

Міністерство освіти і науки України  
Вінницький національний технічний університет

**МЄШКОВ ОЛЕКСАНДР ЮРІЙОВИЧ**

УДК 534.87: 615.47: 534.62

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

05.11.17 – біологічні та медичні прилади і системи

**АВТОРЕФЕРАТ**

дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Вінниця – 2019

Дисертацією є кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису

Роботу виконано у Херсонському національному технічному університеті Міністерства освіти і науки України.

**Науковий керівник:** доктор хімічних наук, професор  
**Новіков Олександр Олександрович,**  
Херсонський національний технічний університет,  
професор, науковий керівник кафедри інформаційно-  
вимірювальних технологій електроніки та інженерії

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, професор,  
**Білинський Йосип Йосипович,**  
Вінницький національний технічний університет,  
завідувач кафедри електроніки та наносистем.

доктор технічних наук, доцент,  
**Філатова Ганна Євгенівна,**  
Національний технічний університет  
«Харківський політехнічний інститут»,  
професор кафедри обчислювальної техніки та  
програмування.

Захист відбудеться «24» жовтня 2019 року о 12<sup>30</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 05.052.06 у Вінницькому національному технічному університеті за адресою: 21021, м. Вінниця, вул. Хмельницьке шосе, 95, ауд. 210 ГНК.

З дисертацією можна ознайомитись у науково-технічній бібліотеці Вінницького національного технічного університету за адресою: 21021, м. Вінниця, вул. Хмельницьке шосе, 95.

Автореферат розісланий «20» вересня 2019 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради

С. В.Тимчик

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**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 великої кількості їх анатомічних особливостей. Серед тих, що використовуються для задачі аутентифікації, виділяють відбитки пальців, аналіз райдужної оболонки, голосу, контурів обличчя тощо. Одним із доволі 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, формантні частоти, 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 сучасне програмне забезпечення.

І хоча на слух визначити параметри голосу не видається можливим, люди все одно впізнають, тобто аутентифікують, один одного за голосом під час розмови. Навіть якщо у голосі співбесідника щось змінюється, його все одно можливо впізнати. 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 сформуують 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], з них 5 статей індексується у міжнародних наукометричних базах даних, 2 статті в наукових нефахових виданнях [20], [21]; 1 монографія [8]; 8 матеріалів тез конференцій [9] – [16]; 3 патенти 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.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертації, показано зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами; сформульовано мету та визначено основні задачі дослідження; визначено наукову новизну отриманих результатів та практичне значення отриманих результатів, представлено особистий внесок здобувача, наведено відомості щодо апробації основних результатів роботи та публікації за тематикою виконаних досліджень.

У **першому розділі** проведено аналіз математичних моделей, методів і систем для аналізу голосового сигналу, голосової аутентифікації та оцінювання функціонального стану водія, розглянуто задачі виділення основних характеристик голосового сигналу та їх використання в задачі аутентифікації та оцінювання функціонального стану.

У результаті дослідження та порівняльного аналізу існуючих методів аналізу голосових сигналів, а також програмних продуктів на їх основі, встановлено, що більшість із них аналізують голосовий сигнал у частотному просторі і мають ряд



недоліків, які істотно впливають на достовірність результатів їх роботи. Показано, що дані методи потребують подальшого розвитку або вдосконалення, у першу чергу у контексті:

- підвищення достовірності процедури виділення вокалізованих ділянок голосового сигналу;
- підвищення достовірності визначення основної частоти голосового сигналу з урахуванням її динаміки;
- підвищення достовірності процедури фреймування сигналу.

Аналіз існуючих методів аутентифікації та оцінювання функціонального стану водія, а також програмних продуктів, спрямованих на розв’язання цієї задачі, показав, що більшість методів характеризуються низькими показниками достовірності результатів та швидкодії. У деяких програмних продуктах з метою підвищення швидкодії встановлюються занижені порогові значення, які використовуються при прийнятті аутентифікаційних рішень. До того ж не усі технології мають можливість аналізувати голосовий сигнал у режимі реального часу.

