність визначення основної частоти голосового сигналу	0,8324	31,907	
Достовірність поділу вокалізованої ділянки на окремі фрейми	0,8657	34,389	
Швидкодія процедур	0,4309	16,519	
Достовірність результатів	0,4256	16,907	

За показником швидкодії згідно експертних оцінок розроблений комплекс поступається лише програмному продукту VoiceKey, що може пояснюватись тим, що даний програмний продукт використовує для своєї роботи швидкісні мережеві підключення. У той же час, розроблений комплекс не потребує жодних мережевих підключень і є повністю автономним, що навпаки може виступати у якості його переваги, яка однак не була оцінена експертами.

## Висновки до розділу 4

1. Проведено дослідження можливості використання розроблених методів для акустичних записів з певним рівнем білого та стаціонарного шуму. Визначено, що метод локальних максимумів дозволяє виділяти вокалізовані ділянки з потоку мови при різних рівнях і різних видах шуму. Також визначено, що при додаванні до вихідного сигналу білого чи стаціонарного шуму певного рівня локальні максимуми вокалізованих ділянок стають більш виразними та чіткішими, що полегшує їх знаходження.

2. Визначено значення критерію аутентифікації *square\_fit* для розробленої системи при роботі у режимі як аутентифікації, так і оцінювання функціонального стану водія. Даний критерій визначався на основі показників аутентифікації FAR та FRR. Визначено, що для більшості дикторів на короткому інтервалі часу критерій *square\_fit* характеризується доволі високими значеннями, а після тривалого часу, близько тижня, стабілізується на рівні близько 0,7.

3. Також встановлено, що значення критерію *square\_fit* для процедури аутентифікації доцільно динамічно коригувати на рівні 80-85%, а для процедури оцінювання функціонального стану встановлювати на рівні 85%. При цьому з плином часу голосові еталони можуть втрачати свою актуальність.

4. Проведено експериментальне дослідження розробленого методу та системи для людей різного віку та статі. Дослідження проводилось з метою

визначення можливості використання запропонованих методів обробки, аналізу та виділення характеристик голосового сигналу для задач визначення функціонального стану людини та аутентифікації. Було визначено мінімальний обсяг вибірки дикторів для експериментального дослідження розроблених методів, яке склало 400 дикторів. Також на основі статистичного аналізу визначено, що у якості сторони прямокутника локалізованої структури голосового сигналу доцільно використовувати подвоєне значення середньоквадратичного відхилення відповідної характеристики голосу. На основі ряду статистичних критеріїв показано, що достовірність розроблених методів становить 95%.

5. Проведено порівняльний аналіз розробленої системи з існуючими аналогами за методом експертного оцінювання. Результати порівняння показують, що розроблені методи обробки голосового сигналу та виділення його характеристик мають більшу достовірність, як для процедури виділення вокалізованих ділянок та фреймуванні сигналу, так і для процедур оцінювання функціонального стану та аутентифікації особистості.

*Результати експериментальних досліджень цього розділу наведено в таких публікаціях:*

1. О. Мешков, О. Новіков та С. Злепко, “Метод локальних максимумів для виділення вокалізованих ділянок голосового сигналу людини”, *Вісник Хмельницького національного технічного університету. Серія: Технічні науки*, №2 (259), с. 197–210, 2018.

2. О. Мешков, “Розробка персоніфікованого голосового еталону для задачі аутентифікації особистості”, *Наукові записки Таврійського національного університету. Серія: Технічні науки*, т. 29 (68). Ч. 2. № 5, с.11–17, 2018.

3. О [4] О. Мешков, “Розробка персоніфікованого голосового еталону для задачі аутентифікації особистості”, *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І.Вернадського. Серія: Технічні науки*, Т. 29 (68), Ч. 2, № 5, с.11–17, 2018.

4. О. Мешков. “Дослідження часової динаміки критерію аутентифікації особистості за голосовим сигналом”, *Вісник Херсонського національного технічного університету*, №4 (67), с. 85–90, 2018.

5. О. Мешков, “Програмно-апаратний комплекс для задачі аутентифікації особистості за голосовим сигналом”, *Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського*, Випуск 6 (113), с. 15–20, 2018.

6. О. Мешков, О. Новіков та В. Новіков, *Аналіз голосових сигналів людини та аутентифікація особистості за голосом*, Монографія. – Херсон, Україна: вид-во ФОП Вишемирський В.С., 2018.

7. О. Мешков, “Спосіб аутентифікації особистості на основі хмарних структур голосового сигналу людини” на *I Міжнародній науково-практичній конференції Інформаційні системи та технології в медицині (ISM-2018)*, Харків, 2018, с. 222–223.

## ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі розв'язано актуальну науково-практичну задачу аутентифікації особистості та оцінювання функціонального стану водія в режимі реального часу шляхом аналізу його голосового сигналу. Дана задача була вирішена за допомогою розроблених математичних моделей з використанням методів обробки вихідного акустичного матеріалу, виділення характеристик голосового сигналу з потоку мови, побудови локалізованих структур голосового сигналу у просторі характеристик «структура-частота», формуванні на їх основі персоніфікованого голосового еталону особистості та подальшого порівняння голосових сигналів людини з даними еталонами. Усі розроблені методи та моделі об'єднано у єдину систему аутентифікації та оцінювання функціонального стану за голосовим сигналом.

Основні наукові та практичні результати роботи полягають у наступному:

1. Уперше запропоновано метод аутентифікації та оцінювання функціонального стану водія в режимі реального часу на основі порівняння вхідного акустичного матеріалу з персоніфікованим голосовим еталоном водія та критерії для даних процедур. Визначено порогове значення розробленого критерію для досягнення високої достовірності процедур аутентифікації та оцінювання функціонального стану водія на рівні 80-85%. Вказано на можливість динамічного регулювання даного порогового значення розробленого критерію. Достовірність запропонованого методу складає 95%.

2. Проведений аналіз голосового сигналу людини як інформаційної бази методів аутентифікації та оцінювання функціонального стану підтверджує, що даний вид сигналу несе у собі індивідуальні особливості, які притаманні кожній конкретній людині, а також дані про функціональний стан організму людини.

3. На основі основних характеристик голосового сигналу, а саме основної частоти та коефіцієнту середньоквадратичного відхилення структури сигналу, побудовано спеціальний простір характеристик «структура-частота». Голосовий сигнал людини може бути поданий у вигляді локалізованих



структур у даному просторі характеристик.

4. Розроблено математичну модель локалізованої структури голосового сигналу людини за методом множинної регресії. Параметрами даної моделі виступають вікові, гендерні та антропометричні показники людини, а також показники її функціонального стану. Статистичний аналіз розробленої моделі довів її адекватність та значущість усіх коефіцієнтів моделі. Достовірність розробленої моделі складає 95%, а коефіцієнт регресії складає 0,9405, що свідчить про високу точність даної моделі.

5. Розроблено персоніфікований голосовий еталон людини у вигляді набору даних про форму та взаємне розміщення локалізованих структур голосового сигналу у даному просторі характеристик. Достовірність розроблених персоніфікованих еталонів складає 95%.

6. Досліджено можливість використання розроблених методів аутентифікації та оцінювання функціонального стану для людей різної статі, в умовах різного рівня зашумленості, а також часову динаміку розроблених персоніфікованих голосових еталонів.

7. Розроблено систему аутентифікації та оцінювання функціонального стану водія в режимі реального часу безпосередньо під час виконання професійних обов'язків у вигляді поєднання апаратної та програмної підсистем, основними складовими і блоками яких є блоки: вхідних сенсорів і перетворювачів, обробки голосового сигналу; виділення основних характеристик голосового сигналу; систему прийняття аутентифікаційного рішення, які в сукупності з програмним та інформаційним забезпеченням реалізують розроблені методи і моделі.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] O. Mieshkov and O. Novikov, “Mathematical model of human voice for the task of personal identification and human condition analysis”, *Visnyk of Kherson National Technical University*, №1 (56), с. 163–169, 2016.

[2] О. Мешков, О. Новіков та С. Злепко, “Метод локальних максимумів для виділення вокалізованих ділянок голосового сигналу людини”, *Вісник Хмельницького національного технічного університету. Серія: Технічні науки*, №2 (259), с. 197–210, 2018.

[3] О. Мешков, “Запис та обробка первинного акустичного матеріалу для задачі аналізу голосового сигналу людини та виділення його основних характеристик”, *Наукові праці Чорноморського національного університету імені Петра Могили. Серія: Комп’ютерні технології*, т. 307, № 295, с. 76–81, 2017.

[4] О. Мешков, “Розробка персоніфікованого голосового еталону для задачі аутентифікації особистості”, *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І.Вернадського. Серія: Технічні науки*, т. 29 (68), Ч. 2, № 5, с.11–17, 2018.

[5] О. Мешков та Д. Барановський, “Розробка та дослідження критерію аутентифікації особистості на основі локалізованих структур голосового сигналу”, *Вісник Хмельницького національного технічного університету. Серія: Технічні науки*. т. 1 (267), №6, с. 151–156, 2018.

[6] О. Мешков. “Дослідження часової динаміки критерію аутентифікації особистості за голосовим сигналом”, *Вісник Херсонського національного технічного університету*, №4 (67), с. 85–90, 2018.

[7] О. Мешков, “Програмно-апаратний комплекс для задачі аутентифікації особистості за голосовим сигналом”, *Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського*, Випуск 6 (113), с. 15–20, 2018.

*Монографія*

[8] О. Мешков, О. Новіков та В. Новіков, *Аналіз голосових сигналів людини та аутентифікація особистості за голосом*, Монографія. – Херсон, Україна: вид-во ФОП Вишемирський В.С., 2018.

*Опубліковані праці апробаційного характеру*

[9] О. Новіков та О. Мешков, “Розробка системи ідентифікації голосу людини”, на *15-м юбилейном Международном молодежном форуме «Радиоэлектроника и молодежь в XXI ст.»*, Харків, 2011, с.178–179.

[10] О. Мешков, “Розробка системи діагностики фізичного стану людини за аналізом голосу з використанням цифрових технологій”, на *Міжнародному форумі студентів, аспірантів та молодих учених*, Дніпропетровськ, 2013. с. 291–293.

[11] O. Mieshkov and O. Novikov, “Development of Universal Program Complex for Human Condition Analysis, Based on the Analysis of Human Voice”, at *the 4th International Scientific Conference of Students and Young Scientists Theoretical and Applied Aspects of Cybernetics (TAAC)*, Kyiv, 2014, pp. 294–305.

[12] О. Новіков та О. Мешков, “Алгоритми аналізу голосових сигналів людини для задачі ідентифікації та діагностики фізичного стану”, на *тридцять шостій Всеукраїнській науково-практичній конференції «Інноваційний потенціал світової науки – XXI сторіччя»*, Запоріжжя, 2015-2016, с. 26–28.

[13] O. Mieshkov and O. Novikov, “Automated system for identification and human condition diagnostics based on its voice signal analysis”, at *18-th International conference System Analysis and Information Technology (SAIT-2016)*, Kyiv, 2016, pp. 35–38.

[14] O. Mieshkov, O. Novikov, V. Novikov, L. Fainzilberg, A. Kotyra, S. Smailova, A. Kozbekova, B. Imanbek, “Identification and human condition analysis based on the human voice analysis” at *SPIE 10445, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High Energy Physics Experiments*, 2017, 104453T (7 August 2017); doi: 10.1117/12.2281003

[15] О. Мешков та О. Новіков, “Аналіз стану людини за змінами її голосового сигналу” на науково-практичній конференції *Вітчизняні інженерні розробки для охорони здоров’я*, Київ, 2016, с. 70–71.

[16] О. Мешков, “Спосіб аутентифікації особистості на основі хмарних структур голосового сигналу людини” на I Міжнародній науково-практичній конференції *Інформаційні системи та технології в медицині (ISM-2018)*, Харків, 2018, с. 222–224.

*Патенти України на корисні моделі:*

[17] О. О. Новіков та О. Ю. Мешков, “Електричний аналог голосового апарату людини”, МПК *H02K 39/00 (2013.01)*, № 80645, черв. 10, 2013.

[18] О. О. Новіков та О. Ю. Мешков, “Спосіб моделювання електричного аналогу голосового апарату людини”, МПК *H02K 39/00 (2014.01)*, № 91233, черв. 25, 2014.

[19] О. О. Новіков та О. Ю. Мешков “Спосіб визначення основної частоти голосового сигналу людини”, МПК *G10L 15/00 (2017.01)*, № 122225, груд. 26, 2017.

*Опубліковані праці, які додатково відображають наукові результати дослідження*

[20] А. Новиков и А. Мешков, “Электрический аналог голосового аппарата человека”, *Биомедицинская инженерия и электроника*, № 2, с. 40–50, 2012. [Електронний ресурс]. Доступно: <http://biofbe.esrae.ru/183-890>. Дата обращения: Янв. 21, 2019.

[21] О. Мешков та О. Новіков, “Двоступенева система аналізу голосового сигналу для задачі контролю стану водія під час керування автомобілем”, *Биомедицинская инженерия и электроника*. № 2, 2016. [Електронний ресурс]. Доступно: <http://biofbe.esrae.ru/208-1053>. Дата обращения: Янв. 21, 2019.

[22] М.М. Жук та В.В. Ковалишин, “Аналіз методів дослідження

функціонального стану водія і показників його діяльності”, *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*, Випуск 5/2 (53), с. 12–15, 2011.

[23] Н.Игнатов, В.Мишурич, Р.Мушегян и В.Сергеев, *Приборы и методики психофизиологического обследования водителей автомобилей*. Москва: Транспорт, 1978.

[24] Ю. Лис, “Дослідження функціонального стану студентів у процесі навчання”, *Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил*, Випуск 3(48), с. 208–211, 2016.

[25] В. Волков и В. Машкова, *Методы и устройства для оценки функционального состояния и уровня работоспособности человека-оператора*. Москва: Наука, 1993.

[26] Ю. Давідіч, *Розробка графіка руху транспортних засобів при організації вантажних перевезень*. Харків: ХНАМГ, 2010.

[27] Є. Шапенко, “Визначення комплексу факторів, які впливають на роботу водіїв на маршрутах міського пасажирського транспорту”, *Вісник Національного транспортного університету*, Випуск 26(2), с. 355–358, 2012.

[28] М.Прищак та О.Лесько, *Психологія управління в організації*. Вінниця: Вінницький національний технічний університет, 2016.

[29] Е. Первушин, “Обзор основных методов распознавания дикторов”, *Математические структуры и моделирование*, Випуск 24, с. 41–54, 2011.

[30] А. Лысак, “Идентификация и аутентификация личности: обзор основных биометрических методов проверки подлинности пользователя компьютерных систем”, *Математические структуры и моделирование*, Випуск 26, с. 124–134, 2012.

[31] S. C. Levinson, *Mathematical models for speech technology*. University of Illinois at Urbana-Champaign, USA: Wiley, 2005.

[32] Biometrika – Basics of fingerprint recognition technology and biometric systems. [Online]. Available: [http://www.biometrika.it/eng/wp\\_biointro.html](http://www.biometrika.it/eng/wp_biointro.html). Accessed on: April 04, 2019.

[33] Н. Кошева, “Ідентифікація користувачів інформаційно-

комп'ютерних систем: аналіз і прогнозування підходів”, *Системи обробки інформації*, № 6, с. 215–223, 2013.

[34] Е. Жилияков, Е. Прохоренко, А. Болдышев, А. Фирсова и М. Фатова, “Сегментация речевых сигналов на основе анализа особенностей распределения долей энергии по частотным интервалам”, *Вестник НТУ ХПИ*, №17, с.44–50, 2011.

[35] О. Вишнякова и Д. Лавров, “Алгоритм фонемной сегментации на основе анализа скорости изменения энергии дискретного вейвлет-преобразования”, *Вестник Омского университета*, №4, с. 146–152, 2011.

[36] Л. Рабинер и Р. Шафер, Цифровая обработка речевых сигналов: Пер. с англ. / Под ред. М. Назарова и Ю. Прохорова. – Москва: Радио и связь, 1981.

[37] Г. Семенов, “Выявление порога чувствительности спектрального метода к поиску периодического сигнала в нормальном шуме”, *Известия АлтГУ*, №1-1, с. 192–196, 2011.

[38] В. Сорокин и А. Цыплихин, “Сегментация и распознавание гласных”, *Информационные процессы*, Том 4, №2, с. 202–220, 2004.

[39] А. Цыплихин и В. Сорокин, “Сегментация речи на кардинальные элементы”, *Информационные процессы*, Том 6, №3, с. 177–207, 2004.

[40] А. Сергиенко, *Цифровая обработка сигналов*. Санкт-Петербург: Питер, 2002.

[41] А. Познизов, “Устройство и методика формирования тестовых акустических сигналов эквивалентных камертону для оценки качества слуха”, автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук, ТУСУР, Томск, 2012.

[42] G. David, “Pitch Extraction and Fundamental Frequency: History and Current Techniques”: Tech. Rep.: TR-CS 2003-06. Regina, Saskatchewan, Canada: Department of Computer Science, University of Regina, 2003.

[43] С. Тиунов, “Модель, численные методы и комплекс программ для акустического анализа голоса в задачах диагностики голосовых расстройств”, дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук, ТУСУР, Томск, 2014.

[44] Audizr – Spectrum Analyzer – Додатки в Google Play. [Електронний ресурс]. Доступно: <https://play.google.com/store/apps/details?id=audizr.android>. Дата звернення: Квіт. 04, 2019.

[45] Sound Analyzer Free – Додатки в Google Play. [Електронний ресурс]. Доступно: <https://play.google.com/store/apps/details?id=jp.nokubi.nobapp.soundanalyzer.free>. Дата звернення: Квіт. 04, 2019.

[46] Sound Analyzer – Додатки в Google Play. [Електронний ресурс]. Доступно: <https://play.google.com/store/apps/details?id=processing.test.soundanalyzer&hl=uk>. Дата звернення: Квіт. 04, 2019.

[47] AudioUtil – Audio Analysis Tools Free. – Додатки в Google Play [Електронний ресурс]. Доступно: <https://play.google.com/store/apps/details?id=org.sbaudio.audiotoolsfree>. Дата звернення: Квіт. 04, 2019.

[48] Voice Analyst – Додатки в Google Play. [Електронний ресурс]. Доступно: [https://play.google.com/store/apps/details?id=co.speechtools.voiceanalyst&hl=en\\_GB](https://play.google.com/store/apps/details?id=co.speechtools.voiceanalyst&hl=en_GB). Дата звернення: Квіт. 04, 2019.

[49] Speech Analyzer – SIL Language Technology. [Online]. Available: <https://software.sil.org/speech-analyzer/>. Accessed on: April 04, 2019.

[50] В. Белоглазова Использование компьютеризированных методов анализа англоязычной звучащей речи в актуальном научном исследовании, Огарев-online. Раздел «Филологические науки», 2013, №4. [Электронный ресурс]. Доступно: <http://journal.mrsu.ru/arts/ispolzovanie-kompyuterizirovannykh-metodovanaliza-angloyazychnojj-zvuchashhejj-rechi-v-aktualnomnauchnom-issledovanii>. Дата обращения: Апр. 04, 2019.

[51] Н. Гюлев, *Особливості ергономіки та психофізіології в діяльності водія: навч. посібник*. Харків: ХНАМГ, 2012.

[52] Н. Гюлев, “Надійність діяльності водія в системі «людина – техніка –

середовище» в умовах заторів руху на міських дорогах”, дис. док. техн. наук, Хар. нац. ун-т міськ. госп. ім. О.М.Бекетова, Харків, 2018.

[53] В. Зинченко и В. Мунипов, *Основы эргономики*. Москва: Изд-во моск. ун-та, 1979.

[54] В. Зинченко, А. Леонова, Ю. Стрельков, *Психометрика утомления*. Москва: Изд-во моск. ун-та, 1977.

[55] В. Кужель, “Обґрунтування вибору факторів впливу на дальність видимості дорожніх об’єктів в темну пору доби при експертизі ДТП”, *Вісник Житомирського державного технологічного університету. Сер.: Технічні науки*, № 2, с. 135–144, 2014.

[56] В. Поліщук, О. Бакуліч, О. Дзюба, В. Єресов, *Організація та регулювання дорожнього руху*. Київ: Знання України, 2012.

[57] Ю. Давідіч, *Розробка розкладу руху транспортних засобів при організації пасажирських перевезень*. Харків: ХНАМГ, 2010.

[58] М. Бойків, “Безпечні режими руху транспортних засобів у темну пору доби з урахуванням функціонального стану водія”, дис. канд. техн. наук, НУ Львівська Політехніка, Львів, 2015.

[59] Е. Лобанов, *Проектирование дорог и организация движения с учетом психофизиологии водителя*. Москва: Транспорт, 1980.

[60] Д. Клеббельсберг, *Транспортная психология* / Пер. с нем. Москва: Транспорт, 1989.

[61] А. Вайсман, *Здоровье водителей и безопасность дорожного движения*. Москва: Транспорт, 1979.

[62] Ю. Александров, *Психофизиология: Учебник для вузов*. Санкт-Петербург: Питер, 2003.

[63] В. Бабков, “Неотложные задачи научных исследований в области безопасности и организации движения”, *Труды МАДИ*, Выпуск 95, с. 3-14, 1975.

[64] Р. Баевский, О.Кириллов и З.Клецкин, *Математический анализ изменений сердечного ритма при стрессе*. Москва: Наука, 1984.

[65] В. Доля, *Методы организации перевозок пассажиров в городах*.



Харьков: «Основа», 1992.

[66] Е. Жаворонков, *Совершенствование доставки строительных грузов автомобильным транспортом*. Москва: Транспорт, 1978.

[67] С. Болобан, О. Перегуда та В. Умінський, “Методи аутентифікації користувачів інформаційно-комунікаційних систем”, *Військово-технічний збірник*, №2, с. 47–52, 2009.

[68] П. Бідюк та В. Бондарчук, “Сучасні методи біометричної ідентифікації”, *Правове, нормативне та метрологічне забезпечення системи захисту інформації в Україні*, Випуск 1(18), с. 137–146, 2009.

[69] Я. Кісь та В. Теслюк, “Методи і засоби автентифікації біометричних даних в інформаційних системах”, *Актуальні проблеми економіки: Науковий економічний журнал*, № 12, с. 174–182, 2012.

[70] Г. Ляшенко та А. Астраханцев, “Дослідження ефективності методів біометричної аутентифікації”, *Системи обробки інформації*, № 2(148), с. 111–114, 2017.

[71] Е. Галяшина и В. Галяшин, “Цифровые фонограммы как судебное доказательство”, *Воронежские криминалистические чтения*, № 8, с. 71–99, 2007.

[72] Е. Галяшина, “Лингвистический анализ в системах идентификации диктора: интегративный комплексный подход на базе экспертологии”, *Компьютерная лингвистика и интеллектуальные технологии*, Т.1, с. 156–169, 2015.

[73] Р. Желудков, Е. Тимко и К. Усков, “О влиянии сжатия речи на допустимость речевой фонограммы в уголовное судопроизводство”, в *Материалах 2-ой Всероссийской конференции «Теория и практика речевых исследований» (АРСО-2001)*, 2001, с. 110–116.

[74] А. Кравченко, Н. Крамарь и И. Морозов, “Автоматизированная компьютерная система голосового управления автомобилем”, *Автомобильный транспорт*, Випуск 25, с. 44–47, 2009.

[75] Е. Булгакова, А. Шолохов и Н. Томашенко, “Метод идентификации

дикторов на основе сравнения статистик длительностей фонем”, *Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики*, Т.15, № 1, с. 70–77, 2015.

[76] А. Заковряшин, П. Малинин и А. Лепендин, “Применение распределений мел-частотных кепстральных коэффициентов для голосовой идентификации личности”, *Известия АлтГУ*, №1(81), с. 156–160, 2014.

[77] T.Matsui & S.Furui, “Comparison of text-independent speaker recognition methods using VQ-distortion and discrete/continuous HMMs”, in *Proc. ICSLP*, 1992, pp. 157–160.

[78] В. Сорокин и А. Цыплихин, “Верификация диктора по спектрально-временным параметрам речевого сигнала”, *Информационные процессы*, Вып. 10, № 2, с. 87–104, 2010.

[79] Г. Фролов, “Алгоритм текстонезависимой идентификации человека по голосу”, *Известия ВолгГТУ*, №14 (117), с.63–66, 2013.

[80] И. Иванов, “Анализ метода мел-частотных кепстральных коэффициентов применительно к процедуре голосовой аутентификации”, *Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук*, № 10-1, с. 106–114, 2015

[81] П. Малинин и В. Поляков, “Применение методов анализа многомерных данных к задаче идентификации личности по голосу”, *Известия АлтГУ*, №1-1, с. 140–142, 2010.

[82] К. Нейлор, *Как построить свою экспертную систему*, Москва: Энергоатомиздат, 1991.

[83] Е. Венедиктова и Д. Лавров, “Идентификация диктора по фиксированному набору частот с помощью линейного классификатора”, *Математические структуры и моделирование*, №1(18), с.108–115, 2008.

[84] Е. Федоров, “Методика идентификации диктора на основе модифицированной вероятностной нейронной сети”, *Наукові праці Донецького національного технічного університету. Сер.: Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка*, Випуск 13, с. 186–191, 2011.

[85] К. Тассов и Р. Дятлов, “Метод идентификации человека по голосу”, *Инженерный журнал: наука и инновации*, Выпуск 6, 2013. [Электронный ресурс]. Доступно: <http://engjournal.ru/catalog/it/biometric/1103.html>. Дата обращения: Апр. 04, 2019.

[86] А. Гапочкин, “Нейронные сети в системах распознавания речи”, *Science Time*, №1(1), с. 29–36, 2014.

[87] С. Хайкин, *Нейронные сети: полный курс*, 2-е изд., испр.: Пер. с англ. Москва: ООО «И.Д. Вильямс», 2006.

[88] Х. Ахмад, “Математические модели принятия решений в задачах распознавания говорящего”, *Вестник ТГТУ*, Т.14, №1, с. 19–32, 2008.

[89] А. Голубинский, “Методы аналитического расчета весовых коэффициентов меры различимости на примере задачи верификации личности по голосу”, *Вестник ВИ МВД России*, №2, с. 93–102, 2009.

[90] А. Трубина, “Компьютерная обработка речи. Задача определения личности говорящего”, *Перспективы развития информационных технологий*, №12, с. 233–238, 2013.

[91] Say-Tec. [Online]. Available: <https://www.say-tec.com/>. Accessed on: April 04, 2019.

[92] VoiceKeyID – Додатки в Google Play. [Электронный ресурс]. Доступно: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.voicekeyid.main>. Дата звернення: Квіт. 04, 2019.

[93] Речевые технологии. Голосовая биометрия для чайников на примере работы в контактном центре компании Центр речевых технологий (ЦРТ). [Электронный ресурс]. Доступно: <https://habr.com/ru/company/speechpro/blog/205880/>. Дата обращения: Апр. 04, 2019.

[94] Грит-Тек лаборатория. [Электронный ресурс]. Доступно: <http://www.grittec.ru/speaker-identification.html>. Дата обращения: Апр. 04, 2019.

[95] Л. Пономаренко, “Система захисту від несанкціонованого доступу на основі голосової аутентифікації”, дис. канд. техн. наук, Нац. авіац. ун-т, Київ,

2009.

[96] В. Темников, И. Конфорович и Е. Темникова, “Построение голосовой системы аутентификации диспетчеров с повышенными быстродействием и достоверностью работы”, *Прав., нормат. та метрол. забезп. системи захисту інформації в Україні: наук.-техн. зб.*, Випуск 2, с. 63–67, 2015.

[97] Р. Васильев, “Исследование особенностей идентификации дикторов по голосу”, *Известия ТулГУ, Сер.: Технические науки*, №3, с. 246–252, 2013.

[98] Biometrika – Basics of fingerprint recognition technology and biometric systems. [Online]. Available: [http://www.biometrika.it/eng/wp\\_biointro.html](http://www.biometrika.it/eng/wp_biointro.html) Accessed on: April 04, 2019.

[99] Проверка адекватности модели. [Электронный ресурс]. Доступно: <https://poznayka.org/s22185t1.html>. Дата обращения: Апр. 04, 2019.

[100] Коэффициент детерминации. [Электронный ресурс]. Доступно: [http://www.machinelearning.ru/wiki/index.php?title=Коэффициент\\_детерминации](http://www.machinelearning.ru/wiki/index.php?title=Коэффициент_детерминации). Дата обращения: Апр. 04, 2019.

[101] Оценка значимости коэффициентов модели. [Электронный ресурс]. Доступно: <https://poznayka.org/s22184t1.html>. Дата обращения: Апр. 04, 2019.

[102] Определение объема выборки. [Электронный ресурс]. Доступно: <http://ebooks.grsu.by/gorodilin/opredelenie-ob-ema-vyborki.htm>. Дата обращения: Апр. 04, 2019.

[103] Нормальное распределение. [Электронный ресурс]. Доступно: [http://www.machinelearning.ru/wiki/index.php?title=Нормальное\\_распределение](http://www.machinelearning.ru/wiki/index.php?title=Нормальное_распределение). Дата обращения: Апр. 04, 2019.

[104] А. Кобзарь, *Прикладная математическая статистика*. Москва: Физматлит, 2006.

[105] Конкордация Кенделла. [Электронный ресурс]. Доступно: [http://www.machinelearning.ru/wiki/index.php?title=Конкордация\\_Кенделла](http://www.machinelearning.ru/wiki/index.php?title=Конкордация_Кенделла). Дата обращения: Апр. 04, 2019.

[106] Д. Гурский, *ActionScript 2.0: программирование во Flash MX 2004*.

*Для профессионалов.* Санкт-Петербург: Питер, 2004.

[107] Е. Сулавко, А. Еременко и Р. Борисов “Генерация криптографических ключей на основе голосовых сообщений”, *Прикладная информатика / Journal of Applied Informatics*, №5(65), с. 78–91, 2016.

[108] Л. Чорна, “Стохастична модель голосового сигналу для задачі діагностики ритміки серця людини”, автореф. дис. канд. техн. наук: Терноп. держ. техн. ун-т ім. І.Пулюя, Тернопіль, 1999.

## **ДОДАТКИ**

## Додаток А

### Список публікацій здобувача за темою дисертації

[1] O. Mieshkov and O. Novikov, “Mathematical model of human voice for the task of personal identification and human condition analysis”, *Visnyk of Kherson National Technical University*, №1 (56), с. 163–169, 2016.

[2] О. Мешков, О. Новіков та С. Злепко, “Метод локальних максимумів для виділення вокалізованих ділянок голосового сигналу людини”, *Вісник Хмельницького національного технічного університету. Серія: Технічні науки*, №2 (259), с. 197–210, 2018.

[3] О. Мешков, “Запис та обробка первинного акустичного матеріалу для задачі аналізу голосового сигналу людини та виділення його основних характеристик”, *Наукові праці Чорноморського національного університету імені Петра Могили. Серія: Комп’ютерні технології*, т. 307, № 295, с. 76–81, 2017.

[4] О. Мешков, “Розробка персоніфікованого голосового еталону для задачі аутентифікації особистості”, *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І.Вернадського. Серія: Технічні науки*, т. 29 (68), Ч. 2, № 5, с.11–17, 2018.

[5] О. Мешков та Д. Барановський, “Розробка та дослідження критерію аутентифікації особистості на основі локалізованих структур голосового сигналу”, *Вісник Хмельницького національного технічного університету. Серія: Технічні науки*. т. 1 (267), №6, с. 151–156, 2018.

[6] О. Мешков. “Дослідження часової динаміки критерію аутентифікації особистості за голосовим сигналом”, *Вісник Херсонського національного технічного університету*, №4 (67), с. 85–90, 2018.

[7] О. Мешков, “Програмно-апаратний комплекс для задачі аутентифікації особистості за голосовим сигналом”, *Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського*, Випуск 6 (113), с. 15–20, 2018.

*Монографія*

[8] О. Мешков, О. Новіков та В. Новіков, *Аналіз голосових сигналів людини та аутентифікація особистості за голосом*, Монографія. – Херсон, Україна: вид-во ФОП Вишемирський В.С., 2018.

*Опубліковані праці апробаційного характеру*

[9] О. Новіков та О. Мешков, “Розробка системи ідентифікації голосу людини”, на *15-м юбилейном Международном молодежном форуме «Радиоэлектроника и молодежь в XXI ст.»*, Харків, 2011, с.178–179.

[10] О. Мешков, “Розробка системи діагностики фізичного стану людини за аналізом голосу з використанням цифрових технологій”, на *Міжнародному форумі студентів, аспірантів та молодих учених*, Дніпропетровськ, 2013. с. 291–293.

[11] O. Mieshkov and O. Novikov, “Development of Universal Program Complex for Human Condition Analysis, Based on the Analysis of Human Voice”, at *the 4th International Scientific Conference of Students and Young Scientists Theoretical and Applied Aspects of Cybernetics (TAAC)*, Kyiv, 2014, pp. 294–305.

[12] О. Новіков та О. Мешков, “Алгоритми аналізу голосових сигналів людини для задачі ідентифікації та діагностики фізичного стану”, на *тридцять шостій Всеукраїнській науково-практичній конференції «Інноваційний потенціал світової науки – XXI сторіччя»*, Запоріжжя, 2015-2016, с. 26–28.

[13] O. Mieshkov and O. Novikov, “Automated system for identification and human condition diagnostics based on its voice signal analysis”, at *18-th International conference System Analysis and Information Technology (SAIT-2016)*, Kyiv, 2016, pp. 35–38.

[14] O. Mieshkov, O. Novikov, V. Novikov, L. Fainzilberg, A. Kotyra, S. Smailova, A. Kozbekova, B. Imanbek, “Identification and human condition analysis based on the human voice analysis” at *SPIE 10445, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High Energy Physics Experiments*, 2017, 104453T (7 August 2017); doi: 10.1117/12.2281003



[15] О. Мешков та О. Новіков, “Аналіз стану людини за змінами її голосового сигналу” на науково-практичній конференції *Вітчизняні інженерні розробки для охорони здоров'я*, Київ, 2016, с. 70–71.

[16] О. Мешков, “Спосіб аутентифікації особистості на основі хмарних структур голосового сигналу людини” на I Міжнародній науково-практичній конференції *Інформаційні системи та технології в медицині (ISM-2018)*, Харків, 2018, с. 222–224.

*Патенти України на корисні моделі:*

[17] О. О. Новіков та О. Ю. Мешков, “Електричний аналог голосового апарату людини”, МПК *H02K 39/00 (2013.01)*, № 80645, черв. 10, 2013.

[18] О. О. Новіков та О. Ю. Мешков, “Спосіб моделювання електричного аналогу голосового апарату людини”, МПК *H02K 39/00 (2014.01)*, № 91233, черв. 25, 2014.

[19] О. О. Новіков та О. Ю. Мешков “Спосіб визначення основної частоти голосового сигналу людини”, МПК *G10L 15/00 (2017.01)*, № 122225, груд. 26, 2017.

*Опубліковані праці, які додатково відображають наукові результати дослідження*

[20] А. Новиков и А. Мешков, “Электрический аналог голосового аппарата человека”, *Биомедицинская инженерия и электроника*, № 2, с. 40–50, 2012. [Электронный ресурс]. Доступно: <http://biofbe.esrae.ru/183-890>. Дата обращения: Янв. 21, 2019.

[21] О. Мешков та О. Новіков, “Двоступенева система аналізу голосового сигналу для задачі контролю стану водія під час керування автомобілем”, *Биомедицинская инженерия и электроника*. № 2, 2016. [Электронный ресурс]. Доступно: <http://biofbe.esrae.ru/208-1053>. Дата обращения: Янв. 21, 2019.

## Додаток Б

## Акти випробування та впровадження матеріалів дисертаційної роботи

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ХЕРСОНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

«Затверджую»

Ректор Херсонського національного  
технічного університету

проф. Бардачов Ю.М.  
«29» \_\_\_\_\_ 2019 р.



## АКТ

про впровадження результатів дисертаційної роботи аспіранта кафедри інформаційно-вимірювальних технологій електроніки та інженерії (ІВТЕІ) Мешкова О.Ю. «Програмно-апаратний комплекс для аутентифікації особистості за аналізом голосового сигналу»

Комісія у складі

**Голова:** Проректор з наукової роботи д.е.н., проф. Савіна Г.Г.  
**і членів комісії:** Зав. каф. ІВТЕІ к.т.н. Литвиненко В.М.  
Проф. каф. ІВТЕІ д.х.н. Новікова О.О.  
Проф. каф. ІВТЕІ д.ф.-м.н. Коваленко В.Ф.

склала Акт про впровадження в навчальний процес кафедри ІВТЕІ Херсонського національного технічного університету результатів дисертаційної роботи аспіранта кафедри Мешкова О.Ю.

Комісія відзначає, що результати і положення дисертаційної роботи впроваджені при вивченні студентами кафедри ІВТЕІ спеціальності 163 «Біомедична інженерія» дисциплін:

1. Сигнали та методи їх обробки.
2. Техніка фізичного експерименту.
3. Біофізика.
4. Методи медико-біологічних досліджень та первинні перетворювачі.

Використання результатів дисертаційної роботи в навчальному процесі дозволило сформулювати і розвинути уявлення про сучасні методи досліджень в біомедичній електроніці, медицині та біоінженерії.

**Голова комісії**

Проректор з наукової роботи ХНТУ д.е.н., проф.

 Савіна Г.Г.

**Члени комісії:**

Зав. каф. ІВТЕІ к.т.н.

 Литвиненко В.М.

Проф. каф. ІВТЕІ д.х.н.

 Новіков О.О.

Проф. каф. ІВТЕІ д.ф.-м.н.

 Коваленко В.Ф.

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ХЕРСОНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

«Затверджую»  
 Перший проректор Херсонського  
 національного технічного університету  
 проф. Розов Ю.Г.  
 «25» \_\_\_\_\_ 2019 р.

**АКТ**

**Про використання результатів дисертаційної роботи аспіранта кафедри інформаційно-вимірювальних технологій електроніки та інженерії (ІВТЕІ) Мешкова О.Ю. «Програмно-апаратний комплекс для аутентифікації особистості за аналізом голосового сигналу» у наукових дослідженнях в держбюджетних темах кафедри ІВТЕІ ХНТУ.**

Комісія у складі

**Голова:** Проректор з наукової роботи д.е.н., проф. Савіна Г.Г.  
**і членів комісії:** Зав. каф. ІВТЕІ к.т.н. Литвиненко В.М.  
 Проф. каф. ІВТЕІ д.х.н. Новікова О.О.  
 Проф. каф. ІВТЕІ д.ф.-м.н. Коваленко В.Ф.

склала Акт про використання результатів дисертаційної роботи аспіранта кафедри Мешкова О.Ю.

Комісія відзначає, що результати і положення дисертаційної роботи, отримані під час виконання держбюджетної науково-дослідної роботи за темою «Моделювання впливу фізичних факторів на біологічні об'єкти» (№ Держреєстрації 0106U005699).

У зазначеній темі здобувач був виконавцем окремих розділів.

Результати дисертаційної роботи рекомендовано до випробування в умовах лікувальних закладів з подальшим використанням у лікувальному процесі.

**Голова комісії**

Проректор з наукової роботи ХНТУ д.е.н., проф.

 Савіна Г.Г.

**Члени комісії:**


Зав. каф. ІВТЕІ к.т.н.

 Литвиненко В.М.

Проф. каф. ІВТЕІ д.х.н.

 Новікова О.О.

Проф. каф. ІВТЕІ д.ф.-м.н.

 Коваленко В.Ф.



## УКРАЇНА

Управління охорони здоров'я Херсонської міської Ради  
**КОМУНАЛЬНЕ НЕКОМЕРЦІЙНЕ ПІДПРИЄМСТВО**  
**«ХЕРСОНСЬКА МІСЬКА КЛІНІЧНА ЛІКАРНЯ**  
**імені О.С.ЛУЧАНСЬКОГО»**

**Херсонської міської ради**

73000 м. Херсон вул. Кримська, 138

тел. 35-30-66; факс. 35-49-71; E-mail: [ldrks@ukr.net](mailto:ldrks@ukr.net)



«Затверджую»

Т.В.О. Головного лікаря

КНП «ХМКЛ ім. О.С. Лучанського»

Ларіонов В.Ю.

2019 р.

### АКТ ВИПРОБУВАННЯ

КНП «Херсонська міська клінічна лікарня ім. О.С. Лучанського» на своїй базі провела випробування програмно-апаратного комплексу для аутентифікації особистості за аналізом голосового сигналу, запропонованого в дисертаційній роботі аспіранта кафедри інформаційно-вимірювальних технологій електроніки та інженерії ХНТУ Мешкова О.Ю.

Випробування підтверджує високу достовірність розроблених методів та засобів аутентифікації особистості за голосовим сигналом.

Заст. головного лікаря  
 з медичної частини

Т.В. Димова



# ООО "Агро-Транзит-Инвест"

181

73011, г. Херсон, ул. Домостроительная, 11, код ЄГРПОУ 36329025,  
 єп. НДС 100160376, ІНН 363290221036  
 тел. (0552) 380526 (52)

«Затверджую»  
 Директор ТОВ «Агро-Транзит-  
 Інвест»



Горбенко М.М.  
 2019 р.

## АКТ ВИПРОБУВАННЯ

Підприємство ТОВ «Агро-Транзит-Інвест» на своїй базі провело випробування програмно-апаратного комплексу для аутентифікації та оцінювання функціонального стану водіїв та вантажників за аналізом голосового сигналу, запропонованого в дисертаційній роботі аспіранта кафедри інформаційно-вимірювальних технологій електроніки та інженерії Херсонського національного технічного університету Мешкова Олександра Юрійовича.

Випробування показали високу достовірність розроблених методів та систем аутентифікації та оцінювання функціонального стану за голосовим сигналом, а також доцільність використання даних методів для оцінювання функціонального стану водіїв та вантажників.

З повагою,

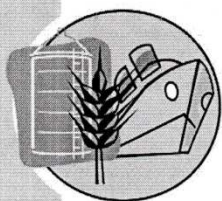
Заступник директора ТОВ «АТІ»



А.П. Луб'яний

Виконавць Луб'яний А.П.  
 Т. (095)736 04 67  
 e-mail : commerce@msigrain.com.ua





# ООО "Агро-Транзит-Инвест"

73011, г. Херсон, ул. Домостроительная, 11, код ЄГРПОУ 36329025,  
св. НДС 100160376, ИНН 363290221036  
тел. (0552) 380526 (52)

«Затверджую»  
Директор ТОВ «Агро-Транзит-  
Інвест»  
Горбенко М.М.  
«*М.М. Горбенко*» 2019 р.

## АКТ ПРО ВПРОВАДЖЕННЯ

### Найменування пропозиції про впровадження

Метод та система аутентифікації та оцінювання функціонального стану водія за голосовим сигналом.

### Ким запропоновано

Херсонський національний технічний університет, кафедра інформаційно-вимірювальних технологій електроніки та інженерії, автори – Мешков О.Ю., Новіков О.О.

### Де, коли, з якою метою впроваджено

Розроблені методи та система впроваджено для підвищення ефективності та безпеки умов праці водіїв та вантажників на ТОВ «Агро-Транзит-Інвест» у 2018-2019 рр.

### Напрями результати, ефективність впровадження

Результати, представлені в дисертаційній роботі Мешкова Олександра Юрійовича «Програмно-апаратний комплекс для аутентифікації особистості за аналізом голосового сигналу», використані при розробці та впровадженні системи аутентифікації та оцінювання функціонального стану водіїв та вантажників на ТОВ «Агро-Транзит-Інвест».

Особливої уваги заслуговує нове вирішення задачі аутентифікації водія за голосовим сигналом, яке використовується при допуску водія до транспортного засобу і враховує як фізіологічні, так і функціональні особливості його організму. Також цінним є можливість використання аналогічних методів для задачі оцінки функціонального стану водія безпосередньо під час керування транспортним засобом.

### Висновки, зауваження, пропозиції

Використання розроблених методів та системи аутентифікації та оцінки функціонального стану водіїв дозволило підвищити безпеку експлуатації транспортних засобів на підприємстві та покращити умови праці водіїв та вантажників.