У розділі 1 розглянуто методи сегментації голосових сигналів; виділення основних характеристик голосу у різних просторах; методи аналізу та порівняння голосових сигналів у визначених просторах характеристик; використання голосових сигналів та їх характеристик у задачі аутентифікації та оцінювання функціонального стану в режимі реального часу; існуючі програмні та технічні засоби, які реалізують розглянуті методи.

У **другому розділі** розглянуто матеріали досліджень, математичні моделі та методи, на основі яких вони отримані. Матеріали досліджень надано ТОВ «Агро-Транзит-Інвест» та КНП Херсонська міська клінічна лікарня імені О.С. Лучанського, за взаємним погодженням і відповідно до діючих нормативних документів (ЗУ №1645 –III від 06.04.2000р.).

Запропоновано метод аутентифікації та оцінювання функціонального стану людини безпосередньо при виконанні професійних обов’язків за голосовим сигналом у режимі реального часу та з високим рівнем достовірності на основі подання голосових сигналів у вигляді комбінації точок спеціального простору характеристик «структура-частота». У якості координатних вісей даного простору використовуються такі характеристики як основна частота голосу людини та коефіцієнт середньоквадратичного відхилення структури сигналів. Для позначення структур, які формуватимуть у даному просторі вокалізовані ділянки голосового сигналу введено поняття локалізованої структури голосового сигналу.

На рис. 1 представлені локалізовані структури чотирьох голосних звуків людського голосу фрази «Справи ідуть добре», які будуть аналізуватись надалі.

Кожна локалізована структура має вигляд прямокутника, координати центру якого визначаються за формулами:

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

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

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

$K_{Ti}, F_{0i}$  – 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.

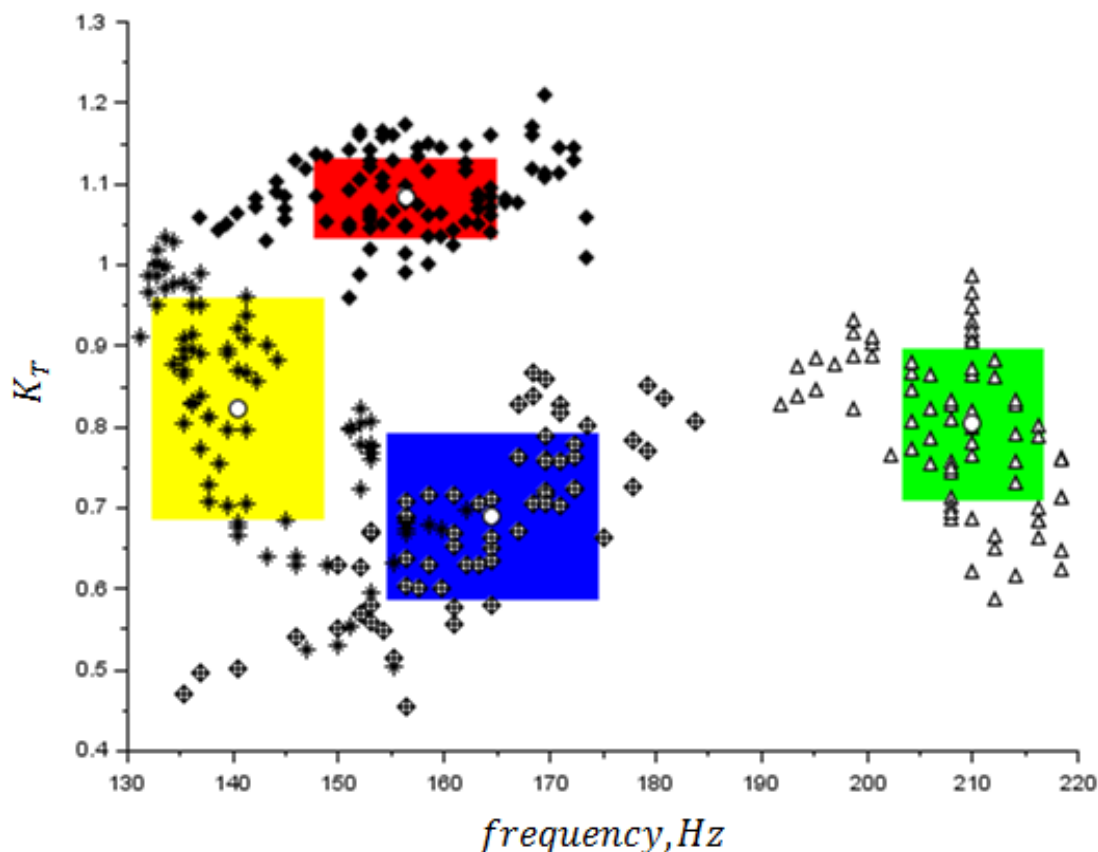


Рисунок 1 – Локалізовані структури голосового сигналу у просторі характеристик «структура-частота»

Розроблено математичну модель локалізованих структур голосового сигналу в залежності від індивідуальних особливостей людини та параметрів її функціонального стану. Модель кожної з виділених характеристик голосового сигналу сформована за методом множинної регресії і враховує такі характеристики як

- вік;
- зріст;
- маса;
- життєва ємність легень;
- обхват шиї в області гортані;
- індекс напруженості регуляторних систем за Р.М. Баєвським.

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

$$\begin{aligned} F_0 &= C_F * A^{a_F} * H^{h_F} * M^{m_F} * V^{v_F} * D^{d_F} * B^{b_F}, \\ K_T &= C_K * A^{a_K} * H^{h_K} * M^{m_K} * V^{v_K} * D^{d_K} * B^{b_K}, \end{aligned} \quad (2)$$

Для подання даної моделі у лінійному вигляді проводиться логарифмування лівої та правої частини рівнянь (1):

$$\begin{aligned}\ln F_0 &= \ln C_F + a_F \ln A + h_F \ln H + m_F \ln M + v_F \ln V + d_F \ln D + b_F \ln B, \\ \ln K_T &= \ln C_K + a_K \ln A + h_K \ln H + m_K \ln M + v_K \ln V + d_K \ln D + b_K \ln B,\end{aligned}\quad (3)$$

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):

$$Y_F = \begin{pmatrix} \ln F_{0_1} \\ \ln F_{0_2} \\ \ln F_{0_3} \\ \vdots \\ \ln F_{0_N} \end{pmatrix}, Y_K = \begin{pmatrix} \ln K_{T_1} \\ \ln K_{T_2} \\ \ln K_{T_3} \\ \vdots \\ \ln K_{T_N} \end{pmatrix}$$

– 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:

$$\begin{aligned}X^T X Z_F &= X^T Y_F, \\ X^T X Z_K &= X^T Y_K,\end{aligned}\quad (4)$$

звідки

$$\begin{aligned} Z_F &= (X^T X)^{-1} X^T Y_F, \\ Z_K &= (X^T X)^{-1} X^T Y_K, \end{aligned} \quad (5)$$

Дана модель використовується для визначення координат центру кожної локалізованої структури. 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:

$$a_{K_T} = 2\sigma_{K_T} = 2 \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_j} (K_{T_i} - K_{T_j})^2}{n_j - 1}}, a_{F_0} = 2\sigma_{F_0} = 2 \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_j} (F_{0_i} - F_{0_j})^2}{n_j - 1}}, \quad (6)$$

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

Критерій 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:

$$square\_fit = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{S_i}{S_{0_i}}}{m} * 100\%, \quad (7)$$

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

$S_{0_i}$  – 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 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 (рис. 2).

Якщо отримані середньозважені центри разом із локалізованими структурами фонемі потрапляють у межі аналогічних базових структур для даного диктора, вважається, що людина пройшла процедуру аутентифікації, або що її функціональний стан визначено як допустимий, в залежності від режиму роботи системи. Якщо ж

центр аналізованої локалізованої структури хоча б однієї фонемі не потрапляє до базової структури, або критерій *square\_fit* має значення менше деякого визначеного рівня (порогу), то вважається, що людина не проходить процедуру аутентифікації, або її функціональний стан визначено як недопустимий. Рівень даного порогу визначається на основі експериментального дослідження розробленого методу на акустичних матеріалах реальних людей.