З повагою,

Заступник директора ТОВ «АТІ»



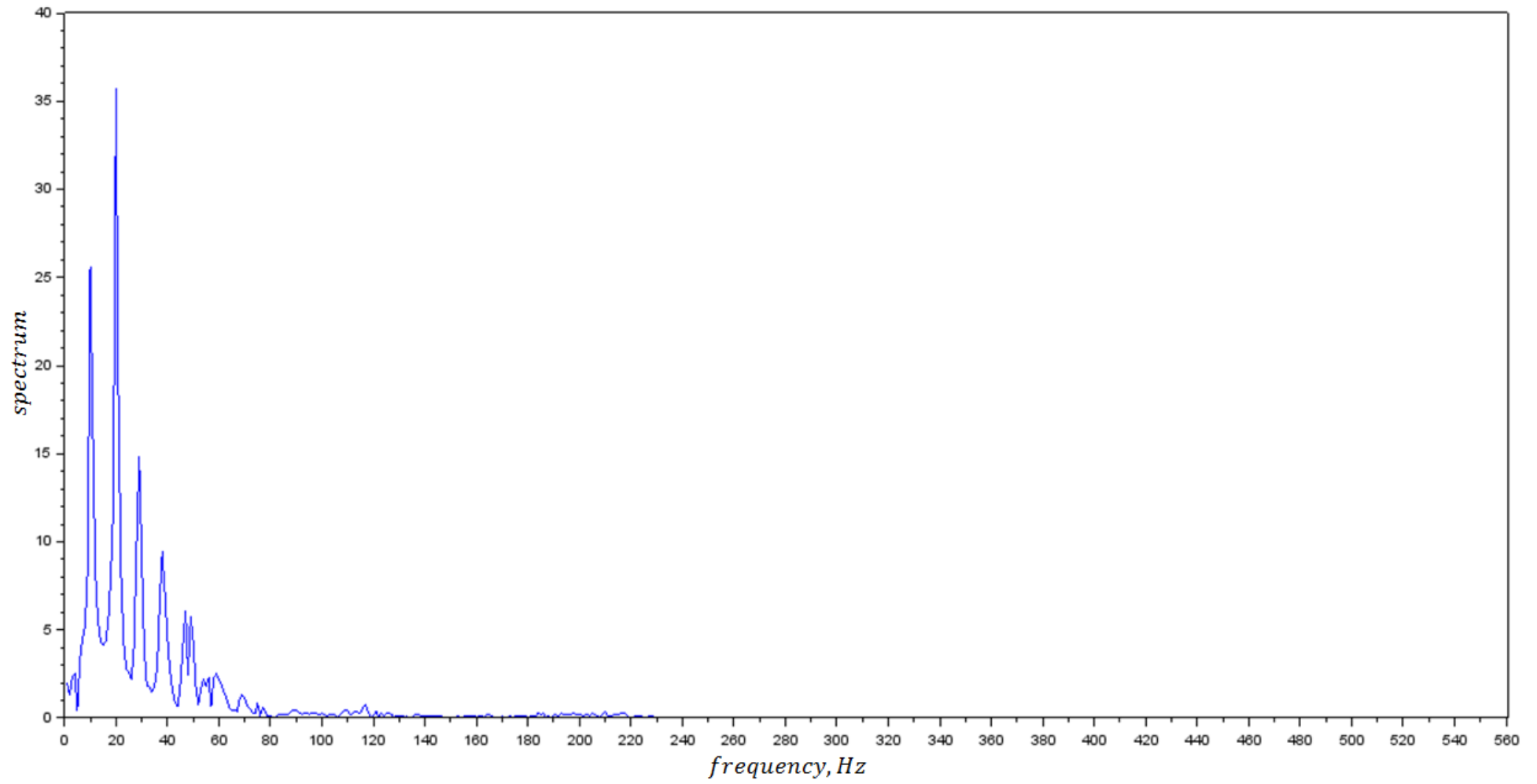
А.П. Луб'яний

## Додаток В

### Спектри різних ділянок голосового сигналу

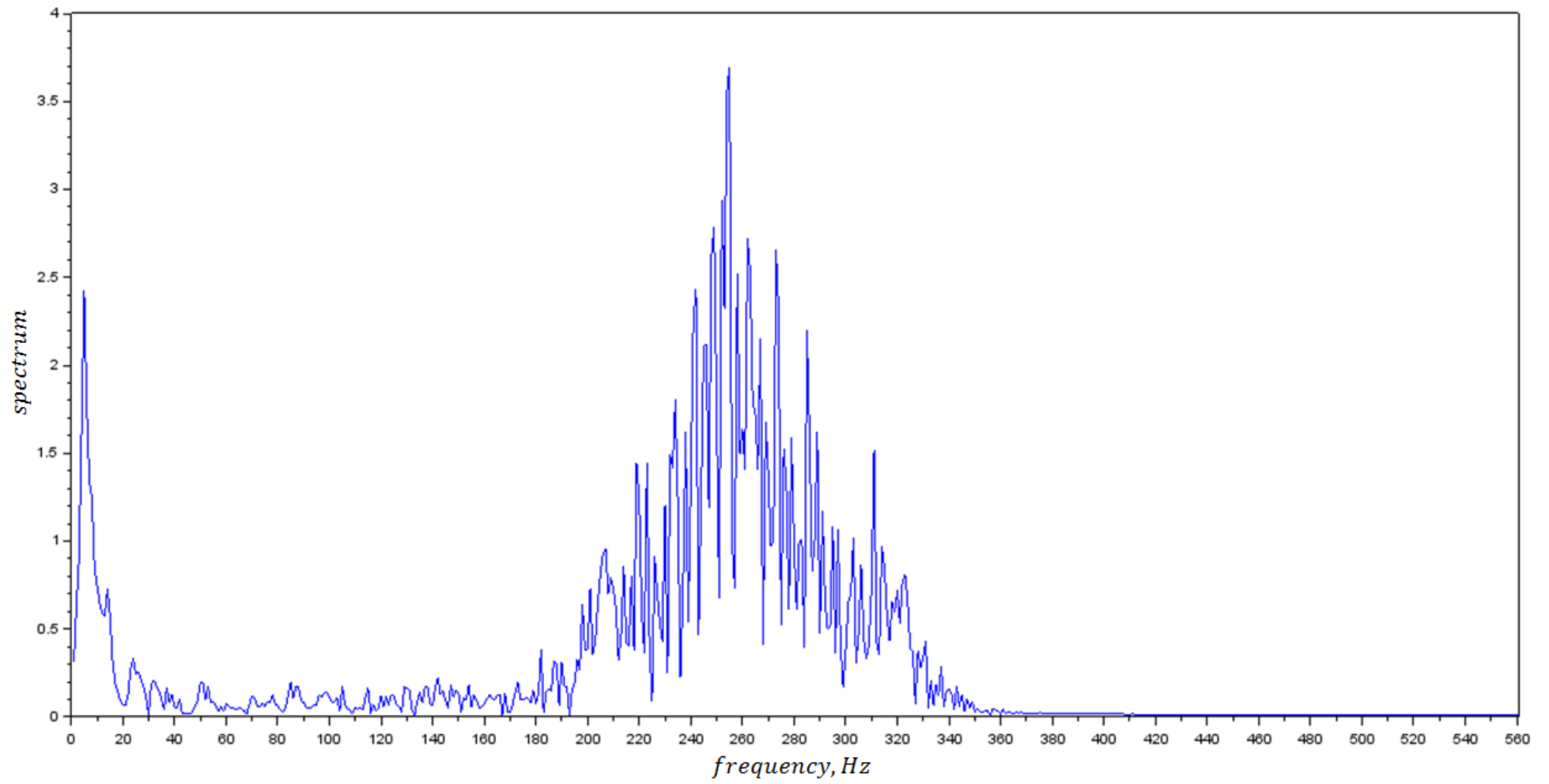


а) Вокалізована ділянка

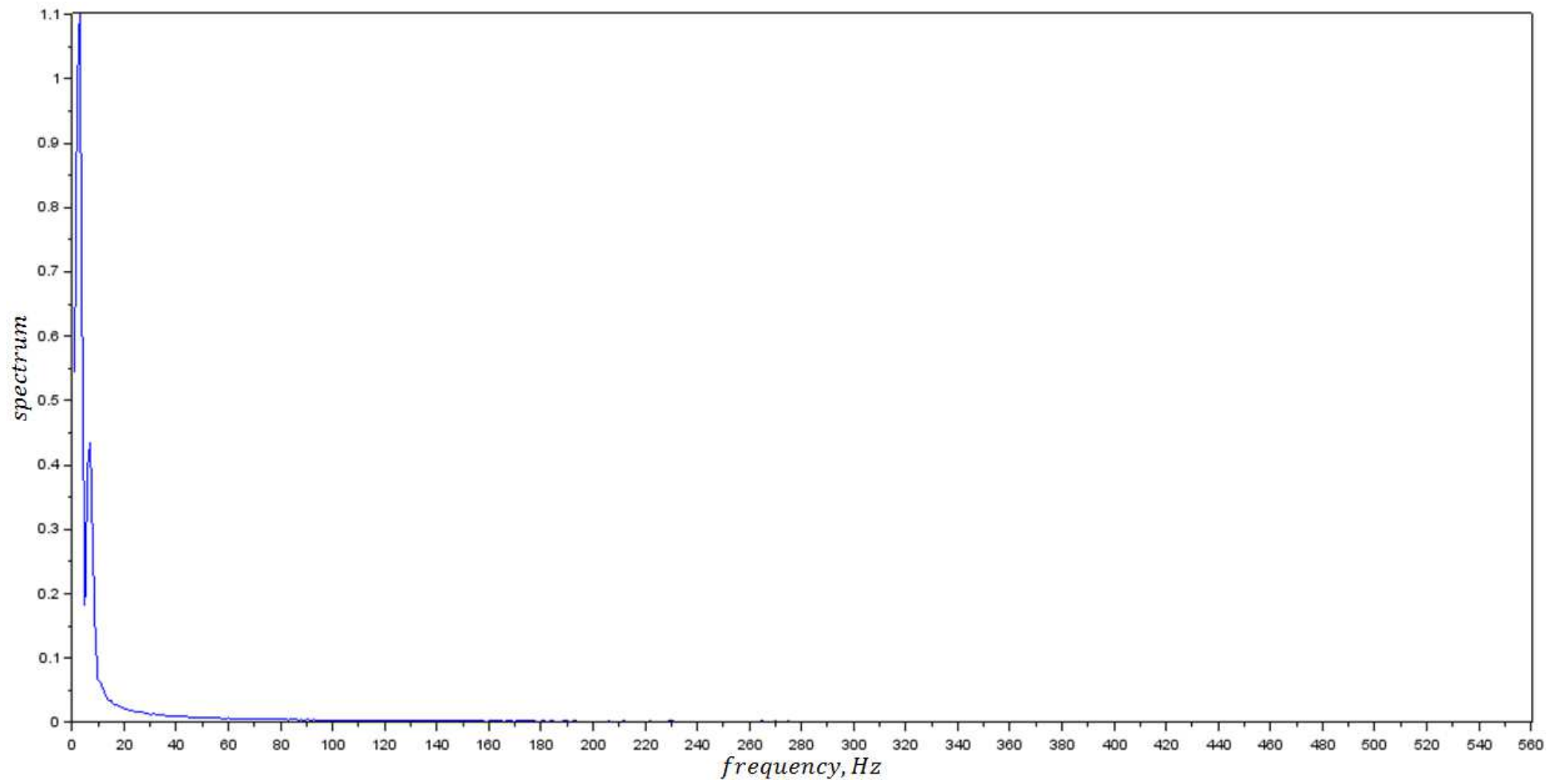


б) Пригласний звук





в) Акустичний шум



г) Пауза

**Додаток Г**  
**Диктори, які входили у базову вибірку**

Чоловіки							Жінки						
№	Вік (А, р)	Зріст (Н, см)	Маса (М, кг)	Життєвий об'єм легень (V,л)	Обхват шиї (D, см)	ІНБ (В)	№	Вік (А, р)	Зріст (Н, см)	Маса (М, кг)	Життєвий об'єм легень (V,л)	Обхват шиї (D, см)	ІНБ (В)
1	15	171	76	4,30	39	136	1	15	187	66	3,79	34	98
2	15	173	70	4,10	40	113	2	16	172	63	3,37	37	83
3	15	177	51	3,52	34	98	3	16	171	49	4,38	35	108
4	15	167	94	4,06	40	107	4	16	164	78	3,40	43	98
5	16	181	43	4,46	41	123	5	16	175	70	4,39	38	129
6	17	155	100	3,70	36	104	6	16	166	51	4,47	43	109
7	18	158	55	4,20	33	132	7	17	186	43	3,29	35	137
8	18	159	56	3,08	34	100	8	17	180	90	4,04	38	122
9	19	156	86	3,34	38	125	9	17	174	59	3,82	39	133
10	19	184	42	4,41	36	113	10	18	185	50	3,93	42	133
11	21	176	93	3,97	36	82	11	18	151	67	3,07	36	113
12	21	184	101	3,76	41	102	12	19	168	46	3,70	38	86
13	22	161	88	3,68	42	113	13	20	158	64	3,00	38	126
14	22	186	60	4,21	37	107	14	20	153	63	3,94	32	93
15	22	181	84	4,45	40	84	15	21	152	85	4,21	42	107
16	23	189	95	3,30	42	126	16	21	171	55	3,05	40	90
17	23	173	91	3,31	35	139	17	21	153	46	3,64	38	99
18	23	180	53	4,39	39	107	18	22	154	53	3,20	32	87
19	23	185	68	3,63	34	115	19	22	188	74	3,62	38	102
20	23	161	97	3,43	32	136	20	22	184	44	3,68	33	111
21	23	175	75	3,20	42	97	21	22	154	57	4,25	37	136
22	24	159	48	3,11	43	89	22	22	188	63	3,79	34	100
23	24	178	84	3,37	35	108	23	22	166	49	3,02	40	112
24	24	160	98	4,40	32	134	24	22	160	78	3,00	43	126

Чоловіки							Жінки						
№	Вік (А, р)	Зріст (Н, см)	Маса (М, кг)	Життєвий об'єм легень (V,л)	Обхват ший (D, см)	ІНБ (В)	№	Вік (А, р)	Зріст (Н, см)	Маса (М, кг)	Життєвий об'єм легень (V,л)	Обхват ший (D, см)	ІНБ (В)
25	24	178	74	4,47	34	89	25	22	165	62	3,09	36	134
26	24	183	55	3,21	33	120	26	22	170	64	3,41	42	105
27	24	181	77	3,50	40	131	27	23	151	52	4,24	37	131
28	24	170	48	3,87	33	124	28	23	161	82	4,48	39	140
29	25	189	57	3,31	43	88	29	23	188	60	3,77	37	105
30	25	180	64	3,83	37	120	30	24	184	86	3,40	42	103
31	26	166	69	3,37	37	120	31	24	169	41	4,26	37	135
32	26	157	102	3,73	42	104	32	24	163	47	3,68	39	84
33	26	184	65	4,24	39	98	33	24	177	44	4,06	32	136
34	26	170	62	4,44	33	132	34	24	170	50	3,02	40	112
35	26	177	76	4,45	33	127	35	24	179	47	3,47	35	89
36	26	188	64	4,24	35	83	36	25	181	64	3,13	36	81
37	26	174	69	3,43	35	116	37	25	168	88	3,66	38	123
38	27	157	66	3,65	42	136	38	25	185	42	3,18	43	92
39	27	157	104	3,98	39	134	39	25	163	41	3,64	33	110
40	27	176	75	3,69	36	84	40	25	154	77	4,05	42	92
41	27	185	89	3,58	32	95	41	26	189	94	3,00	37	110
42	27	164	93	3,32	33	104	42	26	163	65	4,34	34	112
43	28	170	103	3,58	34	119	43	26	152	85	3,35	35	119
44	28	179	98	3,01	41	125	44	26	169	42	3,05	39	105
45	28	167	67	3,90	42	87	45	27	154	44	4,26	42	104
46	28	156	62	3,03	38	124	46	27	186	81	4,50	36	137
47	28	185	89	3,43	41	127	47	27	179	52	3,58	41	110
48	28	167	93	3,97	39	118	48	27	162	60	3,38	34	112
49	28	170	73	4,22	38	81	49	28	158	80	3,93	35	90
50	29	185	68	4,18	36	138	50	28	170	72	4,20	37	86

Чоловіки							Жінки						
№	Вік (А, р)	Зріст (Н, см)	Маса (М, кг)	Життєвий об'єм легень (V,л)	Обхват ший (D, см)	ІНБ (В)	№	Вік (А, р)	Зріст (Н, см)	Маса (М, кг)	Життєвий об'єм легень (V,л)	Обхват ший (D, см)	ІНБ (В)
51	29	189	62	4,33	36	126	51	28	183	81	4,00	41	87
52	29	180	55	3,89	34	89	52	28	166	43	4,32	34	85
53	29	179	64	3,52	35	123	53	28	188	46	3,64	43	94
54	29	187	46	3,31	33	126	54	28	163	97	3,13	36	130
55	29	184	90	4,21	35	128	55	29	161	90	3,22	37	126
56	29	184	86	3,57	33	133	56	29	161	76	3,04	42	100
57	30	160	90	4,18	34	137	57	29	174	67	3,28	43	88
58	30	182	81	4,00	41	91	58	29	179	58	4,10	38	119
59	30	175	50	3,74	40	116	59	29	159	40	4,48	43	94
60	30	168	65	3,94	38	123	60	30	159	94	3,83	33	133
61	31	183	99	3,24	40	103	61	30	181	94	3,74	42	105
62	31	179	71	3,10	43	91	62	30	176	89	3,53	41	119
63	31	176	82	3,33	36	130	63	30	156	78	3,60	40	105
64	31	174	75	3,70	42	115	64	31	188	80	3,67	43	127
65	31	161	69	3,20	40	130	65	31	182	84	3,60	36	140
66	32	160	51	3,67	40	138	66	31	186	55	3,86	39	90
67	32	174	55	3,71	40	115	67	31	171	71	3,58	40	94
68	32	183	56	3,54	40	118	68	31	186	66	3,55	37	125
69	32	163	61	3,66	33	91	69	31	167	60	3,48	41	137
70	33	180	81	3,86	41	129	70	31	187	56	3,64	41	90
71	33	163	64	4,33	40	93	71	32	155	71	3,82	37	94
72	33	183	107	4,01	37	83	72	32	187	73	3,22	41	93
73	33	179	95	4,24	34	133	73	32	184	77	4,06	40	129
74	34	186	78	3,39	33	93	74	32	185	82	3,64	35	111
75	34	155	82	3,97	42	89	75	32	178	82	4,50	36	132
76	34	159	70	3,93	40	114	76	33	181	69	4,05	40	140

Чоловіки							Жінки						
№	Вік (А, р)	Зріст (Н, см)	Маса (М, кг)	Життєвий об'єм легень (V,л)	Обхват ший (D, см)	ІНБ (В)	№	Вік (А, р)	Зріст (Н, см)	Маса (М, кг)	Життєвий об'єм легень (V,л)	Обхват ший (D, см)	ІНБ (В)
77	34	166	67	3,57	33	84	77	33	178	61	3,21	36	84
78	34	169	79	3,80	39	129	78	33	178	54	4,06	41	95
79	35	163	87	4,19	38	122	79	33	173	51	3,47	39	97
80	35	176	63	3,04	34	135	80	33	158	92	3,74	42	140
81	36	176	85	3,32	35	88	81	33	176	72	3,45	35	99
82	36	173	86	4,13	39	128	82	33	181	70	4,33	39	114
83	36	170	71	3,32	43	85	83	34	189	94	3,58	43	108
84	36	185	98	3,66	32	84	84	34	181	49	3,65	42	96
85	37	170	99	3,84	40	138	85	34	189	88	3,62	41	80
86	37	181	50	3,98	34	94	86	35	162	77	3,63	42	131
87	37	170	74	3,04	40	114	87	35	179	51	3,29	37	106
88	38	172	81	3,45	38	96	88	36	161	94	3,75	38	114
89	38	177	44	3,47	41	136	89	37	167	48	3,14	34	121
90	38	181	87	4,48	39	89	90	37	159	60	3,21	35	92
91	38	178	63	4,35	35	101	91	38	169	88	4,34	38	123
92	40	181	44	4,46	36	135	92	38	153	94	4,46	39	129
93	40	163	86	3,53	33	109	93	39	175	64	3,16	34	116
94	41	189	53	4,46	37	130	94	39	176	74	3,68	32	132
95	41	165	102	3,86	42	114	95	39	154	93	3,72	40	95
96	42	176	100	4,04	32	87	96	40	153	64	4,33	42	138
97	42	172	106	3,13	32	96	97	40	189	91	3,00	36	136
98	42	178	73	3,50	38	94	98	40	152	94	4,01	33	112
99	42	174	107	3,31	42	104	99	40	173	65	3,84	40	131
100	44	172	51	4,39	39	95	100	41	167	69	4,07	40	86
101	44	173	84	4,50	40	97	101	41	164	87	3,76	37	123
102	44	172	61	3,01	36	130	102	41	155	53	4,17	38	101

Чоловіки							Жінки						
№	Вік (А, р)	Зріст (Н, см)	Маса (М, кг)	Життєвий об'єм легень (V,л)	Обхват ший (D, см)	ІНБ (В)	№	Вік (А, р)	Зріст (Н, см)	Маса (М, кг)	Життєвий об'єм легень (V,л)	Обхват ший (D, см)	ІНБ (В)
103	44	186	107	3,39	41	107	103	41	182	91	3,26	38	82
104	45	186	100	3,84	43	128	104	41	186	84	3,08	38	107
105	45	166	45	4,44	34	133	105	42	182	98	3,62	35	126
106	45	168	108	3,41	36	112	106	42	180	60	3,53	37	99
107	46	181	63	3,62	43	119	107	42	152	83	3,22	35	112
108	47	186	57	3,96	34	82	108	44	170	69	3,48	42	105
109	47	172	82	4,04	33	98	109	44	168	64	3,73	34	124
110	47	190	45	3,70	34	133	110	45	173	87	3,81	36	121
111	48	170	54	4,31	39	132	111	45	151	61	3,44	36	111
112	48	159	79	4,13	34	138	112	45	188	70	3,08	38	110
113	48	183	63	4,08	38	102	113	45	169	56	4,19	38	125
114	48	171	106	3,84	39	137	114	46	178	85	4,32	36	118
115	49	170	64	3,81	34	127	115	46	155	66	3,89	43	102
116	49	166	88	3,68	42	103	116	47	176	60	3,15	32	127
117	49	178	91	3,69	32	97	117	47	157	75	4,44	38	133
118	49	176	64	3,42	35	121	118	47	185	52	4,13	35	87
119	50	171	97	3,09	36	88	119	47	153	49	3,43	40	101
120	50	158	100	3,53	43	138	120	47	180	56	3,69	40	135
121	51	171	104	4,06	39	127	121	48	169	78	3,14	39	83
122	51	161	93	3,57	42	126	122	48	176	96	3,51	32	131
123	51	174	83	3,99	39	107	123	48	178	86	4,00	39	98
124	51	175	88	4,50	36	125	124	49	162	60	3,69	43	105
125	51	176	59	3,39	34	136	125	49	187	83	3,07	41	87
126	51	170	90	4,01	32	117	126	49	174	50	4,37	32	132
127	51	173	76	4,33	39	99	127	50	167	49	3,30	37	81
128	51	176	101	3,83	41	88	128	51	178	70	3,83	42	134

Чоловіки							Жінки						
№	Вік (А, р)	Зріст (Н, см)	Маса (М, кг)	Життєвий об'єм легень (V,л)	Обхват ший (D, см)	ІНБ (В)	№	Вік (А, р)	Зріст (Н, см)	Маса (М, кг)	Життєвий об'єм легень (V,л)	Обхват ший (D, см)	ІНБ (В)
129	51	161	50	3,40	41	80	129	51	151	82	3,98	37	84
130	51	171	80	3,84	36	98	130	51	170	96	3,78	34	107
131	52	182	108	3,63	41	118	131	51	155	86	3,52	42	86
132	52	158	73	3,80	40	122	132	51	161	71	3,85	38	120
133	52	171	107	4,18	34	99	133	52	166	76	3,10	39	123
134	52	178	108	3,92	34	117	134	52	153	97	3,39	34	90
135	52	168	49	3,96	43	85	135	52	151	83	3,73	34	135
136	53	153	90	3,84	40	140	136	52	151	80	3,46	43	135
137	53	183	95	3,02	41	132	137	52	158	55	4,19	38	121
138	53	180	72	4,40	34	127	138	53	152	65	3,31	37	138
139	53	179	67	3,57	36	101	139	53	172	99	3,44	37	132
140	53	167	64	4,31	39	84	140	53	165	64	3,88	35	102
141	53	165	49	3,42	32	137	141	53	162	82	3,81	41	101
142	53	189	54	3,29	41	82	142	53	158	88	3,56	35	116
143	54	183	82	4,40	41	129	143	53	152	48	3,05	42	91
144	54	158	55	4,38	43	94	144	53	187	71	3,69	36	83
145	54	172	81	3,93	36	105	145	53	158	79	3,22	34	132
146	54	186	75	3,43	35	100	146	53	164	75	3,80	43	93
147	54	158	76	4,40	39	121	147	54	168	70	3,55	39	114
148	55	171	92	3,93	32	132	148	54	174	89	3,17	38	100
149	55	177	101	4,32	43	129	149	54	173	83	3,64	40	131
150	55	166	63	3,86	33	116	150	54	164	95	4,06	33	98
151	55	157	65	3,47	34	108	151	54	153	99	3,41	39	98
152	55	162	85	3,18	36	92	152	55	174	56	3,19	43	98
153	55	175	91	4,38	36	122	153	55	181	56	3,47	38	109
154	56	165	104	3,97	43	132	154	55	185	62	4,10	40	98



Чоловіки							Жінки						
№	Вік (А, р)	Зріст (Н, см)	Маса (М, кг)	Життєвий об'єм легень (V,л)	Обхват ший (D, см)	ІНБ (В)	№	Вік (А, р)	Зріст (Н, см)	Маса (М, кг)	Життєвий об'єм легень (V,л)	Обхват ший (D, см)	ІНБ (В)
155	56	182	106	4,21	42	114	155	55	184	82	3,81	36	122
156	57	155	93	4,17	40	96	156	55	174	58	3,13	32	140
157	57	167	60	3,45	39	130	157	55	180	83	4,10	43	109
158	57	166	80	3,02	41	115	158	56	177	46	4,42	35	84
159	57	179	52	4,12	43	138	159	56	171	79	3,40	34	105
160	57	168	103	3,34	34	95	160	56	162	76	3,47	41	115
161	57	171	62	4,03	40	122	161	56	161	62	3,98	39	105
162	57	173	76	3,99	33	84	162	56	158	64	3,41	43	137
163	57	156	65	3,50	39	83	163	57	151	53	4,15	37	81
164	57	188	55	3,81	40	112	164	57	185	70	4,42	41	122
165	58	157	54	3,81	33	117	165	58	177	92	3,08	40	132
166	58	183	51	4,14	35	110	166	58	186	57	3,15	34	93
167	58	183	107	4,01	39	119	167	58	154	77	3,54	38	113
168	58	167	81	4,00	43	114	168	58	183	58	3,35	32	140
169	59	183	71	4,05	34	140	169	58	177	50	3,78	34	110
170	59	157	98	3,17	42	136	170	59	170	51	3,45	37	88
171	59	189	53	3,43	43	117	171	59	184	94	3,22	43	133
172	59	171	94	3,46	33	107	172	59	186	66	4,19	38	131
173	59	165	78	4,12	40	133	173	59	158	52	3,58	43	116
174	59	183	62	4,12	36	98	174	59	176	70	3,15	32	112
175	59	178	61	4,06	43	86	175	59	185	49	3,27	34	126
176	60	154	76	3,37	37	94	176	59	157	68	4,41	36	127
177	61	181	62	3,89	34	136	177	59	176	65	3,25	35	85
178	62	176	46	4,17	38	93	178	60	164	87	3,80	41	106
179	62	157	43	4,01	39	101	179	60	178	96	3,56	40	129
180	62	157	100	3,62	36	129	180	60	179	96	3,29	42	89

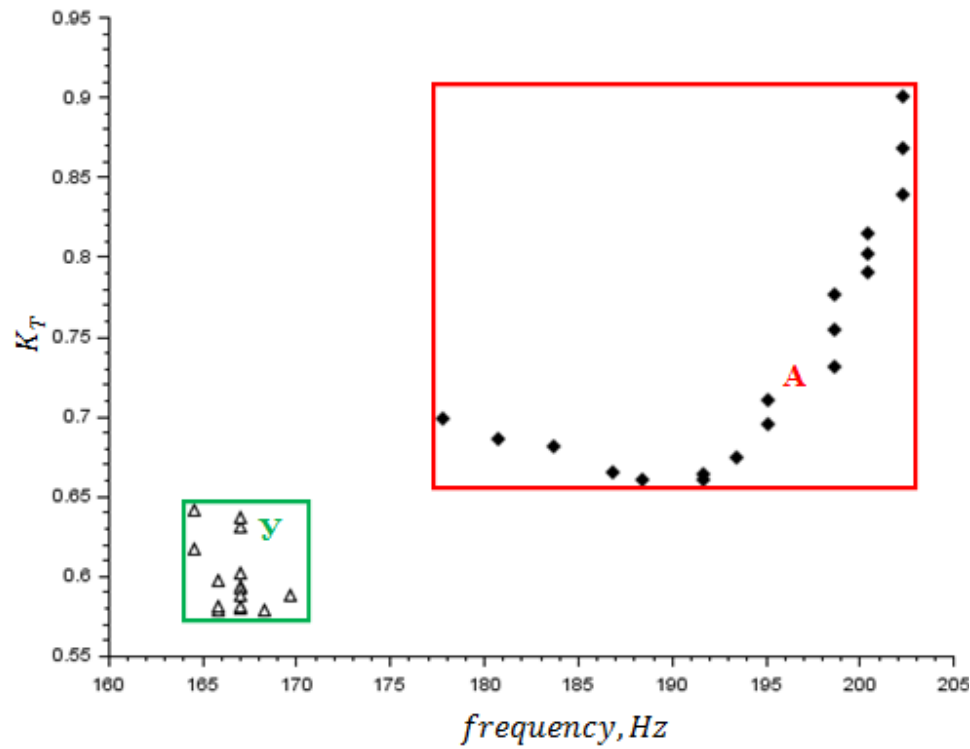
Чоловіки							Жінки						
№	Вік (А, р)	Зріст (Н, см)	Маса (М, кг)	Життєвий об'єм легень (V,л)	Обхват ший (D, см)	ІНБ (В)	№	Вік (А, р)	Зріст (Н, см)	Маса (М, кг)	Життєвий об'єм легень (V,л)	Обхват ший (D, см)	ІНБ (В)
181	62	162	44	4,41	40	94	181	60	168	80	3,50	37	96
182	62	172	70	3,87	32	137	182	61	155	94	3,46	32	91
183	63	159	102	3,05	42	91	183	61	178	66	3,54	33	134
184	63	165	97	4,23	39	122	184	62	180	81	4,12	37	128
185	63	171	85	4,41	39	84	185	62	181	95	3,14	37	139
186	64	176	76	4,21	40	92	186	62	154	65	3,33	38	86
187	64	164	67	3,51	42	98	187	63	185	92	3,53	38	126
188	64	166	49	3,24	40	84	188	63	151	98	3,45	35	87
189	64	167	85	3,99	41	134	189	64	180	94	3,54	39	132
190	64	184	84	3,46	38	130	190	64	156	72	3,85	39	109
191	65	178	64	4,22	33	119	191	65	152	60	3,33	36	119
192	65	150	67	4,01	41	117	192	65	155	64	3,82	32	140
193	66	175	89	4,30	41	132	193	65	185	91	3,31	42	138
194	67	181	69	3,55	41	95	194	65	188	79	3,70	33	136
195	67	157	59	4,27	33	123	195	65	167	86	4,32	32	120
196	67	178	88	3,46	34	134	196	66	184	93	4,31	43	103
197	68	176	89	3,42	32	85	197	66	150	45	4,01	39	121
198	70	171	77	4,22	33	115	198	69	158	98	4,16	41	140
199	70	162	88	3,59	40	109	199	70	155	60	3,88	43	128
200	70	180	77	3,97	32	89	200	70	176	90	3,96	37	97

### Диктори, які входили у тестову вибірку

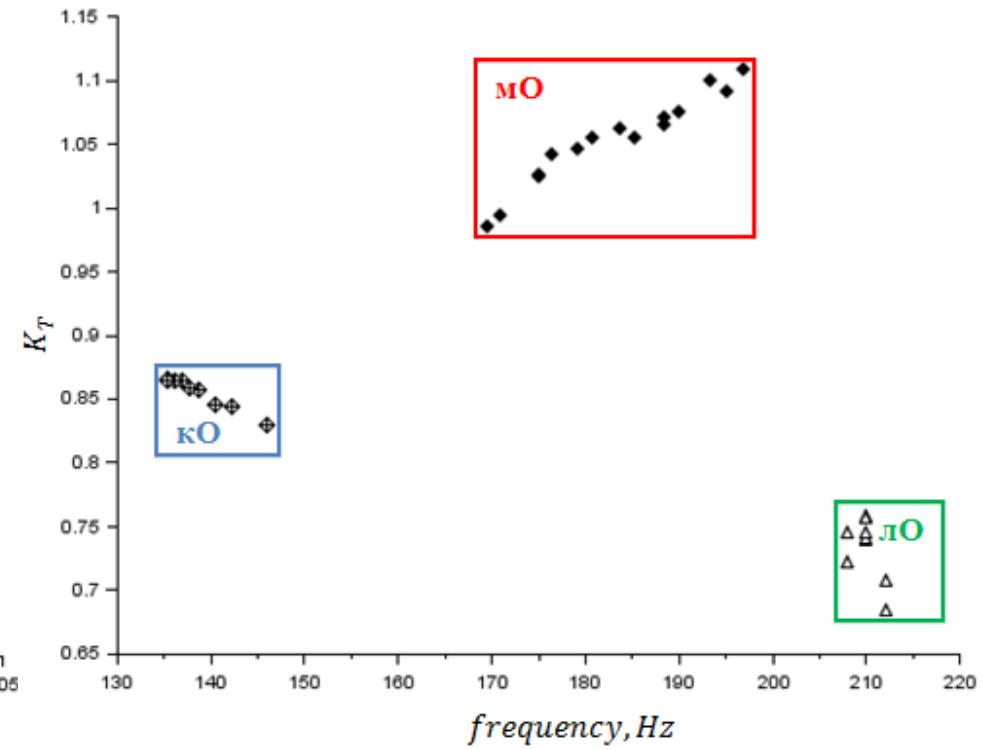
№, з/п	Вік	Зріст	Маса	Життєвий об'єм легень	Обхват шиї	Індекс напруженості регуляторних систем	Стать	Наявність у базі
1	15	185	60	4,32	37	96	Чоловіча	Ні
2	16	181	43	4,31	43	129	Чоловіча	Так
3	22	165	65	4,38	39	120	Чоловіча	Ні
4	24	170	46	4,39	44	95	Чоловіча	Так
5	29	189	62	4,23	45	109	Чоловіча	Так
6	30	175	50	3,78	40	104	Чоловіча	Так
7	32	178	86	4,28	39	127	Чоловіча	Ні
8	34	170	73	3,85	38	85	Чоловіча	Ні
9	35	176	63	3,89	42	89	Чоловіча	Так
10	40	155	60	4,24	39	108	Чоловіча	Ні
11	42	180	94	4,49	36	133	Чоловіча	Ні
12	46	181	63	3,86	45	129	Чоловіча	Так
13	50	175	86	4,06	35	86	Чоловіча	Ні
14	51	176	59	3,76	36	123	Чоловіча	Так
15	52	171	107	3,94	41	128	Чоловіча	Так
16	55	180	96	4,19	42	91	Чоловіча	Ні
17	58	176	83	4,3	36	134	Чоловіча	Ні
18	64	167	85	4,34	36	85	Чоловіча	Так
19	65	170	60	3,62	42	112	Чоловіча	Ні
20	70	162	88	3,73	36	121	Чоловіча	Так
21	18	151	67	3,51	40	80	Жіноча	Так
22	20	180	65	4,47	39	111	Жіноча	Ні
23	20	166	52	3,58	44	84	Жіноча	Ні
24	21	171	55	4,18	37	90	Жіноча	Так
25	23	151	52	3,79	35	131	Жіноча	Так
26	25	181	64	3,85	45	88	Жіноча	Так
27	29	181	80	3,76	40	101	Жіноча	Ні
28	34	181	49	4,24	40	97	Жіноча	Так
29	35	162	77	3,88	44	129	Жіноча	Так
30	37	160	53	4,1	40	104	Жіноча	Ні
31	39	176	74	3,66	36	110	Жіноча	Так
32	41	179	78	3,76	40	108	Жіноча	Ні
33	42	180	60	4,33	44	133	Жіноча	Так
34	47	180	56	4,29	42	108	Жіноча	Так
35	51	165	65	4,25	45	95	Жіноча	Ні
36	54	158	46	4,18	40	110	Жіноча	Ні
37	59	170	51	4,46	44	92	Жіноча	Так
38	62	154	65	3,55	37	138	Жіноча	Так
39	64	156	72	3,53	39	92	Жіноча	Так
40	71	155	67	4,42	44	121	Жіноча	Ні

## Додаток Д

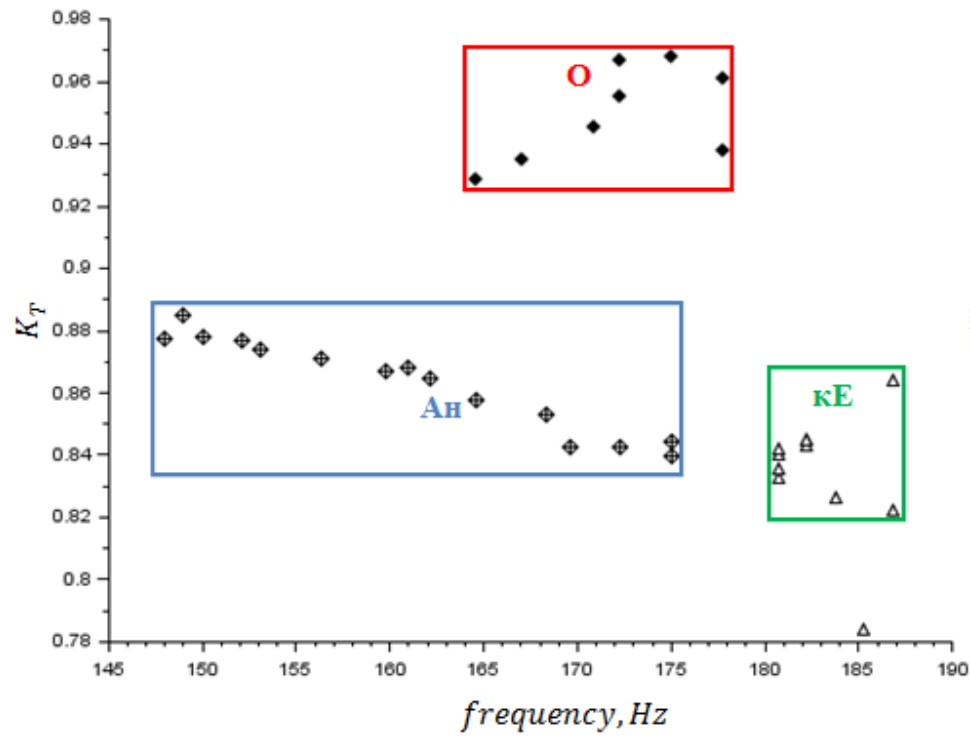
### Конфігурації локалізованих структур різних фраз різних дикторів



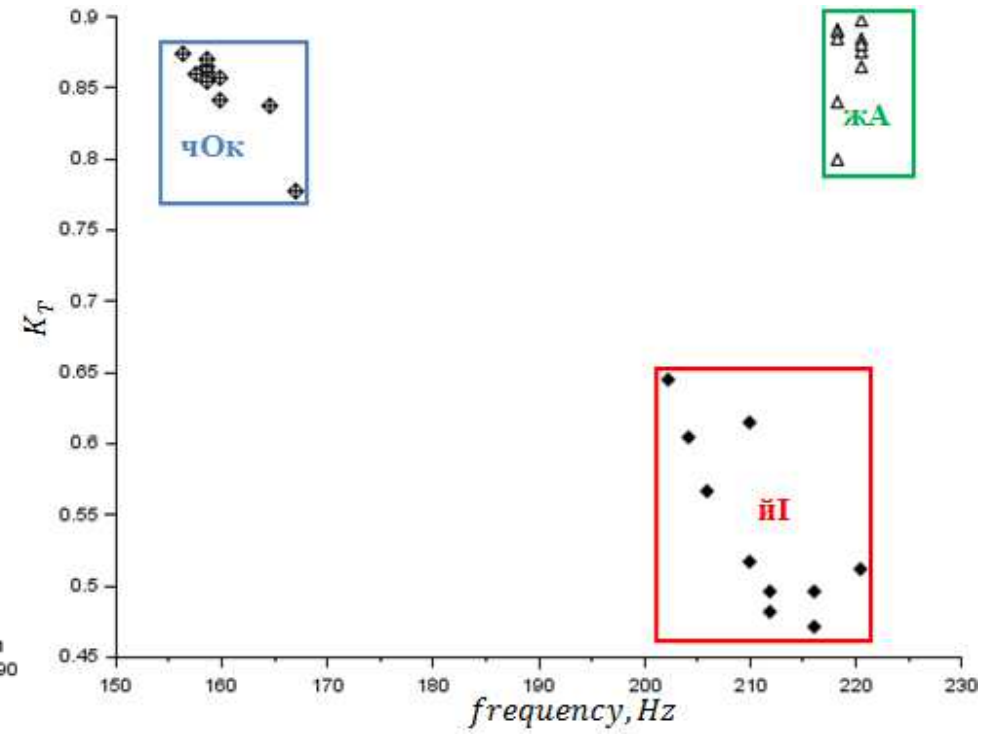
Ау (диктор 1, чоловік)



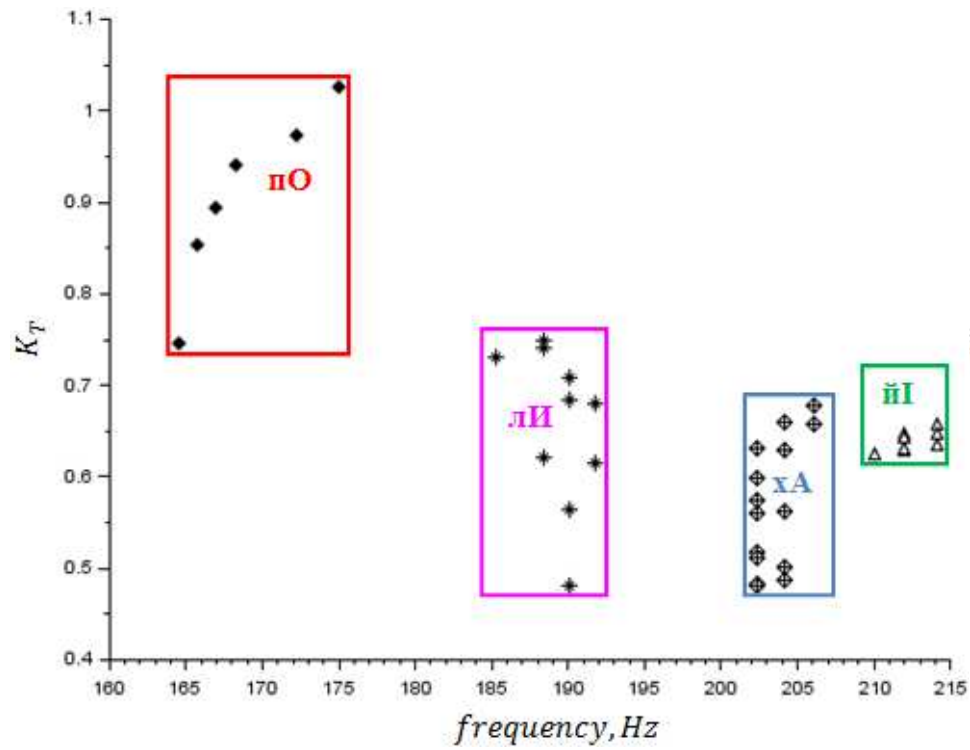
Молоко (диктор 218, жінка)



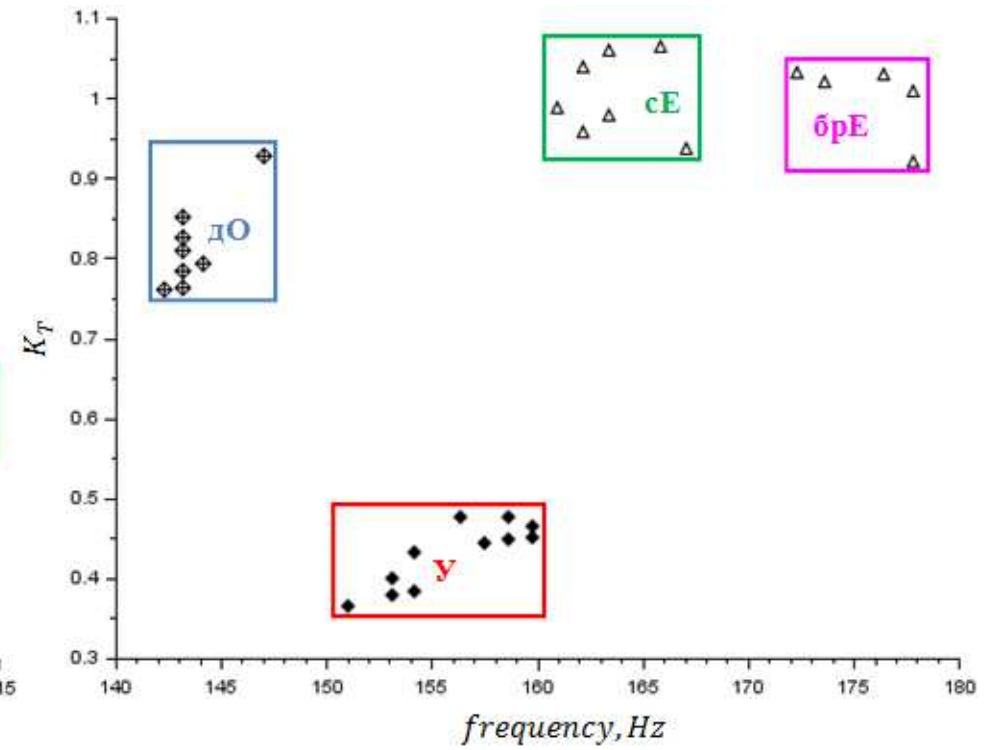
Океан (диктор 50, чоловік)