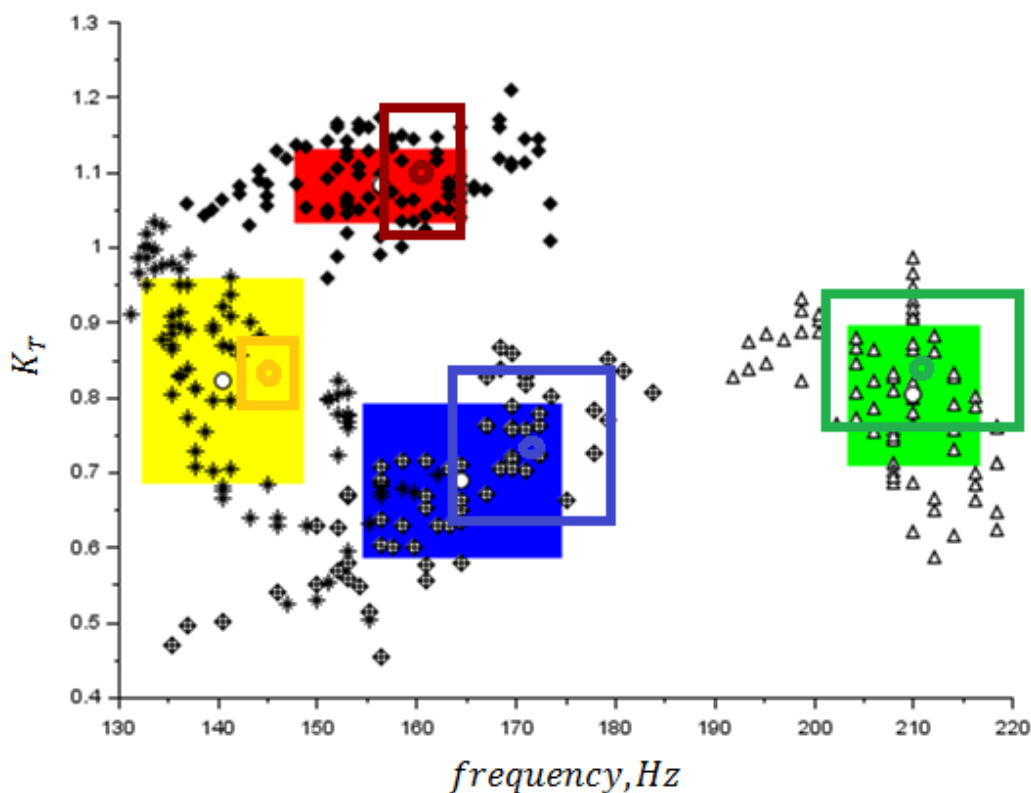


Рисунок 2 – Графічне подання процедури аутентифікації та оцінювання функціонального стану водія у просторі характеристик «структура-частота»

У розділі також використано методи статистичної оцінки адекватності, достовірності та точності розробленої математичної моделі, а також достовірності процедури аутентифікації. Перевірка математичної моделі на адекватність виконується на основі критерію Фішера. Для оцінки точності моделі визначається коефіцієнт кореляції. Достовірність процедури аутентифікації оцінюється за t-критерієм Стюдента для незалежних вибірок. Однак для використання даного критерію першочергово необхідно переконатися, що дисперсії виділених ознак рівні. Це виконується за допомогою аналізу статистики критерію Бартлетта. Порівняння розроблених методів з існуючими аналогами проводилось на основі експертних оцінок.

**Третій розділ** присвячено розробці системи аутентифікації та оцінювання функціонального стану водія за голосовим сигналом в режимі реального часу, яка реалізує розроблені математичні моделі.

Першочергово було розроблено структурну схему системи аутентифікації та оцінювання функціонального стану водія за голосовим сигналом (рис. 3). Апаратна частина комплексу 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. Усі подальші операції відбуваються у програмній частині комплексу Sound Comparing 3.0. Вони виконуються за допомогою скрипт-файлу 'Voice Analysis.sce' для пакету прикладних математичних програм SciLab 6.0.1.