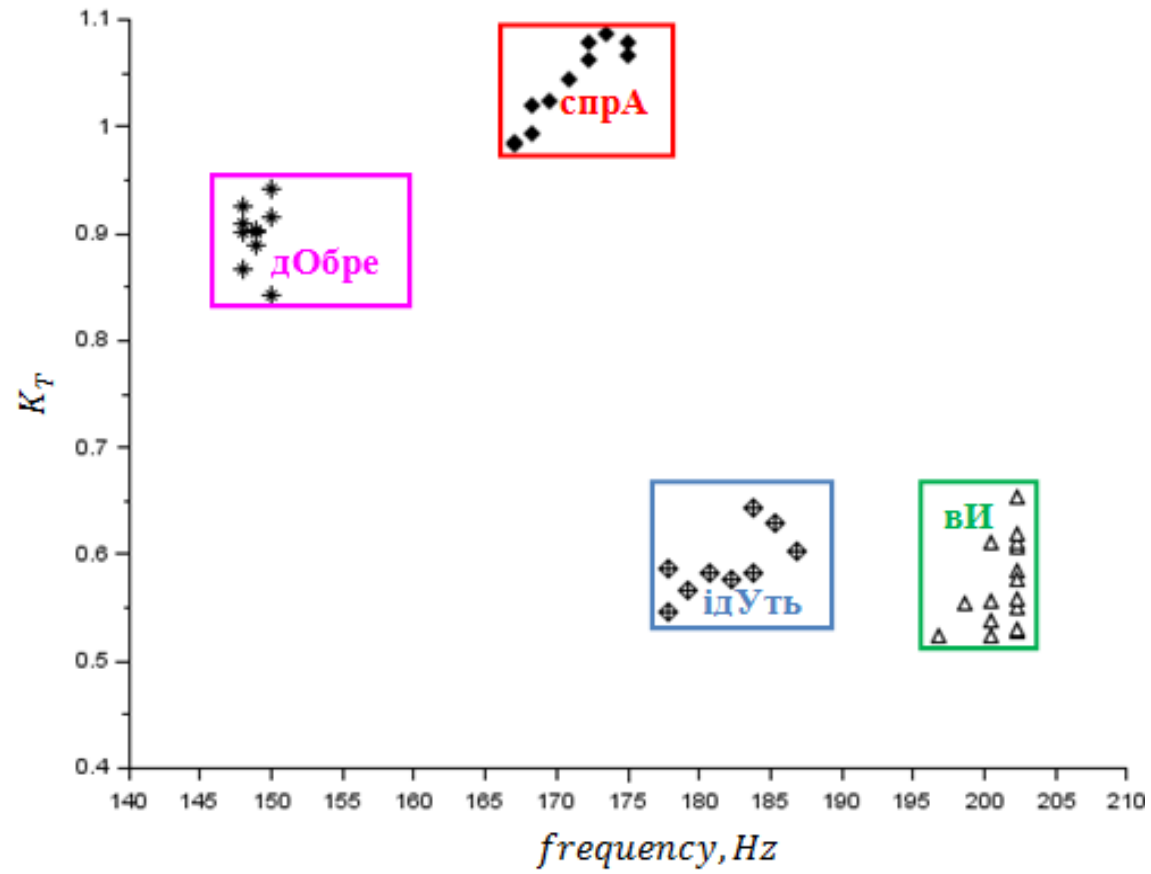
Їжачок (диктор 74, чоловік)



Поїхали (диктор 233, жінка)



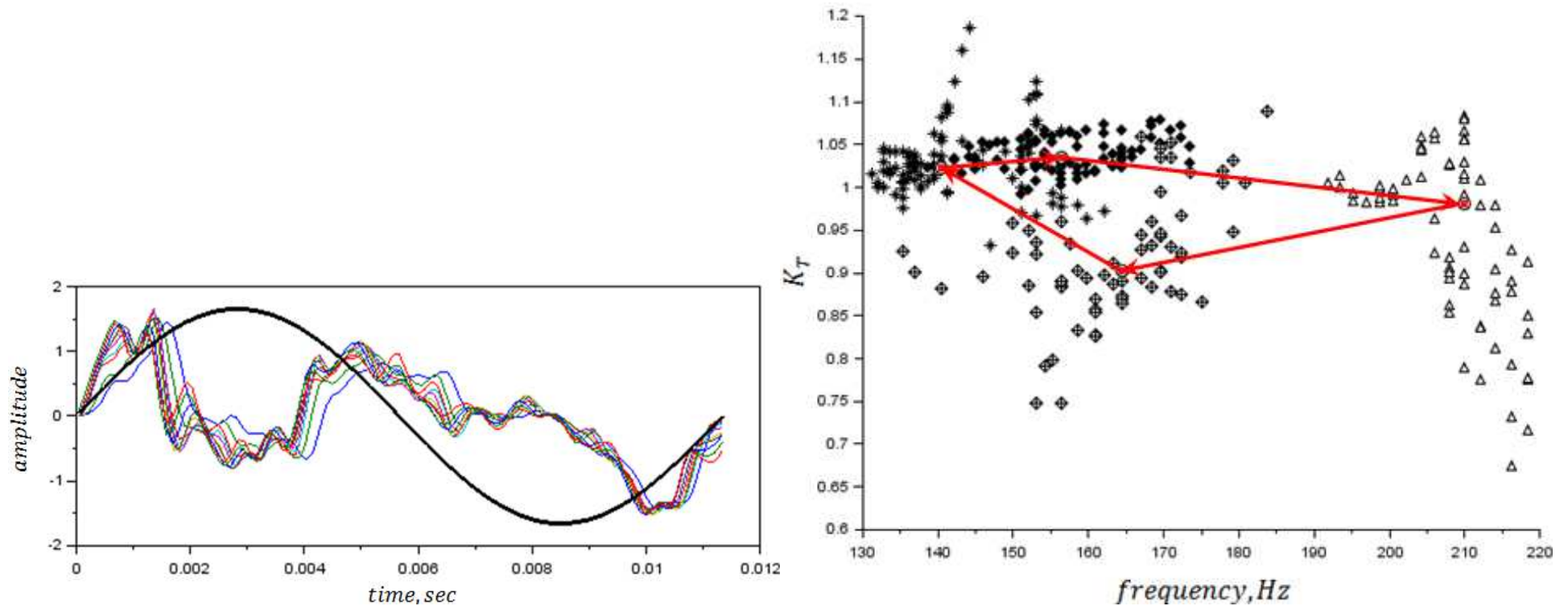
Усе добре (диктор 358, жінка)



Справи ідуть добре (диктор 29, чоловік)

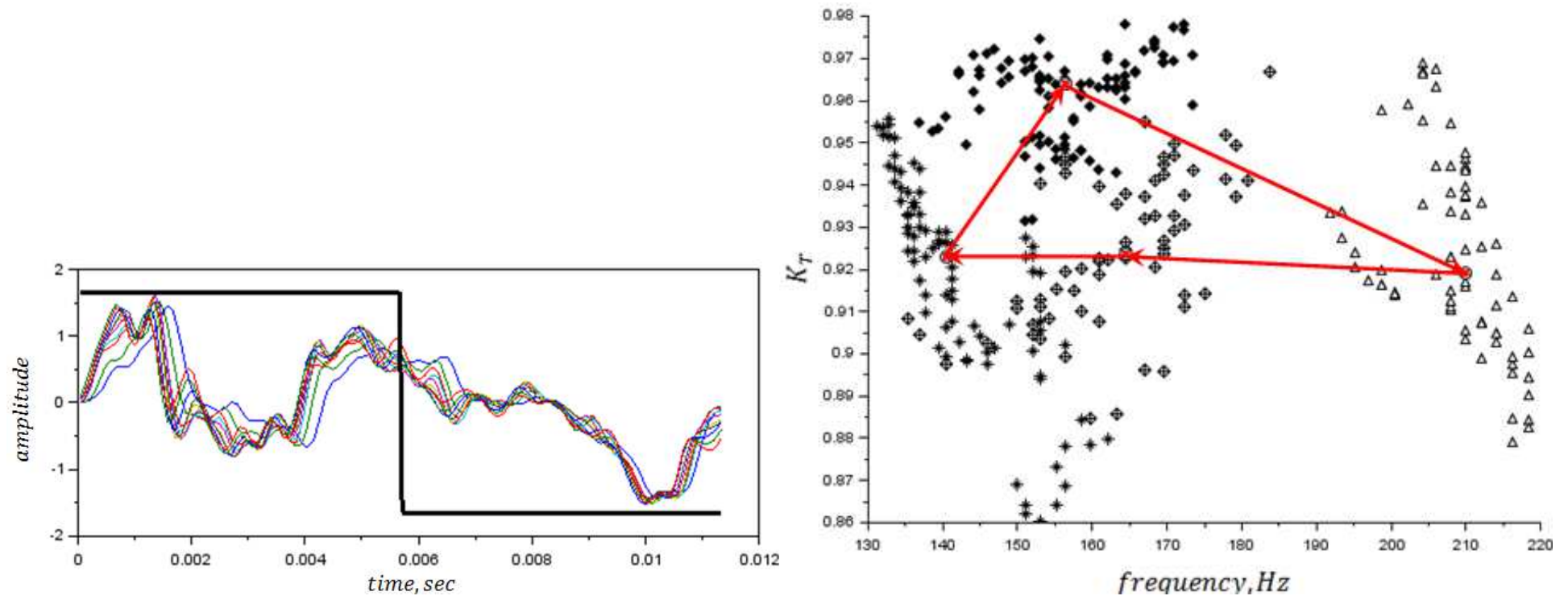
### Додаток Е

Приклади базових сигналів, що аналізувались у ході дослідження, накладені на різні звуки голосу людини та типова форма локалізованих структур, утворених на основі різних базових сигналів (диктор №29, фраза Справи ідуть добре)

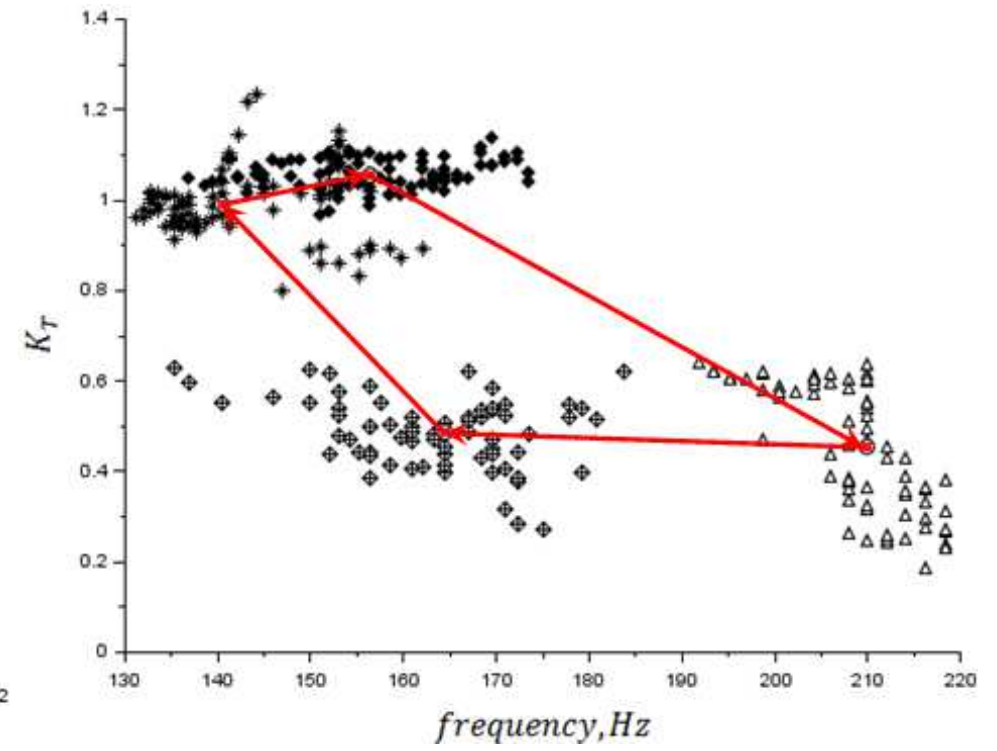
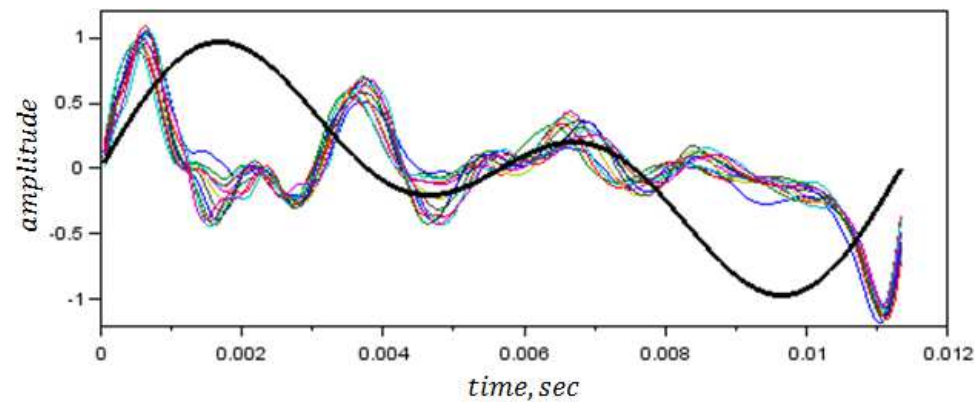


Одинична гармоніка

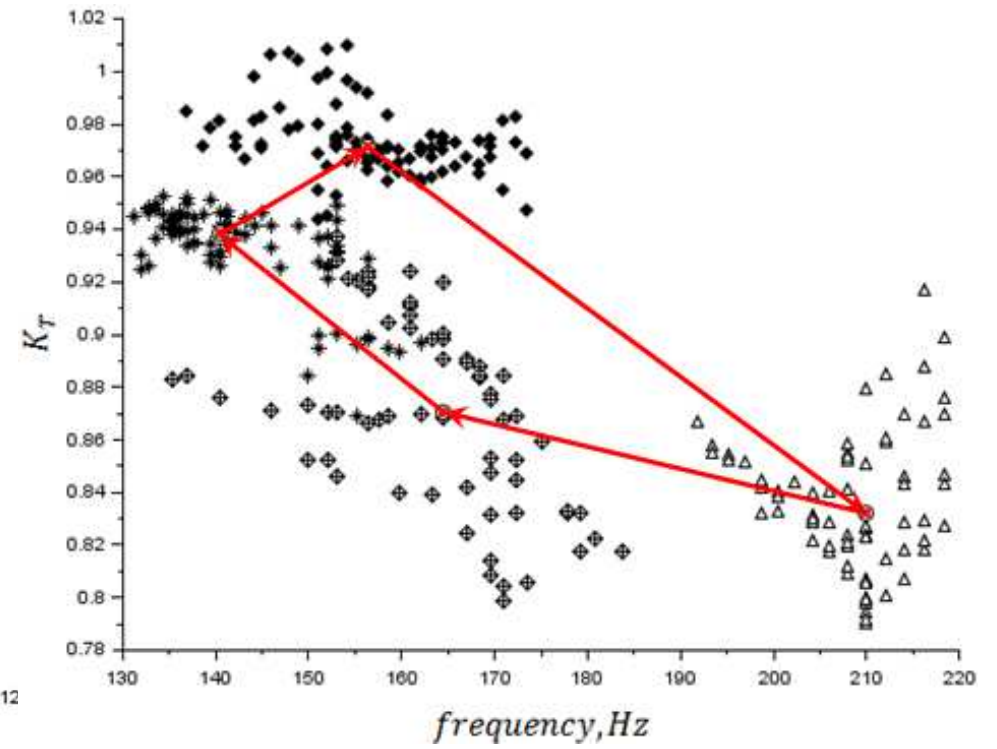
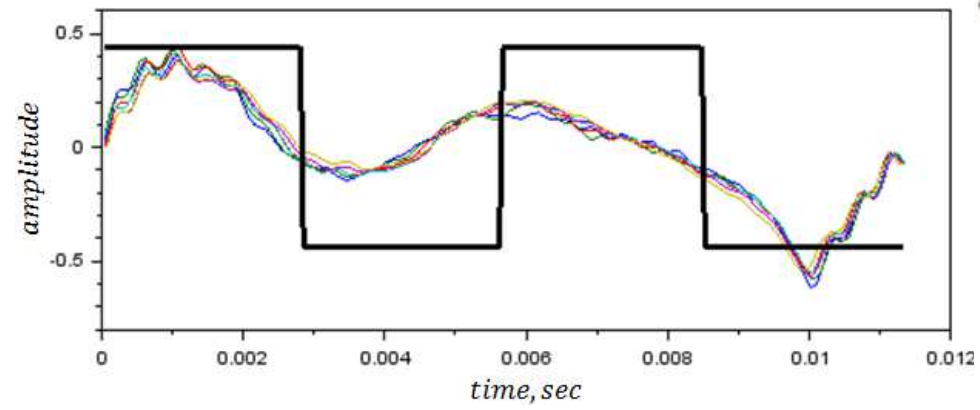




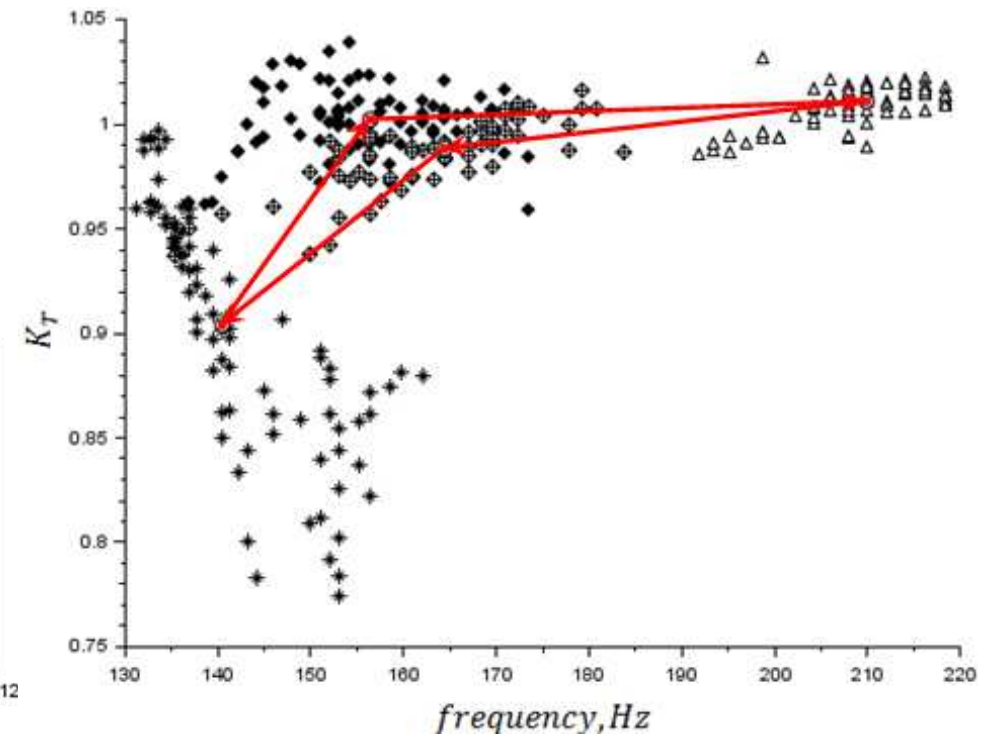
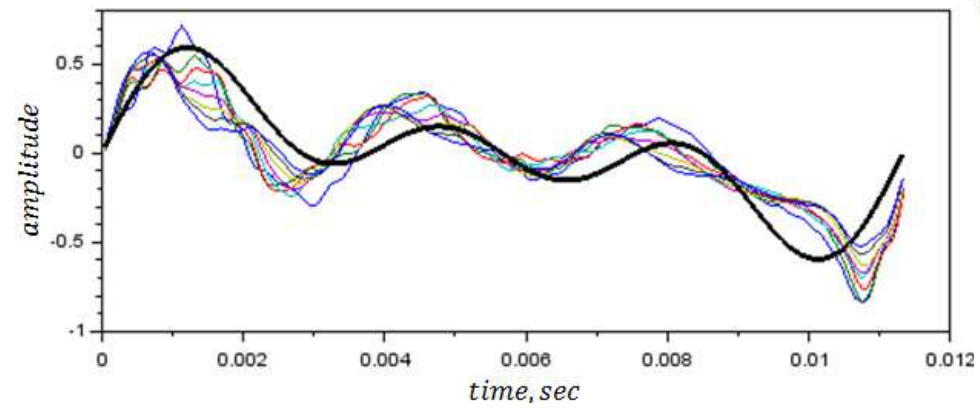
Одиничний імпульс



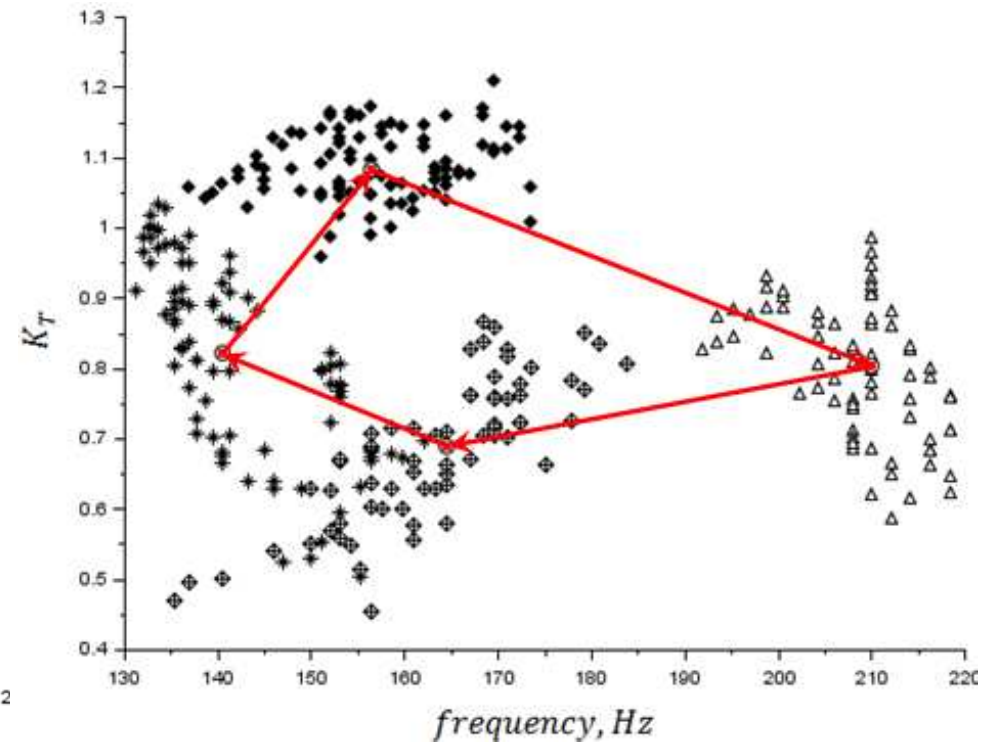
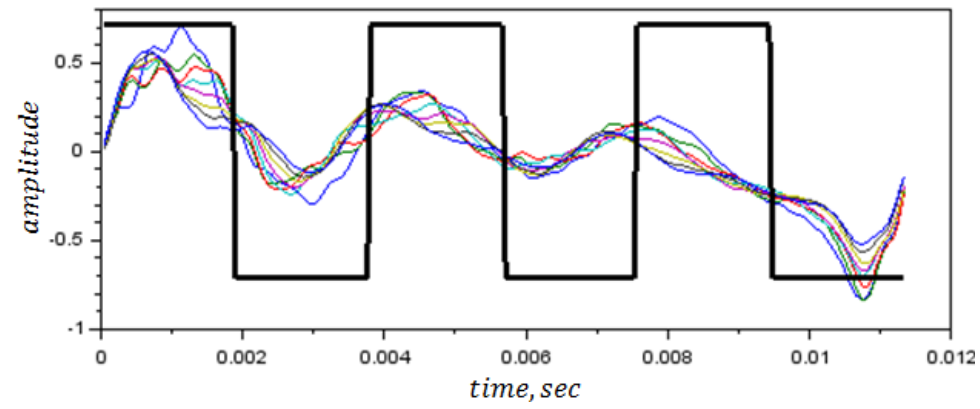
Подвійна гармоніка



Подвійний імпульс



Потрійна гармоніка



Потрійний імпульс

## Додаток Ж

Розрахунковий критерій для вибору базового сигналу (найбільше значення для кожного диктора виділене)

Диктор	Одинична гармоніка	Одиничний імпульс	Дві гармоніки	Подвійний імпульс	Три гармоніки	Потрійний імпульс	Диктор	Одинична гармоніка	Одиничний імпульс	Дві гармоніки	Подвійний імпульс	Три гармоніки	Потрійний імпульс
1	<b>2,280725</b>	2,147323	1,703720	1,627341	2,124992	2,072514	26	2,199649	<b>2,356557</b>	1,540097	1,865232	1,829578	1,345127
2	2,717681	2,672270	1,409259	1,765154	<b>2,938353</b>	2,818793	27	1,436130	1,500849	2,088274	2,489140	1,864230	<b>2,606997</b>
3	2,174144	<b>2,218394</b>	1,768177	1,593370	2,007627	2,076515	28	1,923175	1,653798	1,994618	1,433382	<b>2,330471</b>	2,034857
4	1,157025	1,598765	1,362184	1,624920	<b>2,495515</b>	2,281771	29	2,312373	1,960465	2,568262	<b>2,726938</b>	1,244315	1,302899
5	<b>2,696152</b>	2,369970	2,551286	2,534524	1,126795	1,146160	30	2,966069	2,517201	2,971287	2,498711	2,960539	<b>2,976959</b>
6	1,135752	1,566920	1,482608	1,488141	2,588811	<b>2,687620</b>	31	1,137814	1,751444	1,442949	<b>2,896918</b>	2,538443	2,250833
7	1,042327	1,105082	<b>1,969038</b>	1,831148	1,848160	1,694886	32	1,885043	1,895363	<b>2,876450</b>	2,623731	1,267146	1,001698
8	1,036834	1,668583	1,780740	1,535735	2,718052	<b>2,739350</b>	33	2,317513	2,349881	1,900090	2,531197	2,447471	<b>2,580031</b>
9	<b>2,583295</b>	2,292492	1,735588	1,841599	2,022537	2,075440	34	1,726209	1,793894	2,304310	2,705862	2,539694	<b>2,958856</b>
10	1,096441	1,418680	2,733767	<b>2,988863</b>	2,121742	1,879209	35	2,671860	<b>2,735449</b>	1,711589	1,860049	2,022720	2,063089
11	<b>2,417704</b>	2,206978	1,707254	1,788234	1,136529	1,014703	36	1,908026	1,970905	<b>2,897894</b>	2,600145	1,046039	1,152110
12	1,501837	1,766988	2,296648	<b>2,750775</b>	1,691384	1,738740	37	2,110646	<b>2,292340</b>	1,487047	1,778970	1,962082	1,081350
13	2,105675	<b>2,131133</b>	1,075725	1,358237	1,590708	1,607094	38	2,292571	2,630768	2,655940	2,361904	<b>2,818514</b>	2,026024
14	2,126002	2,062242	1,668374	1,544751	<b>2,710007</b>	2,478667	39	1,100104	1,282342	2,520787	<b>2,955900</b>	1,697358	1,817536
15	2,745217	<b>2,748215</b>	1,172995	1,331794	1,950807	1,679071	40	<b>2,474486</b>	2,133476	2,407748	2,132076	2,205319	2,223462
16	2,461466	<b>2,981093</b>	2,276191	2,460632	1,977408	1,931138	41	1,985420	1,434744	1,883692	1,959655	2,051845	<b>2,381965</b>
17	1,154109	1,287459	1,850514	1,550112	<b>2,885515</b>	2,337230	42	1,374268	1,136624	1,718506	1,612447	<b>2,828502</b>	1,983740
18	1,315872	1,234402	<b>2,640302</b>	2,422446	1,884617	1,756798	43	2,231209	2,135613	2,507636	<b>2,668831</b>	1,728630	1,684867
19	1,219759	1,019483	<b>2,995053</b>	2,535778	1,768235	1,512491	44	2,523663	<b>2,610447</b>	1,887576	1,536202	2,185768	2,473213
20	2,831745	<b>2,863388</b>	2,621534	2,689634	2,000080	1,729218	45	<b>2,642465</b>	2,788714	2,639728	2,224719	2,166536	1,867291
21	1,479519	1,729170	<b>2,743798</b>	2,707968	1,900438	2,312884	46	1,487788	1,868671	2,302257	<b>2,480376</b>	2,076501	1,996407
22	1,392988	1,104358	1,634469	1,738113	1,730055	<b>1,859159</b>	47	2,628476	<b>2,674896</b>	1,140039	1,351767	1,889681	2,103109
23	1,993985	1,629583	<b>1,997423</b>	1,961154	1,098036	1,094989	48	1,486471	1,434966	2,209515	2,379784	<b>2,414515</b>	2,345868
24	<b>2,980599</b>	2,528549	1,470810	1,897414	2,615733	2,871188	49	<b>2,932443</b>	2,584608	1,548250	1,694134	1,572207	1,904219
25	<b>2,575749</b>	2,312411	2,930297	2,086679	1,539767	1,383581	50	2,777304	2,686748	<b>2,968176</b>	2,902252	1,990009	1,626626

Диктор	Одинична гармоніка	Одиничний імпульс	Дві гармоніки	Подвійний імпульс	Три гармоніки	Потрійний імпульс	Диктор	Одинична гармоніка	Одиничний імпульс	Дві гармоніки	Подвійний імпульс	Три гармоніки	Потрійний імпульс
51	2,367656	2,287023	2,753107	<b>2,994405</b>	1,603603	1,504185	81	2,025006	2,015775	2,801519	2,397167	1,393380	<b>2,397606</b>
52	2,362920	2,588820	<b>2,844095</b>	2,702290	1,743254	1,663181	82	1,315219	1,065835	<b>2,312075</b>	2,210552	1,865434	1,495222
53	1,410184	1,564587	1,872606	1,995441	2,187677	<b>2,844623</b>	83	1,880596	1,685166	1,875209	1,626534	<b>2,187996</b>	1,001569
54	1,584986	<b>1,829358</b>	1,410790	1,042909	1,112491	1,624252	84	1,144710	1,213219	1,505016	<b>2,654442</b>	2,619535	1,863689
55	<b>2,544767</b>	2,539049	1,180222	1,550852	2,030471	1,790476	85	2,300437	2,407860	1,201992	<b>2,517641</b>	1,269165	2,277470
56	1,167420	1,670742	1,618044	2,039036	2,018550	<b>2,736896</b>	86	1,292849	1,293466	1,559516	1,977512	<b>2,751048</b>	1,644260
57	1,707328	2,247869	1,306912	1,102512	<b>2,552811</b>	2,253033	87	2,387238	2,270186	1,958895	1,759915	2,223739	<b>2,654856</b>
58	2,271316	<b>2,590981</b>	1,827729	1,722012	2,048690	2,465458	88	1,680208	1,152821	2,746039	<b>2,834609</b>	2,398946	1,364649
59	1,533899	1,656000	1,278327	1,224283	<b>2,998393</b>	2,561386	89	1,735939	2,397646	<b>2,825797</b>	2,731733	2,115914	2,151028
60	1,124101	1,222104	<b>2,685470</b>	2,587692	1,402154	1,467870	90	2,260241	2,146542	1,309214	1,544254	<b>2,495577</b>	1,752753
61	1,787116	<b>2,943859</b>	1,992865	1,222453	2,761103	2,070941	91	<b>2,111694</b>	1,620193	1,954424	1,511408	1,262860	1,930854
62	2,062174	1,745933	1,463380	1,317186	1,298833	<b>2,227990</b>	92	1,742185	1,575675	<b>2,903629</b>	2,855500	2,305982	1,411693
63	2,026503	1,021513	2,451661	1,984557	1,070133	<b>2,800049</b>	93	1,108315	1,758610	2,386564	1,603019	<b>2,678326</b>	2,425178
64	1,577753	1,483161	2,354117	<b>2,653303</b>	1,209223	1,315339	94	<b>2,950679</b>	1,276162	2,385090	2,210864	1,791411	1,084716
65	1,630775	2,538193	1,937924	1,477642	<b>2,883922</b>	1,842404	95	1,849688	2,344479	1,483997	<b>2,689584</b>	2,246713	1,820324
66	1,105634	1,898735	2,142094	1,198603	<b>2,287208</b>	2,150087	96	2,384603	<b>2,672797</b>	2,019848	2,317863	1,359572	1,822424
67	2,053502	2,075989	2,254200	1,277765	1,410203	<b>2,586691</b>	97	1,796660	<b>2,586248</b>	1,932642	1,726081	1,690112	1,731185
68	1,106461	1,692809	2,808986	<b>2,944506</b>	2,259191	2,057708	98	2,537632	1,610526	1,174298	1,841639	<b>2,564093</b>	1,364859
69	<b>2,636481</b>	1,013485	1,972977	1,106471	2,565985	1,383859	99	2,721892	1,393888	<b>2,883435</b>	1,684802	1,390820	1,870422
70	1,114283	1,335786	2,753507	2,412814	<b>2,833922</b>	2,504776	100	<b>2,543016</b>	1,275586	1,547645	1,031182	2,315705	2,050921
71	1,920531	2,667602	<b>2,850991</b>	1,880851	2,510998	1,236589	101	<b>2,915180</b>	1,274643	2,792408	2,265568	1,131810	2,526240
72	<b>2,029774</b>	1,169148	2,110011	1,149118	1,937113	1,063072	102	1,705069	2,518996	1,010037	2,091645	2,167637	<b>2,567644</b>
73	1,311749	<b>2,931541</b>	1,067757	1,353424	1,224110	2,753817	103	1,681746	<b>2,912378</b>	2,522499	1,883268	1,817686	2,661266
74	2,425162	1,533627	<b>2,797567</b>	2,587299	2,145281	1,838543	104	1,479885	1,894883	2,108670	1,115249	1,237742	<b>2,851800</b>
75	1,165744	1,221315	1,850805	1,654386	1,185210	<b>2,772692</b>	105	1,195999	2,243020	<b>2,269578</b>	1,245261	2,238595	2,445024
76	<b>2,423382</b>	1,237228	1,361997	2,097623	1,881302	1,677599	106	2,467767	<b>2,726158</b>	2,304362	1,383285	2,329832	2,456357
77	2,352327	1,543375	1,050152	1,048678	1,225065	<b>2,477340</b>	107	1,773263	2,838587	<b>2,875193</b>	1,831103	1,939612	2,032494
78	1,713940	1,675585	1,673390	2,030934	<b>2,934184</b>	2,463255	108	1,979883	1,510035	2,001089	<b>2,851715</b>	1,816733	1,694276
79	1,363184	2,495834	2,224476	1,220419	<b>2,605637</b>	1,810066	109	1,621974	1,412317	1,088528	1,587135	<b>2,258094</b>	1,401272
80	1,268007	<b>2,917169</b>	1,541576	2,571431	2,865568	2,813619	110	2,741628	<b>2,975887</b>	1,430999	1,632856	2,847562	1,872158

Диктор	Одична гармоніка	Одичний імпульс	Дві гармоніки	Подвійний імпульс	Три гармоніки	Потрійний імпульс	Диктор	Одична гармоніка	Одичний імпульс	Дві гармоніки	Подвійний імпульс	Три гармоніки	Потрійний імпульс
111	1,138845	1,257391	1,340087	1,148401	<b>2,591505</b>	1,059826	141	1,127384	<b>2,513666</b>	1,372310	2,338833	2,283479	1,572991
112	2,295216	2,107957	<b>2,457391</b>	2,285665	2,441722	1,926227	142	1,300611	1,073170	<b>2,793025</b>	1,494041	1,902342	2,751628
113	2,809506	1,431743	1,589595	<b>2,900419</b>	1,994378	2,439334	143	2,673952	2,223279	2,718927	<b>2,747876</b>	2,722315	2,330078
114	1,663988	2,445404	2,358158	<b>2,727116</b>	2,032113	1,773157	144	2,406700	1,136011	1,821616	1,645148	<b>2,809913</b>	2,444214
115	<b>2,777098</b>	2,501470	1,810619	2,193292	2,913692	1,781630	145	<b>2,951350</b>	2,863808	1,951691	2,217011	1,082269	1,551603
116	<b>2,840932</b>	2,972197	1,652206	2,577170	2,020065	1,688254	146	2,630478	1,323616	1,145863	<b>2,989757</b>	2,309433	1,949881
117	1,141354	2,655338	<b>2,674400</b>	1,020662	1,884878	2,335736	147	1,265564	1,297984	<b>2,986309</b>	2,211329	1,437163	1,272126
118	1,663932	<b>2,909347</b>	1,031340	2,749842	1,904488	2,023466	148	2,731291	1,324788	<b>2,845951</b>	2,374151	1,580309	2,276110
119	1,050637	1,002870	<b>2,995415</b>	1,476009	2,984734	2,675486	149	2,008073	1,311981	1,471316	1,921496	<b>2,923610</b>	2,646673
120	1,640229	<b>2,721993</b>	1,460114	1,102855	2,547742	2,577747	150	<b>2,911037</b>	1,459904	1,428868	1,864441	2,059683	1,214058
121	1,649448	1,868542	1,501152	1,298794	1,369984	<b>1,950747</b>	151	<b>2,935395</b>	2,351017	2,921142	2,657542	1,743211	2,705866
122	1,282605	<b>2,653824</b>	2,506156	1,958396	2,140722	1,932265	152	2,326127	1,625501	1,115763	1,833733	<b>2,395803</b>	1,646421
123	<b>2,943907</b>	2,894562	1,488601	2,822944	1,204235	1,884740	153	2,304091	<b>2,251043</b>	2,173380	1,332514	1,707719	1,044641
124	2,519778	1,101342	<b>2,963459</b>	2,307461	2,429668	2,062945	154	1,111167	2,766193	2,359761	<b>2,920375</b>	2,100610	2,820136
125	1,647699	<b>2,764751</b>	1,929968	1,640186	2,289076	2,329938	155	<b>2,923748</b>	2,779023	2,732784	2,348454	2,389674	2,257067
126	2,743526	2,140482	<b>2,831138</b>	2,510289	2,767189	2,542867	156	<b>2,476860</b>	1,186443	1,656757	1,669806	2,464045	1,896433
127	2,070990	1,362010	1,590109	2,290715	<b>2,425657</b>	2,195076	157	2,190424	1,794315	1,564481	2,197235	<b>2,941010</b>	2,929750
128	2,055024	2,518058	<b>2,710161</b>	2,305405	2,550006	1,646999	158	1,444622	1,014675	1,711680	1,672492	<b>2,292573</b>	2,090725
129	1,114812	2,171886	1,718178	1,293717	1,569225	<b>2,555742</b>	159	2,163065	<b>2,843638</b>	1,898903	2,088730	2,642123	1,006336
130	2,272899	1,420569	1,680548	1,939737	1,605917	<b>2,671778</b>	160	1,780422	1,132225	2,022713	1,010461	1,034431	<b>2,714845</b>
131	1,433419	1,744730	1,875997	2,830227	<b>2,839133</b>	1,761072	161	2,745389	2,002138	1,610937	<b>2,918834</b>	2,243915	2,335607
132	1,265506	1,332835	1,721530	1,232346	1,092479	<b>2,782034</b>	162	1,690340	1,879644	<b>2,945998</b>	1,824930	2,854086	1,434126
133	1,827104	2,028949	<b>2,465644</b>	1,390835	2,446826	1,349025	163	2,035739	<b>2,773047</b>	1,735792	1,889822	1,165300	2,215671
134	1,169925	1,298992	1,737194	2,384230	2,469904	<b>2,697758</b>	164	1,840337	1,852838	1,303298	<b>2,817527</b>	2,218420	2,051828
135	<b>2,927992</b>	2,387852	2,518759	2,700734	1,604277	2,582767	165	<b>2,907408</b>	2,858436	2,684092	1,095555	2,608689	2,746746
136	2,060168	<b>2,898313</b>	1,250076	1,346744	1,110683	2,533213	166	2,262756	2,101556	<b>2,595133</b>	2,497601	2,557128	2,133399
137	1,241305	1,112590	2,310069	1,234616	<b>2,475415</b>	2,420639	167	1,881926	1,613555	<b>2,718678</b>	1,384030	1,655929	1,805034
138	1,627117	2,248386	<b>2,825241</b>	1,561092	2,108423	2,100888	168	1,712031	<b>2,042718</b>	1,881883	1,988137	2,559841	1,783092
139	1,604583	1,243686	1,357635	1,633904	1,232999	<b>2,732221</b>	169	1,357824	1,997281	2,255635	1,809772	2,407227	<b>2,450195</b>
140	2,432670	2,348133	1,287321	2,881427	2,848401	<b>2,992798</b>	170	2,032118	<b>2,401091</b>	2,395360	1,202750	1,672460	1,885419



Диктор	Одинична гармоніка	Одиничний імпульс	Дві гармоніки	Подвійний імпульс	Три гармоніки	Потрійний імпульс	Диктор	Одинична гармоніка	Одиничний імпульс	Дві гармоніки	Подвійний імпульс	Три гармоніки	Потрійний імпульс
171	1,257359	1,831142	2,552036	1,988569	1,225529	<b>2,578907</b>	201	2,455712	2,354124	2,172682	<b>2,459009</b>	1,506688	1,303221
172	1,098149	1,489806	<b>1,943350</b>	1,206289	1,355213	1,123947	202	<b>2,811677</b>	2,485056	2,049875	1,390292	2,213349	1,923231
173	1,153714	2,179453	<b>2,342906</b>	1,667053	2,148876	1,637030	203	2,329249	<b>2,995488</b>	2,712303	2,820880	1,077358	2,279581
174	<b>2,894797</b>	2,143217	2,169622	2,571519	1,664932	2,089944	204	2,292727	1,673333	1,691832	1,845834	<b>2,716074</b>	2,638503
175	2,941160	1,663028	<b>2,989902</b>	2,819626	1,533226	2,202853	205	<b>2,986120</b>	2,741708	1,441722	2,935078	1,701940	1,237918
176	2,293865	1,614611	<b>2,731908</b>	2,544410	1,724048	1,793363	206	2,028090	1,361808	<b>2,970948</b>	2,822322	2,701738	1,875388
177	1,110697	2,519003	1,704215	<b>2,585223</b>	1,988244	1,253945	207	1,913126	<b>2,846171</b>	1,781920	1,164432	2,559392	2,260184
178	1,093596	1,751250	1,460348	2,830509	1,638801	<b>2,888674</b>	208	1,648117	2,157038	1,285922	1,877983	1,938034	2,399455
179	2,693651	1,219238	1,406185	2,356426	2,668565	<b>2,930087</b>	209	<b>2,947702</b>	1,604359	1,663570	1,243336	2,898782	2,065891
180	2,882194	1,759272	2,558906	2,814915	2,429173	<b>2,928037</b>	210	<b>2,932248</b>	2,779089	1,086768	1,081401	1,961623	2,452819
181	1,935751	1,459819	<b>2,784148</b>	1,333422	1,983019	1,604811	211	1,409016	2,409764	2,074155	2,304365	<b>2,518056</b>	1,212544
182	1,288071	<b>2,870920</b>	1,912258	2,028341	1,533039	1,954317	212	2,360048	<b>2,763932</b>	1,263729	1,668994	2,695564	1,944817
183	1,764168	<b>2,334159</b>	1,114981	1,855295	1,784327	1,078027	213	<b>2,959545</b>	1,180884	2,804300	2,369723	1,660759	2,604682
184	1,179306	1,226625	1,560643	<b>2,671773</b>	2,447035	1,746451	214	2,048939	2,068175	2,641666	<b>2,948573</b>	1,640962	1,982525
185	1,110025	1,502182	1,408885	<b>2,821175</b>	1,101773	2,702241	215	2,259614	1,971826	1,955838	<b>2,620050</b>	1,393238	1,124002
186	1,374834	2,284430	<b>2,405183</b>	2,012221	2,066648	1,029647	216	<b>2,641174</b>	1,888647	1,642409	2,261507	2,205344	1,053619
187	2,148874	2,168108	2,440880	2,513720	<b>2,479334</b>	2,254868	217	2,477406	2,578988	<b>2,774075</b>	2,753058	2,524804	1,193077
188	<b>2,429838</b>	1,069258	1,206181	1,462068	2,288018	1,962938	218	2,702511	2,009317	1,177580	1,815967	<b>2,730240</b>	2,174079
189	2,521648	1,679332	1,231511	1,137447	<b>2,981784</b>	2,369147	219	1,716942	<b>2,956347</b>	2,366795	2,744522	2,133370	2,085173
190	2,057873	1,574521	<b>2,936872</b>	2,154503	1,433970	2,216570	220	2,195117	<b>2,988068</b>	2,834385	1,203777	2,780494	2,313241
191	2,598570	2,558892	2,539287	2,384410	<b>2,931267</b>	2,336135	221	1,426525	<b>2,251834</b>	1,872464	1,324105	1,759053	1,792659
192	1,752205	1,628578	<b>2,555159</b>	1,827562	2,066753	1,951742	222	<b>2,587186</b>	2,495802	1,416870	1,413355	2,257786	2,408684
193	2,848545	1,784034	<b>2,927325</b>	2,339712	2,436839	2,090309	223	<b>2,850161</b>	1,277306	2,640165	2,478537	2,328244	1,266505
194	1,168861	2,538533	1,255806	<b>2,829248</b>	2,750005	2,015185	224	1,161777	<b>2,120400</b>	1,905156	1,151240	1,900880	1,283474
195	1,376508	1,123371	1,966727	1,039367	<b>2,779477</b>	2,191251	225	<b>2,584437</b>	2,224607	1,983750	2,294632	1,870654	1,839381
196	1,833914	1,823875	1,265605	2,056257	2,322434	<b>2,661084</b>	226	2,087370	1,948017	1,895127	1,284723	<b>2,735082</b>	1,778236
197	2,691249	2,345134	2,139159	<b>2,993008</b>	2,715056	2,613935	227	1,303382	<b>2,440232</b>	1,072707	1,454643	1,091820	1,644843
198	<b>2,737469</b>	2,352469	2,244012	2,638789	2,245717	1,112848	228	1,812645	1,234228	1,581108	2,218068	1,033427	<b>2,410584</b>
199	1,766204	2,109019	2,001163	1,983936	<b>2,757798</b>	2,160099	229	2,713783	2,071074	2,522249	1,696477	<b>2,863583</b>	1,845121
200	1,376879	<b>2,191381</b>	1,351749	2,183957	1,589123	1,277219	230	1,347970	2,477512	2,343987	2,014824	2,352076	<b>2,874385</b>

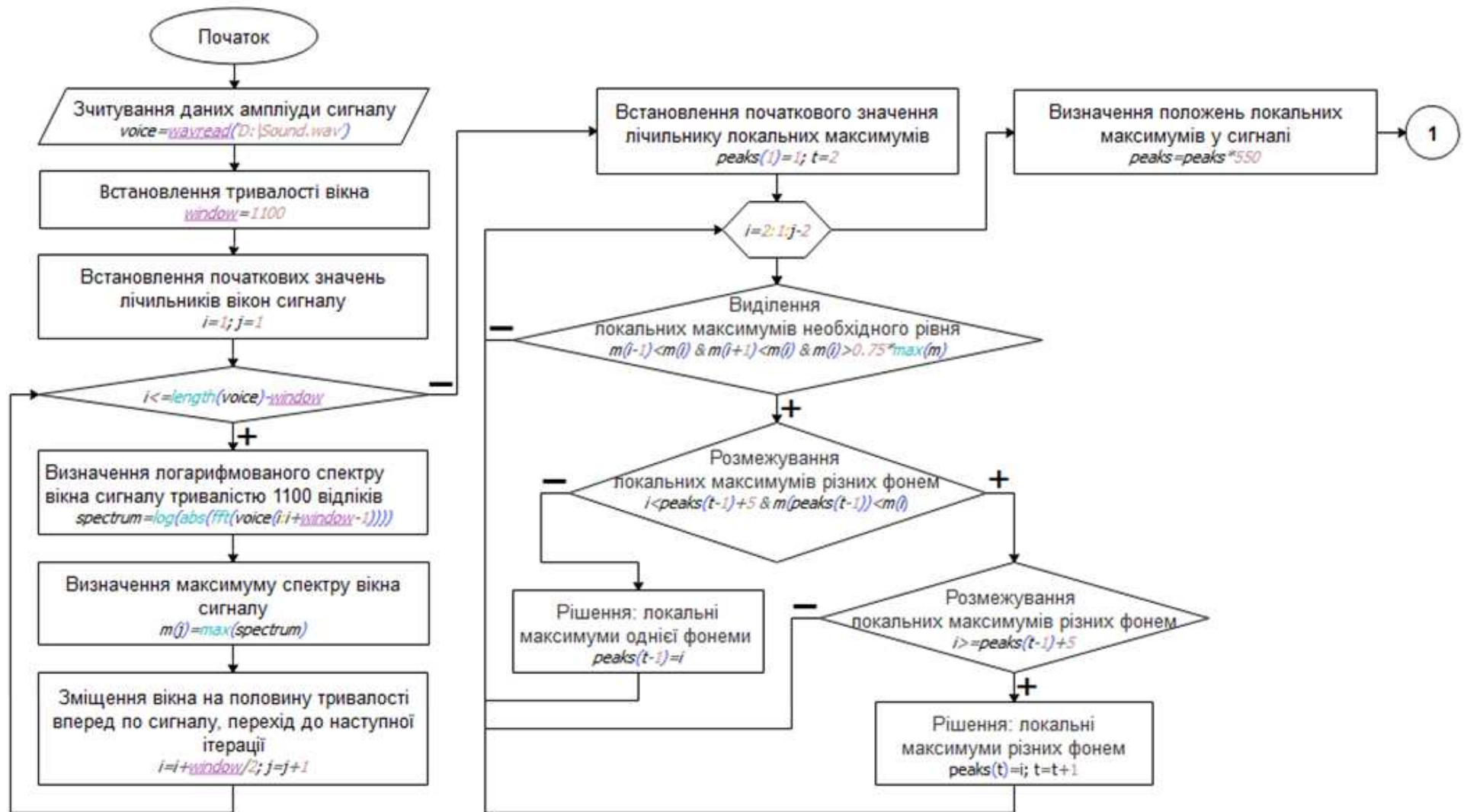
Диктор	Одинична гармоніка	Одиничний імпульс	Дві гармоніки	Подвійний імпульс	Три гармоніки	Потрійний імпульс	Диктор	Одинична гармоніка	Одиничний імпульс	Дві гармоніки	Подвійний імпульс	Три гармоніки	Потрійний імпульс
231	<b>2,803481</b>	2,393773	2,245119	1,551234	2,695040	2,479991	261	1,510167	2,618289	2,524770	<b>2,819242</b>	2,151927	2,334838
232	<b>2,996118</b>	1,207582	2,007329	2,078737	1,202436	2,691374	262	1,848165	1,902467	1,555214	<b>2,832739</b>	2,692612	1,656294
233	2,445126	2,640152	1,127617	1,670608	2,246453	<b>2,749249</b>	263	2,216414	1,987350	2,329453	2,136706	2,252811	<b>2,596744</b>
234	2,094700	<b>2,801061</b>	1,823943	2,205748	1,922497	1,327604	264	1,511155	1,954603	1,196281	<b>2,817008</b>	1,403684	2,701339
235	1,417909	2,131254	1,092343	1,056618	<b>2,948641</b>	1,541274	265	2,236220	2,312395	1,186845	<b>2,932852</b>	2,099179	1,557811
236	1,332809	<b>2,636997</b>	1,255423	1,819591	1,309891	1,087248	266	1,010092	2,649888	<b>2,752720</b>	2,731150	1,991310	2,211821
237	<b>2,909758</b>	1,532464	1,110163	2,506188	1,790329	1,020187	267	2,120994	1,632971	1,946062	<b>2,621564</b>	1,999536	1,071019
238	2,204399	<b>2,904725</b>	1,607159	1,203481	2,579166	1,096243	268	<b>2,534803</b>	1,119077	2,356779	1,147093	2,515571	1,020963
239	2,562506	2,042238	1,723885	<b>2,583075</b>	2,335970	1,084102	269	2,209785	<b>2,883752</b>	2,789636	1,743665	2,261698	2,628369
240	1,160861	2,376574	<b>2,581315</b>	1,540398	1,205777	1,688271	270	1,927628	<b>1,947748</b>	1,488410	1,672027	1,863622	1,740787
241	1,122521	2,326906	1,646165	<b>2,429633</b>	1,036539	1,506971	271	2,861956	2,520760	2,444705	<b>2,876337</b>	2,398116	2,256636
242	1,025341	2,457914	<b>2,810280</b>	1,574466	2,219306	1,505596	272	2,523505	<b>2,886500</b>	2,715744	2,426187	2,281183	2,085592
243	2,759314	2,014092	<b>2,994123</b>	2,730925	1,895790	1,576529	273	1,295310	1,893677	2,468406	1,382394	<b>2,624170</b>	2,096719
244	1,231257	1,827049	2,433075	1,705919	1,508387	<b>2,627231</b>	274	1,251780	1,838506	<b>2,416039</b>	1,141734	2,353255	1,910286
245	2,114609	1,557208	<b>2,723180</b>	1,143680	1,554487	2,040818	275	1,092201	2,176756	1,169996	1,311890	<b>2,711924</b>	2,479073
246	1,447549	<b>2,977452</b>	2,777247	1,332170	2,699859	2,036963	276	2,562230	1,436903	2,539600	2,695222	<b>2,996548</b>	1,276061
247	2,144387	1,283551	<b>2,822619</b>	1,502587	1,855099	1,175821	277	1,436102	2,670821	2,732194	<b>2,768573</b>	2,261860	1,307748
248	2,153137	<b>2,974848</b>	1,208718	2,247466	2,174636	2,743707	278	2,737806	2,524530	2,479158	<b>2,886161</b>	2,026135	1,855912
249	1,816391	1,438495	<b>2,835356</b>	1,116445	1,949468	1,786680	279	2,141145	1,288863	2,094232	2,053688	1,455068	<b>2,565515</b>
250	2,723105	1,741635	2,212108	1,913642	1,782795	<b>2,866714</b>	280	2,156600	2,848509	1,107226	1,274181	1,858818	<b>2,992495</b>
251	1,725607	2,038273	1,264436	1,466641	1,011940	<b>2,955013</b>	281	1,537135	1,037732	1,159134	<b>2,899616</b>	2,348420	2,752584
252	2,589104	2,181155	<b>2,764027</b>	1,414466	1,820379	1,998123	282	2,065523	2,282166	2,043923	<b>2,887278</b>	1,915718	2,720833
253	<b>2,690214</b>	2,343852	1,428745	2,620488	1,620475	1,344818	283	1,272526	1,308415	<b>2,887708</b>	2,105860	1,775199	1,071421
254	<b>2,036466</b>	1,454299	1,061832	1,906078	1,830427	1,155349	284	1,428206	<b>2,886800</b>	2,217762	1,613664	2,286580	1,068366
255	1,390494	<b>2,768409</b>	2,330444	2,671892	2,868212	1,879477	285	1,097868	1,787417	<b>2,841762</b>	1,889878	1,913705	2,170155
256	2,200545	1,720971	<b>2,670359</b>	2,376025	1,790715	1,635819	286	2,409621	1,125794	<b>2,781912</b>	1,089704	2,218299	1,944844
257	2,113222	1,030887	2,096617	2,521876	1,268016	<b>2,602354</b>	287	1,692225	1,801733	<b>2,739031</b>	2,265256	1,586326	1,257083
258	<b>2,824773</b>	1,658878	1,149119	2,523385	1,250722	1,086559	288	2,059916	2,543572	2,448426	1,896450	1,990167	<b>2,934561</b>
259	<b>2,664018</b>	1,368162	2,557640	1,311433	2,512485	1,533479	289	2,595056	<b>2,909905</b>	1,582333	1,759724	2,351581	2,398758
260	1,342935	1,072178	1,222461	1,572490	<b>2,980306</b>	2,101108	290	2,759975	2,221896	2,302936	<b>2,877267</b>	1,738331	1,303436

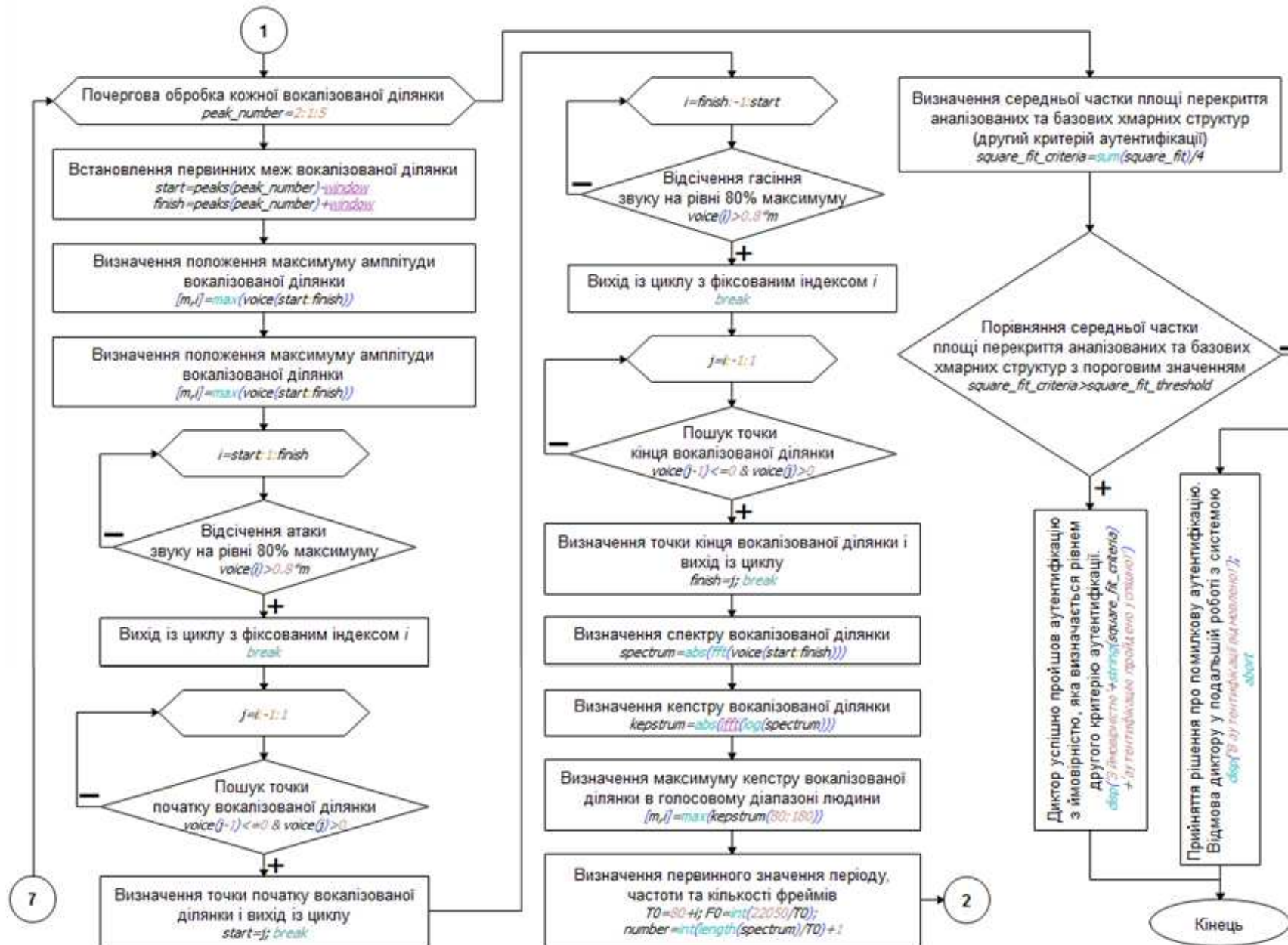
Диктор	Одинична гармоніка	Одиничний імпульс	Дві гармоніки	Подвійний імпульс	Три гармоніки	Потрійний імпульс	Диктор	Одинична гармоніка	Одиничний імпульс	Дві гармоніки	Подвійний імпульс	Три гармоніки	Потрійний імпульс
291	1,306071	1,551691	<b>2,925431</b>	1,785518	2,451628	1,814189	321	2,190094	1,568694	1,757303	1,746459	1,844005	<b>2,248126</b>
292	<b>2,991191</b>	1,326007	2,162323	1,389055	1,791977	1,533438	322	2,271883	1,187853	1,641735	1,678399	2,639316	<b>2,792149</b>
293	2,615557	1,568808	1,838128	2,974584	2,677743	<b>2,977615</b>	323	<b>2,077199</b>	1,635352	1,679986	1,052677	1,319406	1,444005
294	<b>2,991960</b>	1,053114	1,537848	2,299564	2,083730	2,696854	324	2,323819	<b>2,983995</b>	1,373348	1,937295	2,097346	1,508356
295	2,227660	1,409281	2,133071	<b>2,791132</b>	1,216267	1,342387	325	<b>2,565109</b>	1,504664	1,153729	1,775785	1,538688	1,667984
296	2,863396	2,295725	1,266260	2,543300	1,196776	<b>2,982896</b>	326	2,533263	1,355236	<b>2,952047</b>	2,622331	2,341838	2,234347
297	1,739153	1,827885	1,416774	<b>2,734021</b>	1,537522	1,498438	327	2,059874	2,179098	2,534879	1,565293	2,370565	<b>2,548953</b>
298	1,686761	2,332317	<b>2,871362</b>	1,048529	2,611194	1,689162	328	1,994248	1,094230	1,564922	2,402146	<b>2,585616</b>	2,211825
299	1,036161	<b>2,895171</b>	2,527365	2,441500	2,390198	2,575847	329	1,864080	<b>2,643652</b>	1,883808	2,562396	2,034139	1,340661
300	1,215114	<b>2,857857</b>	1,718558	2,847871	2,712019	1,990430	330	1,253612	1,149131	1,215025	2,239916	<b>2,973556</b>	1,872908
301	1,171357	2,127603	<b>2,921548</b>	1,010789	1,963703	2,706994	331	1,761066	2,312385	1,090159	2,442207	1,280784	<b>2,762788</b>
302	2,701684	2,666660	1,024859	1,184991	2,121512	<b>2,797304</b>	332	1,690148	2,591616	1,063414	<b>2,941456</b>	1,278141	2,546429
303	1,784132	2,551269	2,573286	<b>2,844999</b>	1,280987	2,359820	333	1,079630	1,596047	<b>2,947305</b>	1,670843	2,744001	2,900595
304	2,427454	1,300098	2,786863	2,429881	<b>2,918158</b>	1,017199	334	1,030473	2,237240	1,626660	1,699404	1,919243	<b>2,254075</b>
305	2,126227	2,511701	1,946698	2,339901	<b>2,884332</b>	1,354664	335	1,301691	1,403295	1,738533	2,289841	2,519738	<b>2,975683</b>
306	2,490472	<b>2,971646</b>	2,689203	1,615237	1,304876	2,530170	336	2,564115	2,230647	2,892330	2,446010	1,870608	<b>2,908875</b>
307	1,755335	2,042285	2,605681	<b>2,723039</b>	1,876615	1,377207	337	1,275426	1,388012	<b>2,897448</b>	2,540434	2,039682	1,800337
308	<b>2,419371</b>	1,081776	1,055961	1,406433	2,288955	1,192088	338	<b>2,620323</b>	2,908115	1,414927	1,827006	1,015577	1,228531
309	1,959178	1,603754	2,022748	1,357685	1,380533	<b>2,800005</b>	339	1,096371	1,755210	2,305083	2,640155	1,300019	<b>2,727962</b>
310	2,173617	2,635192	<b>2,907555</b>	2,317578	1,936198	2,177654	340	1,869087	1,249949	2,454815	1,609083	1,514513	<b>2,676092</b>
311	1,972543	2,007296	1,149582	<b>2,824134</b>	1,478301	1,625115	341	1,718994	2,438040	<b>2,786248</b>	2,024296	1,508163	1,912120
312	2,092970	2,872912	1,185589	<b>2,986183</b>	1,761796	2,975765	342	1,008887	2,235218	2,222595	1,333453	1,746452	<b>2,740469</b>
313	1,049795	1,333731	<b>2,311815</b>	2,090852	1,694318	1,360317	343	2,361237	<b>2,458379</b>	2,367575	1,364707	2,209953	1,686654
314	2,358669	1,431690	2,208181	2,318907	<b>2,820415</b>	2,349717	344	2,403654	1,411338	2,291464	2,028005	1,387475	<b>2,869298</b>
315	<b>2,455355</b>	1,661306	1,990519	1,087959	2,083304	1,641426	345	2,764527	1,283524	1,859805	1,678436	<b>2,959817</b>	1,879412
316	1,528828	2,343284	1,418247	2,320904	2,058002	<b>2,574752</b>	346	2,231452	1,990989	1,240039	<b>2,790560</b>	1,188292	1,366647
317	2,434646	1,414561	2,052920	<b>2,995557</b>	2,986400	2,413202	347	2,371750	<b>2,991476</b>	2,326773	1,838719	2,596410	2,872060
318	<b>2,710555</b>	1,186068	2,487268	1,421264	2,487809	1,265453	348	2,707376	<b>2,788888</b>	1,588139	1,055717	2,013551	2,568060
319	2,228011	2,146809	1,994832	1,559411	<b>2,517743</b>	1,481352	349	1,485703	1,057315	2,003627	<b>2,800806</b>	2,186215	1,218489
320	<b>2,931295</b>	1,701486	1,837012	1,107045	1,753142	2,105480	350	<b>2,943176</b>	2,310901	1,088055	2,357790	2,705363	2,605455

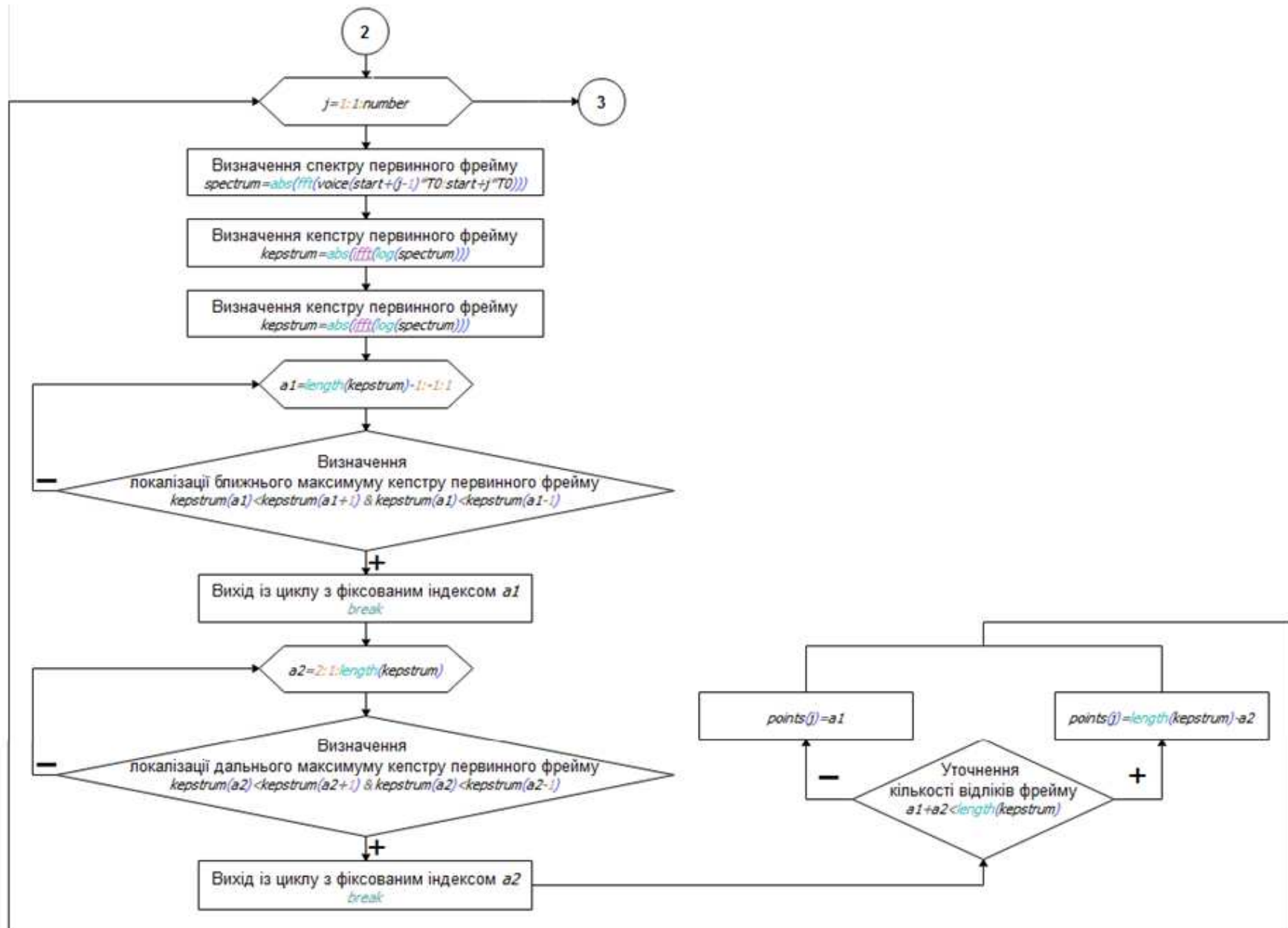
Диктор	Одинична гармоніка	Одиничний імпульс	Дві гармоніки	Подвійний імпульс	Три гармоніки	Потрійний імпульс	Диктор	Одинична гармоніка	Одиничний імпульс	Дві гармоніки	Подвійний імпульс	Три гармоніки	Потрійний імпульс
351	2,470507	2,573169	1,226753	1,855137	<b>2,697618</b>	1,634318	376	<b>2,530058</b>	1,827068	2,272507	2,044176	1,239763	1,848875
352	2,006090	1,307993	<b>2,433774</b>	2,402342	1,333545	1,074357	377	2,091488	<b>2,844141</b>	2,369511	1,650648	2,117574	1,579401
353	2,058494	1,714284	<b>2,937934</b>	1,220361	1,467945	2,169989	378	1,312776	1,760844	2,674652	1,884268	<b>2,710757</b>	2,384904
354	2,739404	1,107530	2,450673	1,258813	1,395084	<b>2,915978</b>	379	1,119368	2,193458	2,650379	2,783922	<b>2,974674</b>	1,970355
355	<b>2,825057</b>	1,263676	1,325212	2,288694	2,525975	2,379958	380	1,780257	1,461895	<b>2,950093</b>	2,337633	2,032135	2,099073
356	1,907225	2,034423	<b>2,828193</b>	2,486740	1,525319	1,826642	381	2,036195	1,547709	2,635287	1,168905	1,860808	<b>2,730548</b>
357	<b>2,893978</b>	2,007887	2,162979	1,836127	2,832418	1,300477	382	2,111389	2,176076	<b>2,494430</b>	2,356311	1,937367	2,453133
358	1,225978	1,234613	1,457967	1,008071	<b>2,283341</b>	1,507054	383	<b>2,892371</b>	2,850344	2,563700	1,453216	2,161109	1,798010
359	1,935714	<b>2,816330</b>	1,413784	1,509972	1,500860	1,048472	384	1,475705	2,476374	<b>2,836367</b>	1,176871	1,985282	2,766974
360	<b>2,845116</b>	2,213397	2,439924	2,538076	2,574112	2,063907	385	2,360411	1,053706	<b>2,440632</b>	1,919712	1,946056	1,183877
361	2,521157	1,216728	1,654356	<b>2,906259</b>	2,061685	2,854012	386	2,541442	1,531708	1,014906	<b>2,950539</b>	2,447039	2,038205
362	1,839552	1,401110	1,818866	<b>2,387343</b>	1,269801	1,876342	387	2,397302	1,081193	1,365015	1,669349	<b>2,481491</b>	1,579079
363	<b>2,893365</b>	1,279145	2,888351	1,549466	2,831450	1,338873	388	1,307815	1,465574	1,499515	1,306921	<b>2,704803</b>	1,289078
364	1,276312	2,058636	1,114004	2,447379	<b>2,592845</b>	2,239742	389	2,137323	1,660509	1,557285	<b>2,768889</b>	1,656589	1,769625
365	2,219760	<b>2,621117</b>	1,308312	2,087107	1,450249	1,853701	390	<b>2,824012</b>	2,117026	1,715763	1,663816	1,724646	2,753257
366	2,417902	2,835272	1,703972	2,172299	<b>2,823221</b>	1,099379	391	1,077834	<b>2,840511</b>	1,648692	2,675949	1,392310	2,672976
367	2,387290	1,346371	2,569354	2,011646	2,649527	<b>2,686258</b>	392	2,357406	<b>2,516509</b>	1,238922	2,095621	1,166168	1,214925
368	1,624894	1,291431	2,129801	2,369106	<b>2,892440</b>	1,186399	393	2,620540	1,004144	2,794822	1,253891	1,092817	<b>2,808021</b>
369	1,403065	2,729639	1,137062	2,222275	1,312875	<b>2,953271</b>	394	2,573487	2,389036	1,718041	2,572840	<b>2,691336</b>	1,812743
370	2,520239	1,698695	1,378368	1,609072	2,426763	<b>2,868649</b>	395	2,030715	2,189981	2,175846	1,689059	<b>2,202352</b>	1,011135
371	<b>2,462965</b>	2,460064	2,272110	1,739018	1,892292	1,988370	396	<b>2,290012</b>	1,997199	1,592986	1,385172	2,035036	1,621150
372	<b>2,977784</b>	1,429703	2,208816	2,072705	1,802128	1,028855	397	1,876904	1,534844	1,445976	1,622862	<b>1,930101</b>	1,210846
373	1,750707	2,255709	2,214100	<b>2,881688</b>	2,242407	1,038623	398	1,367876	1,636535	<b>2,666949</b>	2,560705	1,399852	2,039826
374	1,497524	1,250391	1,584433	<b>2,640816</b>	1,773305	2,282639	399	1,013583	1,650028	<b>2,694654</b>	1,811195	1,205508	1,073576
375	1,029885	2,661644	1,127118	2,226187	<b>2,935181</b>	1,082161	400	1,301198	1,095730	2,596931	1,093701	<b>2,737560</b>	2,275554

## Додаток 3

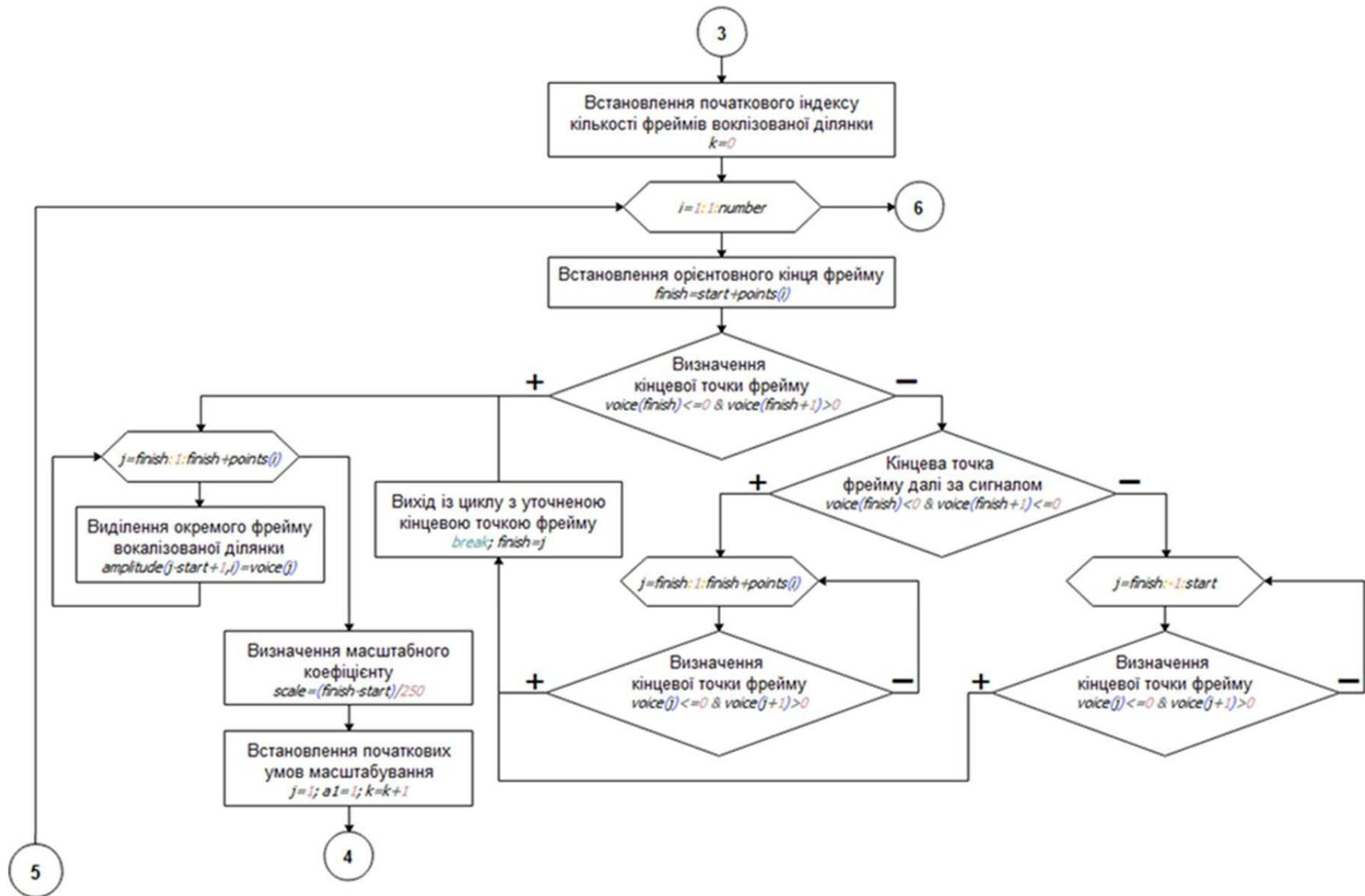
## Блок схема алгоритму роботи розробленої системи



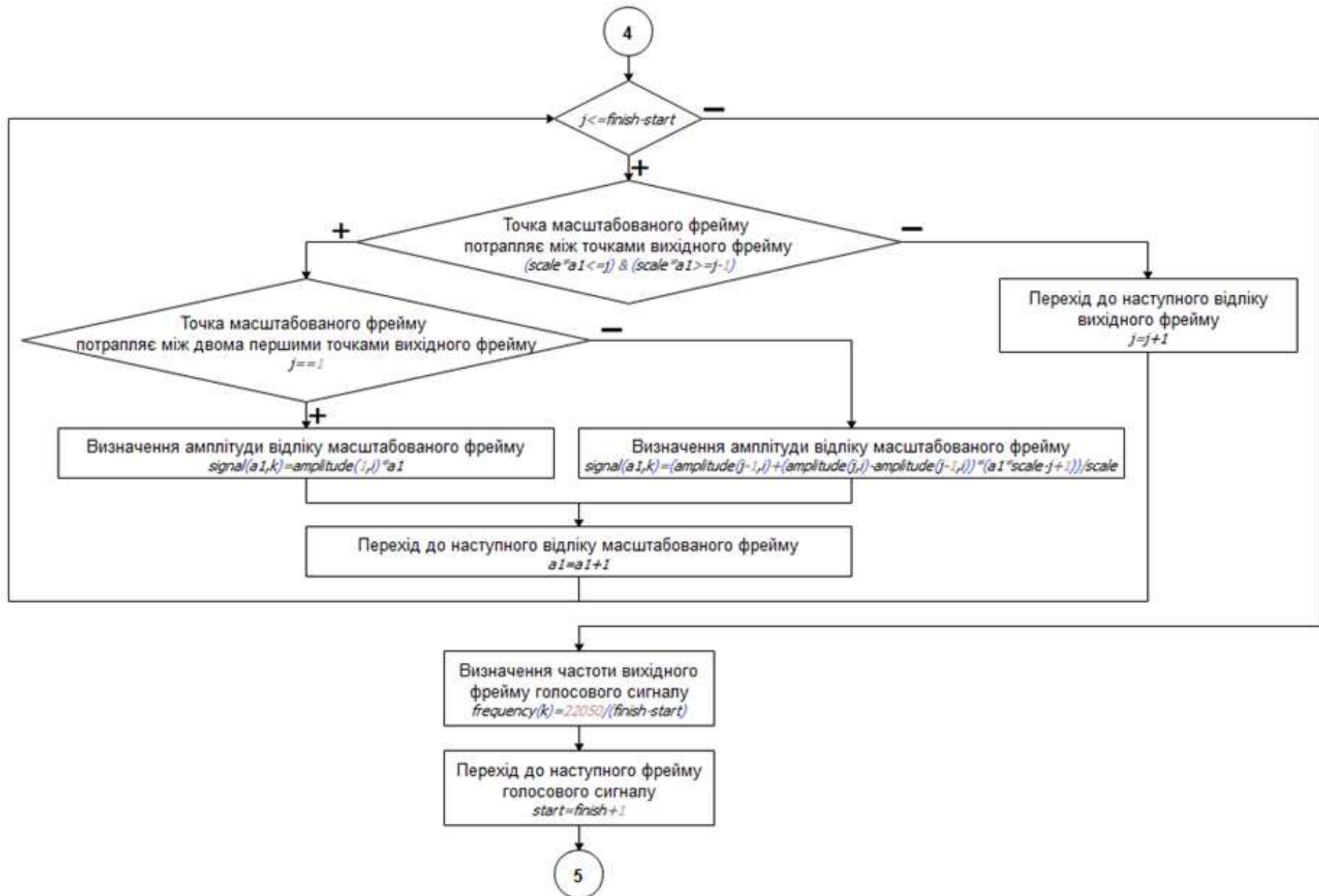


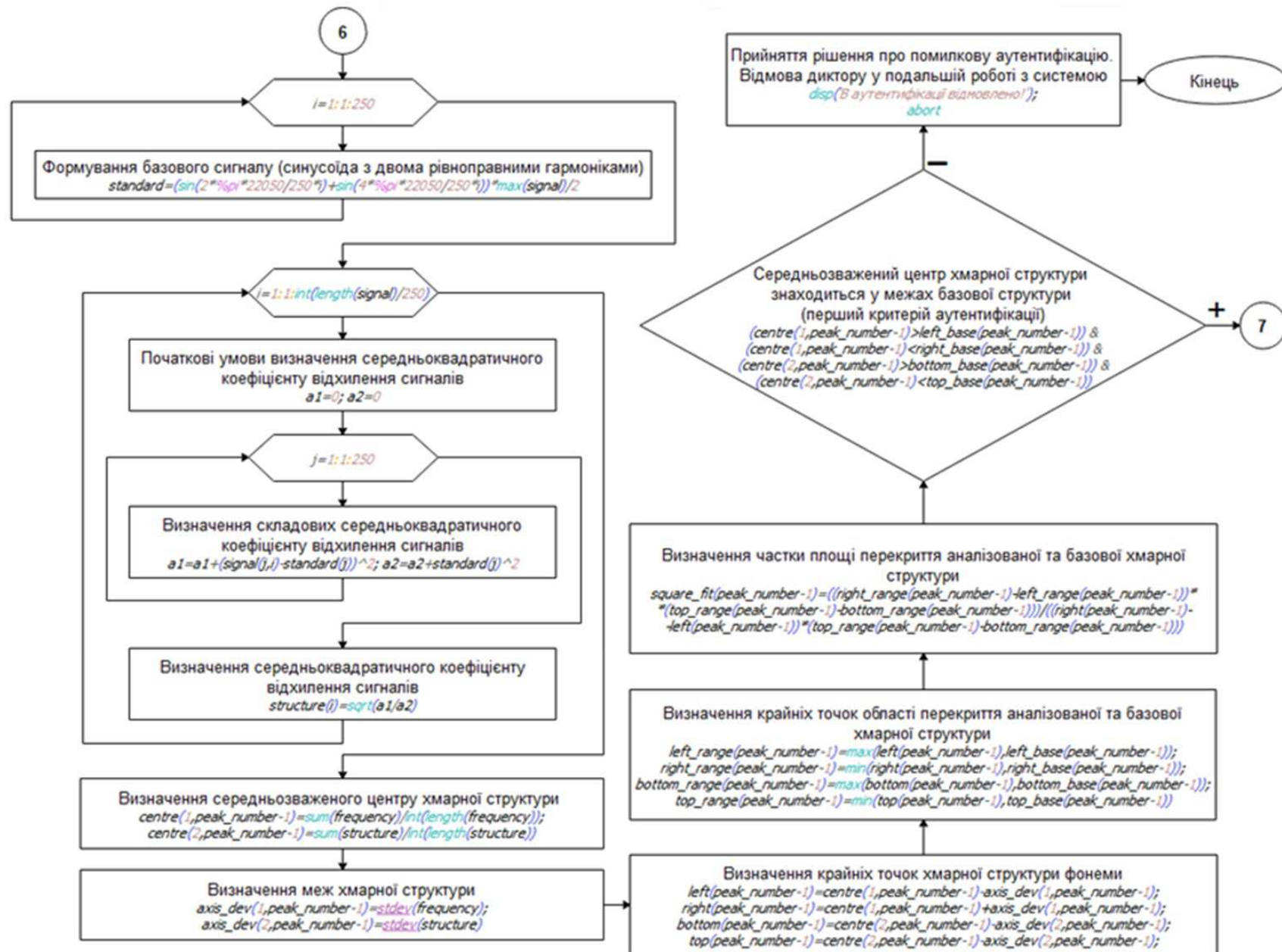












## Додаток К

### Проект медико-технічних вимог на систему аутентифікації та оцінювання функціонального стану водія за голосовим сигналом

1. Найменування та область застосування виробу.

1.1. Система аутентифікації та оцінювання функціонального стану водія за голосовим сигналом (в подальшому «Система»).

1.2. Систему для аутентифікації та оцінювання функціонального стану водія за голосовим сигналом може бути використано в транспортних компаніях, медичних закладах, системах інтелектуального доступу тощо.

2. Підстави для розробки.

Дисертаційна робота Мєшкова О.Ю. на тему «Метод та система аутентифікації та оцінювання функціонального стану водія за голосовим сигналом».

Спеціальність 05.11.17 «Біологічні і медичні прилади та системи».

3. Виконавці розробки.

Головна організація – Херсонський національний технічний університет.

Організація – медичний співвиконавець.

Підприємство – виробник зразків.

Підприємство – виробник серії.

4. Мета і призначення розробки.

4.1. Мета розробки полягає у розробленні нових методів аналізу голосового сигналу і створенні на їх основі методу та системи для підвищення достовірності та швидкодії процедури голосової аутентифікації та оцінювання функціонального стану водія. «Система» включає в себе апаратну та програмну частини, кожна з яких має у своєму складі декілька функціональних блоків, пов'язаних між собою комутаційними та інформаційними зв'язками.

4.2. «Систему» призначено для аутентифікації особистості в реальному часі, як у режимі її допуску до виконання професійних обов'язків (допуск водія до керування автомобільним засобом), так і в режимі моніторингу її

функціонального стану (стану водія безпосередньо під час руху).

4.3. «Систему» призначено для використання в сімейній і телемедицині для аутентифікації лікарів і пацієнтів за голосовим сигналом.

4.4. Створення системи дозволить підвищити безпеку та ефективність керування транспортними засобами, з одного боку; якість та ефективність лікувально-діагностичного процесу в сімейній і телемедицині, з іншого.

## 5. Джерела розробки.

5.1 Дослідження з даної проблеми проводяться на кафедрі ІВТЕІ, починаючи з 2010 року. За цей час було виконано ряд держбюджетних і госпдоговірних робіт, спрямованих на оцінювання функціонального стану (ФС) людини за голосовим сигналом. Серед них слід відзначити тему «Моделювання впливу фізичних факторів на біологічні об'єкти» (№ держреєстрації 0106U005699).

## 6. Медичні вимоги.

6.1. «Система» повинна забезпечувати автоматизоване обстеження та оцінювання ступеня готовності водія до керування транспортним засобом за результатами реєстрації та оброблення даних щодо поточного функціонального стану, отриманими на основі аналізу голосового сигналу.

6.2. «Система» повинна забезпечувати акустичний аналіз голосу і діагностування мовних порушень у дітей з затримкою або порушеннями мовного розвитку.

6.3. «Система» повинна забезпечувати виявлення особливостей голосу лікаря і пацієнта при його застосуванні в сімейній і телемедицині шляхом: перевірки голосового діапазону; виявлення звукових відхилень; аналіз несприйняття до звукових відтінків; вивчення індивідуальних тембрових особливостей; обстеження нервово-психічного статусу; оцінювання придатності голосу для конкретного виду професійної діяльності.

6.4. Канал вимірювання сили і гучності звуку повинен забезпечувати вимірювання тиску видихаємого пацієнтом через голосову щілину повітря та обчислення за психофізичним законом Вебера-Фехнера гучності звуку в дБ:

$$E = k \lg \frac{I}{I_0},$$

де:  $E$  – величина слухового відчуття (гучності) звуку;  $I$  – інтенсивність звуку;  $I_0$  – інтенсивність звуку на межі чуття;  $k$  – деякий коефіцієнт пропорційності, який залежить від частоти та інтенсивності  $I$ .

Якщо прийняти  $K=1$ , то отримаємо формулу для обчислення гучності звуку в дБ:

$$E_{дБ} = 10 \lg \frac{I}{I_0}$$

6.5. Спектральний склад тембру звуку (типу голосу) повинен відповідати таким градаціям: бас – 80-400Гц; баритон – 110-400Гц; тенор – 150-500Гц; контральто – 200-700Гц; колоратурне сопрано – 250-1400Гц.

6.6. Канал спектрального аналізу голосового каналу повинен забезпечувати і визначати:

- кількість гармонік в сигналі;
- амплітуди, частоти початкової фази – для кожної гармоніки;
- відсутність або наявність білого шуму (за наявності – визначають його середньоквадратичне відхилення (СКВ));
- відсутність або наявність постійної складової сигналу.

6.7. Канал фільтрації вхідного дискретного звукового сигналу передбачає його оброблення фільтром для усунення перешкод за такою формулою

$$X_i = (X_t - 0,9_{t-1}^*) \left[ 0,54 - 0,46^* \cos \left( (i-6)^* \frac{2_n^*}{180} \right) \right]$$

$X_i$  – множина дискретних значень звукового сигналу.

6.8. «Система» повинна забезпечувати критеріальне оцінювання звуку та

його складових відповідно до таблиці 1.

Таблиця 1

Статистичні критерії характеристик голосового сигналу

Звук	Вокалізовані ділянки			
	А	И	У	О
Загальна кількість точок у локалізованій структурі	200	200	200	200
Середнє значення основної частоти голосу $\overline{F_0}$	170,6125	201,2674	182,5786	148,8906
Середньоквадратичне відхилення основної частоти голосу $\sigma_{F_0}$	4,1040	1,6191	3,8464	0,8812
Кількість точок локалізованої структури з відхиленням за основною частотою				
У межах $0,625\sigma_{F_0}$	101	107	105	105
У межах $\sigma_{F_0}$	192	186	191	184
У межах $3\sigma_{F_0}$	200	199	200	200
Середнє значення коефіцієнту середньоквадратичного відхилення структури сигналу $\overline{K_T}$	0,9009	0,5681	0,5704	0,8997
Середньоквадратичне відхилення коефіцієнту середньоквадратичного відхилення структури сигналу $\sigma_{K_T}$	0,0338	0,0401	0,0523	0,0282
Кількість точок локалізованої структури з відхиленням за коефіцієнтом середньоквадратичного відхилення сигналу				
У межах $0,625\sigma_{K_T}$	102	103	100	105
У межах $\sigma_{K_T}$	161	152	163	154
У межах $3\sigma_{K_T}$	199	200	199	200

## 7. Технічні вимоги

7.1. Склад апаратної частини системи аутентифікації та оцінювання функціонального стану водія наведений в таблиці 2.

7.1.1. Склад ЗІП для технічного обслуговування системи в процесі експлуатації, а також склад засобів тестування і контролю, уточнюється в процесі розробки і узгоджується на стадії коригування документації на літеру "О".

7.1.2. «Система» повинна бути забезпечена пакувальною тарою, що гарантувала б її працездатність в процесі зберігання та транспортування.

7.1.3. «Система» повинна бути укомплектована експлуатаційною документацією (ГОСТ 2.601-68) та ремонтними документами (ГОСТ 2.602-69).