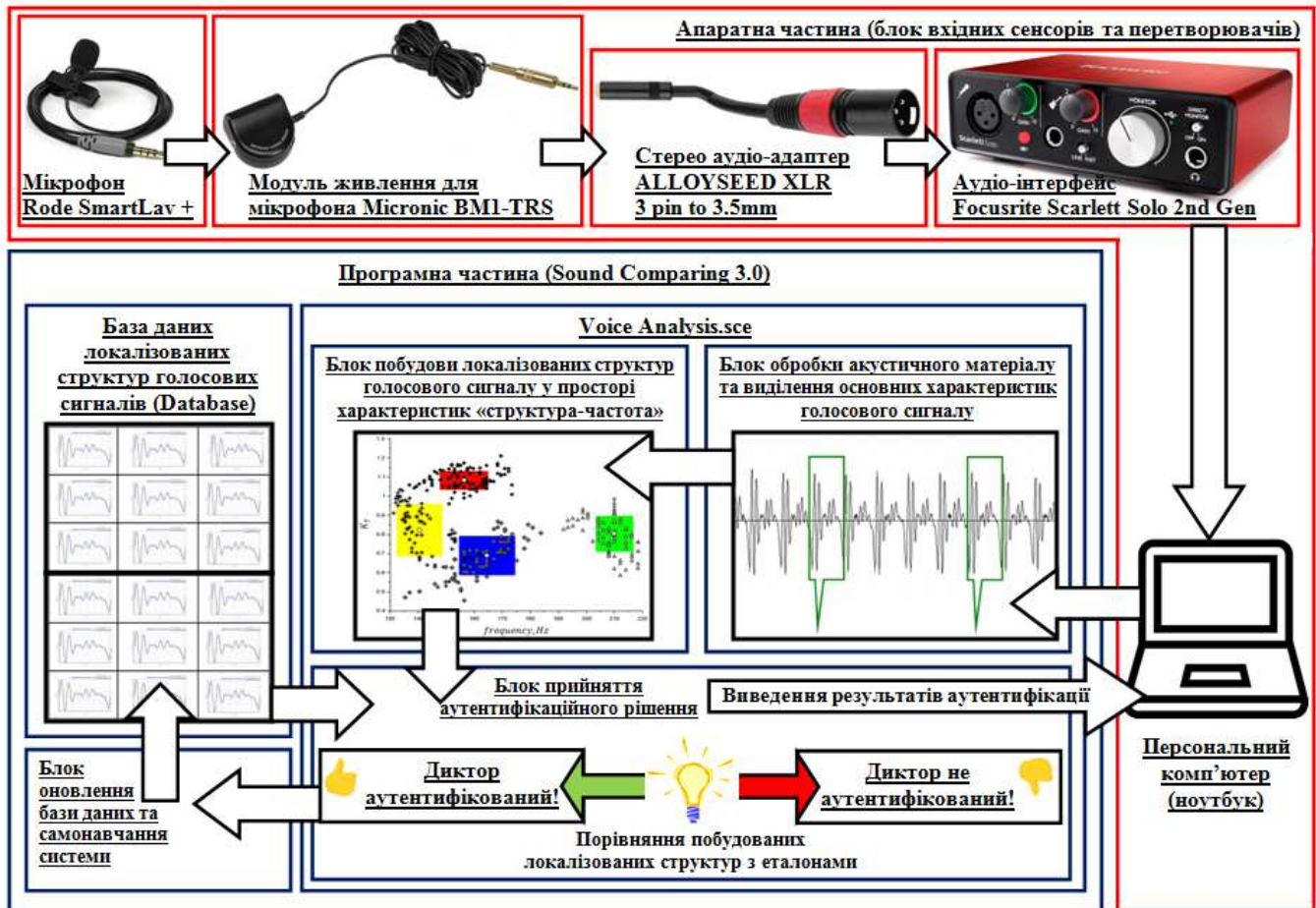


Рисунок 3 – Структурна схема системи аутентифікації та оцінювання функціонального стану водія за голосовим сигналом

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 чи оцінювання функціонального стану водія;
- блок оновлення бази даних та самонавчання розробленої системи;
- база даних локалізованих структур голосових сигналів.

При виборі перетворювачів сигналу у першу чергу визначено значення частоти дискретизації голосового сигналу, необхідне для переведення сигналу у цифрову форму без втрати інформації. За результатами експериментального дослідження її значення склало 22050 Гц з урахуванням існуючих індустриальних стандартів.