Таблиця 2

**Склад апаратної частини «Системи» для аутентифікації та оцінювання функціонального стану водія**

№ п/п	Назва складових частин	К-ть	Призначення
1	Мікрофон RODE SmartLav+	1	Запис голосового сигналу
2	Модуль живлення для мікрофона Micronic BM1-TRS	1	Живлення мікрофона
3	Стерео аудіо-адаптер ALLOYSEED XLR 3 pin to 3.5mm	1	Комутація мікрофона та аудіо-інтерфейса
4	Аудіо-інтерфейс Focusrite Scarlett Solo 2nd Gen	1	Дискретизація та оцифрування аналогового сигналу, записаного за допомогою мікрофона
5	Персональний комп'ютер чи ноутбук	1	Підтримка прийняття рішення про функціональний стан людини та його аутентифікацію

7.1.4 Склад програмної частини «Системи» наведений в таблиці 3.

7.2. Показники призначення.

7.2.1. Канал запису голосового сигналу повинен забезпечувати:

- діапазон частот від 20Гц до 20000Гц;
- діапазон амплітуд від -1 до 1 нормованої одиниці;
- середня похибка в діапазоні частот – 0,5 Гц;
- середня похибка в діапазоні амплітуд – 0,05 нормованих одиниць;
- чутливість – (-35дБ);
- зменшення рівня власного шуму – (27 дБА);
- максимальний рівень звукового тиску – 110 дБ SPL;
- коефіцієнт підсилення – 1-1,5.

Таблиця 3

**Склад програмної частини «Системи» для аутентифікації та оцінювання функціонального стану водія**

№ п/п	Назва складових частин	К-ть	Призначення
1	Програмний алгоритм (ПА) виділення вокалізованих ділянок голосового сигналу	1	Підвищення швидкодії виділення локалізованих ділянок
2	ПА фреймування та визначення основної частоти голосового сигналу	1	Підвищення швидкодії визначення основних характеристик голосового сигналу
3	ПА формування локалізованих структур голосового сигналу у просторі характеристик «структура-частота»	1	Підвищення достовірності визначення характеристик голосового сигналу
4	ПА підтримки прийняття аутентифікаційного рішення	1	Підвищення швидкості прийняття і достовірності аутентифікаційного рішення

7.2.2. Канал живлення для мікрофона Micronic BM1-TRS;

- номінальна вихідна напруга – 5В;
- напруга живлення модуля – 1,5В.

7.2.3. Канал комутації.

- вхідний роз'єм – 3.5 мм;
- вихідний роз'єм – 3 pin;
- коефіцієнт підсилення – 1.

7.2.4 Формат дискретизації та оцифрування числового сигналу

- квантування, біт – 16-24;
- частота дискретизації, кГц – 22,05;
- число каналів – 6;
- величина потоку даних, кбіт/сек – до 640;
- ступінь стиснення сигналу – ( $\approx 12:1$  з втратами);
- допустима похибка квантування – 0,5;
- динамічний діапазон двійкового коду амплітуди – 16 біт.

7.2.5. Канал підтримки прийняття рішень:



- інтерактивність – є;
- інтегрованість – є;
- потужність – висока;
- доступність – висока;
- гнучкість – висока;
- надійність – 0,9-1;
- допустимість – є.

### 7.3. Умови експлуатації.

- «Система» при експлуатації повинна володіти стійкістю до впливу кліматичних факторів для кліматичного виконання УХЛ 4.2 по ГОСТ 15150-69 для роботи при температурах від +10 до +35°C і відносній вологості повітря не більше 80% при температурі +25°C.

- «Система» при експлуатації повинна володіти стійкістю до дії механічних факторів по групі 2 ГОСТ 20790 – 82.

- Транспортування «Системи» має здійснюватися усіма видами транспорту в критичних транспортних засобах відповідно до вимог ГОСТ 20790 – 82 і правилами перевезення вантажів, що діють на даному виді транспорту;

- «Система» при транспортуванні повинна володіти стійкістю до впливу кліматичних факторів для умов зберігання 5 по ГОСТ 15150 – 69.

- «Система» при транспортуванні повинна володіти стійкістю до дії механічних факторів по групі 5 ГОСТ 15150 – 69;

- Умови зберігання «Системи» в упаковці підприємства – виробника повинні відповідати групі 2 ГОСТ 15150 – 69.

### 7.4. Технічні вимоги до ПК.

Мінімальні параметри:

- процесор з тактовою частотою не нижче 1500 МГц;
- HDD місткістю не менше 10 ГБ;
- наявність портів – USB;
- оперативна пам'ять – не менше ніж 2048 МБ;
- відеокарта – не менше ніж 128 МБ;

- VGA монітор з розширенням 1024x768;

- операційна система – Windows XP.

Технічні вимоги до мікроконтролера:

- flash-пам'ять програм об'ємом 8-128 кБ (число циклів стирання / запису – не менше 1000);

- оперативна пам'ять об'ємом 512 Б-4 кБ (число циклів стирання / запису – не менш 100000);

- можливість захисту від читання та модифікації пам'яті програм і даних;

- можливість програмування безпосередньо в системі через послідовні інтерфейси SPI і JTAC;

- можливість самопрограмування;

- наявність програмного стека;

- наявність апаратного стеку;

- число джерел переривань – не менше ніж 27;

- розрядність АЦП – не менше ніж 10.

7.5. Вимоги безпеки: з електробезпеки

- «Система» повинна відповідати ГОСТ 12.2.025-76 клас 2. тип ВФ;

- рівень радіозавад «Системи» не повинен перевищувати значень, вказаних в ГОСТ 23511-73 і ГОСТ 23450-79;

- рівень акустичного шуму «Системи» (корегований рівень звукової потужності) не повинен перевищувати 40 дБ;

- температура частин «Системи», доступних для дотику, не повинна перевищувати значень, встановлених розділом 4.6 ГОСТ 20790 – 82.

7.6. Вимоги до надійності:

- залежно від наслідків відмови «Система» відноситься до класу В по РД 50 – 707 – 91;

- середнє напрацювання на відмову повинно бути не менше 2500 год;

- середній термін служби повинен бути не менше 6 років при середній інтенсивності експлуатації 6 годин на добу;

- середній час відновлення робочого стану «Системи» не повинен

перевищувати 5 год.

#### 7.7. Вимоги до конструктивного виконання:

- габарити і маса складових частин «Системи» уточнюються на етапі виготовлення дослідних зразків;

- «Система» повинна бути виконана у вигляді мобільної конструкції, яка повинна забезпечувати необхідні зручності для роботи обслуговуючого персоналу;

- конструкція «Системи» повинна забезпечувати зручний доступ до вузлів і деталей при ремонті та обслуговуванні, а також забезпечувати взаємозамінність змінних вузлів і блоків.

#### 7.8. Вимоги до уніфікації, стандартизації та технологічності:

- конструкція «Системи» повинна забезпечувати максимальне, технічно обґрунтоване застосування стандартних та уніфікованих деталей і вузлів.

#### 7.9. Ергономічні вимоги:

- конструкція, форма і розміри «Системи» та її складових частин повинні відповідати антропологічним особливостям людини і умовам експлуатації та остаточно визначаються на етапі розроблення робочої конструкторської документації.

#### 7.10. Естетичні вимоги:

- художньо-конструкторське виконання «Системи» повинно відповідати вимогам ГОСТ 4Г0.070.001;

- вимоги щодо забезпечення патентної чистоти;

- патентна чистота повинна забезпечуватися по країнах України, США і ЄС;

- можливий захист технічних рішень патентами і промисловими зразками.

#### 7.11. Вимоги до технічної документації:

- склад технічної документації, що розробляється на кожній стадії, повинен відповідати ГОСТ 2.102 – 68 і ГОСТ 8.001-80;

- ремонтна документація розробляється на стадії серійного виробництва.

#### 7.12. Вимоги до маркування та упаковки.

- маркування та упаковка «Системи» повинна відповідати ГОСТ 20790-82;
- на кожній «Системі» і її споживчій тарі повинні бути вказані: товарний знак підприємства – виробника; найменування виробу; рік випуску виробу; маркування упаковки повинно містити відповідні маніпуляційні знаки.

#### 8. Метрологічне забезпечення:

- у конструкції «Системи» і її технічній документації повинна використовуватися Міжнародна система одиниць СІ згідно ГОСТ 8.417 – 81;
- КД має бути піддана метрологічній експертизі;
- розроблена «Система» є засобом вимірювань.

Повинна бути розроблена методика повірки «Системи»: для налаштування, регулювання та Державних приймальних випробувань має бути розроблена стендова апаратура. Апаратура повинна забезпечувати: перевірку «Системи» за допомогою еталонних сигналів шляхом порівняння отриманих за допомогою приладу параметрів з їх еталонними значеннями; стендова апаратура повинна відповідати ГОСТ 8.003-82, ГОСТ 8.009–84, ГОСТ 8.042–82; «Система» повинна бути забезпечена засобами самоконтролю за допомогою програмних засобів; технічне обслуговування «Системи» не повинно передбачати нестандартні технічні засоби, що не входять в комплект поставки.

9. Економічні показники: оцінювання ступеня новизни розробки; в основу приладу покладено нові способи і методи введення та оброблення біомедичної інформації.

У порівнянні з існуючими аналогами «Система» забезпечує підвищення інформативності реєстрації, спрощення процедур введення, оброблення та аналізу, розширення функціональних можливостей тощо.

#### 10. Стадії та етапи розроблення.

10.1 Підприємство-виробник приладу, який розробляється, уточнюється.

10.2 Технічний проект перед затвердженням повинен бути узгоджений з медичним співвиконавцем.

10.3 Кількість дослідних зразків – 3 шт.

Таблиця 4

## Стадії та етапи розроблення

№ п/п	Назва етапу	Термін виконання	Виконавець, співвиконавець	Характер роботи за виконавцем
1	Розроблення та затвердження МТВ	3 місяці		
2	Розроблення та затвердження ескізного проекту. Розроблення технічного проекту	6 місяців		
3	Затвердження технічного проекту. Розроблення комплекту КД	6 місяців		
4	Виготовлення дослідного зразка. Технічні та медичні випробування дослідного зразка	9 місяців		
5	Отримання рішення МОЗ України на застосування; коригування КД за результатами досліджень. Присвоєння КД літери 01. Передача КД заводу-виробнику.	6 місяців		

11. Порядок випробувань і прийняття.

Порядок випробувань і прийняття по ГОСТ 15.813-86.

Кількість зразків, експонованих на прийомних випробуваннях – 1 штука.

Розробив:

Мешков О.

## Додаток Л

## Визначення адекватного значення критерію аутентифікації (дослідження з урахуванням часового фактору)

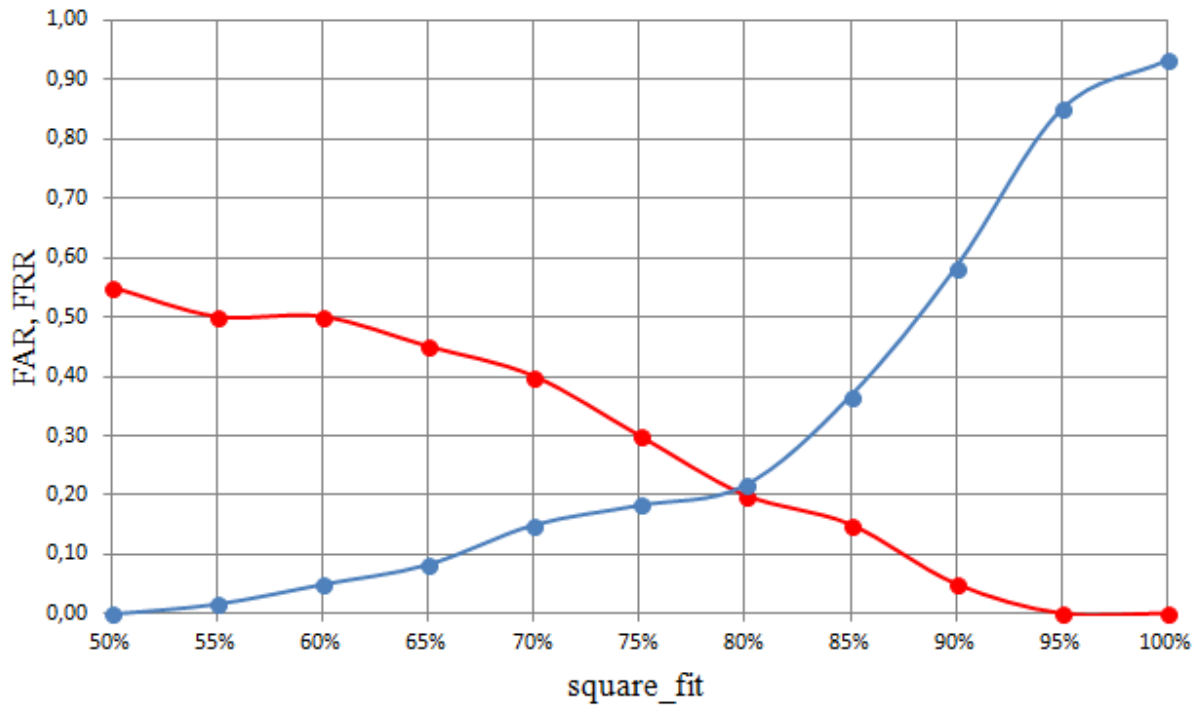
Диктор	Значення критерію аутентифікації <i>square_fit</i>															
	6 годин				1 доба				3 доби				7 діб			
	1	2	3	середнє	1	2	3	середнє	1	2	3	середнє	1	2	3	середнє
1	0,820078	0,852383	0,857637	0,843366	0,754858	0,737869	0,850275	0,781001	0,739241	0,763137	0,727598	0,743325	0,681270	0,679340	0,659136	0,673249
2	0,946582	0,834125	0,814746	0,865151	0,825634	0,791210	0,864860	0,827235	0,710351	0,749333	0,753468	0,737717	0,695602	0,766824	0,712518	0,724981
3	0,794613	0,786539	0,876363	0,819172	0,781129	0,720245	0,852680	0,784685	0,713236	0,765342	0,719834	0,732804	0,763592	0,722905	0,760846	0,749114
4	0,792750	0,972340	0,847800	0,870963	0,875054	0,770771	0,822589	0,822805	0,776501	0,743163	0,736759	0,752141	0,709030	0,711333	0,694448	0,704937
5	0,854495	0,980232	0,789812	0,874846	0,791010	0,742769	0,837390	0,790390	0,730902	0,769060	0,778124	0,759362	0,652533	0,686854	0,652609	0,663999
6	0,768081	0,797721	0,990993	0,852265	0,834326	0,879314	0,861480	0,858373	0,772296	0,724263	0,725660	0,740740	0,778332	0,779048	0,704153	0,753844
7	0,884705	0,979812	0,782784	0,882434	0,868720	0,700593	0,808446	0,792586	0,728903	0,739860	0,751637	0,740133	0,737025	0,683284	0,672634	0,697648
8	0,846739	0,962412	0,773672	0,860941	0,735564	0,843825	0,874655	0,818015	0,748730	0,724979	0,752976	0,742228	0,685380	0,758292	0,711326	0,718333
9	0,913733	0,803703	0,993852	0,903763	0,848811	0,744369	0,881645	0,824942	0,705364	0,770148	0,775983	0,750498	0,716886	0,719574	0,739574	0,725345
10	0,972700	0,920571	0,795302	0,896191	0,796386	0,800045	0,814492	0,803641	0,756839	0,711727	0,729051	0,732539	0,756280	0,698090	0,706691	0,720354
11	0,782882	0,807114	0,847739	0,812578	0,725737	0,724525	0,805982	0,752081	0,741067	0,705312	0,752067	0,732815	0,681959	0,738017	0,726757	0,715578
12	0,815832	0,832080	0,769163	0,805692	0,802673	0,846722	0,750861	0,800085	0,722014	0,761748	0,720378	0,734713	0,773442	0,667615	0,673207	0,704755
13	0,762859	0,867722	0,975539	0,868707	0,730484	0,760130	0,899906	0,796840	0,731677	0,753299	0,752278	0,745751	0,673759	0,763551	0,741270	0,726193
14	0,880170	0,784381	0,952814	0,872455	0,836057	0,832646	0,763328	0,810677	0,739023	0,776930	0,731908	0,749287	0,744286	0,711555	0,661477	0,705773
15	0,868639	0,781446	0,904186	0,851424	0,803380	0,893309	0,778665	0,825118	0,722639	0,762166	0,736143	0,740316	0,657176	0,682447	0,743658	0,694427
16	0,808903	0,843043	0,874979	0,842308	0,705235	0,750020	0,882900	0,779385	0,745373	0,714494	0,734313	0,731393	0,776562	0,738576	0,663431	0,726190
17	0,795706	0,846074	0,970088	0,870623	0,743508	0,889900	0,877967	0,837125	0,776151	0,735161	0,730563	0,747292	0,659183	0,683758	0,716257	0,686399
18	0,759479	0,779195	0,988171	0,842282	0,876640	0,795988	0,814475	0,829034	0,731395	0,776193	0,720613	0,742734	0,773109	0,747892	0,679471	0,733491
19	0,924758	0,832974	0,788757	0,848830	0,742355	0,755057	0,866479	0,787964	0,773983	0,743532	0,727013	0,748176	0,684396	0,730059	0,681610	0,698688
20	0,965571	0,913184	0,776617	0,885124	0,868943	0,848399	0,822489	0,846610	0,745417	0,768262	0,740704	0,751461	0,746669	0,683379	0,739376	0,723141

Диктор	Значення критерію аутентифікації <i>square_fit</i>															
	6 годин				1 доба				3 доби				7 діб			
	1	2	3	середнє	1	2	3	середнє	1	2	3	середнє	1	2	3	середнє
21	0,964374	0,789851	0,876093	0,876773	0,701087	0,863673	0,814729	0,793163	0,726625	0,751567	0,738571	0,738921	0,677491	0,741335	0,732111	0,716979
22	0,919763	0,805187	0,936902	0,887284	0,891662	0,890942	0,884161	0,888922	0,770917	0,745571	0,760934	0,759141	0,733079	0,739410	0,758801	0,743763
23	0,844816	0,901460	0,993470	0,913249	0,772724	0,764281	0,828809	0,788605	0,765215	0,718935	0,736243	0,740131	0,721332	0,689621	0,651131	0,687361
24	0,808308	0,948332	0,793428	0,850023	0,846891	0,824500	0,875204	0,848865	0,714552	0,704663	0,715165	0,711460	0,672408	0,653183	0,763111	0,696234
25	0,877114	0,899577	0,763907	0,846866	0,854068	0,807728	0,882520	0,848105	0,718157	0,761932	0,701498	0,727196	0,693153	0,709943	0,682995	0,695364
26	0,979430	0,823347	0,759476	0,854084	0,824193	0,867622	0,723829	0,805215	0,740588	0,769634	0,730391	0,746871	0,734444	0,736399	0,759185	0,743343
27	0,924278	0,787870	0,779248	0,830465	0,707290	0,852919	0,857927	0,806045	0,733408	0,774113	0,747158	0,751560	0,687289	0,689415	0,724168	0,700291
28	0,784761	0,873529	0,750569	0,802953	0,855884	0,761691	0,787917	0,801831	0,776850	0,744737	0,768371	0,763319	0,756100	0,736225	0,753170	0,748498
29	0,791573	0,913206	0,972604	0,892461	0,805868	0,891795	0,841569	0,846411	0,778678	0,776191	0,720609	0,758493	0,716584	0,738485	0,701161	0,718743
30	0,911470	0,773764	0,762616	0,815950	0,827183	0,748831	0,757050	0,777688	0,753956	0,714628	0,709169	0,725918	0,679531	0,731629	0,654419	0,688526
31	0,810109	0,783481	0,754997	0,782862	0,801725	0,888849	0,815672	0,835415	0,721357	0,755518	0,756350	0,744408	0,739697	0,671522	0,672225	0,694481
32	0,991438	0,839642	0,923108	0,918063	0,772073	0,719469	0,762079	0,751207	0,703362	0,758252	0,769327	0,743647	0,770997	0,754012	0,665783	0,730264
33	0,886547	0,822396	0,961633	0,890192	0,821163	0,799288	0,753690	0,791380	0,708834	0,707799	0,709014	0,708549	0,753149	0,682789	0,731248	0,722395
34	0,841953	0,804340	0,865634	0,837309	0,720134	0,883686	0,825389	0,809736	0,709707	0,770486	0,748235	0,742809	0,713491	0,737235	0,756454	0,735727
35	0,757711	0,905549	0,889287	0,850849	0,848015	0,876155	0,851470	0,858547	0,756131	0,757044	0,750583	0,754586	0,650694	0,688204	0,660598	0,666499
36	0,982322	0,942985	0,777595	0,900967	0,723917	0,777859	0,843061	0,781612	0,730338	0,732306	0,745049	0,735898	0,767982	0,652875	0,722597	0,714485
37	0,903908	0,828383	0,871708	0,868000	0,831369	0,816244	0,726114	0,791242	0,713793	0,738380	0,768928	0,740367	0,668841	0,755540	0,746030	0,723470
38	0,780953	0,938047	0,911629	0,876876	0,804932	0,790628	0,766220	0,787260	0,777815	0,702240	0,736015	0,738690	0,777963	0,702037	0,742720	0,740907
39	0,994181	0,802691	0,770307	0,855726	0,700228	0,860079	0,744273	0,768193	0,740468	0,745000	0,777196	0,754221	0,659513	0,697893	0,731972	0,696459
40	0,959351	0,861074	0,971581	0,930669	0,736642	0,724194	0,709386	0,723407	0,734585	0,707539	0,716768	0,719631	0,742971	0,697334	0,695691	0,711999

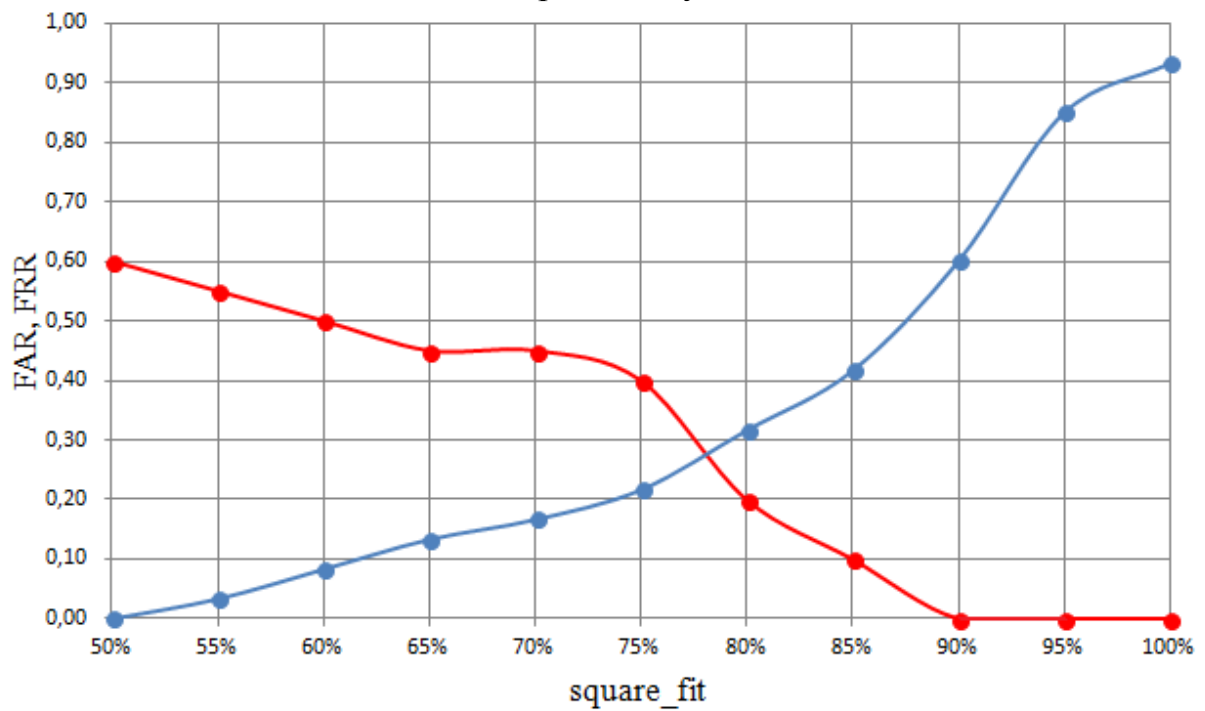
## Додаток М

Порівняння похибок аутентифікації першого та другого роду при різних рівнях порогового значення критерію аутентифікації

Через 6 годин

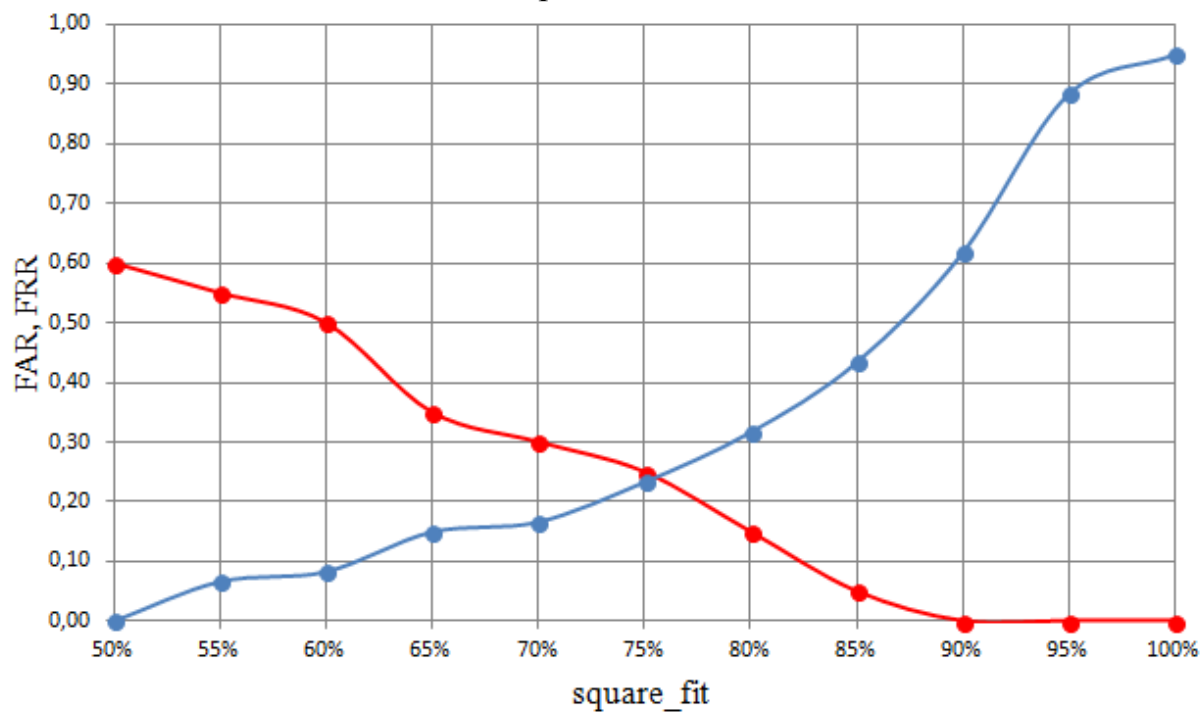


Через 1 добу

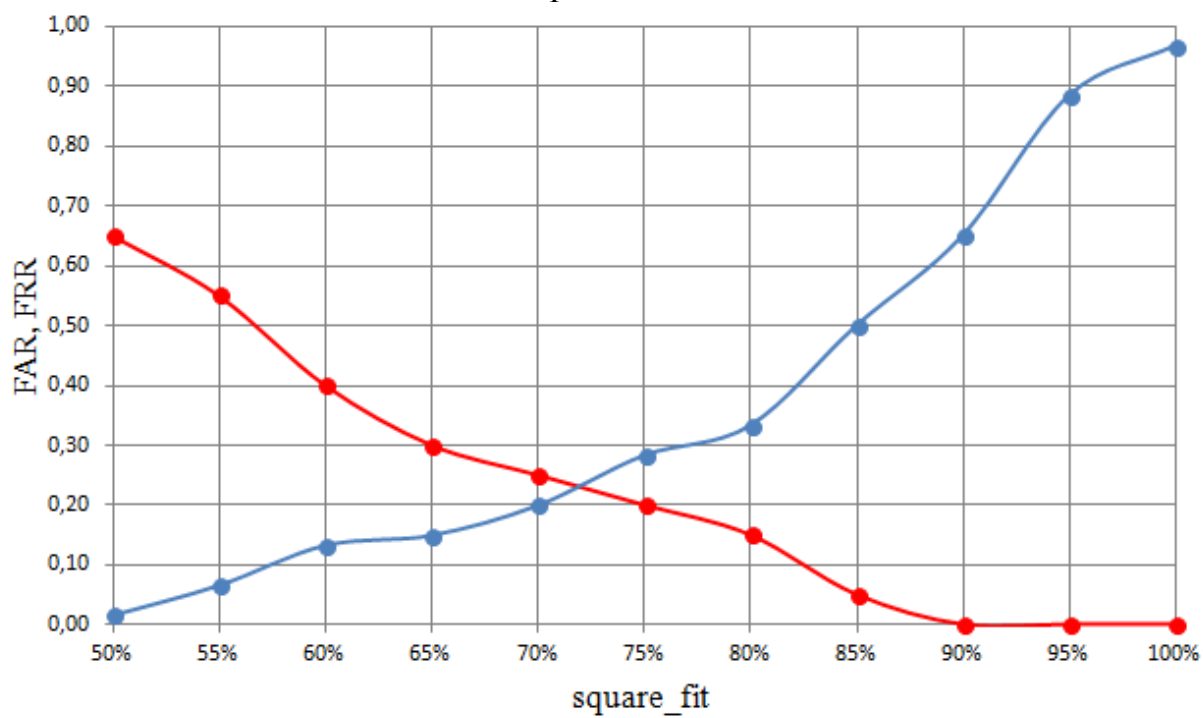




Через 3 доби



Через 7 дiб



## Додаток Н

## Статистична обробка акустичних матеріалів дикторів

Диктор	Звук	Загальна кількість точок у локалізованій структурі	Середнє значення основної частоти голосу $\overline{F_0}$	Середньоквадратичне відхилення основної частоти голосу $\sigma_{F_0}$	Кількість точок локалізованої структури з відхиленням по основній частоті			Середнє значення середньоквадратичного відхилення структури сигналу $\overline{K_T}$	Середньоквадратичне відхилення коефіцієнту середньоквадратичного відхилення структури сигналу $\sigma_{K_T}$	Кількість точок локалізованої структури з відхиленням по коефіцієнту середньоквадратичного відхилення структури сигналу		
					У межах $0,625\sigma_{F_0}$	У межах $\sigma_{F_0}$	У межах $3\sigma_{F_0}$			У межах $0,625\sigma_{K_T}$	У межах $\sigma_{K_T}$	У межах $3\sigma_{K_T}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	А	200	218,257726	0,792545	107	173	200	0,515842	0,026215	108	183	200
	И	200	198,272836	5,604733	105	184	199	1,348618	0,052163	103	176	199
	У	200	181,149460	5,365832	101	185	200	0,505781	0,014317	106	177	200
	О	200	217,016075	7,426665	104	177	200	0,503384	0,015756	103	178	200
2	А	200	147,722647	4,011336	107	174	200	1,231869	0,039493	103	182	199
	И	200	211,083716	0,098443	102	171	200	1,071456	0,053830	103	170	199
	У	200	202,210716	5,902281	107	186	200	1,111255	0,010939	101	184	200
	О	200	208,803652	3,781306	106	188	199	1,497249	0,003689	102	176	200
3	А	200	153,483171	4,738046	108	180	200	0,697983	0,053412	107	181	200
	И	200	172,142541	1,456869	106	177	200	0,849801	0,037131	106	185	199
	У	200	170,384950	4,616057	102	188	199	1,200937	0,018362	104	179	199
	О	200	167,885003	6,070987	103	186	199	0,890529	0,012648	104	188	199
4	А	200	200,474217	2,998396	100	190	199	0,749828	0,022526	107	172	200
	И	200	139,398758	0,280149	107	176	200	1,373392	0,041565	103	173	199
	У	200	144,033596	0,851270	108	173	200	1,252989	0,011920	106	171	200
	О	200	125,860700	4,503544	107	189	199	1,171242	0,049363	103	179	199
5	А	200	205,229830	1,285453	104	187	199	1,190700	0,049136	101	182	199
	И	200	125,818907	0,233912	107	174	200	1,322080	0,013425	101	179	199
	У	200	192,296898	6,775824	103	180	200	1,187832	0,055191	106	186	200
	О	200	151,965591	1,810309	106	186	199	0,589002	0,058479	106	185	200

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
6	A	200	188,617548	6,288145	105	172	200	0,709514	0,037194	107	186	200
	И	200	173,995988	3,605916	106	188	200	0,627549	0,024289	102	178	199
	У	200	166,578283	7,391176	107	179	199	0,723618	0,066396	103	181	200
	О	200	196,428176	5,834004	101	171	200	1,354240	0,020211	101	180	200
7	A	200	166,072779	7,182278	103	174	200	0,673774	0,037880	105	180	199
	И	200	168,258843	3,425194	108	174	199	0,610029	0,047841	107	190	199
	У	200	209,528737	2,104609	103	181	200	0,606695	0,009812	107	182	200
	О	200	171,329983	6,179131	104	176	199	0,712421	0,006338	102	185	199
8	A	200	175,333179	5,484052	101	178	200	0,797541	0,020167	102	181	199
	И	200	184,281531	4,643691	105	185	200	0,990023	0,028364	100	171	199
	У	200	201,531179	0,363993	105	184	199	0,717081	0,045507	107	170	200
	О	200	168,964942	2,424861	107	183	200	0,893261	0,061187	102	173	200
9	A	200	141,673027	6,466074	106	174	200	0,684404	0,066403	102	185	200
	И	200	176,192698	6,880403	107	171	200	0,775018	0,040896	108	186	199
	У	200	144,684837	1,355052	101	184	199	1,048927	0,037415	102	178	199
	О	200	217,698760	1,400429	104	184	199	0,934949	0,040958	105	180	200
10	A	200	180,637593	2,135877	101	181	200	1,245447	0,059544	104	178	200
	И	200	201,184955	1,228022	106	175	200	1,021209	0,009715	107	172	199
	У	200	184,289623	2,761130	107	188	199	0,565990	0,019742	103	188	199
	О	200	175,328297	6,023018	102	175	199	1,383364	0,011383	101	175	199
11	A	200	138,277522	5,776932	103	187	200	0,992215	0,062063	107	184	200
	И	200	181,624254	3,622074	103	183	200	1,470215	0,051833	100	171	199
	У	200	167,830506	1,085457	108	183	199	0,932100	0,021705	107	186	199
	О	200	159,940941	3,198156	103	171	200	0,866296	0,003710	105	187	200
12	A	200	168,883204	3,052168	106	186	200	1,204688	0,053191	103	179	200
	И	200	204,659261	4,772560	105	180	199	1,060799	0,045486	104	179	200
	У	200	141,461891	6,035911	105	170	200	1,116627	0,050606	104	175	200
	О	200	218,273979	3,282603	106	189	200	0,542661	0,062366	105	177	200
13	A	200	150,219151	7,169982	102	180	200	0,974249	0,024485	100	171	200
	И	200	159,330733	1,658097	107	176	200	1,315585	0,023620	103	180	199
	У	200	183,991989	1,472291	106	181	199	0,874956	0,033238	103	182	200
	О	200	131,573981	3,609743	102	183	199	1,426722	0,050940	102	176	200
14	A	200	136,258369	0,612761	102	189	199	1,121648	0,033739	105	188	200
	И	200	211,180891	5,582558	105	170	199	0,602780	0,059050	105	175	200
	У	200	178,367197	2,916074	103	187	200	1,103948	0,048955	102	184	199
	О	200	158,956163	3,577473	102	181	199	0,587307	0,016510	107	189	199
15	A	200	147,416736	3,427892	103	183	200	0,989975	0,017223	100	172	199
	И	200	214,362795	4,294213	101	178	199	1,272889	0,041281	104	180	199
	У	200	120,656468	1,622686	106	175	199	1,072413	0,054416	108	177	199
	О	200	218,263774	3,798596	107	175	200	1,222029	0,045633	103	172	199

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
16	A	200	198,287378	5,581283	108	171	200	1,112627	0,026919	100	186	200
	И	200	161,249721	5,667369	103	187	199	0,670437	0,011666	103	177	199
	У	200	166,535692	5,216269	101	170	200	0,526578	0,033323	100	173	200
	О	200	204,427461	4,313709	101	172	199	0,606504	0,011998	102	171	199
17	A	200	162,875039	3,373372	105	190	199	0,756279	0,026099	105	179	200
	И	200	169,544536	5,446512	104	180	200	1,020686	0,056896	102	184	199
	У	200	215,272064	2,386940	101	186	200	0,670557	0,037826	102	180	200
	О	200	145,324652	1,866597	103	181	200	0,918569	0,015751	106	173	200
18	A	200	177,330462	4,917649	101	183	200	1,338851	0,043227	105	190	199
	И	200	206,889069	6,552948	100	190	199	1,191352	0,027486	104	184	199
	У	200	131,208465	1,650562	104	181	200	1,021817	0,054930	106	184	200
	О	200	195,138923	1,242120	106	175	<b>198</b>	0,937502	0,047817	107	176	<b>198</b>
19	A	200	180,184758	4,681667	101	188	199	0,722474	0,017534	100	187	199
	И	200	152,973490	7,453939	105	190	199	1,329330	0,014604	106	189	199
	У	200	202,747834	1,671010	104	185	200	1,141648	0,031235	106	173	200
	О	200	165,219382	3,166607	100	177	200	0,618241	0,012560	107	183	200
20	A	200	190,083787	2,090562	105	172	200	1,381465	0,002924	105	187	199
	И	200	199,145685	4,594351	107	187	200	1,372404	0,051887	106	181	200
	У	200	138,837543	5,644934	106	174	199	1,240634	0,056010	107	181	200
	О	200	192,440036	6,270742	101	180	199	0,540599	0,042098	101	184	200
21	A	200	121,022528	4,193065	103	188	200	1,445290	0,063547	105	172	200
	И	200	185,520629	1,390789	102	172	200	1,435974	0,042268	107	175	199
	У	200	202,953773	4,749023	103	183	199	0,659118	0,035928	106	188	199
	О	200	145,059171	0,614961	104	177	200	1,233489	0,035635	107	177	199
22	A	200	135,079458	4,890018	102	170	200	0,616537	0,061038	101	177	199
	И	200	175,589762	1,288238	103	182	199	1,074769	0,043133	103	173	199
	У	200	184,585889	5,649776	105	184	200	1,222673	0,061479	102	190	199
	О	200	166,078725	5,277336	101	185	199	1,374137	0,023777	100	178	199
23	A	200	132,650923	0,725390	104	186	200	0,963882	0,000091	102	190	199
	И	200	168,330363	7,379208	101	184	199	1,419567	0,043141	104	183	200
	У	200	208,220814	4,575765	106	174	200	1,472570	0,065037	106	184	199
	О	200	154,103662	0,003972	101	171	199	0,862305	0,024525	101	171	199
24	A	200	180,185516	5,739797	103	184	199	0,590059	0,065695	101	187	199
	И	200	147,814927	6,085369	106	178	200	1,188917	0,030716	106	185	199
	У	200	179,827405	5,452399	105	179	199	0,771248	0,037270	104	171	200
	О	200	181,701352	5,921891	105	183	199	0,769507	0,057598	102	188	200
25	A	200	175,418452	5,386508	104	178	199	1,174826	0,018715	102	172	199
	И	200	170,320538	2,401694	107	174	199	0,575855	0,020867	103	189	200
	У	200	170,840827	7,099190	107	185	200	1,282779	0,001877	108	189	200
	О	200	151,260937	0,314428	104	179	199	1,163229	0,050420	108	183	200

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
26	A	200	150,105942	7,009971	104	177	200	1,392941	0,016454	102	188	200
	И	200	188,938245	1,703103	105	189	200	1,009620	0,040349	107	175	199
	У	200	139,646930	4,489522	102	179	200	0,828344	0,015331	108	180	200
	О	200	188,352717	2,959121	101	187	199	0,806147	0,035779	101	183	199
27	A	200	210,259566	6,886821	103	181	199	1,207120	0,058236	104	186	199
	И	200	215,682437	5,613598	101	178	199	0,792380	0,004480	107	185	199
	У	200	190,566620	4,072913	100	187	199	0,616692	0,058280	104	172	200
	О	200	172,587514	4,028097	104	174	200	0,730346	0,041149	102	172	200
28	A	200	213,880652	1,329400	106	183	199	1,036017	0,055972	106	175	199
	И	200	121,100219	6,937905	104	187	199	0,610943	0,018970	106	178	200
	У	200	170,340240	0,659782	101	173	200	0,849619	0,018625	103	184	200
	О	200	205,976057	3,550969	101	179	199	0,686539	0,003013	103	187	199
29	A	200	170,594649	4,103772	101	192	200	0,907883	0,034069	102	161	199
	И	200	201,340783	1,618562	107	186	199	0,568482	0,040072	103	152	200
	У	200	182,611938	3,838715	105	191	200	0,572428	0,052323	100	163	199
	О	200	148,988349	0,881220	105	184	200	0,898288	0,028317	105	154	200
30	A	200	172,385501	4,398235	101	189	199	0,825042	0,061671	104	181	199
	И	200	202,964790	4,477840	102	189	199	1,221249	0,026408	102	178	200
	У	200	156,914048	0,636230	103	179	200	1,179404	0,052797	104	181	200
	О	200	212,913048	0,079101	104	179	200	1,111216	0,014798	107	185	200
31	A	200	127,830024	2,634343	101	176	199	0,663857	0,041562	100	181	200
	И	200	134,653736	3,466313	101	187	199	1,165298	0,049125	108	176	199
	У	200	162,651463	6,789041	103	183	199	1,344278	0,036337	104	171	200
	О	200	142,716836	5,972016	103	188	200	0,967235	0,061634	104	172	200
32	A	200	145,832281	5,300414	100	185	199	0,735696	0,037408	103	179	200
	И	200	217,219335	3,715073	106	182	199	0,598198	0,027050	103	188	200
	У	200	150,586007	0,178828	106	174	199	1,425700	0,031177	105	175	199
	О	200	133,403800	2,957414	104	189	200	0,653756	0,062440	106	189	200
33	A	200	122,857953	0,127553	107	189	199	0,883405	0,057662	108	182	199
	И	200	120,512891	2,594582	106	185	200	1,430760	0,020179	102	187	200
	У	200	139,320815	2,879498	102	186	199	1,297704	0,015898	104	180	199
	О	200	136,874805	6,983180	101	180	199	0,877913	0,021920	108	172	199
34	A	200	161,268721	6,816164	104	171	199	0,788576	0,038470	108	176	199
	И	200	158,074670	6,058371	104	173	200	1,403747	0,014837	102	187	199
	У	200	156,284705	1,946955	105	185	199	0,835180	0,033106	107	175	199
	О	200	125,086866	5,944528	107	183	199	1,135782	0,064722	102	187	199
35	A	200	209,556634	6,576964	100	172	199	1,264513	0,022580	107	185	200
	И	200	149,243282	2,012182	101	178	200	0,724599	0,000498	101	174	199
	У	200	196,716553	2,241360	108	189	200	0,644341	0,014167	101	186	199
	О	200	120,912525	0,084385	103	181	199	1,286596	0,058099	103	181	200

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
36	A	200	140,078488	5,734502	104	185	199	1,424203	0,029911	103	171	199
	И	200	218,765049	0,245605	108	179	200	0,579150	0,004939	104	178	199
	У	200	120,149669	3,311903	106	189	199	0,668191	0,028946	105	170	200
	О	200	166,499230	3,956290	105	176	199	1,001967	0,059563	103	189	199
37	A	200	164,290201	0,893173	106	174	200	0,723287	0,019794	106	188	200
	И	200	133,903383	3,926222	107	170	199	0,518343	0,021068	102	186	200
	У	200	184,396171	5,344063	107	177	200	0,666995	0,027218	106	179	200
	О	200	129,128703	2,449779	107	173	200	1,090103	0,056206	103	176	199
38	A	200	185,481187	3,165734	106	188	200	0,878022	0,011549	101	175	200
	И	200	179,048161	2,656245	100	188	199	0,719956	0,025412	106	185	199
	У	200	217,031362	6,669378	104	188	200	0,573749	0,005071	105	172	200
	О	200	144,576319	3,378276	103	188	199	0,695029	0,062359	102	177	199
39	A	200	189,008729	1,464319	104	172	200	0,658257	0,030049	100	188	199
	И	200	167,825100	2,091660	104	173	197	1,125315	0,021602	101	171	198
	У	200	124,378102	0,337708	104	180	200	0,724645	0,062977	106	175	199
	О	200	197,970482	6,629487	106	182	199	1,370802	0,042246	106	177	200
40	A	200	170,032360	7,353955	102	176	199	0,555397	0,009635	103	185	199
	И	200	192,705134	0,123864	102	173	199	1,451014	0,042204	102	190	200
	У	200	137,991185	7,252001	102	172	199	0,964544	0,022204	106	187	199
	О	200	142,151995	2,378286	102	172	199	1,030733	0,057645	102	190	200
41	A	200	198,748229	1,468578	105	181	199	1,325374	0,056352	101	176	199
	И	200	212,113783	7,123807	104	176	200	1,075636	0,042202	107	176	199
	У	200	198,641715	3,365560	100	181	200	0,627441	0,066216	104	175	200
	О	200	153,533442	5,862111	101	177	200	0,771606	0,040536	108	186	199
42	A	200	123,123486	6,489548	107	184	199	1,406615	0,001853	100	183	200
	И	200	175,040534	5,248634	102	174	200	0,801468	0,017489	101	171	199
	У	200	177,801478	3,441806	101	189	200	1,391936	0,007085	108	176	200
	О	200	125,458557	1,218848	106	184	199	0,572892	0,057431	104	171	199
43	A	200	209,130648	1,686666	105	178	200	1,213011	0,048978	103	181	199
	И	200	183,148213	4,310825	103	190	200	1,491223	0,015027	105	179	200
	У	200	136,627320	1,376547	101	182	199	1,011704	0,043558	107	186	199
	О	200	199,061603	4,387228	104	187	199	0,870975	0,065362	103	185	200
44	A	200	218,481982	1,521688	102	173	199	1,301884	0,042320	104	175	199
	И	200	190,382363	6,709833	101	170	200	0,579758	0,034663	105	180	199
	У	200	122,445518	7,082741	102	190	199	0,920959	0,010802	101	174	200
	О	200	131,626743	5,069715	105	189	200	1,008365	0,026201	106	180	199
45	A	200	123,863872	5,814339	101	171	199	1,416961	0,030468	106	179	199
	И	200	140,080614	1,426228	106	176	199	1,460792	0,022627	105	176	200
	У	200	202,736160	7,437762	108	177	199	0,714929	0,055141	105	173	200
	О	200	202,447420	5,257895	102	180	199	0,557919	0,045988	106	172	200

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
46	A	200	161,671203	1,470834	104	181	199	1,406336	0,053249	100	185	200
	И	200	139,582063	2,078337	108	186	199	0,748624	0,023346	105	181	200
	У	200	136,617516	1,293168	106	178	199	0,505318	0,000461	101	184	200
	О	200	156,185728	4,320369	103	188	200	0,522058	0,005913	104	172	200
47	A	200	122,241725	0,774890	100	188	199	1,015443	0,020628	101	178	200
	И	200	172,336645	1,541382	103	178	199	1,414853	0,022943	106	186	200
	У	200	183,830418	3,546963	101	170	200	1,150781	0,006285	106	181	199
	О	200	183,731787	5,653142	101	175	199	1,406990	0,018315	106	178	199
48	A	200	177,590440	3,741240	108	187	200	0,555023	0,016621	106	178	199
	И	200	147,514510	0,629124	107	174	200	0,800099	0,017716	104	184	199
	У	200	151,222627	3,278365	106	177	195	1,362389	0,050846	97	175	193
	О	200	140,563123	7,392516	106	186	197	1,171924	0,040998	101	175	196
49	A	200	146,643967	4,531652	103	184	199	1,444094	0,028196	104	172	200
	И	200	187,115401	5,838003	100	180	199	0,500716	0,040972	101	182	200
	У	200	176,733215	3,445070	102	174	200	0,684098	0,039159	107	170	200
	О	200	202,604036	7,190477	104	172	199	1,053291	0,049888	105	187	200
50	A	200	197,974924	4,433445	104	182	199	0,627918	0,032515	101	171	200
	И	200	150,578021	3,653776	107	172	200	1,130516	0,014841	107	188	199
	У	200	150,876937	7,143021	103	175	199	1,348221	0,002761	101	183	200
	О	200	159,584979	6,052590	102	180	199	1,263962	0,036694	103	188	199
51	A	200	190,036297	1,400499	106	184	200	0,870974	0,042508	106	177	199
	И	200	196,889417	1,420660	107	183	200	0,957485	0,027104	107	177	200
	У	200	175,728607	2,928669	101	188	199	1,005890	0,057782	106	173	199
	О	200	145,901934	3,738385	105	172	199	0,567469	0,031558	106	172	199
52	A	200	148,895821	1,156777	101	172	199	0,924919	0,044110	108	174	199
	И	200	184,194349	7,272973	103	181	200	1,415503	0,033013	102	172	199
	У	200	161,407473	1,703741	108	177	200	1,332534	0,054688	105	183	199
	О	200	208,975783	0,724251	100	185	199	0,727220	0,017382	103	179	200
53	A	200	183,470350	4,862340	105	179	199	0,571566	0,025169	106	171	200
	И	200	206,904666	1,629272	103	188	199	1,491062	0,048784	102	188	199
	У	200	160,061591	5,162508	105	172	199	0,508338	0,053020	102	175	200
	О	200	215,111687	6,728826	102	171	199	0,830720	0,002482	101	174	199
54	A	200	138,260236	3,341856	103	189	199	0,540844	0,029350	106	189	200
	И	200	170,308683	5,248998	107	178	200	0,984986	0,036749	106	181	199
	У	200	137,352200	3,301544	106	188	199	0,573720	0,021129	103	172	200
	О	200	192,858460	3,300887	106	185	199	1,488790	0,051581	106	178	200
55	A	200	183,583699	0,375626	102	185	199	1,303773	0,035045	105	173	200
	И	200	202,680556	3,851612	107	185	199	0,649147	0,015515	103	172	199
	У	200	181,438099	0,992001	102	189	199	0,659795	0,027589	98	188	199
	О	200	213,867940	2,969739	107	184	200	0,909785	0,008460	105	175	200

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
56	A	200	143,311210	5,053089	102	179	199	0,740432	0,059277	107	183	199
	И	200	204,889652	6,798238	100	181	200	1,198188	0,061788	107	174	200
	У	200	149,460019	6,114363	106	183	199	1,093845	0,057599	101	182	200
	О	200	211,254372	2,458110	105	174	200	0,848813	0,043619	100	180	199
57	A	200	160,099856	0,688847	108	176	200	0,682923	0,019939	103	176	200
	И	200	137,509933	7,335803	105	178	199	1,196236	0,003859	101	183	200
	У	200	151,525001	1,755724	103	179	200	1,379787	0,054389	102	189	199
	О	200	135,453774	2,457538	108	176	199	1,431954	0,026930	102	182	200
58	A	200	198,127723	2,801173	103	184	200	1,333345	0,023034	105	171	199
	И	200	145,429322	1,903678	107	180	199	0,818626	0,006762	101	187	200
	У	200	172,190768	7,469545	105	175	200	1,053643	0,052295	108	182	199
	О	200	147,583319	3,966261	102	172	199	0,855477	0,058630	102	182	200
59	A	200	183,328268	3,653031	107	189	200	0,556761	0,008249	102	188	199
	И	200	219,959082	1,002819	106	177	199	1,488620	0,049099	100	171	199
	У	200	129,450104	4,597921	106	177	199	1,414009	0,001499	100	181	200
	О	200	150,300706	3,689612	107	185	199	0,960061	0,025307	106	179	199
60	A	200	181,124693	5,855591	104	178	200	1,049167	0,019527	105	188	200
	И	200	198,443194	1,627406	106	180	200	1,389119	0,024858	105	173	199
	У	200	171,215224	3,156349	103	179	199	1,127523	0,017765	105	171	199
	О	200	156,163538	3,502906	101	184	199	0,680015	0,047557	106	176	199
61	A	200	211,664322	2,534245	102	173	199	1,380459	0,033974	106	188	200
	И	200	201,367725	3,758986	107	182	199	0,849389	0,003576	101	175	200
	У	200	209,302154	2,780995	100	172	200	0,709332	0,057182	106	185	199
	О	200	193,488693	3,976831	102	174	200	1,367490	0,019310	101	187	199
62	A	200	202,552973	1,557121	106	187	200	0,912404	0,015764	102	171	200
	И	200	206,970210	3,423112	100	171	199	0,606778	0,048822	103	171	200
	У	200	190,915101	5,238452	104	183	199	0,878565	0,015904	107	177	200
	О	200	149,711704	4,465338	100	174	200	0,991708	0,038815	101	172	200
63	A	200	179,089339	3,826097	101	175	200	0,591608	0,061712	105	183	200
	И	200	163,349021	7,308483	104	190	200	0,943431	0,061691	106	188	199
	У	200	207,630833	3,498016	105	184	199	0,788797	0,054885	107	181	199
	О	200	152,246128	2,256036	105	172	199	1,213171	0,064634	103	181	199
64	A	200	191,999356	3,130324	100	181	200	0,617483	0,038516	106	173	200
	И	200	138,072747	1,448587	101	176	199	0,698014	0,049290	106	172	200
	У	200	141,883050	7,366442	100	176	200	1,133520	0,016290	101	177	200
	О	200	186,842929	5,783077	107	170	199	1,332885	0,063295	103	171	199
65	A	200	182,670582	0,062232	108	188	200	0,985220	0,044992	105	188	200
	И	200	205,289566	1,465839	101	185	199	1,152429	0,018232	105	187	200
	У	200	150,946761	0,685218	104	178	199	1,126614	0,064900	104	187	199
	О	200	153,449843	1,902550	106	172	200	1,116578	0,048615	103	171	199



1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
66	A	200	185,886571	7,496053	104	178	200	0,903754	0,032654	102	184	200
	И	200	170,336621	4,378224	103	178	199	0,793533	0,026456	107	172	200
	У	200	188,422660	2,590323	106	170	200	1,357812	0,021184	102	172	200
	О	200	159,570763	4,730369	107	170	200	1,493919	0,012693	102	184	200
67	A	200	170,061249	2,628834	108	179	199	1,088733	0,051278	102	180	199
	И	200	131,849395	6,968435	106	184	199	0,949862	0,060047	106	175	199
	У	200	163,221496	0,334498	105	171	199	0,523171	0,052705	106	190	200
	О	200	151,125107	6,042668	105	187	199	1,132736	0,015228	105	170	199
68	A	200	214,973286	5,583951	107	177	200	0,930487	0,052815	102	185	200
	И	200	181,371086	0,715516	104	185	200	1,303340	0,001735	108	170	200
	У	200	136,048457	1,172011	105	176	199	1,030537	0,057194	106	184	200
	О	200	180,807194	7,238687	104	173	199	0,888234	0,031180	107	173	199
69	A	200	127,000474	7,077127	107	177	199	0,537001	0,053629	102	181	200
	И	200	140,461980	3,289003	106	186	200	1,276007	0,024374	105	179	200
	У	200	153,387534	0,805919	101	175	200	1,480021	0,003957	101	171	200
	О	200	213,945624	5,366165	102	185	199	1,127215	0,023423	103	184	200
70	A	200	191,854104	0,144947	104	177	200	0,651877	0,055068	107	188	199
	И	200	135,308830	6,605561	102	182	200	1,291734	0,009437	104	187	200
	У	200	218,985905	3,397837	104	182	199	1,019462	0,033613	101	174	200
	О	200	171,862646	0,709231	103	182	199	0,927296	0,040403	104	183	199
71	A	200	164,813333	3,435874	103	178	199	1,447306	0,055706	103	186	200
	И	200	208,834229	6,448128	100	178	199	0,912940	0,057172	102	183	200
	У	200	202,838306	3,140205	104	189	200	0,574895	0,049500	107	179	200
	О	200	212,733539	3,438791	107	175	200	1,151131	0,005458	102	178	200
72	A	200	198,459567	1,063763	105	174	199	1,192037	0,021914	105	172	200
	И	200	170,305982	1,147555	104	174	199	0,852313	0,021759	108	183	199
	У	200	187,671406	2,391047	102	190	200	0,956025	0,000748	104	182	200
	О	200	149,945982	1,825425	106	177	200	1,395623	0,064479	106	182	200
73	A	200	207,910834	1,523877	103	177	200	0,794347	0,016768	103	173	200
	И	200	182,446489	4,326745	107	182	200	0,859530	0,004796	108	189	199
	У	200	152,928183	6,371246	102	187	199	0,836692	0,057021	102	187	199
	О	200	207,959433	4,514772	104	171	200	0,816148	0,025229	102	182	199
74	A	200	173,556156	5,671406	104	182	199	1,220005	0,020620	100	182	199
	И	200	186,042109	4,207296	106	178	200	1,482971	0,007125	108	172	199
	У	200	196,252299	1,924301	107	175	199	0,610339	0,008254	105	181	200
	О	200	215,664501	6,865423	102	176	200	0,825775	0,021668	102	178	200
75	A	200	181,289926	3,762477	102	190	199	0,785247	0,043339	102	188	200
	И	200	162,052544	4,478641	108	183	199	0,706445	0,005654	108	176	199
	У	200	192,472473	2,838597	105	180	200	1,120483	0,022727	102	172	200
	О	200	137,242324	1,349311	108	186	199	0,669478	0,003275	105	184	199

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
76	A	200	200,246286	1,557675	101	183	200	1,324740	0,061552	107	185	200
	И	200	131,220211	4,229687	105	186	200	1,460900	0,055180	106	183	199
	У	200	190,086859	4,232170	103	178	199	1,266185	0,030137	103	177	200
	О	200	140,523940	2,014603	104	170	200	0,873362	0,049371	103	180	200
77	A	200	198,033496	0,488054	105	184	200	1,234551	0,047544	103	172	200
	И	200	191,179617	6,942956	101	179	200	1,011150	0,015212	107	172	199
	У	200	145,247420	3,499975	101	189	199	1,482514	0,063006	104	173	200
	О	200	202,849668	0,511089	105	173	199	0,568877	0,041776	107	189	200
78	A	200	193,468314	6,883656	101	172	199	1,390121	0,023174	107	187	199
	И	200	191,066731	6,051228	105	177	199	1,217588	0,035128	104	176	199
	У	200	193,244301	5,323644	107	172	199	1,096020	0,023085	104	185	199
	О	200	154,428475	3,678072	103	184	200	0,692040	0,029129	104	188	200
79	A	200	146,810367	2,764527	101	188	200	0,939227	0,005438	107	174	200
	И	200	143,628365	7,056679	101	185	199	0,672907	0,064329	105	177	199
	У	200	157,490207	3,243762	104	172	199	0,555200	0,006095	100	186	199
	О	200	159,197359	2,694761	103	175	200	1,057650	0,016217	100	176	200
80	A	200	187,496529	5,694227	106	190	199	0,969952	0,043717	104	174	199
	И	200	174,831546	3,712523	105	178	200	0,713818	0,054064	106	179	200
	У	200	196,004776	5,294623	107	190	199	0,535969	0,051467	103	186	200
	О	200	133,180718	1,293161	105	187	199	1,308512	0,044957	105	178	199
81	A	200	179,375298	0,195853	105	174	200	1,053661	0,015343	105	189	199
	И	200	210,972887	5,767152	105	181	199	1,307773	0,050919	105	178	199
	У	200	185,398955	6,201504	106	187	199	0,922127	0,050413	104	184	200
	О	200	200,349728	5,533461	104	176	200	0,739649	0,033725	105	175	199
82	A	200	123,441163	3,230552	106	184	199	0,662958	0,046177	108	186	200
	И	200	203,287970	5,770778	101	181	199	0,814675	0,048639	104	188	199
	У	200	142,359373	3,640423	107	190	200	0,660831	0,012334	107	188	200
	О	200	185,981718	5,141929	106	180	200	0,997527	0,041676	101	176	200
83	A	200	198,068989	1,238532	105	189	200	1,464664	0,022846	106	176	200
	И	200	190,060716	4,944570	104	184	200	0,623604	0,064954	103	187	200
	У	200	182,632721	6,060411	102	185	199	1,493057	0,022894	103	190	200
	О	200	147,519544	6,411298	104	182	200	0,654271	0,024734	103	187	199
84	A	200	136,748382	6,242584	107	182	200	1,487783	0,063316	102	175	200
	И	200	196,232759	0,612299	103	182	200	0,664535	0,043396	101	179	200
	У	200	217,510119	2,068274	106	185	200	0,559077	0,027089	103	178	199
	О	200	142,930964	4,163661	108	184	199	0,656883	0,016583	101	176	199
85	A	200	143,318075	6,014097	103	180	200	1,166469	0,012466	104	176	199
	И	200	170,512824	2,694477	104	187	200	0,795052	0,046796	101	176	200
	У	200	187,811499	3,875858	107	174	199	0,878920	0,037323	105	181	199
	О	200	136,568012	5,275859	102	173	200	0,651462	0,001320	107	177	200

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
86	A	200	144,700291	3,301569	104	175	200	1,257997	0,029327	104	183	199
	И	200	159,986101	4,264995	101	171	199	1,062074	0,009100	103	172	199
	У	200	135,369976	7,309819	107	170	<b>198</b>	0,707848	0,033147	105	184	<b>196</b>
	О	200	142,526379	6,267370	102	186	200	1,182423	0,011115	106	175	199
87	A	200	181,135129	1,621626	108	186	200	0,635730	0,065988	106	187	199
	И	200	122,223619	3,670269	105	175	200	0,838567	0,045531	103	181	200
	У	200	212,016223	3,383883	106	188	199	0,766820	0,019333	101	182	200
	О	200	205,504777	7,450705	103	189	200	0,766713	0,048864	101	177	200
88	A	200	133,914931	5,112537	106	187	200	0,957089	0,038170	105	182	200
	И	200	174,891624	3,210876	107	183	200	0,835265	0,054409	106	185	200
	У	200	126,062847	3,933616	106	171	199	1,347960	0,042275	102	171	200
	О	200	219,164325	3,644293	106	185	200	0,843036	0,035849	104	176	200
89	A	200	190,618662	2,450231	106	177	200	1,206522	0,020797	105	185	199
	И	200	182,860949	6,885695	108	187	199	0,987393	0,010638	101	171	200
	У	200	126,288764	6,313687	104	174	200	1,295031	0,031404	106	182	199
	О	200	181,987919	3,947876	102	178	200	0,596064	0,051056	105	179	199
90	A	200	147,846282	2,326811	106	181	200	1,113471	0,001904	101	186	200
	И	200	182,816395	2,198552	101	179	199	1,216378	0,017536	101	171	199
	У	200	123,423571	2,157636	100	188	199	0,858898	0,065586	104	179	200
	О	200	190,639604	5,580396	100	184	199	0,655661	0,062170	106	182	200
91	A	200	151,453123	0,491567	104	172	200	1,445343	0,061542	100	180	200
	И	200	145,366099	1,027355	108	187	200	1,066573	0,050317	101	172	199
	У	200	149,131927	0,200138	103	178	199	1,428001	0,064534	104	174	199
	О	200	170,823956	4,280388	103	184	200	0,671100	0,014892	106	174	200
92	A	200	174,284261	5,854500	102	170	200	1,175477	0,042352	103	174	199
	И	200	174,650915	4,555737	107	181	199	1,216977	0,057920	105	177	199
	У	200	152,497923	3,161767	104	186	199	1,133821	0,038544	100	180	200
	О	200	145,645452	3,768869	100	174	199	0,760282	0,013936	106	172	199
93	A	200	131,408897	5,652327	101	178	200	0,526113	0,045138	108	173	200
	И	200	145,453788	4,767199	101	188	200	0,867948	0,023160	105	184	200
	У	200	134,009459	6,196265	107	178	199	1,331349	0,029904	108	173	199
	О	200	141,467845	1,774732	106	173	199	0,833954	0,062343	104	171	200
94	A	200	132,854723	4,677004	101	179	199	0,886363	0,016105	108	183	199
	И	200	177,809126	0,001746	100	173	200	1,002927	0,047889	104	182	200
	У	200	217,042618	1,900306	106	184	200	0,954557	0,012629	105	173	199
	О	200	131,273543	5,122632	104	183	200	0,794929	0,025813	107	182	199
95	A	200	173,842307	3,566741	100	182	199	0,605174	0,025766	105	173	200
	И	200	149,112177	2,075031	101	183	199	0,525154	0,063149	102	172	200
	У	200	156,846042	6,885763	102	184	199	0,746865	0,017207	103	171	199
	О	200	215,522980	6,383379	105	180	199	0,612305	0,022021	103	173	199

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
96	A	200	162,519459	6,159513	102	177	199	0,659305	0,039517	107	170	200
	И	200	143,728405	4,959995	106	171	200	1,269387	0,030996	104	173	199
	У	200	187,025307	4,914470	102	178	199	1,366609	0,013668	104	187	200
	О	200	140,513991	4,586829	101	183	200	1,270681	0,034942	106	180	200
97	A	200	185,195614	3,409080	101	176	199	1,196289	0,046540	101	177	199
	И	200	140,102863	5,031005	104	171	199	0,888624	0,037990	108	174	199
	У	200	203,527296	1,595491	105	189	199	1,367512	0,019655	108	176	200
	О	200	154,241191	2,497273	101	180	200	0,594379	0,020843	108	172	200
98	A	200	209,076200	1,363503	105	183	200	0,952404	0,013711	103	185	200
	И	200	135,369569	5,370501	105	173	199	0,615815	0,013684	107	182	200
	У	200	186,124579	3,144885	100	171	199	1,054151	0,033504	105	174	199
	О	200	199,755345	2,951331	106	176	200	0,946661	0,039269	108	187	200
99	A	200	122,497016	3,206155	105	187	200	0,545643	0,064505	105	184	200
	И	200	207,460879	4,138128	106	182	199	0,900587	0,007447	106	188	200
	У	200	157,399780	1,707971	103	180	200	1,212425	0,058975	106	188	200
	О	200	146,022746	4,258337	101	172	199	0,803949	0,009035	105	174	199
100	A	200	212,658611	5,359241	105	172	200	0,643681	0,016238	107	172	199
	И	200	214,716868	4,502383	103	182	199	0,920962	0,023621	101	186	199
	У	200	179,229960	4,744093	105	182	199	0,715027	0,021665	102	189	200
	О	200	156,284592	2,163235	104	186	200	1,205043	0,022549	101	188	200
101	A	200	180,860650	0,149813	100	183	200	1,006844	0,008972	101	176	200
	И	200	132,994698	1,134756	104	170	200	0,970073	0,015008	105	177	200
	У	200	186,770987	3,473889	106	179	199	1,001909	0,043742	101	180	200
	О	200	193,916353	5,871968	107	189	200	1,075337	0,018465	101	186	200
102	A	200	195,236298	0,038284	106	187	199	1,406078	0,026085	105	184	199
	И	200	130,277995	3,266364	100	177	200	0,717882	0,034697	106	182	199
	У	200	159,941914	0,389052	100	170	200	1,435755	0,010357	102	185	200
	О	200	165,787157	0,639367	102	181	199	1,426044	0,012677	104	176	199
103	A	200	180,986588	0,909443	107	180	200	1,415920	0,039851	100	173	199
	И	200	178,786228	4,307098	104	175	200	1,347903	0,012884	106	182	199
	У	200	132,409351	5,824598	107	175	200	0,532444	0,027713	103	172	199
	О	200	203,119155	6,919543	105	183	199	1,428408	0,020972	108	185	199
104	A	200	148,114802	4,425975	107	180	200	1,082461	0,048670	105	182	200
	И	200	204,584077	3,027264	103	178	200	0,568919	0,025362	106	187	199
	У	200	138,071842	3,593631	103	185	199	1,066525	0,039472	103	174	199
	О	200	179,846902	3,578777	103	184	199	1,362929	0,006688	101	186	200
105	A	200	156,660841	1,944472	107	170	199	1,466322	0,005984	104	172	200
	И	200	174,690816	1,301716	106	175	200	0,501700	0,053677	104	185	200
	У	200	195,044241	5,684610	105	188	200	1,051680	0,001496	106	190	199
	О	200	168,476732	0,170912	105	173	199	1,443577	0,053371	107	185	199

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
106	A	200	219,435603	2,493949	101	185	200	1,060617	0,040843	108	173	200
	И	200	121,689680	0,916507	102	175	199	1,440720	0,036954	106	172	200
	У	200	127,142084	1,021114	102	172	199	0,596197	0,014917	104	180	200
	О	200	133,446128	3,275242	104	179	200	0,517012	0,029093	105	174	200
107	A	200	142,255357	7,316864	103	171	200	1,083924	0,036814	107	183	199
	И	200	205,837246	6,938022	103	190	199	1,490880	0,015380	103	177	199
	У	200	122,865966	0,784106	103	182	200	0,633437	0,017545	102	182	200
	О	200	161,983103	4,396904	105	176	200	0,636803	0,009116	106	181	199
108	A	200	201,676118	5,972629	102	184	200	0,648254	0,035886	107	186	199
	И	200	214,672806	0,144621	106	175	199	1,079225	0,032036	102	183	199
	У	200	131,885916	0,296700	106	182	200	0,527304	0,033611	103	182	200
	О	200	132,465571	4,429767	104	180	200	0,512650	0,056876	107	174	200
109	A	200	160,228022	1,503627	106	188	199	0,802020	0,000712	101	188	199
	И	200	200,127740	6,020779	105	170	200	1,341660	0,059710	102	187	199
	У	200	199,025770	7,471428	108	186	200	0,552712	0,048500	103	180	200
	О	200	120,280724	7,181824	101	190	200	0,834596	0,029971	106	186	200
110	A	200	219,149702	4,663727	100	171	199	1,448003	0,001847	103	190	200
	И	200	153,134895	5,313730	104	171	200	1,384672	0,019395	105	177	200
	У	200	135,747551	2,820001	104	176	200	1,251052	0,041827	107	185	199
	О	200	141,184407	4,463082	101	177	200	1,472251	0,011159	101	175	199
111	A	200	208,622660	4,709303	104	170	199	1,136326	0,029987	108	178	200
	И	200	215,737957	1,152603	102	187	199	1,422049	0,023774	104	170	200
	У	200	129,135837	3,525582	105	187	200	0,660668	0,045513	101	170	199
	О	200	132,160490	5,235953	101	182	199	0,549008	0,031005	106	184	199
112	A	200	215,505646	6,752744	101	186	199	0,732416	0,033207	106	171	200
	И	200	130,700827	2,730065	104	186	199	0,786596	0,045710	104	180	200
	У	200	188,382141	6,577544	103	177	200	1,422317	0,026851	101	183	200
	О	200	169,780247	3,828144	103	183	199	1,391266	0,015542	108	179	200
113	A	200	148,569031	0,678475	103	188	200	0,959981	0,045874	104	189	200
	И	200	128,616994	0,546461	103	174	200	0,816856	0,011737	103	170	199
	У	200	128,769285	5,968741	106	173	200	0,759644	0,063253	101	178	200
	О	200	126,061730	7,208049	101	180	200	1,352642	0,025594	108	175	200
114	A	200	141,229180	4,121470	104	177	196	0,818969	0,009212	104	172	195
	И	200	152,518916	0,716455	107	185	197	0,618828	0,053881	104	182	200
	У	200	193,155775	1,455270	102	173	197	1,334647	0,008651	102	176	197
	О	200	161,829142	1,322638	107	184	199	0,513196	0,054430	106	177	200
115	A	200	191,782832	7,008266	105	189	199	0,878545	0,016879	103	183	200
	И	200	219,987386	5,838170	101	180	200	0,702687	0,053153	105	176	199
	У	200	210,960174	6,378739	106	184	200	0,978149	0,051573	108	179	199
	О	200	157,572213	6,497847	105	175	200	1,253646	0,050422	107	183	200

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
116	A	200	141,141471	5,160484	105	190	200	1,445056	0,052207	108	186	199
	И	200	122,760914	2,424832	105	178	200	1,494499	0,008035	108	178	200
	У	200	194,645479	2,051032	101	186	200	1,295263	0,031546	102	183	199
	О	200	181,805578	4,401472	107	184	199	0,704588	0,031369	108	172	199
117	A	200	188,065701	2,960838	104	179	200	0,605000	0,017105	103	182	200
	И	200	163,845102	7,398902	103	177	199	0,722943	0,027970	108	178	200
	У	200	173,703497	3,701575	102	178	200	1,145864	0,047172	104	182	199
	О	200	196,928146	6,568557	104	171	199	1,070715	0,023816	105	184	199
118	A	200	141,899624	0,081655	105	175	200	1,142996	0,052635	108	179	200
	И	200	132,122014	1,148729	101	170	200	0,681032	0,018520	107	184	200
	У	200	166,139217	5,487100	107	180	200	1,000057	0,022534	100	184	200
	О	200	202,582481	1,989285	103	175	199	0,830034	0,027379	105	188	200
119	A	200	212,805210	7,275889	106	175	200	1,334751	0,017919	106	187	199
	И	200	214,459554	2,147678	103	181	199	1,362825	0,058189	107	186	200
	У	200	187,455188	7,063912	103	177	199	1,168644	0,031933	104	184	199
	О	200	216,514172	1,259368	103	172	200	0,808090	0,004072	101	173	199
120	A	200	139,496680	1,230639	104	176	200	0,615030	0,060707	105	182	199
	И	200	145,320842	5,635781	101	170	199	1,475150	0,000244	107	176	199
	У	200	197,135891	1,722656	102	190	199	0,908594	0,049632	103	176	199
	О	200	192,931213	4,792939	106	182	200	1,127176	0,025955	108	174	199
121	A	200	154,474870	5,983161	105	189	199	1,120624	0,012955	103	175	199
	И	200	193,873587	3,863871	106	188	200	1,324326	0,032872	106	188	200
	У	200	182,632116	1,085578	102	178	199	1,403513	0,057922	105	185	200
	О	200	178,363372	0,097943	101	172	199	1,030561	0,047798	104	172	200
122	A	200	186,761618	0,899384	103	177	200	1,108318	0,011397	102	172	200
	И	200	188,599464	5,400225	102	175	199	0,577874	0,064337	101	182	199
	У	200	180,845339	6,366297	103	186	200	0,619110	0,046870	101	189	200
	О	200	205,021573	3,114025	105	190	200	0,581700	0,038064	100	179	200
123	A	200	202,134130	0,214931	107	178	199	1,247865	0,009781	102	178	200
	И	200	179,403486	0,999706	107	174	200	0,901241	0,066469	104	188	200
	У	200	137,112090	1,192064	104	179	199	1,033668	0,039052	103	171	200
	О	200	121,657265	1,112923	<b>98</b>	178	<b>197</b>	1,238462	0,001573	107	177	200
124	A	200	180,859357	4,138625	105	187	199	0,789946	0,049446	103	171	200
	И	200	137,223383	3,535399	105	179	200	1,469518	0,043154	108	188	199
	У	200	201,688337	3,488534	102	183	199	1,243512	0,005963	101	188	199
	О	200	161,921799	7,161359	107	176	199	1,302341	0,027149	107	170	199
125	A	200	132,928374	1,518516	101	188	200	0,609145	0,021560	101	179	199
	И	200	191,138972	4,492758	104	187	200	1,354159	0,023822	105	180	199
	У	200	163,733854	3,927026	108	183	199	1,443477	0,009420	107	187	200
	О	200	150,225806	1,146426	102	180	200	1,242678	0,026951	108	184	199

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
126	A	200	150,790750	1,570387	102	172	200	1,121918	0,054361	101	176	199
	И	200	202,981539	4,526242	101	181	199	0,784696	0,015274	100	189	199
	У	200	122,796600	0,934292	101	188	199	0,782380	0,034639	100	186	199
	О	200	145,098566	4,863484	104	172	200	0,895880	0,034125	104	171	199
127	A	200	199,588926	4,668774	105	186	200	1,079556	0,058725	104	190	200
	И	200	179,443205	5,578457	102	175	200	1,285465	0,045164	108	188	199
	У	200	197,797091	4,764782	101	171	199	0,593483	0,048304	104	179	199
	О	200	120,047389	6,166545	102	178	200	0,539637	0,058794	107	183	200
128	A	200	144,892590	2,200482	105	181	200	1,236161	0,032080	101	187	200
	И	200	121,686310	2,061796	98	174	199	0,687318	0,030499	97	187	200
	У	200	173,512779	3,135410	102	187	200	1,499967	0,014976	97	181	197
	О	200	181,916986	2,181169	103	174	199	0,842144	0,035715	102	176	199
129	A	200	217,933048	5,480600	102	183	200	0,891610	0,053971	100	187	200
	И	200	212,452781	1,102580	107	171	199	1,014345	0,004451	104	185	199
	У	200	184,562422	0,922817	105	187	199	1,395397	0,005164	102	184	200
	О	200	126,748846	4,079851	108	172	199	0,686315	0,063603	101	174	199
130	A	200	218,337605	6,231014	106	171	200	1,309526	0,039974	100	176	200
	И	200	140,673512	4,347702	102	187	199	1,245591	0,034856	105	174	200
	У	200	136,890463	6,423141	104	174	199	1,299195	0,061734	102	178	200
	О	200	133,140609	3,419912	101	189	200	0,869008	0,002784	104	171	200
131	A	200	154,363936	3,621428	106	185	199	1,010244	0,053928	103	174	199
	И	200	163,577735	3,833761	105	180	199	0,951777	0,034364	106	188	200
	У	200	166,751403	1,674278	108	186	199	1,087104	0,024645	103	178	199
	О	200	193,105445	5,043891	105	185	200	0,675236	0,031187	105	188	200
132	A	200	120,634463	0,372874	100	179	199	0,938783	0,045181	104	188	200
	И	200	206,302397	6,918706	103	178	200	0,807018	0,062263	102	182	200
	У	200	137,194177	1,840651	104	174	199	1,096660	0,047357	107	184	200
	О	200	180,431423	6,542434	102	184	200	1,327394	0,025335	105	170	200
133	A	200	213,370728	5,423733	107	181	200	0,507814	0,010823	106	173	200
	И	200	199,001537	0,275979	107	189	200	0,975539	0,051305	106	176	199
	У	200	172,046530	1,160476	107	179	200	0,607660	0,004905	101	183	199
	О	200	156,540891	6,779688	104	173	199	1,309470	0,032997	100	181	199
134	A	200	183,127769	5,658244	104	184	199	0,515626	0,049601	105	179	200
	И	200	151,455657	2,951153	104	181	200	1,373400	0,026193	108	186	199
	У	200	127,399387	0,455524	106	179	199	1,197630	0,060303	104	184	200
	О	200	213,849851	5,981186	106	173	200	0,566270	0,037514	103	173	200
135	A	200	125,028496	4,197527	105	184	199	0,939099	0,040817	103	186	200
	И	200	165,181098	5,981071	107	173	200	0,805206	0,013737	107	188	200
	У	200	200,591235	3,703388	107	184	199	0,972294	0,055951	106	172	199
	О	200	156,627329	4,884242	100	174	200	0,577634	0,013789	103	175	199

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
136	A	200	206,498064	5,253092	108	180	199	0,601670	0,014904	105	171	200
	И	200	183,039418	1,075491	105	171	200	0,975834	0,044679	106	179	200
	У	200	176,692493	6,172252	104	185	199	0,671043	0,063378	107	180	199
	О	200	219,354756	2,950842	106	182	200	1,307653	0,009274	106	181	199
137	A	200	132,498250	5,542862	108	188	200	0,716301	0,015668	106	173	200
	И	200	176,346764	0,861222	108	185	199	1,377147	0,047179	107	179	199
	У	200	212,489889	4,118153	100	173	200	0,647405	0,024641	104	182	199
	О	200	122,585339	3,143031	102	171	199	1,028891	0,049962	101	172	199
138	A	200	148,261828	7,269679	104	180	199	1,303450	0,054189	100	174	199
	И	200	169,483247	5,688768	103	171	200	1,049714	0,031976	105	189	200
	У	200	157,970834	3,544746	107	188	199	0,724511	0,018739	101	171	199
	О	200	166,303439	0,760806	103	181	199	1,021603	0,004707	108	177	199
139	A	200	179,526940	0,162329	106	188	199	1,484041	0,021067	105	184	199
	И	200	202,002319	7,001468	102	178	199	1,219530	0,035874	103	182	199
	У	200	215,307799	5,525575	101	177	199	0,925566	0,019680	102	174	199
	О	200	160,783941	1,342507	103	185	199	1,147952	0,007886	108	174	199
140	A	200	210,271478	2,579051	106	183	199	0,647428	0,023656	106	177	199
	И	200	128,240146	4,767135	106	184	200	0,809732	0,023565	102	179	199
	У	200	135,342687	5,588830	102	189	199	1,079317	0,012891	106	185	200
	О	200	194,951636	0,127707	102	187	200	1,301230	0,040381	106	182	200
141	A	200	197,947451	4,173558	102	170	200	1,494366	0,014973	104	185	199
	И	200	154,424985	1,472199	103	179	199	0,827320	0,014454	103	179	199
	У	200	151,571211	7,164621	104	175	200	1,300521	0,003289	105	170	199
	О	200	142,240590	5,582601	106	178	199	0,730075	0,002241	107	179	199
142	A	200	126,215368	5,123546	100	185	200	0,954981	0,047602	101	172	200
	И	200	213,286556	2,678344	102	176	200	0,624876	0,034481	101	183	200
	У	200	151,627265	4,094740	105	178	200	1,345416	0,048355	105	181	200
	О	200	203,953522	1,987899	104	174	200	1,237691	0,010335	107	171	199
143	A	200	195,178606	1,921718	101	182	199	0,981740	0,019273	104	187	200
	И	200	176,165420	1,641655	106	171	199	1,037279	0,026277	104	183	199
	У	200	186,267306	7,204925	103	183	200	0,842186	0,049538	104	170	200
	О	200	190,121179	1,089218	104	184	200	1,256065	0,054346	102	181	199
144	A	200	149,117790	2,229290	101	185	200	1,217414	0,043425	107	187	200
	И	200	202,622354	0,494250	101	185	199	1,393430	0,050987	103	183	200
	У	200	215,854721	2,439628	101	187	199	1,396433	0,035333	107	184	200
	О	200	137,861709	2,809966	100	181	199	0,795188	0,011086	106	174	199
145	A	200	141,725166	1,292017	104	174	200	0,538053	0,044789	102	190	199
	И	200	127,547723	0,488427	107	183	200	1,402965	0,048425	103	176	200
	У	200	194,344206	5,559281	107	180	200	0,571647	0,002681	104	170	199
	О	200	167,240040	0,026741	102	172	199	1,267272	0,017161	101	183	199



1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
146	A	200	138,838974	2,418699	106	189	200	1,470951	0,046621	100	187	199
	И	200	185,770857	6,303306	107	190	199	0,917977	0,022234	103	187	199
	У	200	190,766141	3,400060	101	172	199	0,744669	0,050045	105	185	199
	О	200	174,627248	4,907216	105	177	200	1,185970	0,066622	103	189	200
147	A	200	158,677829	6,522203	106	171	199	1,487616	0,016276	108	175	200
	И	200	174,169426	6,913961	107	180	200	0,569734	0,050036	108	182	200
	У	200	148,210967	6,696150	105	173	199	0,836165	0,002151	100	179	199
	О	200	163,559941	6,810531	105	178	200	0,740595	0,033622	105	180	200
148	A	200	149,575087	0,722976	102	183	199	1,171738	0,002451	104	186	199
	И	200	151,278816	0,523069	108	175	200	1,280395	0,051930	100	187	199
	У	200	180,313554	4,464515	107	187	200	0,916093	0,059725	106	177	200
	О	200	213,099626	4,250184	105	172	200	1,245335	0,053406	101	185	200
149	A	200	205,213230	6,015061	106	182	199	1,262159	0,030753	106	188	199
	И	200	174,401502	3,555049	106	186	200	0,649736	0,050639	108	189	200
	У	200	205,237585	7,452157	103	170	199	0,684171	0,007566	101	177	199
	О	200	183,692088	5,919422	105	172	199	1,463478	0,061635	106	172	199
150	A	200	217,358234	3,994614	105	177	200	0,570843	0,024275	103	173	200
	И	200	174,216423	6,212699	104	181	200	1,216860	0,056675	103	175	200
	У	200	217,159923	0,645887	104	184	200	0,825347	0,047622	102	190	200
	О	200	160,526767	0,779132	101	181	199	0,806626	0,025374	106	173	200
151	A	200	166,093944	5,150917	103	181	200	0,775838	0,015837	102	172	200
	И	200	166,888360	2,096340	106	172	199	0,596921	0,045155	103	185	199
	У	200	195,254992	7,344588	107	184	199	1,240268	0,057059	103	171	199
	О	200	134,396126	2,208229	100	182	200	1,408915	0,065749	100	182	199
152	A	200	147,556455	3,719897	105	175	199	1,089255	0,051888	103	180	200
	И	200	203,677306	1,885455	107	170	199	1,492843	0,024293	104	184	200
	У	200	150,179149	2,293983	102	188	200	1,150747	0,004669	106	173	200
	О	200	120,055033	1,216549	105	173	200	1,076233	0,005604	107	190	200
153	A	200	139,168481	6,600136	105	179	199	0,800228	0,054747	108	185	199
	И	200	158,047846	1,082831	108	188	199	0,582036	0,062226	104	174	199
	У	200	208,055059	3,883897	104	180	200	1,080232	0,058944	104	175	199
	О	200	212,080134	1,220239	104	186	199	1,110443	0,008821	102	178	200
154	A	200	202,373732	1,331394	102	177	199	0,692888	0,043180	102	187	199
	И	200	150,278529	6,821198	100	174	199	1,278115	0,005498	104	179	200
	У	200	131,956071	0,408026	105	177	200	0,709277	0,054481	101	190	200
	О	200	178,229225	6,879649	106	179	200	1,008594	0,044647	104	171	200
155	A	200	122,871289	5,635621	108	173	200	1,339327	0,044633	103	181	199
	И	200	209,571244	3,732371	102	186	200	1,367622	0,022554	105	175	200
	У	200	180,890593	2,886200	101	185	199	0,606009	0,050053	108	187	199
	О	200	190,300632	4,499719	106	174	200	1,037148	0,043681	104	184	200

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
156	A	200	188,349980	3,520468	106	175	199	1,267574	0,032476	107	175	199
	И	200	173,660596	1,378891	101	181	200	0,521742	0,038894	102	184	200
	У	200	206,286466	6,949151	106	177	200	0,831596	0,045020	101	175	199
	О	200	192,492580	1,492874	105	179	200	0,681192	0,012196	104	170	200
157	A	200	203,722754	0,445313	100	189	200	1,004555	0,021575	105	185	199
	И	200	125,923277	5,748163	101	187	199	0,683020	0,063897	104	181	199
	У	200	185,975339	6,285777	101	173	200	1,420718	0,054065	106	183	199
	О	200	207,262575	4,904411	107	182	200	0,968663	0,038132	107	183	199
158	A	200	143,861055	2,549768	107	174	200	0,994069	0,055531	102	187	200
	И	200	169,987447	4,809100	102	185	200	1,327086	0,009311	102	188	199
	У	200	195,677047	5,152909	102	184	200	0,737034	0,006933	104	174	199
	О	200	178,686773	6,500392	101	189	199	0,669560	0,055416	103	178	200
159	A	200	143,829198	2,444696	106	172	199	1,389753	0,018922	105	170	199
	И	200	141,842104	5,631260	104	173	199	0,599366	0,066072	101	173	199
	У	200	217,983981	7,447573	101	173	199	0,703651	0,006508	103	181	199
	О	200	153,319358	4,418034	103	175	199	1,370167	0,033286	103	170	200
160	A	200	126,618747	1,565731	100	181	199	0,723051	0,007870	107	182	200
	И	200	159,446460	3,066489	104	171	199	1,326807	0,039467	105	174	199
	У	200	188,845466	4,841762	101	173	199	0,908592	0,011881	103	177	200
	О	200	198,551916	1,378598	103	171	199	1,422274	0,057281	103	175	199
161	A	200	168,382884	1,589289	100	174	199	1,446185	0,058953	105	176	200
	И	200	209,839320	7,493064	101	172	200	0,904593	0,042617	106	179	199
	У	200	181,552137	1,479696	101	179	200	0,585269	0,013094	107	170	199
	О	200	158,472810	1,962782	103	175	199	0,767387	0,035228	103	174	199
162	A	200	201,170788	2,411086	107	173	200	1,350119	0,036444	103	174	200
	И	200	173,748451	4,122328	100	185	200	1,057862	0,014972	102	187	200
	У	200	128,220311	0,237590	100	186	200	1,467945	0,030875	106	182	199
	О	200	147,226558	1,448612	101	175	199	0,635959	0,028237	103	175	199
163	A	200	153,162009	6,687153	103	180	200	0,857535	0,011215	105	187	199
	И	200	187,699961	1,367833	105	184	200	1,478431	0,065796	100	175	199
	У	200	178,776366	3,045919	102	174	199	0,522208	0,008048	101	178	200
	О	200	179,873202	3,711830	102	171	199	1,121596	0,006684	102	172	200
164	A	200	126,400843	0,937350	106	185	199	1,190795	0,064642	106	171	200
	И	200	143,627672	3,276984	104	180	199	1,336506	0,042661	106	178	200
	У	200	197,441110	2,774184	102	181	200	0,550437	0,059272	105	186	200
	О	200	140,747687	0,688784	107	174	199	0,630287	0,031206	105	178	200
165	A	200	212,030708	3,211385	102	176	200	1,414912	0,050851	105	188	199
	И	200	125,982497	3,525174	107	190	200	0,667408	0,058264	103	175	200
	У	200	196,714162	4,178179	103	181	199	0,672273	0,012447	104	178	199
	О	200	189,319238	3,401824	102	184	200	1,204614	0,058686	104	186	199

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
166	A	200	143,028518	4,817328	104	178	200	1,355521	0,050616	102	171	199
	И	200	186,341814	0,972429	103	182	199	0,633288	0,042258	104	178	200
	У	200	208,858325	6,409751	104	175	199	0,680085	0,041783	100	186	199
	О	200	203,550728	4,547186	105	185	199	0,722977	0,039916	105	171	200
167	A	200	184,439056	1,112624	107	178	200	1,391844	0,050271	107	183	199
	И	200	155,518839	6,782547	107	179	199	0,659847	0,051399	99	175	199
	У	200	194,883959	7,089075	98	185	200	1,269443	0,059214	103	176	199
	О	200	160,758062	0,145390	107	175	200	0,973808	0,042243	106	186	200
168	A	200	161,109354	6,357614	106	183	200	1,124662	0,045616	107	177	199
	И	200	193,172005	5,604736	102	180	199	1,448055	0,004711	104	177	200
	У	200	191,033359	5,439411	105	177	199	1,144580	0,064131	103	178	200
	О	200	155,969544	2,754121	100	178	200	0,604793	0,063903	100	183	199
169	A	200	122,923062	0,131547	104	177	200	0,919282	0,037485	104	171	200
	И	200	174,914333	5,817761	105	178	199	0,860870	0,043636	104	190	200
	У	200	192,765126	4,484374	103	189	199	0,998868	0,051457	107	180	200
	О	200	157,785256	1,243629	103	172	200	0,947091	0,006668	104	181	200
170	A	200	147,534830	0,311094	105	173	200	1,323506	0,052326	106	181	199
	И	200	216,922810	6,336578	103	175	200	0,684953	0,050526	101	181	200
	У	200	176,238549	4,807698	106	172	200	1,370282	0,011388	106	170	200
	О	200	201,736433	2,134615	106	188	200	0,714549	0,006843	106	183	199
171	A	200	180,604676	0,111369	102	188	199	1,360599	0,054434	107	188	199
	И	200	138,047763	7,481479	105	176	199	1,267393	0,058800	102	186	200
	У	200	157,297972	4,875503	107	172	199	1,371870	0,020797	106	184	199
	О	200	121,144838	2,498621	108	180	200	0,577924	0,057916	107	180	200
172	A	200	213,532364	1,689440	101	188	199	0,697260	0,016529	107	174	200
	И	200	159,422232	5,909730	101	181	199	1,027422	0,021433	102	188	200
	У	200	187,957173	0,421060	107	187	199	1,297224	0,026309	106	184	200
	О	200	215,482134	6,920922	106	177	199	0,614103	0,058220	101	179	199
173	A	200	198,691782	3,810346	102	178	199	0,686589	0,015325	107	179	199
	И	200	141,571350	3,609715	102	172	199	0,843133	0,004444	104	184	199
	У	200	190,383741	5,392056	104	183	199	1,100943	0,052373	105	182	199
	О	200	156,229263	6,025919	102	186	200	0,630316	0,016917	104	187	199
174	A	200	202,165311	3,575614	100	182	200	1,286056	0,018773	103	171	199
	И	200	159,021712	0,957571	101	179	200	1,313200	0,005386	105	171	200
	У	200	128,383445	4,460360	101	185	200	0,754110	0,034333	101	190	200
	О	200	130,235820	6,565024	103	183	199	1,363361	0,018325	108	173	199
175	A	200	193,978204	4,714272	105	171	199	0,850470	0,031630	100	179	200
	И	200	212,410755	3,836334	103	185	200	0,893599	0,063506	103	173	199
	У	200	216,384615	2,094289	107	188	200	1,474753	0,009838	103	184	200
	О	200	120,579426	0,567055	102	187	200	0,553819	0,011240	107	183	200

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
176	A	200	175,832961	2,436367	105	172	199	0,799947	0,066037	102	180	199
	И	200	178,096128	7,317577	105	183	200	0,909323	0,061562	103	187	200
	У	200	165,922515	3,193374	101	185	199	0,833319	0,001912	100	186	200
	О	200	124,925105	1,051126	103	189	200	0,895276	0,023257	102	181	200
177	A	200	146,343703	4,848979	106	178	199	1,162879	0,003755	104	187	200
	И	200	195,265072	0,905553	102	178	200	1,441101	0,019318	102	172	199
	У	200	169,623716	0,285625	101	174	200	0,733138	0,060362	105	179	200
	О	200	211,384658	1,802037	107	178	200	0,858537	0,000095	103	178	199
178	A	200	203,770546	0,934739	104	186	200	0,993906	0,016736	100	188	200
	И	200	190,543794	2,843831	108	184	199	1,087121	0,012030	104	181	200
	У	200	122,690473	4,787294	104	175	199	1,265897	0,061515	103	173	199
	О	200	211,876038	3,708164	106	189	200	1,390848	0,003253	105	189	199
179	A	200	186,253977	2,592841	105	185	199	0,666877	0,012702	107	189	200
	И	200	140,106838	3,484441	104	171	199	0,599744	0,047269	106	183	199
	У	200	181,885100	2,325147	105	178	199	1,442106	0,066295	106	188	200
	О	200	152,982727	2,661850	105	180	199	1,490116	0,032666	100	175	199
180	A	200	149,549231	3,242560	106	189	199	1,042829	0,039047	101	173	199
	И	200	169,286464	5,219513	103	183	199	1,397225	0,033414	106	183	199
	У	200	162,014344	4,621223	106	176	200	0,796566	0,036626	102	176	199
	О	200	124,313107	6,522297	101	176	199	0,654124	0,007693	101	172	200
181	A	200	182,260662	2,989267	101	177	199	0,512947	0,045076	107	172	200
	И	200	189,682023	1,475417	106	181	200	0,950430	0,039805	105	189	199
	У	200	169,913762	2,940104	102	179	200	0,868840	0,043505	106	182	200
	О	200	184,359839	6,140954	106	185	200	1,204752	0,039778	105	178	199
182	A	200	158,576121	2,852947	103	189	199	0,916536	0,002581	101	183	199
	И	200	173,769329	7,269406	102	173	199	1,044558	0,048566	104	182	200
	У	200	175,932093	3,098680	106	170	200	0,558719	0,033411	104	178	200
	О	200	203,859236	5,449411	103	170	199	1,487197	0,063432	102	189	199
183	A	200	128,501331	5,559209	107	171	200	1,333991	0,051410	104	179	199
	И	200	167,010037	6,328754	107	175	200	0,915857	0,064762	100	176	199
	У	200	122,915636	7,038411	102	176	199	1,356692	0,019709	101	181	199
	О	200	146,650638	5,609787	100	186	200	0,944188	0,025563	101	180	200
184	A	200	145,594259	0,392808	107	189	199	0,754765	0,003380	101	173	200
	И	200	137,461016	2,272397	107	171	200	1,263344	0,051557	101	186	200
	У	200	172,692622	0,960098	105	172	199	1,449418	0,032387	106	180	200
	О	200	188,035788	3,227622	101	185	200	1,065207	0,033129	104	183	199
185	A	200	132,199494	7,113657	104	175	199	0,620336	0,004507	106	172	200
	И	200	162,883726	1,355074	104	176	200	1,135522	0,023701	105	184	200
	У	200	190,057591	2,521145	101	187	199	0,700188	0,026137	105	171	199
	О	200	170,638205	2,627264	103	186	199	1,210710	0,059127	102	175	199

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
186	A	200	182,182623	6,435341	101	170	199	1,242179	0,022253	104	186	200
	И	200	155,353590	1,773970	104	184	199	0,692102	0,032686	106	180	200
	У	200	164,255769	2,095324	103	189	200	0,504400	0,013418	107	178	199
	О	200	197,762562	4,689767	102	177	199	1,311342	0,006919	105	176	200
187	A	200	201,164601	4,566137	105	186	200	1,094730	0,024431	105	186	200
	И	200	123,369374	4,537852	108	170	199	0,840718	0,043572	106	171	199
	У	200	167,967436	0,595046	101	185	200	0,520025	0,022537	105	181	199
	О	200	164,254058	2,253275	103	180	199	1,442156	0,066217	106	173	199
188	A	200	184,256130	6,812529	103	183	199	0,983361	0,049775	104	185	199
	И	200	171,462555	0,898714	96	174	200	0,748648	0,036807	105	181	199
	У	200	153,792310	1,356119	105	176	199	1,273074	0,014050	104	177	199
	О	200	124,857795	4,575915	108	189	199	1,271836	0,027411	107	189	199
189	A	200	131,292036	5,245218	106	190	200	1,087343	0,036848	106	187	200
	И	200	137,306703	3,845915	105	175	200	1,229533	0,001718	104	184	200
	У	200	188,233914	1,085020	101	176	199	0,638072	0,022172	102	179	200
	О	200	200,078153	0,861187	102	187	199	1,386909	0,020887	104	184	200
190	A	200	199,565636	2,927647	107	172	199	0,877818	0,011284	104	173	199
	И	200	166,326852	3,662819	101	190	199	1,005095	0,021666	105	178	200
	У	200	123,183959	2,368657	102	179	199	1,193519	0,054513	103	174	200
	О	200	219,538163	5,345857	101	182	200	1,490969	0,014688	107	179	199
191	A	200	194,063123	7,207007	104	190	200	0,910766	0,031357	103	172	199
	И	200	123,808873	5,045940	107	185	199	0,841855	0,050871	101	183	199
	У	200	204,906710	2,746636	101	177	199	1,452368	0,016820	105	175	199
	О	200	202,838885	3,950345	106	177	199	1,478896	0,003832	102	171	200
192	A	200	195,197932	7,067760	102	183	199	1,494976	0,025221	105	171	200
	И	200	144,508857	3,286576	105	171	200	0,562853	0,049565	107	189	199
	У	200	120,523368	5,346027	103	182	200	0,967487	0,062717	105	173	200
	О	200	177,918778	4,991615	101	181	200	1,386070	0,024639	102	175	199
193	A	200	124,045123	2,047649	104	178	200	1,235012	0,053152	102	182	199
	И	200	219,762480	4,514956	100	183	199	0,934367	0,010820	108	173	200
	У	200	181,996442	6,078629	103	172	200	1,312128	0,035110	100	171	199
	О	200	136,913083	6,458568	101	177	200	1,212595	0,060719	107	189	199
194	A	200	145,075748	0,216219	106	173	200	1,449185	0,061455	107	177	199
	И	200	122,094386	0,006878	108	177	199	1,427629	0,012365	103	177	199
	У	200	147,614125	2,400734	103	176	199	0,935401	0,065924	102	183	199
	О	200	129,513190	7,349933	104	183	199	0,622514	0,040628	108	176	200
195	A	200	206,391234	0,215829	103	179	200	1,462517	0,061364	100	182	199
	И	200	167,327558	7,052846	103	183	199	0,855548	0,026746	108	184	199
	У	200	180,974668	1,135395	101	174	200	0,892736	0,000850	102	185	199
	О	200	193,826017	3,074654	105	180	199	0,518029	0,060525	105	181	199

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
196	A	200	217,457750	2,365167	105	177	200	0,774716	0,066290	105	180	199
	И	200	214,192693	3,889718	105	175	200	0,884426	0,023148	101	190	200
	У	200	147,470757	2,857193	105	189	199	1,451357	0,049077	102	172	200
	О	200	124,733385	2,414785	101	184	200	1,488722	0,031827	105	189	200
197	A	200	164,340591	3,825270	102	178	200	1,103138	0,054053	107	179	200
	И	200	201,437579	6,194840	102	181	199	1,420677	0,027553	105	170	199
	У	200	148,273885	0,339497	107	173	200	0,570748	0,058034	106	183	199
	О	200	179,751393	6,050876	106	190	200	1,135769	0,020533	106	179	200
198	A	200	162,438544	0,328035	105	174	200	1,300762	0,020795	107	178	200
	И	200	122,436468	0,142692	104	186	199	0,872546	0,007891	106	175	199
	У	200	191,818728	6,064235	102	188	199	1,258122	0,013132	103	170	199
	О	200	122,389790	6,649869	100	184	200	1,271162	0,011547	105	189	200
199	A	200	146,718268	1,967236	102	171	200	1,149154	0,059880	106	179	200
	И	200	137,299452	2,024024	104	180	199	1,286827	0,050869	107	184	199
	У	200	202,787523	3,794159	105	186	200	0,798892	0,029168	105	182	200
	О	200	203,011354	3,015485	108	173	199	0,991930	0,031333	105	176	199
200	A	200	199,448670	3,052041	101	176	200	1,026439	0,065805	100	178	200
	И	200	122,481838	4,427499	108	175	199	1,360585	0,030457	103	179	200
	У	200	168,594439	4,207607	104	190	199	0,862135	0,033397	102	185	199
	О	200	177,191265	5,801113	107	180	199	0,629351	0,028907	102	171	199
201	A	200	215,435276	3,523028	104	186	200	1,450266	0,063103	102	185	199
	И	200	157,893523	3,983833	103	182	199	1,327869	0,034713	105	175	200
	У	200	123,369954	2,095773	103	183	199	1,481068	0,006942	101	183	199
	О	200	161,576481	4,785206	107	183	200	0,573176	0,048490	102	170	199
202	A	200	204,754610	6,930696	101	173	200	1,495782	0,026919	103	172	200
	И	200	151,508370	5,672437	107	173	199	0,721437	0,017603	106	184	199
	У	200	169,445229	0,122468	106	189	199	0,908508	0,051196	107	176	199
	О	200	127,245111	2,709168	104	189	200	0,970849	0,027167	102	171	199
203	A	200	132,988563	2,476487	107	180	200	1,088597	0,061914	101	173	199
	И	200	201,473578	3,690554	102	189	200	1,009471	0,009160	102	188	199
	У	200	136,336485	1,646391	104	174	200	1,347349	0,012564	108	171	199
	О	200	130,565793	3,177744	103	189	200	1,301720	0,017542	106	176	200
204	A	200	198,958778	6,116296	105	186	199	1,172752	0,006171	106	176	200
	И	200	195,719065	6,384906	100	173	199	1,107294	0,017308	106	188	200
	У	200	177,229374	2,605890	103	184	199	0,556023	0,065534	107	177	200
	О	200	181,557065	5,121914	108	179	200	0,826267	0,035394	105	184	200
205	A	200	149,961015	3,226493	103	178	200	0,753691	0,060103	104	189	199
	И	200	149,066837	0,245827	107	176	199	0,764096	0,021346	101	180	199
	У	200	202,963361	4,966231	106	178	199	1,328978	0,054086	106	172	200
	О	200	149,746745	3,824279	104	180	199	0,910317	0,065668	102	186	200

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
206	A	200	134,499531	2,832430	107	188	199	0,816228	0,040358	104	183	199
	И	200	177,840365	2,963909	105	188	200	0,824645	0,057109	103	178	199
	У	200	153,516089	6,729361	107	185	200	0,852136	0,058097	106	171	199
	О	200	207,531302	6,006955	105	171	200	1,224260	0,026795	108	178	200
207	A	200	192,521455	0,899465	101	184	200	1,117515	0,058726	107	170	199
	И	200	211,973960	3,049140	108	176	199	1,366008	0,060459	101	178	200
	У	200	206,987764	6,006176	105	189	200	0,933371	0,051413	103	189	199
	О	200	211,035233	6,481965	103	180	199	0,817272	0,026687	100	187	199
208	A	200	183,151160	2,686473	103	177	200	0,855013	0,026044	101	186	200
	И	200	144,622147	3,512548	106	187	200	0,709273	0,002435	101	188	199
	У	200	126,085524	4,151283	101	181	199	1,107972	0,051589	107	186	200
	О	200	218,470435	1,364125	103	174	200	1,066532	0,043719	106	178	200
209	A	200	149,924643	6,661862	101	189	200	1,209458	0,047771	104	180	200
	И	200	219,269043	4,610337	102	186	200	1,306264	0,049415	103	177	199
	У	200	142,107815	0,460271	103	183	200	0,619116	0,027963	101	181	199
	О	200	145,995585	0,346437	106	187	199	0,501438	0,032727	102	178	200
210	A	200	123,523895	2,482090	102	177	200	0,762832	0,044558	107	173	200
	И	200	154,337727	0,650530	101	175	199	0,501260	0,014936	101	182	200
	У	200	176,428769	0,929472	101	189	200	1,273331	0,034728	107	176	199
	О	200	161,075512	0,537982	103	185	200	0,502831	0,055988	105	175	200
211	A	200	162,011278	5,532680	102	176	199	0,791329	0,064492	104	184	200
	И	200	205,299621	5,862111	107	180	200	1,167719	0,036519	103	176	199
	У	200	199,482572	3,578227	105	188	200	1,170972	0,035672	106	182	200
	О	200	213,340572	4,364304	103	187	199	0,877211	0,039221	104	184	199
212	A	200	128,563902	0,531736	107	175	200	1,433330	0,020329	102	182	199
	И	200	164,283858	4,326662	105	187	200	1,219986	0,010822	103	185	199
	У	200	127,247849	5,333656	107	180	200	1,311683	0,020583	101	178	200
	О	200	202,946022	6,530310	101	183	199	1,305955	0,019232	101	172	200
213	A	200	206,707996	4,195956	104	173	199	0,732362	0,051741	101	190	200
	И	200	197,186665	3,972506	101	190	199	1,000025	0,053800	102	175	199
	У	200	155,232030	0,477918	106	171	199	1,074871	0,013323	107	175	199
	О	200	186,431399	2,545652	105	176	199	0,669537	0,016578	104	181	200
214	A	200	153,053286	6,969153	105	177	200	0,555075	0,045884	105	186	199
	И	200	218,280731	7,131350	102	172	200	0,539126	0,052525	104	183	199
	У	200	129,955729	0,657980	103	186	200	0,575171	0,038236	102	188	200
	О	200	120,079889	3,812623	107	171	200	1,246747	0,066553	106	173	200
215	A	200	187,527369	3,813266	107	172	199	1,384209	0,049638	108	185	200
	И	200	202,324585	2,657420	103	176	199	0,694632	0,042011	103	176	199
	У	200	157,937120	1,457881	101	182	200	0,892916	0,044883	102	172	200
	О	200	140,777709	6,776544	102	172	199	0,788909	0,008513	107	186	200

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
216	A	200	121,110089	1,561875	101	187	200	0,986559	0,040182	103	180	199
	И	200	134,171972	2,109106	107	181	200	1,161652	0,007035	107	181	200
	У	200	152,176310	0,533501	102	190	200	1,179608	0,057786	106	176	200
	О	200	184,373476	6,138658	102	187	199	1,469098	0,033529	103	190	199
217	A	200	121,067909	2,836223	102	184	200	0,955947	0,053900	102	173	199
	И	200	195,881227	7,493101	100	178	199	1,359785	0,042296	104	178	199
	У	200	216,139714	7,309820	107	185	200	0,638382	0,017833	104	170	199
	О	200	141,537584	7,131518	103	181	199	0,706364	0,057049	108	180	200
218	A	200	213,688291	4,023723	108	184	200	1,131192	0,006950	103	189	199
	И	200	191,324648	0,571041	104	173	200	1,194834	0,004234	102	181	200
	У	200	165,244431	6,740691	106	189	200	1,379480	0,048681	106	171	199
	О	200	151,121581	6,856880	101	172	199	0,864945	0,049879	105	171	199
219	A	200	124,514065	7,318980	107	184	199	0,889074	0,007509	104	189	199
	И	200	208,297875	6,228648	108	175	195	0,695527	0,054524	95	173	200
	У	200	185,842618	4,631100	104	187	198	1,150716	0,014836	107	190	200
	О	200	131,017542	4,686091	105	183	196	0,828488	0,060848	97	181	199
220	A	200	156,077808	1,827306	103	179	200	1,312308	0,026343	104	178	200
	И	200	218,129261	4,907368	102	187	199	0,525237	0,028560	105	178	200
	У	200	131,705868	4,521936	108	188	199	0,942946	0,038052	104	171	199
	О	200	146,517444	4,222982	107	174	199	1,449271	0,064460	105	184	199
221	A	200	203,136220	3,730732	101	177	200	1,232509	0,059047	107	184	199
	И	200	212,789251	1,598513	108	178	199	1,368697	0,028951	101	188	199
	У	200	158,009579	6,137253	100	179	200	1,470537	0,038740	103	173	200
	О	200	216,172540	6,829255	103	182	200	0,872415	0,033550	103	186	200
222	A	200	205,404495	5,516525	102	174	199	1,148163	0,046619	102	171	199
	И	200	179,499752	3,899901	106	185	200	1,193724	0,044007	103	176	199
	У	200	192,817335	2,894036	107	180	200	0,526835	0,035710	100	184	200
	О	200	155,152737	4,212380	104	178	199	0,735108	0,036940	103	173	200
223	A	200	137,790700	6,768208	104	186	199	1,017594	0,021029	100	173	200
	И	200	212,843514	6,634998	102	178	199	1,387933	0,057895	102	177	199
	У	200	146,065278	0,974471	108	171	200	1,214636	0,004240	104	179	200
	О	200	156,105970	0,075979	104	173	200	1,240823	0,028764	106	184	199
224	A	200	138,130145	6,519068	102	176	199	0,926934	0,009132	105	174	200
	И	200	164,373499	5,534556	102	181	200	0,770457	0,052462	107	171	200
	У	200	156,046484	7,460705	102	181	199	1,051650	0,025818	102	187	199
	О	200	207,517575	0,832720	103	173	199	1,108534	0,062790	104	173	199
225	A	200	172,419764	2,168180	104	182	200	0,633092	0,028235	103	181	200
	И	200	129,722261	2,480758	104	190	199	1,478667	0,034060	104	183	200
	У	200	173,395337	2,532115	107	174	200	0,950975	0,062879	102	184	200
	О	200	149,569665	5,379708	101	185	199	1,396939	0,065076	101	176	200



1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
226	A	200	137,552486	2,458914	103	181	199	0,981722	0,040005	107	183	199
	И	200	173,211318	2,313852	106	189	200	0,729891	0,018701	101	183	200
	У	200	182,571903	0,725071	105	171	200	1,076563	0,025218	101	178	200
	О	200	167,500506	1,436373	102	181	199	1,203674	0,031625	104	171	200
227	A	200	201,551611	2,019957	104	190	199	1,200189	0,062710	106	175	199
	И	200	189,960527	1,201298	106	183	200	1,458130	0,042212	107	174	200
	У	200	160,846311	6,255205	104	171	200	0,573689	0,061385	102	176	199
	О	200	122,463891	5,944863	105	177	199	1,239536	0,051045	102	175	200
228	A	200	181,305185	7,468827	105	184	199	1,065546	0,041790	107	170	200
	И	200	205,497460	4,069407	104	171	200	0,825780	0,062059	105	175	199
	У	200	174,783119	4,902176	105	186	200	1,174421	0,008436	107	180	200
	О	200	219,888517	7,032936	108	180	199	1,277699	0,018866	107	181	199
229	A	200	157,800376	2,577888	105	174	199	0,947492	0,012098	101	184	200
	И	200	212,866781	3,597478	100	189	200	0,610348	0,017504	102	180	200
	У	200	214,225697	7,456931	104	182	199	0,678085	0,066666	101	174	200
	О	200	215,337357	2,539345	107	178	199	1,477934	0,043537	103	176	199
230	A	200	128,857847	2,502865	106	181	200	0,726350	0,018473	100	177	200
	И	200	147,239617	3,274442	107	182	200	1,466174	0,048093	100	174	199
	У	200	163,780596	2,231476	108	184	199	1,306740	0,032682	107	174	199
	О	200	157,867035	0,101734	106	178	199	0,585827	0,010742	105	184	200
231	A	200	199,366133	2,073862	105	188	199	0,586030	0,061310	104	175	200
	И	200	198,022935	2,018005	104	184	200	1,061146	0,003813	103	170	199
	У	200	211,801927	4,131140	102	173	200	0,935640	0,024146	108	187	200
	О	200	170,887204	1,307028	103	177	199	1,007000	0,039393	102	182	200
232	A	200	209,016015	5,648873	100	185	200	0,682000	0,000471	102	170	200
	И	200	158,468917	0,356281	106	181	200	1,088422	0,046918	106	181	200
	У	200	196,875734	5,289341	100	190	199	1,198709	0,029511	107	178	199
	О	200	170,519920	7,404319	102	174	200	0,756325	0,029287	107	182	199
233	A	200	197,534893	3,529804	105	182	200	0,684253	0,017521	<b>97</b>	173	<b>197</b>
	И	200	212,784335	5,671940	101	184	199	1,153145	0,012077	107	171	199
	У	200	191,804371	7,264850	<b>98</b>	183	199	1,469005	0,016099	106	187	199
	О	200	121,459014	1,580263	104	173	199	1,282148	0,033761	107	176	199
234	A	200	207,421166	7,440983	101	187	199	1,195281	0,036302	103	186	199
	И	200	160,739925	6,508845	106	174	200	0,534166	0,058206	105	178	200
	У	200	125,090874	7,301557	106	188	200	0,714191	0,063165	107	186	199
	О	200	130,329473	5,296966	104	171	200	1,165504	0,057346	107	178	199
235	A	200	124,178604	2,570181	103	171	200	1,043036	0,035173	104	175	199
	И	200	179,779764	5,941195	108	187	200	0,820762	0,011954	108	184	200
	У	200	139,923337	6,150738	106	172	200	1,227002	0,053313	103	172	200
	О	200	176,546806	6,192378	104	178	199	0,694338	0,011762	107	181	199

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
236	A	200	154,050720	3,672120	107	185	200	1,448903	0,050915	105	179	200
	И	200	124,630644	1,505162	101	188	199	1,424350	0,002855	107	176	200
	У	200	190,659290	7,455820	105	186	200	1,230717	0,055564	102	182	199
	О	200	180,676430	5,043181	105	179	199	1,312723	0,030235	105	173	200
237	A	200	139,255151	5,234497	105	179	199	1,070671	0,007639	108	171	199
	И	200	164,411445	1,693035	103	180	200	0,965211	0,056827	103	185	200
	У	200	176,810070	1,199647	103	187	199	1,359624	0,000094	103	178	199
	О	200	210,293036	1,790180	104	189	200	0,945079	0,006825	103	175	200
238	A	200	210,718029	5,706495	104	172	199	0,920497	0,037358	107	187	199
	И	200	157,242514	4,009858	107	170	200	0,534209	0,047985	107	181	199
	У	200	214,525198	6,214244	105	184	199	1,014493	0,044645	107	180	200
	О	200	123,339968	3,126194	100	187	199	1,195389	0,027412	101	185	200
239	A	200	178,308358	0,789798	103	189	199	1,157876	0,025559	103	180	199
	И	200	162,355036	2,092574	104	172	200	0,829505	0,008804	103	176	200
	У	200	145,576753	6,753084	106	173	199	0,593038	0,032595	105	182	199
	О	200	148,988597	6,646448	105	170	200	1,421423	0,025687	100	172	200
240	A	200	158,572386	5,792109	102	185	200	0,757614	0,048444	101	184	199
	И	200	189,700413	6,891662	103	184	200	1,168280	0,065272	100	185	200
	У	200	183,843748	0,625855	108	181	199	0,595395	0,042696	106	182	199
	О	200	205,997698	6,561462	107	184	199	0,683954	0,064142	106	182	200
241	A	200	139,967985	2,043165	103	173	200	1,052790	0,035170	105	185	200
	И	200	187,059635	6,915280	106	174	199	1,373452	0,063716	101	188	199
	У	200	199,296505	1,395721	104	175	200	0,604581	0,030484	103	174	199
	О	200	158,572821	5,972441	106	187	199	0,570974	0,040058	108	178	199
242	A	200	185,599021	2,373252	102	189	199	1,152729	0,055087	106	179	199
	И	200	164,652657	2,535904	101	170	200	0,535395	0,022619	106	187	199
	У	200	139,481029	2,139093	108	182	200	1,141972	0,028018	105	173	200
	О	200	209,725670	5,709169	101	175	199	0,896918	0,016496	107	184	199
243	A	200	173,449731	3,154222	105	173	199	1,235972	0,029977	102	175	199
	И	200	157,247775	1,859471	107	174	199	0,648657	0,009451	102	178	199
	У	200	188,503385	5,767892	104	170	199	1,397763	0,035282	101	180	199
	О	200	132,133475	7,230394	107	187	199	1,276879	0,044954	104	186	200
244	A	200	174,119100	2,903004	104	188	199	0,718239	0,004631	103	173	200
	И	200	123,770999	0,657016	105	176	200	1,123681	0,042485	103	189	200
	У	200	163,514068	1,914314	108	187	199	0,836444	0,003262	106	182	200
	О	200	136,498371	7,086725	105	181	200	0,575828	0,013021	106	180	200
245	A	200	166,055232	4,947629	105	175	199	1,295405	0,042416	100	180	199
	И	200	184,415428	6,358817	106	179	199	1,173522	0,017623	102	183	199
	У	200	148,692387	2,878097	106	174	200	0,677265	0,042020	107	174	200
	О	200	177,406767	5,446017	101	172	200	1,232833	0,050369	107	177	200

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
246	A	200	188,289728	4,155733	103	190	199	0,861462	0,012519	101	180	200
	И	200	195,250628	1,111031	104	187	199	1,075565	0,060219	105	174	200
	У	200	166,730829	3,636286	102	179	200	1,249704	0,053762	107	175	199
	О	200	196,688726	6,181266	105	170	199	1,460277	0,026405	104	183	199
247	A	200	130,672060	2,725586	103	172	200	1,301492	0,002187	107	189	199
	И	200	160,332004	1,394839	103	185	200	1,308245	0,035235	105	183	199
	У	200	187,819444	0,915499	105	187	199	1,223940	0,057581	100	181	200
	О	200	204,277338	1,020998	105	186	200	1,318078	0,006266	104	176	199
248	A	200	161,603947	2,539597	102	176	199	1,159637	0,020629	104	178	200
	И	200	181,310174	4,208084	108	185	200	0,562768	0,015728	103	186	200
	У	200	176,130213	3,826691	108	189	199	0,716316	0,005865	102	177	199
	О	200	196,568097	5,262158	106	186	199	0,662906	0,065139	107	188	199
249	A	200	193,273727	4,080334	105	174	199	1,182061	0,061260	106	185	199
	И	200	144,540348	7,309412	105	182	200	0,629824	0,043013	104	171	200
	У	200	173,801426	6,062424	106	183	199	1,269813	0,025699	102	189	199
	О	200	212,278272	2,545502	104	177	200	0,972403	0,060919	105	171	200
250	A	200	184,390736	4,409041	106	186	200	0,734926	0,055603	103	172	199
	И	200	145,691701	6,024912	106	188	199	1,161310	0,045143	102	181	200
	У	200	122,422058	2,156627	105	184	199	0,709516	0,018605	100	187	199
	О	200	125,806285	1,193488	102	172	200	1,044402	0,031861	100	174	199
251	A	200	180,419681	1,706650	104	174	199	1,097358	0,052199	103	190	200
	И	200	151,856746	4,117259	100	187	199	1,307050	0,047075	107	179	199
	У	200	122,016141	2,806865	107	177	200	0,873082	0,018619	107	172	200
	О	200	178,091085	7,110668	105	171	200	0,571144	0,019241	102	187	199
252	A	200	191,315013	6,377301	104	188	200	0,629413	0,020514	101	171	200
	И	200	201,160713	1,217352	106	186	199	1,226508	0,005819	105	171	200
	У	200	127,527141	4,259104	103	178	199	1,216211	0,042026	106	175	199
	О	200	144,971526	3,246574	102	182	199	0,588498	0,048344	107	173	199
253	A	200	206,755307	6,214352	108	178	200	0,815053	0,013171	103	172	200
	И	200	139,870919	1,818456	100	184	200	1,475513	0,003930	106	188	200
	У	200	182,802334	1,754976	105	171	199	1,293115	0,028771	107	182	200
	О	200	143,045735	3,121115	101	176	200	0,800182	0,001119	106	186	199
254	A	200	148,877632	5,628902	107	187	200	1,180105	0,019868	<b>99</b>	180	199
	И	200	197,006149	0,832844	108	176	199	1,267974	0,001333	<b>97</b>	180	199
	У	200	192,077177	2,041547	101	175	200	1,111983	0,008859	107	182	199
	О	200	173,030495	5,912460	100	184	200	0,776977	0,047172	102	176	199
255	A	200	162,511929	3,940797	105	188	199	1,085237	0,046273	101	171	200
	И	200	196,446026	5,710933	104	179	199	0,612600	0,012144	101	172	200
	У	200	128,959687	4,943578	105	182	199	1,365453	0,027101	104	171	199
	О	200	200,620614	3,107436	102	189	199	1,030948	0,033082	103	186	200

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
256	A	200	142,915384	2,732157	107	187	199	1,393927	0,017938	103	186	200
	И	200	206,540388	5,122929	102	188	199	1,324618	0,039823	101	177	200
	У	200	182,914816	6,498295	103	178	199	0,536082	0,026182	106	175	199
	О	200	174,848305	6,714414	108	173	200	0,964665	0,030067	103	187	199
257	A	200	201,006807	4,763381	107	174	199	1,015425	0,042535	103	172	200
	И	200	127,218664	4,202967	104	181	199	0,912494	0,037338	107	188	200
	У	200	143,248821	1,152654	106	173	199	0,876809	0,021403	106	186	200
	О	200	183,942555	1,538701	101	187	200	0,695418	0,039964	103	174	199
258	A	200	166,101000	4,451669	104	184	200	1,322730	0,030429	105	189	199
	И	200	214,599245	6,355750	104	189	199	1,339648	0,025648	101	181	199
	У	200	120,593647	5,523102	103	178	199	1,266432	0,033754	100	186	200
	О	200	148,688505	1,520432	101	174	200	0,754439	0,059560	104	178	199
259	A	200	126,143140	7,412037	106	180	199	1,445552	0,006918	103	184	199
	И	200	143,098866	1,625691	106	174	200	0,661175	0,037195	102	183	199
	У	200	205,891293	6,217850	102	174	200	0,940068	0,047986	104	189	200
	О	200	153,286824	0,134958	103	171	200	0,661116	0,036575	105	190	199
260	A	200	205,443147	4,060830	105	171	199	1,438285	0,049476	105	181	200
	И	200	205,041974	6,628552	101	175	199	0,535565	0,017726	106	172	199
	У	200	166,878196	4,221634	101	180	200	1,094628	0,062352	107	188	200
	О	200	213,713083	2,355738	101	171	199	1,372218	0,050656	107	171	200
261	A	200	179,910063	2,281739	102	170	200	1,322974	0,049985	104	179	199
	И	200	147,770105	6,045586	108	182	199	0,611420	0,019784	102	182	199
	У	200	182,069599	5,842980	108	176	199	1,369285	0,030010	101	190	199
	О	200	183,577129	3,179731	105	176	199	0,606110	0,052698	104	176	199
262	A	200	129,786428	6,654320	107	187	199	1,007285	0,035316	108	185	200
	И	200	148,251263	5,680179	102	177	199	0,789172	0,021197	106	172	200
	У	200	212,243929	5,223973	103	170	199	1,200938	0,025433	107	174	200
	О	200	197,482463	2,715282	104	174	200	1,041972	0,029167	101	173	199
263	A	200	129,882650	4,245002	108	178	199	1,077471	0,046228	104	186	199
	И	200	125,189290	2,076987	106	179	199	1,357804	0,035233	101	172	199
	У	200	209,427171	3,412518	107	174	200	1,054689	0,035815	105	189	200
	О	200	151,885613	5,332518	106	174	200	1,394018	0,058089	100	181	199
264	A	200	177,311386	1,960609	102	180	200	1,466345	0,041282	100	172	200
	И	200	188,633242	3,703580	104	186	200	1,006566	0,045760	108	182	199
	У	200	163,377245	3,997113	101	185	200	0,529302	0,044140	105	176	200
	О	200	123,455508	2,876238	107	189	199	1,360716	0,056710	102	173	199
265	A	200	156,721912	2,964375	108	173	199	0,996244	0,025740	108	171	199
	И	200	127,086767	6,194580	107	173	199	0,711697	0,034062	103	176	199
	У	200	185,568378	0,304105	103	176	200	1,337680	0,003925	101	171	199
	О	200	124,932857	1,941298	101	189	199	1,449005	0,020814	105	177	199

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
266	A	200	143,034501	4,654457	102	183	200	0,797001	0,005476	101	179	199
	И	200	132,117477	4,158303	107	185	199	1,498141	0,030670	102	178	200
	У	200	130,675483	6,657464	104	176	200	1,162329	0,038960	108	177	200
	О	200	198,489518	5,210509	104	181	200	0,673513	0,022381	100	181	199
267	A	200	141,674796	3,204951	106	188	199	0,598915	0,032546	104	173	199
	И	200	160,466321	2,045901	107	176	200	1,076267	0,058847	106	174	200
	У	200	155,558530	6,201044	105	172	200	1,385830	0,001378	103	184	200
	О	200	146,587879	6,855023	102	177	199	1,130780	0,032244	106	171	200
268	A	200	166,308188	4,669411	106	172	200	0,900713	0,009096	107	182	200
	И	200	133,656968	1,582999	104	173	199	1,353587	0,036409	102	190	200
	У	200	215,746921	2,783350	104	182	200	0,696304	0,054732	104	175	200
	О	200	200,340229	1,997224	105	186	200	1,448471	0,034411	102	185	199
269	A	200	154,074189	5,146860	107	187	199	1,012529	0,049601	104	184	200
	И	200	175,105174	3,263839	105	171	199	0,821478	0,035887	107	176	200
	У	200	199,423870	4,404804	101	178	200	0,567883	0,015397	108	178	199
	О	200	125,368136	2,736122	100	179	199	1,109601	0,032057	101	171	199
270	A	200	218,320804	0,010308	106	181	199	0,973862	0,001440	107	180	199
	И	200	184,728158	6,907920	104	174	199	0,816894	0,036345	102	179	200
	У	200	198,910772	5,727508	103	172	199	0,616181	0,052312	107	175	199
	О	200	165,161818	0,735240	105	176	199	0,651747	0,011843	106	190	199
271	A	200	138,838913	7,197769	102	175	199	1,346553	0,057130	107	185	199
	И	200	151,053984	3,779136	107	180	200	0,659092	0,033540	103	182	199
	У	200	219,651581	7,147515	101	188	199	0,828756	0,011718	104	181	199
	О	200	121,939521	3,873004	107	185	200	0,741273	0,066574	103	175	199
272	A	200	189,596640	7,065775	102	185	200	0,882749	0,058239	103	170	200
	И	200	200,830925	5,267419	103	183	200	0,661346	0,041741	102	175	200
	У	200	126,697187	2,929589	105	172	200	0,670586	0,033567	100	171	200
	О	200	175,006895	4,455637	105	186	199	1,122544	0,009523	105	170	199
273	A	200	203,973729	1,305389	105	179	199	1,067874	0,024287	102	180	199
	И	200	186,136848	3,132882	105	170	199	1,017667	0,053887	106	182	199
	У	200	128,689785	5,904474	103	177	199	1,064534	0,059593	105	176	199
	О	200	136,616365	6,492549	106	183	199	1,442147	0,013754	108	177	199
274	A	200	177,495924	3,420726	102	190	199	0,538599	0,039989	103	183	200
	И	200	208,988583	3,812453	108	177	199	0,564524	0,026746	106	173	200
	У	200	199,347255	3,728659	107	180	199	1,246818	0,033051	107	181	199
	О	200	145,326511	7,034226	100	184	199	0,948110	0,009776	105	174	199
275	A	200	208,069337	5,769965	104	184	200	1,375805	0,034159	104	181	199
	И	200	183,451300	1,789021	103	182	200	1,417559	0,024401	106	187	200
	У	200	136,447537	4,206642	102	171	200	1,497479	0,056791	104	178	199
	О	200	196,861437	6,572619	106	187	200	1,064120	0,041532	102	178	199

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
276	A	200	173,714825	5,668865	104	177	200	1,272558	0,050284	105	183	200
	И	200	135,247885	4,523076	102	178	200	1,483308	0,053405	101	173	199
	У	200	158,313003	4,675698	108	184	199	0,745848	0,042997	105	183	199
	О	200	212,470153	3,504040	104	177	199	0,838743	0,047395	102	176	199
277	A	200	147,802370	0,556784	103	173	199	0,577076	0,008765	107	180	200
	И	200	138,868312	3,946848	104	178	199	0,845920	0,056276	100	173	200
	У	200	137,794834	5,453142	108	176	199	1,051020	0,054595	101	176	199
	О	200	144,785943	2,654548	101	183	200	1,269640	0,066150	108	184	200
278	A	200	151,785447	4,725187	104	175	199	1,210695	0,027486	102	182	200
	И	200	192,179022	7,020949	105	184	199	1,028873	0,063316	104	175	200
	У	200	173,757394	7,346098	104	176	200	0,957318	0,004989	105	178	200
	О	200	121,185746	0,367842	103	176	200	0,502787	0,001320	107	175	200
279	A	200	145,435404	5,108671	102	179	199	1,460841	0,034058	106	187	199
	И	200	128,532294	5,353511	104	187	200	1,131698	0,036100	103	174	199
	У	200	200,062607	0,723763	104	181	200	0,724763	0,049471	107	185	199
	О	200	124,649527	6,155650	100	177	200	0,906696	0,010489	104	189	200
280	A	200	154,575832	6,138473	102	183	200	0,648999	0,003054	106	184	199
	И	200	166,375622	3,881830	107	173	200	0,841691	0,002636	107	178	199
	У	200	132,054330	6,152169	105	176	200	1,434543	0,001626	104	181	199
	О	200	212,119652	3,410621	105	189	200	1,021631	0,052959	101	176	199
281	A	200	136,316947	6,158491	105	172	199	0,673677	0,018254	104	188	199
	И	200	196,361092	3,616506	108	176	200	1,320639	0,017517	101	183	199
	У	200	150,542728	1,591456	104	189	199	0,969481	0,041402	104	186	199
	О	200	170,360268	6,681714	106	183	200	1,383828	0,062405	105	185	200
282	A	200	181,789959	2,903795	101	182	199	1,428382	0,026546	105	174	199
	И	200	205,954751	5,948082	103	176	200	0,966532	0,013746	101	176	199
	У	200	123,288650	6,155632	105	183	200	0,869507	0,048188	102	183	199
	О	200	209,316672	5,512091	103	184	199	1,224713	0,011198	100	181	199
283	A	200	156,381449	5,541647	102	184	200	1,094582	0,016837	104	184	199
	И	200	141,545989	1,016184	101	174	200	1,050287	0,012893	103	186	199
	У	200	163,988003	5,434839	103	184	200	1,062122	0,025551	101	184	199
	О	200	192,974687	4,839505	100	172	200	1,045122	0,066395	101	186	199
284	A	200	177,467745	0,775013	107	180	200	1,309678	0,023953	107	182	199
	И	200	208,056911	0,141166	103	179	200	1,227462	0,026917	107	179	200
	У	200	128,756129	3,380122	100	176	199	1,467870	0,017640	103	187	200
	О	200	207,720041	4,459193	107	180	199	1,064518	0,037395	101	173	199
285	A	200	129,649296	0,508581	102	181	200	1,209974	0,024221	106	189	200
	И	200	206,051709	7,318246	106	181	199	0,924980	0,051655	105	184	200
	У	200	150,112178	5,750691	106	178	199	1,480805	0,050597	107	183	200
	О	200	168,197739	0,049266	104	174	200	0,545210	0,048596	100	181	199

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
286	A	200	217,485046	6,077277	104	179	199	1,348643	0,056032	101	177	199
	И	200	206,346042	4,774149	106	173	200	0,602844	0,018645	107	186	199
	У	200	208,463483	2,623689	105	172	200	1,323961	0,032293	103	185	199
	О	200	160,671436	5,758597	105	189	200	0,991575	0,037050	106	187	200
287	A	200	155,726810	1,537276	108	183	199	1,488696	0,032089	100	182	199
	И	200	162,116409	5,086245	103	176	200	0,890856	0,038617	108	185	200
	У	200	141,089936	2,466457	107	178	200	1,279820	0,010403	107	187	199
	О	200	123,882817	0,857215	100	174	200	1,224272	0,008454	103	174	199
288	A	200	197,053651	6,019525	107	184	199	1,270954	0,043305	100	186	199
	И	200	158,509523	4,864195	106	180	200	0,600337	0,003316	108	185	200
	У	200	188,628362	5,271298	106	181	199	0,795782	0,055477	102	175	200
	О	200	167,410968	2,949196	107	190	200	1,329463	0,051470	102	175	199
289	A	200	197,306253	5,145752	104	181	200	0,757012	0,021052	104	171	200
	И	200	199,751687	4,994086	107	183	199	0,610847	0,012320	103	186	199
	У	200	179,056896	4,752746	107	175	200	1,464631	0,035680	100	176	200
	О	200	127,531753	5,248049	101	171	200	1,483034	0,043719	102	180	199
290	A	200	218,221293	1,506985	100	189	199	0,847210	0,024392	106	172	199
	И	200	133,758169	7,445073	107	185	200	0,631899	0,024872	105	189	200
	У	200	149,179355	4,607327	105	185	199	0,880006	0,016533	100	183	199
	О	200	160,577188	2,914611	108	172	199	0,649807	0,049434	103	175	200
291	A	200	167,665822	4,204568	107	177	199	0,573605	0,018990	101	187	200
	И	200	214,242577	3,638523	102	181	199	0,839684	0,003361	103	187	199
	У	200	203,609616	3,835830	102	170	200	1,366871	0,018987	102	182	199
	О	200	173,794815	3,457438	104	190	199	1,157769	0,008784	107	183	199
292	A	200	177,371636	2,453674	104	188	200	1,267933	0,014348	103	188	200
	И	200	200,326233	6,879652	102	176	200	1,388784	0,015148	106	178	200
	У	200	211,255988	3,628067	107	178	199	0,586979	0,002489	105	172	200
	О	200	193,707082	6,195692	105	184	200	1,147279	0,052197	107	177	200
293	A	200	218,169653	5,749323	107	175	199	0,604584	0,026047	104	183	200
	И	200	193,647550	1,351666	108	188	200	0,798894	0,026059	102	173	200
	У	200	139,305591	5,810145	102	182	200	1,019347	0,006399	108	188	200
	О	200	171,970710	3,284532	107	170	199	0,895297	0,039683	106	175	200
294	A	200	152,724286	0,594898	106	177	199	0,518566	0,062990	100	181	200
	И	200	212,971405	2,672403	105	178	200	1,216541	0,052202	102	189	200
	У	200	124,708726	2,854226	104	175	200	1,315718	0,049720	106	189	199
	О	200	128,736075	2,303011	102	181	199	1,014596	0,058488	104	173	199
295	A	200	125,767820	3,793156	101	188	200	0,998478	0,006301	101	170	199
	И	200	206,298516	5,013472	102	171	200	0,551801	0,003461	103	186	199
	У	200	183,163254	4,450794	102	176	199	0,531037	0,055842	100	185	199
	О	200	133,506580	2,904456	101	171	200	0,527985	0,012422	103	172	200

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
296	A	200	191,834785	2,299750	105	187	200	0,754474	0,046570	105	182	200
	И	200	200,474814	2,281897	101	178	200	1,490018	0,018649	103	179	200
	У	200	155,598970	3,143422	105	182	199	1,228913	0,002282	106	175	200
	О	200	123,498030	2,529370	107	172	199	0,817525	0,036176	105	181	200
297	A	200	180,496333	4,639242	102	185	199	0,761237	0,012759	106	177	200
	И	200	188,300821	0,864253	104	174	199	1,378525	0,025668	105	188	200
	У	200	192,161975	6,526039	107	170	199	1,462092	0,028755	105	170	199
	О	200	159,498007	1,180812	106	177	199	1,448748	0,001316	108	189	200
298	A	200	199,094612	1,383617	105	188	200	0,675943	0,059439	107	188	200
	И	200	153,141024	1,433310	102	173	200	0,988360	0,059995	100	183	200
	У	200	173,699058	1,002691	101	181	199	0,627924	0,036915	105	188	200
	О	200	219,225246	5,262296	105	187	200	0,869877	0,047270	101	178	199
299	A	200	172,977141	7,193299	106	178	200	1,131234	0,045697	105	184	199
	И	200	131,033250	2,317171	105	183	199	1,150985	0,008173	106	174	199
	У	200	170,742062	4,609810	107	182	200	1,198833	0,048427	103	185	200
	О	200	128,189010	0,478177	103	171	200	0,986045	0,003987	106	185	199
300	A	200	123,231184	4,420669	102	176	200	0,903183	0,005712	100	181	200
	И	200	210,298039	1,930916	107	176	200	1,270008	0,042969	100	187	200
	У	200	139,992267	6,400981	100	179	199	1,327785	0,054707	107	175	200
	О	200	128,048462	6,296543	107	187	200	0,608512	0,039588	101	177	199
301	A	200	181,918129	5,776080	100	171	200	0,954264	0,044322	104	185	199
	И	200	168,648024	0,270740	102	176	199	0,707895	0,016859	107	171	200
	У	200	158,304759	2,394201	107	178	200	1,328755	0,024996	106	190	200
	О	200	182,472044	1,974607	108	178	199	0,778884	0,066363	100	170	200
302	A	200	144,807856	3,556370	104	183	199	1,351324	0,057604	107	180	200
	И	200	147,797299	6,970593	106	185	199	1,047699	0,013858	101	188	200
	У	200	194,172811	0,581653	108	174	200	1,032199	0,006096	100	174	199
	О	200	120,496850	1,646593	101	188	199	0,968335	0,038420	103	171	199
303	A	200	161,613120	0,435880	106	187	199	1,058544	0,011773	107	182	199
	И	200	165,570802	3,421324	106	188	199	1,229767	0,059668	105	177	199
	У	200	216,712250	2,501967	104	181	200	1,015522	0,047115	105	184	200
	О	200	217,388003	0,974132	101	172	200	1,151820	0,007680	102	174	199
304	A	200	163,723920	1,819970	101	185	199	0,605418	0,047095	103	183	200
	И	200	165,513683	1,452319	105	171	200	0,563469	0,056840	103	175	200
	У	200	142,145841	6,374986	107	184	199	0,708545	0,015869	101	172	199
	О	200	212,998025	5,359151	106	189	200	0,757300	0,004864	105	181	200
305	A	200	129,441876	7,261033	103	174	200	0,629712	0,006788	106	183	199
	И	200	204,000681	3,575642	107	181	200	0,613909	0,011596	105	177	200
	У	200	217,787654	1,799031	107	177	200	1,373974	0,040288	102	183	200
	О	200	167,626218	4,719261	106	185	200	1,489955	0,012150	105	173	200



1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
306	A	200	186,714605	0,937010	98	186	196	1,295440	0,057598	107	184	199
	И	200	174,845504	7,292675	104	183	199	0,963649	0,018984	103	178	199
	У	200	143,527446	1,010668	106	172	200	0,962871	0,041493	101	176	200
	О	200	155,378035	7,325652	107	182	200	1,031406	0,027494	104	182	199
307	A	200	153,370095	1,192409	106	174	199	0,585828	0,002037	105	180	199
	И	200	171,410196	0,963261	102	171	200	0,849425	0,006367	101	180	199
	У	200	130,815029	1,706976	106	179	200	0,845119	0,025199	101	175	200
	О	200	195,024458	5,203479	101	176	199	0,613935	0,020622	101	177	199
308	A	200	214,851078	4,141818	107	188	199	1,471286	0,015624	105	188	200
	И	200	186,214517	3,737342	104	179	199	0,673868	0,035248	108	174	199
	У	200	199,144652	1,430306	106	180	200	1,414896	0,064787	107	180	200
	О	200	218,361369	6,094756	104	178	200	1,469700	0,047354	107	176	199
309	A	200	139,449411	1,335921	106	172	199	0,952374	0,009124	100	187	200
	И	200	148,045318	7,049101	102	173	200	1,392219	0,028091	107	180	200
	У	200	210,039371	3,515553	104	184	200	0,571139	0,042715	107	179	199
	О	200	176,068928	4,483746	104	174	200	1,154957	0,055588	103	180	200
310	A	200	131,040444	3,990014	107	179	200	0,977774	0,015785	102	171	200
	И	200	196,565912	5,173603	105	171	199	0,774052	0,053481	103	181	200
	У	200	138,535424	7,099917	105	186	199	1,073014	0,016918	108	174	200
	О	200	181,070950	4,184850	101	175	199	0,749276	0,049631	102	188	200
311	A	200	219,317399	6,275019	103	180	200	1,237255	0,003583	107	177	200
	И	200	194,425455	2,345935	107	171	200	0,539989	0,036274	107	186	199
	У	200	182,166611	3,695174	105	189	200	0,770386	0,012219	101	182	200
	О	200	189,394273	2,493000	103	172	199	0,929762	0,012848	102	181	200
312	A	200	187,525745	0,171004	107	177	199	0,829645	0,045789	105	175	200
	И	200	176,868317	3,942844	104	172	200	1,373422	0,026091	106	174	199
	У	200	207,448663	2,822435	102	180	200	0,709288	0,036733	100	185	199
	О	200	218,528141	3,396547	106	183	200	0,920273	0,055321	107	170	200
313	A	200	137,697570	4,383193	108	186	199	0,805797	0,049882	100	177	200
	И	200	138,843456	6,726884	101	187	199	0,807231	0,024141	105	189	199
	У	200	133,863620	4,209416	101	188	200	1,112387	0,056608	104	178	200
	О	200	203,283573	7,352655	106	186	200	1,315639	0,053173	103	181	199
314	A	200	193,385959	2,320485	101	182	199	0,586560	0,044780	106	171	200
	И	200	159,613797	3,153051	108	186	200	0,985499	0,035042	102	185	199
	У	200	155,344207	6,550205	108	171	199	1,234455	0,062431	106	177	200
	О	200	189,152742	0,125188	103	176	199	0,780879	0,046223	102	172	199
315	A	200	139,899370	6,636470	101	182	200	1,255746	0,026420	103	171	200
	И	200	164,865603	7,237925	100	184	200	1,300238	0,010311	105	173	199
	У	200	199,258205	0,327522	105	174	200	1,092838	0,027298	100	183	200
	О	200	163,168347	0,685102	107	172	200	0,625424	0,060644	102	178	200

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
316	A	200	202,036005	2,832942	102	182	200	0,728102	0,028329	102	188	199
	И	200	126,317854	4,491312	108	174	200	0,903099	0,016855	107	179	200
	У	200	122,892833	4,697489	105	189	200	1,072922	0,023226	107	184	199
	О	200	122,262991	3,173338	106	175	200	1,252329	0,023281	105	181	199
317	A	200	159,318187	4,425918	107	173	200	0,792274	0,017196	102	173	200
	И	200	198,831619	5,910383	107	176	199	1,092099	0,030459	103	172	199
	У	200	147,439113	5,936896	103	188	199	1,408607	0,029218	106	174	199
	О	200	179,128551	0,426208	101	186	199	1,482499	0,034314	105	190	199
318	A	200	198,726737	2,174150	101	177	199	1,028778	0,013445	108	179	199
	И	200	195,019431	3,536316	106	181	199	0,573334	0,020942	103	173	199
	У	200	129,476254	7,452963	104	177	199	0,537770	0,031012	105	190	200
	О	200	205,575561	6,563291	101	179	199	0,753903	0,064909	104	183	200
319	A	200	204,935344	2,370144	102	179	199	0,602971	0,036808	108	185	199
	И	200	197,354663	0,073435	107	177	199	0,597701	0,062316	101	175	199
	У	200	169,956024	3,855608	104	186	199	1,332737	0,012480	108	186	200
	О	200	213,392578	3,637817	105	175	200	1,195794	0,013212	102	187	200
320	A	200	188,044946	4,193673	103	173	199	0,933015	0,010233	97	171	199
	И	200	207,780904	0,070854	103	185	200	0,972614	0,001273	107	171	199
	У	200	160,687123	6,592214	99	177	196	1,205751	0,038702	103	185	199
	О	200	172,705565	7,349566	100	189	199	0,577928	0,051999	105	173	199
321	A	200	148,818101	6,127793	102	170	199	1,232851	0,022119	102	176	199
	И	200	134,821331	0,166613	103	185	199	0,948727	0,017340	103	173	199
	У	200	168,319560	1,144891	108	189	199	1,089439	0,030710	103	171	199
	О	200	167,837260	4,320250	100	183	200	1,134785	0,001339	107	170	200
322	A	200	181,413362	3,937362	107	184	199	0,930162	0,013563	104	190	200
	И	200	218,188089	0,894320	107	183	199	0,981647	0,008040	100	185	199
	У	200	155,829028	0,790246	103	180	199	1,292286	0,031889	106	187	200
	О	200	190,666554	0,931410	106	181	200	1,264781	0,059579	102	179	199
323	A	200	213,619656	2,710051	107	188	200	0,959349	0,023925	103	181	200
	И	200	190,891658	2,552296	101	173	200	1,368657	0,065710	106	184	200
	У	200	141,501278	1,921644	102	187	199	1,229098	0,032720	101	172	200
	О	200	171,487865	3,724804	100	180	200	1,104495	0,026004	104	173	200
324	A	200	184,590653	5,459861	100	181	200	0,929491	0,061405	103	171	200
	И	200	178,850238	0,135208	107	179	200	0,760435	0,045994	100	190	200
	У	200	195,416495	5,933976	106	187	200	1,026474	0,020516	106	171	199
	О	200	147,370514	6,365296	102	186	200	0,977882	0,015156	103	175	200
325	A	200	160,079145	0,793140	105	176	200	1,167322	0,065285	105	173	199
	И	200	137,999116	7,328217	107	173	199	0,547769	0,027998	105	171	199
	У	200	173,433673	2,670926	102	189	200	1,003271	0,054167	101	185	200
	О	200	168,018099	5,666251	104	170	200	0,720494	0,062825	103	172	199

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
326	A	200	185,171422	2,137099	102	182	200	0,635194	0,026496	105	181	200
	И	200	128,900043	4,563613	107	173	199	1,123280	0,066110	100	180	200
	У	200	188,674988	5,434735	100	186	199	1,026079	0,030541	107	176	199
	О	200	139,127871	1,677422	108	185	200	0,878700	0,023707	101	183	199
327	A	200	174,521642	3,530824	107	187	199	0,724050	0,066528	105	185	199
	И	200	128,850613	6,139960	107	189	199	1,018137	0,033497	105	171	199
	У	200	120,510177	2,558466	103	188	200	0,739685	0,009226	104	172	200
	О	200	203,250106	4,335343	102	175	199	0,783900	0,027391	105	170	200
328	A	200	140,086211	1,978796	101	174	199	0,921387	0,008003	104	175	199
	И	200	181,493631	6,403733	103	185	200	0,913778	0,023920	103	190	200
	У	200	161,040909	5,540769	104	190	199	0,672543	0,028938	107	174	200
	О	200	158,147486	1,676215	100	190	199	0,501750	0,026018	105	185	199
329	A	200	156,358157	3,866905	103	187	200	1,354233	0,036912	107	188	199
	И	200	183,926496	7,493461	106	176	199	0,528630	0,045228	100	184	200
	У	200	199,085162	6,243151	106	172	200	1,217241	0,015588	104	184	199
	О	200	212,654467	2,111305	102	186	199	0,656376	0,033600	102	172	199
330	A	200	163,101501	0,440962	108	189	200	1,207107	0,056526	102	172	199
	И	200	211,310568	1,146366	106	186	200	1,379825	0,004513	102	190	199
	У	200	141,661597	0,649736	102	171	200	1,485975	0,048696	102	175	200
	О	200	180,036659	0,764828	105	177	199	1,129595	0,057015	103	186	200
331	A	200	205,585638	2,347723	102	190	199	1,014994	0,066296	100	185	195
	И	200	178,980549	2,067507	101	177	199	1,419918	0,051599	105	181	199
	У	200	172,973934	4,189536	104	189	200	1,041011	0,052791	104	172	199
	О	200	208,850199	4,874342	107	190	199	0,635133	0,051991	101	179	199
332	A	200	212,319708	5,738395	102	182	200	0,831311	0,032431	103	174	199
	И	200	142,053856	5,361414	101	184	200	0,548611	0,014201	106	184	200
	У	200	150,895327	6,121211	107	184	199	0,500159	0,047154	106	178	199
	О	200	151,301128	5,753638	102	189	200	1,167844	0,037432	105	187	200
333	A	200	210,286971	2,434658	106	178	200	1,270878	0,050135	102	171	200
	И	200	132,539995	3,026237	103	182	199	0,999465	0,058078	106	187	200
	У	200	140,952738	5,480339	105	175	199	1,017238	0,020556	101	190	200
	О	200	169,104761	2,318132	102	174	200	1,327928	0,034742	103	172	200
334	A	200	177,679186	4,157180	105	185	199	1,427882	0,064182	102	184	199
	И	200	133,949936	7,010378	101	172	200	0,601624	0,038856	107	187	199
	У	200	187,811314	1,089180	102	179	199	0,637549	0,030999	107	175	200
	О	200	176,845067	1,172753	104	188	199	0,520152	0,032144	103	186	199
335	A	200	134,130980	5,816630	104	174	199	0,668851	0,014487	106	189	199
	И	200	193,405492	3,831641	102	183	200	0,916531	0,012187	103	176	200
	У	200	124,258758	3,128942	106	181	199	0,528339	0,063787	101	188	200
	О	200	122,834044	0,762333	101	178	199	1,028066	0,040673	101	185	199

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
336	A	200	168,454228	0,367195	107	171	200	1,300621	0,006678	104	180	200
	И	200	171,248687	5,758863	101	175	199	1,249649	0,035571	105	182	199
	У	200	217,689709	6,274545	106	182	199	1,084273	0,047935	104	181	200
	О	200	207,471089	4,584503	107	178	200	0,963223	0,041831	102	172	200
337	A	200	203,872425	0,222597	107	185	200	1,113302	0,041005	105	171	199
	И	200	128,151136	3,556061	101	175	200	0,537176	0,061843	102	170	199
	У	200	154,090113	6,891890	106	182	199	0,907901	0,030904	106	174	200
	О	200	139,102380	3,465077	104	179	199	1,089398	0,026911	103	183	200
338	A	200	200,755063	5,234605	105	186	200	0,798253	0,032913	105	179	199
	И	200	149,723422	0,789072	103	176	200	1,107768	0,057665	101	179	199
	У	200	159,521601	4,297622	104	186	199	0,665129	0,045013	104	178	199
	О	200	127,380244	1,895948	104	175	200	0,521807	0,061317	106	186	200
339	A	200	196,852005	7,234056	102	173	199	1,241042	0,058611	108	189	199
	И	200	208,624463	2,194691	103	187	200	1,319255	0,013682	107	176	199
	У	200	159,105861	1,081395	105	182	200	0,815684	0,065507	103	187	199
	О	200	214,122537	5,935474	106	180	200	1,301323	0,040556	105	182	200
340	A	200	185,027859	1,134364	103	190	200	0,689423	0,025650	105	187	199
	И	200	164,170896	1,112313	108	187	200	1,070360	0,046346	102	171	199
	У	200	173,509016	2,490640	101	180	200	1,218587	0,060300	108	170	199
	О	200	141,672018	2,671373	105	173	200	0,843699	0,004563	102	177	199
341	A	200	128,496354	2,597542	104	182	200	0,796301	0,035158	107	179	199
	И	200	199,446444	3,478075	107	171	199	1,187420	0,058069	102	182	199
	У	200	152,925997	7,377829	101	186	199	0,612619	0,064714	106	179	199
	О	200	158,755722	6,246110	102	174	199	1,263785	0,010351	102	183	199
342	A	200	213,554718	4,762715	102	190	200	0,537701	0,035749	103	182	199
	И	200	195,911298	5,881495	104	175	200	0,686100	0,022382	105	171	200
	У	200	148,564919	5,710242	106	174	199	0,971790	0,014548	102	180	200
	О	200	163,844337	5,444790	106	176	200	0,574744	0,029673	101	179	200
343	A	200	139,818047	1,537132	105	182	199	1,005735	0,035762	105	176	199
	И	200	145,511488	2,684611	101	185	200	0,908119	0,027423	104	178	199
	У	200	121,631454	5,142232	107	181	199	0,735809	0,004157	102	190	199
	О	200	186,011579	0,345547	103	178	200	0,762276	0,005010	101	171	199
344	A	200	147,953685	2,449690	108	184	200	1,076575	0,007169	103	170	200
	И	200	200,288257	7,203626	107	188	200	0,532961	0,011095	103	173	200
	У	200	189,813210	4,149988	105	188	200	0,915552	0,036188	108	187	200
	О	200	203,293563	0,532437	107	177	200	0,733832	0,063892	101	188	200
345	A	200	184,915594	1,566940	105	183	199	0,953419	0,014477	105	171	199
	И	200	159,487441	4,453046	107	183	200	1,464599	0,054553	104	189	200
	У	200	211,264102	1,728805	104	170	199	1,073530	0,062985	105	183	199
	О	200	198,548187	7,370825	105	174	199	1,142835	0,024890	102	174	200

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
346	A	200	206,678737	5,471611	104	172	199	0,584459	0,035303	101	181	199
	И	200	194,168838	0,452319	105	184	199	0,593211	0,034032	102	184	199
	У	200	206,088728	6,152847	102	178	200	1,179359	0,053001	107	186	200
	О	200	152,814496	2,845279	102	175	200	1,087900	0,061937	106	182	199
347	A	200	218,473444	0,303620	100	175	199	0,955851	0,005950	102	187	199
	И	200	209,315588	3,094980	105	184	200	1,431902	0,030996	106	175	200
	У	200	215,326747	5,297415	106	176	200	1,340228	0,015529	107	188	200
	О	200	176,172066	4,959959	107	180	199	0,687048	0,060320	100	179	199
348	A	200	152,519792	0,363589	104	180	199	1,259685	0,025308	103	188	200
	И	200	143,443544	2,080287	104	178	200	0,628418	0,033966	108	188	199
	У	200	197,437250	3,523707	100	184	200	1,406368	0,050450	104	183	199
	О	200	176,100373	2,201508	105	176	199	0,526932	0,064334	108	176	199
349	A	200	183,261981	5,778863	105	181	200	0,936951	0,050430	102	180	200
	И	200	205,710651	0,407365	103	176	199	1,351868	0,065342	100	170	199
	У	200	162,283137	5,126092	102	189	200	1,451522	0,022968	100	172	199
	О	200	163,338172	7,064442	107	178	200	0,987048	0,016605	107	189	200
350	A	200	180,102705	4,232022	104	189	200	0,595510	0,017106	107	184	199
	И	200	150,526316	7,431844	100	189	199	0,554444	0,066558	107	178	199
	У	200	142,615490	4,341868	104	179	200	1,128411	0,063349	103	174	199
	О	200	195,242869	3,639042	103	182	200	1,438960	0,055748	106	181	199
351	A	200	197,637530	1,751901	103	184	199	0,803061	0,052100	104	176	199
	И	200	189,660788	0,985003	107	188	199	1,108134	0,008240	100	178	200
	У	200	203,057952	4,423531	105	174	199	0,899204	0,024997	102	185	200
	О	200	156,649898	6,761742	108	178	199	1,320514	0,039022	103	181	200
352	A	200	203,389268	0,067100	101	183	200	0,755110	0,043721	101	179	200
	И	200	141,854531	1,055407	101	170	200	0,816448	0,025361	100	175	200
	У	200	186,591099	5,773542	105	174	200	1,140988	0,034192	103	183	200
	О	200	178,232096	0,228025	101	180	200	1,085060	0,023320	105	180	199
353	A	200	143,042351	3,022005	101	190	199	0,817943	0,037404	100	186	199
	И	200	219,927597	0,033049	108	173	200	1,301133	0,044063	102	187	200
	У	200	198,536814	0,641590	108	182	199	1,126235	0,064827	103	187	199
	О	200	192,359076	1,567806	105	171	200	1,025671	0,037824	106	184	199
354	A	200	143,177209	7,055301	107	176	200	0,946586	0,056273	102	180	199
	И	200	155,389004	4,515992	103	172	200	0,763889	0,033484	106	186	200
	У	200	128,042666	4,384359	103	189	200	0,878273	0,004822	103	176	200
	О	200	126,456604	5,883329	102	189	199	0,974359	0,014997	106	187	200
355	A	200	151,504642	5,740986	104	182	200	0,977782	0,013389	105	184	200
	И	200	160,546111	1,179508	101	176	199	0,623094	0,015909	104	172	199
	У	200	207,066280	3,287792	103	172	199	0,901751	0,014186	101	176	199
	О	200	133,865974	3,749554	106	190	199	0,876294	0,013236	107	177	199

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
356	A	200	214,600196	0,891890	102	178	200	0,797958	0,048982	102	186	199
	И	200	128,113990	4,207720	107	174	200	1,025519	0,035263	108	185	199
	У	200	206,859717	6,451860	106	176	199	0,788112	0,041432	102	182	199
	О	200	162,203380	5,677051	107	186	199	1,239027	0,064532	105	184	200
357	A	200	193,138539	5,225690	102	181	200	1,386188	0,026032	100	186	199
	И	200	168,324803	4,287739	106	186	200	1,233045	0,017265	105	173	199
	У	200	171,953844	6,737823	106	183	200	0,696058	0,031647	107	178	200
	О	200	159,219297	5,637386	102	182	199	1,456703	0,047124	106	184	200
358	A	200	214,627834	6,593424	102	186	200	0,732169	0,050834	102	184	200
	И	200	183,537177	6,666310	106	189	199	0,884388	0,054587	103	183	199
	У	200	191,642716	0,778001	108	190	199	0,707021	0,026230	106	171	199
	О	200	216,157850	3,651016	104	174	199	1,009283	0,049822	102	179	199
359	A	200	163,644116	6,270507	103	180	199	0,629187	0,018577	104	189	200
	И	200	180,345581	0,768950	103	179	199	1,131811	0,050342	102	184	199
	У	200	208,967941	0,548035	100	177	200	1,055633	0,020969	105	189	199
	О	200	148,616191	4,937676	101	175	200	0,536764	0,027997	101	175	199
360	A	200	209,565665	3,810247	105	189	200	1,342085	0,050580	100	171	199
	И	200	219,189695	3,881587	101	173	200	0,652846	0,053239	102	171	199
	У	200	167,203064	6,501653	104	174	199	1,235191	0,049108	101	189	199
	О	200	214,903875	3,129274	101	171	199	0,788393	0,017902	103	182	199
361	A	200	171,807383	3,459862	103	186	199	1,150232	0,023199	107	183	199
	И	200	201,463792	6,394702	104	187	199	0,537012	0,017742	107	181	200
	У	200	193,837939	2,267941	107	171	200	0,978128	0,022758	102	190	200
	О	200	171,902235	0,045277	103	184	199	1,446891	0,042667	107	181	199
362	A	200	122,555167	4,638994	102	175	199	0,765492	0,055069	103	188	200
	И	200	194,126108	6,109972	100	171	199	1,047534	0,055891	103	176	199
	У	200	122,063101	0,911101	108	171	199	1,111481	0,065970	102	175	199
	О	200	168,423755	2,030604	103	177	199	0,827668	0,043282	103	183	199
363	A	200	127,000287	6,480723	102	170	199	0,625194	0,019340	102	175	199
	И	200	191,808220	4,109407	103	185	199	1,258065	0,047459	105	173	200
	У	200	149,754146	0,252721	102	182	200	1,287363	0,006138	103	184	200
	О	200	176,071448	0,356017	104	179	199	1,453045	0,034590	103	171	199
364	A	200	121,073759	3,935087	104	179	199	1,060099	0,014252	102	179	200
	И	200	216,424419	7,186993	102	185	200	0,564396	0,008440	106	179	199
	У	200	135,956102	4,756541	101	186	199	0,588426	0,023740	105	183	200
	О	200	157,598227	3,181009	105	180	199	0,501468	0,019611	107	172	200
365	A	200	126,680716	5,435094	102	175	200	1,337369	0,058707	103	180	200
	И	200	154,281087	6,842830	106	179	200	1,071185	0,017875	108	181	199
	У	200	134,867808	1,475718	108	176	199	1,008334	0,060412	105	176	199
	О	200	172,766286	6,579200	105	174	200	1,131733	0,062195	105	173	199

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
366	A	200	204,434793	4,625239	100	174	199	0,578537	0,012843	104	189	200
	И	200	130,686069	2,339775	106	183	199	0,853669	0,036339	105	172	199
	У	200	167,326282	2,562588	102	174	200	0,807230	0,052020	106	174	200
	О	200	121,706467	2,126220	105	186	199	0,682199	0,051348	107	171	200
367	A	200	143,892493	3,652519	105	183	199	0,552474	0,056939	105	185	200
	И	200	122,058052	0,322585	102	173	200	1,094384	0,016098	100	177	200
	У	200	129,791106	4,340938	107	174	200	0,742206	0,053400	104	171	200
	О	200	125,777643	6,050107	106	172	199	0,745010	0,023885	104	186	199
368	A	200	191,287564	5,519950	102	172	199	1,343358	0,061988	100	178	199
	И	200	205,535937	5,999549	105	182	200	1,094887	0,036266	104	175	199
	У	200	140,828792	5,440767	107	174	200	1,172770	0,054764	104	176	199
	О	200	145,926087	4,944194	108	182	200	1,115314	0,045424	106	179	199
369	A	200	214,765377	5,502582	106	180	200	0,893646	0,051940	100	181	200
	И	200	146,088213	5,886639	104	179	199	1,162470	0,062960	100	179	199
	У	200	125,097162	1,495553	101	179	200	1,041316	0,023106	103	185	200
	О	200	138,544850	5,542498	108	174	200	0,615478	0,049704	104	185	199
370	A	200	207,117299	4,126012	107	177	199	1,422037	0,024269	101	184	200
	И	200	121,122336	2,114143	106	183	199	1,371883	0,001123	102	174	200
	У	200	134,829721	1,402019	107	188	199	0,728593	0,035275	105	183	200
	О	200	148,833136	1,057614	108	170	199	0,794312	0,036245	105	183	199
371	A	200	126,015067	4,207403	107	187	200	0,716446	0,062215	107	185	199
	И	200	182,594102	0,795811	106	180	199	1,202049	0,038015	103	171	200
	У	200	208,820033	5,142398	108	187	200	0,784174	0,036047	105	173	199
	О	200	141,655675	4,081105	104	187	200	0,501284	0,026335	100	189	199
372	A	200	171,745166	6,959002	108	189	200	1,301969	0,005361	100	177	200
	И	200	156,617020	6,960490	106	170	199	1,047785	0,011701	104	180	200
	У	200	168,906095	3,169198	108	173	199	0,531922	0,021202	103	171	199
	О	200	169,902101	3,546391	106	189	200	1,335740	0,044023	105	178	200
373	A	200	202,443200	7,154146	105	188	200	1,483856	0,011867	106	174	199
	И	200	180,571692	3,546270	102	180	200	0,606522	0,004543	104	178	199
	У	200	153,954714	4,852471	106	188	200	0,550462	0,045591	107	176	200
	О	200	180,346325	3,254141	101	190	200	0,971123	0,055437	102	189	200
374	A	200	186,828270	2,355789	105	175	199	1,265474	0,012377	101	175	199
	И	200	177,715180	4,457123	107	185	200	1,140019	0,028351	105	182	200
	У	200	191,345878	5,989574	106	170	200	1,028647	0,056213	107	174	200
	О	200	157,005908	6,960162	101	185	200	1,354192	0,066445	105	185	200
375	A	200	194,437348	1,207509	107	174	199	1,141280	0,055597	104	183	200
	И	200	169,290391	1,682040	103	174	200	0,611088	0,001213	106	186	199
	У	200	205,957137	0,377437	102	183	199	0,996032	0,016953	105	185	199
	О	200	202,001442	2,525793	101	183	200	0,779238	0,045309	103	175	199

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
376	A	200	123,359652	0,787031	104	172	200	0,764790	0,012193	103	186	199
	И	200	124,135444	1,476676	105	171	199	0,695307	0,015979	102	171	199
	У	200	166,647972	5,447328	104	187	199	1,428334	0,058323	107	184	200
	О	200	153,915919	5,130790	108	177	200	0,837308	0,003673	104	188	200
377	A	200	165,471021	0,522233	104	170	200	1,491545	0,037039	107	186	199
	И	200	145,793047	7,107491	102	170	200	0,667743	0,033753	108	178	200
	У	200	170,244173	4,462122	103	182	199	1,227910	0,052199	103	178	200
	О	200	143,654109	2,048724	100	173	199	1,240418	0,035889	105	184	200
378	A	200	209,168292	0,169673	103	180	199	0,797080	0,056450	107	182	199
	И	200	197,119876	0,658387	101	178	200	1,164669	0,002382	101	172	199
	У	200	163,022215	0,276059	99	190	199	1,079218	0,011563	95	188	200
	О	200	187,801934	1,484865	107	189	199	0,520775	0,050006	101	170	200
379	A	200	179,603669	4,355596	106	190	200	0,569897	0,013759	105	189	199
	И	200	162,395944	6,399851	107	181	200	0,820281	0,066614	101	171	199
	У	200	199,693629	0,657017	104	177	200	1,179293	0,048576	101	175	200
	О	200	219,485844	5,476577	100	183	199	0,604997	0,057092	107	187	199
380	A	200	216,419107	3,679453	104	183	200	1,279428	0,006555	106	178	199
	И	200	146,933981	3,220594	105	178	200	0,778420	0,003249	104	185	199
	У	200	139,889383	2,671275	101	188	199	0,843208	0,024314	106	183	199
	О	200	156,732190	4,356204	103	189	200	1,263327	0,018888	103	175	200
381	A	200	188,980677	7,379915	103	174	200	1,019007	0,048923	101	190	199
	И	200	214,188804	1,121694	101	190	200	1,079290	0,014637	102	176	200
	У	200	182,144251	6,130779	103	187	199	0,984549	0,023513	100	176	199
	О	200	208,326602	0,276467	107	178	199	1,433858	0,053804	102	176	199
382	A	200	149,112951	0,063393	105	182	200	1,423838	0,058683	101	188	200
	И	200	160,366697	4,273235	103	184	199	0,921174	0,013825	105	178	200
	У	200	135,381191	3,602904	104	184	200	1,470882	0,054304	105	177	200
	О	200	217,173361	7,298350	103	186	199	1,421746	0,001234	107	179	199
383	A	200	121,333368	2,495047	101	184	200	1,463966	0,002962	106	174	200
	И	200	126,534784	3,133448	101	178	200	0,797157	0,001388	101	172	200
	У	200	127,895720	6,982726	108	189	199	1,354220	0,039622	100	181	200
	О	200	141,154777	5,541490	108	173	199	0,973432	0,010886	108	174	199
384	A	200	130,586617	3,952308	107	181	200	1,112240	0,002104	101	187	200
	И	200	148,230404	3,130352	107	182	199	0,506840	0,000580	100	172	199
	У	200	153,840290	5,627783	106	179	200	0,976494	0,033612	105	185	199
	О	200	171,490560	6,897072	102	190	200	1,225859	0,023768	107	173	200
385	A	200	167,479004	6,140888	106	187	200	0,887287	0,058572	100	176	200
	И	200	142,570484	7,405893	104	174	200	1,043065	0,017491	103	185	199
	У	200	157,208658	6,055342	106	182	199	0,950019	0,063032	101	183	199
	О	200	188,597200	7,303215	107	183	199	0,530694	0,011509	101	177	200



1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
386	A	200	191,012833	6,173300	107	172	199	1,271481	0,010857	102	181	200
	И	200	132,860916	6,122588	101	179	200	1,353626	0,026206	100	170	199
	У	200	153,320268	3,202165	103	180	200	1,012966	0,060331	102	186	199
	О	200	155,447338	5,582867	104	184	199	1,153541	0,040686	102	177	199
387	A	200	168,820781	1,109872	107	184	199	1,003907	0,045716	101	172	200
	И	200	210,705935	2,332660	101	179	200	0,977995	0,045625	102	189	199
	У	200	187,804622	3,246775	102	173	200	0,759828	0,021718	107	172	200
	О	200	148,429141	6,344190	104	186	199	0,848167	0,028812	103	172	200
388	A	200	154,900268	6,562261	107	186	199	1,248334	0,035412	101	170	200
	И	200	135,617487	6,909687	100	187	199	0,559035	0,041287	108	182	200
	У	200	133,085653	0,494218	106	171	200	1,246893	0,056903	106	182	200
	О	200	125,705680	6,943457	103	189	200	1,305714	0,058660	101	182	199
389	A	200	204,847836	6,859473	105	177	199	0,636181	0,033287	102	181	199
	И	200	172,124611	2,542732	101	174	199	1,229723	0,052195	105	176	200
	У	200	122,366106	5,823336	105	171	199	1,472706	0,063838	106	186	200
	О	200	133,074304	6,010437	101	174	200	1,478922	0,050914	102	188	199
390	A	200	128,593524	1,776372	106	179	200	1,184490	0,061004	100	186	199
	И	200	164,382807	4,292994	101	175	200	0,874867	0,009299	105	176	200
	У	200	121,111908	6,696523	101	174	199	0,733544	0,028455	104	174	199
	О	200	147,326013	3,536291	105	175	199	0,781346	0,061834	103	180	199
391	A	200	180,635242	7,324703	101	176	200	1,088890	0,054113	101	178	199
	И	200	148,283420	6,712942	106	170	199	1,267824	0,045661	105	182	199
	У	200	136,036544	1,232001	102	189	200	0,853881	0,016069	104	173	199
	О	200	157,104834	0,023958	105	177	200	1,161575	0,005905	103	183	199
392	A	200	187,773146	3,106603	107	178	199	1,391567	0,032634	104	186	199
	И	200	201,063004	5,027958	103	171	199	1,082221	0,031606	105	181	199
	У	200	161,585434	1,338575	105	184	200	1,291857	0,054459	100	178	199
	О	200	181,267197	2,201047	102	182	199	1,052452	0,003496	104	189	200
393	A	200	214,344011	6,230616	107	189	200	0,524233	0,029953	108	179	200
	И	200	128,412708	0,380477	106	174	199	0,778669	0,001544	105	177	199
	У	200	163,920305	4,912909	107	172	200	1,119751	0,041932	101	184	200
	О	200	124,741311	5,295228	101	177	200	1,195291	0,020182	101	175	200
394	A	200	164,955611	1,790212	102	172	199	0,726099	0,046736	105	173	200
	И	200	189,087644	4,136627	101	176	200	1,366489	0,005797	106	180	200
	У	200	202,403570	4,599284	108	171	200	0,879444	0,013738	107	188	200
	О	200	171,886534	4,372125	106	176	200	1,339095	0,064403	102	187	200
395	A	200	124,721089	7,404801	104	187	200	1,336835	0,029831	105	190	199
	И	200	157,016262	3,755373	101	174	200	1,040425	0,054085	100	188	199
	У	200	188,582698	3,111866	101	187	199	1,312891	0,033468	103	176	200
	О	200	217,352754	4,735702	101	187	200	0,814779	0,010117	107	179	199

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
396	A	200	136,993337	1,823247	108	175	199	0,964546	0,009509	100	173	199
	И	200	120,909728	2,720152	107	187	200	0,692364	0,017352	103	171	199
	У	200	182,674592	5,119472	103	170	199	0,967588	0,042798	106	187	199
	О	200	134,439760	1,391156	107	188	199	0,984384	0,044457	104	189	199
397	A	200	218,599364	2,589888	101	171	200	0,528739	0,061704	100	189	199
	И	200	121,371300	7,033019	103	171	199	1,298057	0,021252	106	172	199
	У	200	127,549967	0,692837	108	189	199	0,677042	0,002896	103	186	200
	О	200	180,956620	2,570308	101	185	200	0,565299	0,007056	101	170	200
398	A	200	212,574678	0,273047	104	178	199	1,178289	0,028585	106	173	199
	И	200	125,505699	3,271284	103	184	199	1,178834	0,064641	100	182	200
	У	200	120,217716	0,314377	105	187	199	0,916242	0,060826	107	189	200
	О	200	142,581051	7,319494	103	188	200	0,829475	0,021032	105	186	200
399	A	200	178,397657	4,256048	107	181	199	1,084412	0,064128	102	185	199
	И	200	139,028484	3,206656	103	185	199	1,138326	0,063068	100	178	199
	У	200	120,809294	1,450456	105	188	199	1,032122	0,007621	101	189	199
	О	200	213,718801	4,649954	108	179	199	0,677653	0,015651	104	176	199
400	A	200	219,723926	5,090735	102	174	199	1,108630	0,004693	103	175	200
	И	200	155,875433	4,986878	100	181	199	1,474183	0,050593	102	171	199
	У	200	199,063091	6,686152	103	188	199	1,349035	0,028025	103	174	199
	О	200	215,863018	1,750722	107	189	200	0,588571	0,007310	106	182	200

**Додаток О**  
**Оцінка достовірності процедури аутентифікації**

Диктор (серед тих, що успішно пройшли аутентифікацію)	Обсяг базової вибірки	Обсяг тестової вибірки	Середнє значення базової вибірки	Дисперсія базової вибірки	Середнє значення тестової вибірки	Дисперсія тестової вибірки	Критерій Бартлетта	Критерій Стьюдента	
1	А	200	16	205,2298	10,6524	204,1293	10,0384	0,0236	1,6168
	И	200	11	125,8189	5,4715	125,5235	5,0535	0,0284	0,6069
	У	200	15	192,2969	45,9118	195,3490	40,9834	0,0797	1,0305
	О	200	19	151,9656	13,2772	150,0443	18,5679	1,0010	1,8409
2	А	200	13	213,8807	3,7673	213,3786	3,5635	0,0168	1,7139
	И	200	10	121,1002	48,1345	120,3490	50,8954	0,0131	0,1409
	У	200	21	170,3402	5,3531	169,8567	6,4895	0,3491	1,4400
	О	200	25	205,9761	12,6094	204,7847	18,6013	1,7668	1,4761
3	А	200	15	170,5946	16,8409	171,3870	27,1590	1,6786	0,4182
	И	200	10	201,3408	10,6197	200,9892	9,7168	0,0319	0,3431
	У	200	18	182,6119	14,7357	184,5914	27,2745	3,4667	1,2458
	О	200	18	148,9883	17,7655	141,1937	31,8323	3,0823	4,1968
4	А	200	20	172,3855	19,3445	175,7959	33,3900	2,9531	1,9309
	И	200	21	202,9648	20,0511	204,3982	34,9478	3,2110	0,8124
	У	200	13	156,9140	14,0479	155,0004	16,5056	0,1501	1,4282
	О	200	10	212,9130	36,2570	222,6026	38,0633	0,0100	2,4299
5	А	200	13	127,8300	16,9398	124,2049	29,6211	2,0348	1,5340
	И	200	23	134,6537	12,0153	132,8071	21,1788	3,6461	1,8826
	У	200	21	162,6515	46,0911	166,4093	42,7366	0,0500	1,6587
	О	200	22	142,7168	35,6650	145,0116	44,2943	0,4654	1,0470
6	А	200	20	145,8323	28,0944	150,0614	45,8521	2,3417	1,7382
	И	200	15	217,2193	13,8018	217,2161	27,4098	3,6812	0,0017
	У	200	19	150,5860	31,9795	153,8183	48,9676	1,6572	1,1809
	О	200	16	133,4038	10,7463	131,4205	20,5254	3,4487	1,4839

Диктор (серед тих, що успішно пройшли аутифікацію)	Обсяг базової вибірки	Обсяг тестової вибірки	Середнє значення базової вибірки	Дисперсія базової вибірки	Середнє значення тестової вибірки	Дисперсія тестової вибірки	Критерій Бартлетта	Критерій Стьюдента	
7	А	200	12	122,8580	26,2698	117,0228	52,0831	2,9224	1,3049
	И	200	11	120,5129	67,3186	113,6250	53,6409	0,2221	1,3213
	У	200	22	139,3208	38,2915	139,2272	55,1986	1,3802	0,0346
	О	200	23	136,8748	48,7648	136,8295	56,7564	0,2340	0,0167
8	А	200	25	161,2687	46,4601	158,4317	58,3141	0,5787	1,1061
	И	200	20	158,0747	36,7039	153,0340	59,8719	2,3363	1,5866
	У	200	18	156,2847	37,9063	156,6362	61,4297	2,0524	0,0976
	О	200	15	125,0869	35,3374	118,2384	62,9874	2,5296	1,5651
9	А	200	16	209,5566	43,2565	201,8407	64,5452	1,2271	1,8154
	И	200	17	149,2433	44,0489	146,4429	66,1029	1,3424	0,6816
	У	200	20	196,7166	50,2369	193,0451	67,6607	0,8203	1,0102
	О	200	11	120,9125	71,2083	109,6474	69,2184	0,0037	1,6944
10	А	200	10	140,0785	32,8845	146,2496	70,7762	3,1062	0,8521
	И	200	23	218,7650	60,3218	212,8519	72,3339	0,3377	1,7157
	У	200	10	120,1497	10,9687	119,4541	23,8917	3,2164	0,2846
	О	200	19	166,4992	15,6522	166,0563	15,4495	0,0014	0,4969
11	А	200	15	164,2902	79,7758	162,6586	77,0072	0,0079	0,2949
	И	200	14	133,9034	15,4152	136,2608	28,5650	2,7204	1,1133
	У	200	14	184,3962	28,5590	185,8630	40,1227	0,7603	0,4875
	О	200	13	129,1287	60,0142	132,4653	81,6805	0,5736	0,5068

## Додаток II

## Зведені таблиці експертних оцінок (з позицій обробки голосових сигналів)

Таблиця 1

## Достовірність визначення меж вокалізованих ділянок

Програмні продукти \ Експерти	Експерти															Сума рангів	Відхилення від середньої суми рангів	Квадрат відхилення від середньої суми рангів
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15			
AudioUtil – Audio Analysis Tools Free	3	1,5	3,5	4	3	4	3,5	3,5	4	3	3	4	3	3	3	49	11,5	132,25
Sound Analyzer TiniaSoft	4	3,5	3,5	3	4	3	3,5	3,5	3	4	4	3	4	4	4	54	16,5	272,25
Speech Analyzer 3.1	1	3,5	1,5	2	2	1	2	1	1,5	2	2	1	2	2	1,5	26	-11,5	132,25
Розроблений програмно-апаратний комплекс	2	1,5	1,5	1	1	2	1	2	1,5	1	1	2	1	1	1,5	21	-16,5	272,25
Сума	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	150	0	809

Таблиця 2

## Достовірність визначення основної частоти голосового сигналу

Програмні продукти \ Експерти	Експерти															Сума рангів	Відхилення від середньої суми рангів	Квадрат відхилення від середньої суми рангів
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15			
AudioUtil – Audio Analysis Tools Free	3,5	4	4	3	4	3,5	3,5	3	4	4	3,5	3,5	3,5	3	4	54	16,5	272,25
Sound Analyzer TiniaSoft	3,5	3	2,5	4	2,5	3,5	3,5	4	3	3	3,5	3,5	3,5	4	3	50	12,5	156,25
Speech Analyzer 3.1	2	2	2,5	2	1	2	1,5	1	1	1,5	2	1,5	2	2	1,5	25,5	-12	144
Розроблений програмно-апаратний комплекс	1	1	1	1	2,5	1	1,5	2	2	1,5	1	1,5	1	1	1,5	20,5	-17	289
Сума	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	150	0	861,5

Таблиця 3

## Достовірність поділу вокалізованої ділянки на окремі фрейми

Програмні продукти	Експерти															Сума рангів	Відхилення від середньої суми рангів	Квадрат відхилення від середньої суми рангів
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15			
AudioUtil – Audio Analysis Tools Free	3,5	4	4	3	4	3,5	3,5	3	4	4	3	3	4	3	4	53,5	16	256
Sound Analyzer TiniaSoft	3,5	3	2,5	4	3	3,5	3,5	4	3	3	4	4	3	4	3	51	13,5	182,25
Speech Analyzer 3.1	2	2	2,5	2	1,5	2	2	1	2	2	2	1,5	2	2	1,5	28	-9,5	90,25
Розроблений програмно-апаратний комплекс	1	1	1	1	1,5	1	1	2	1	1	1	1,5	1	1	1,5	17,5	-20	400
Сума	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	150	0	928,5

Таблиця 4

## Швидкодія процедури аутентифікації

Програмні продукти \ Експерти	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Сума рангів	Відхилення від середньої суми рангів	Квадрат відхилення від середньої суми рангів
VoiceKey	1	1,5	1,5	1	1,5	2,5	3,5	1	1,5	3,5	2,5	1	1,5	1	1	25,5	-12	144
VoiceKeyID	4	4	4	4	3,5	4	3,5	4	4	3,5	4	2	3,5	4	2,5	54,5	17	289
GritTec's Speaker-ID: Automatic Text Independent Speaker Identification	2	3	3	3	1,5	1	2	3	3	1	1	4	3,5	2	2,5	35,5	-2	4
Розроблений програмно-апаратний комплекс	3	1,5	1,5	2	3,5	2,5	1	2	1,5	2	2,5	3	1,5	3	4	34,5	-3	9
Сума	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	150	0	446



Таблиця 5

## Достовірність процедури аутентифікації

Програмні продукти \ Експерти	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Сума рангів	Відхилення від середньої суми рангів	Квадрат відхилення від середньої суми рангів
VoiceKey	1	2	2	3	1,5	1,5	2	1	3	1	2	3	3,5	4	4	34,5	-3	9
VoiceKeyID	4	3	4	4	4	3,5	3	3,5	2	4	4	4	3,5	3	2,5	52	14,5	210,25
GritTec's Speaker-ID: Automatic Text Independent Speaker Identification	3	4	3	2	1,5	3,5	4	2	4	2,5	3	2	2	2	2,5	41	3,5	12,25
Розроблений програмно-апаратний комплекс	2	1	1	1	3	1,5	1	3,5	1	2,5	1	1	1	1	1	22,5	-15	225
Сума	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	150	0	456,5