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.

Для вибору найбільш адекватного виду мікрофону було проведено експертну оцінку можливості використання кожного з вищенаведених пристроїв з відповідним йому способом комутації. 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.

Розроблено метод локальних максимумів для виділення вокалізованих ділянок голосового сигналу. Даний метод базується на експериментальних дослідженнях реальних голосових сигналів людей та виділенні амплітудних особливостей, які вирізняють вокалізовані ділянки з потоку мови. Для виділення вокалізованої ділянки формується масив локальних максимумів спектру сигналу, який накладався прямокутним вікном тривалістю 0,2 с. Приклад даного масиву подано на рис. 4.

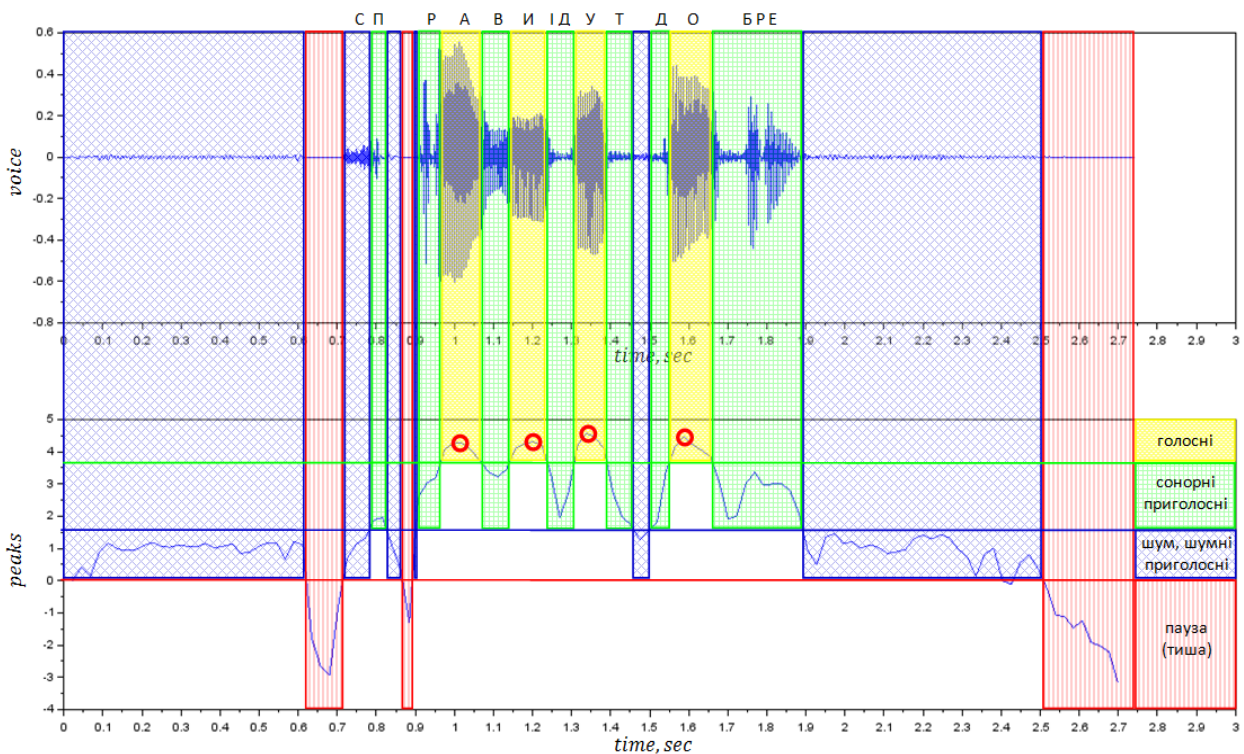


Рисунок 4 – Реалізація методу локальних максимумів для виділення вокалізованих ділянок

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.

Визначено, що вокалізовані ділянки голосового сигналу мають фреймову структуру (рис. 5). Тому для визначення основної частоти сигналу з урахуванням її динаміки необхідно провести процедуру фреймування.

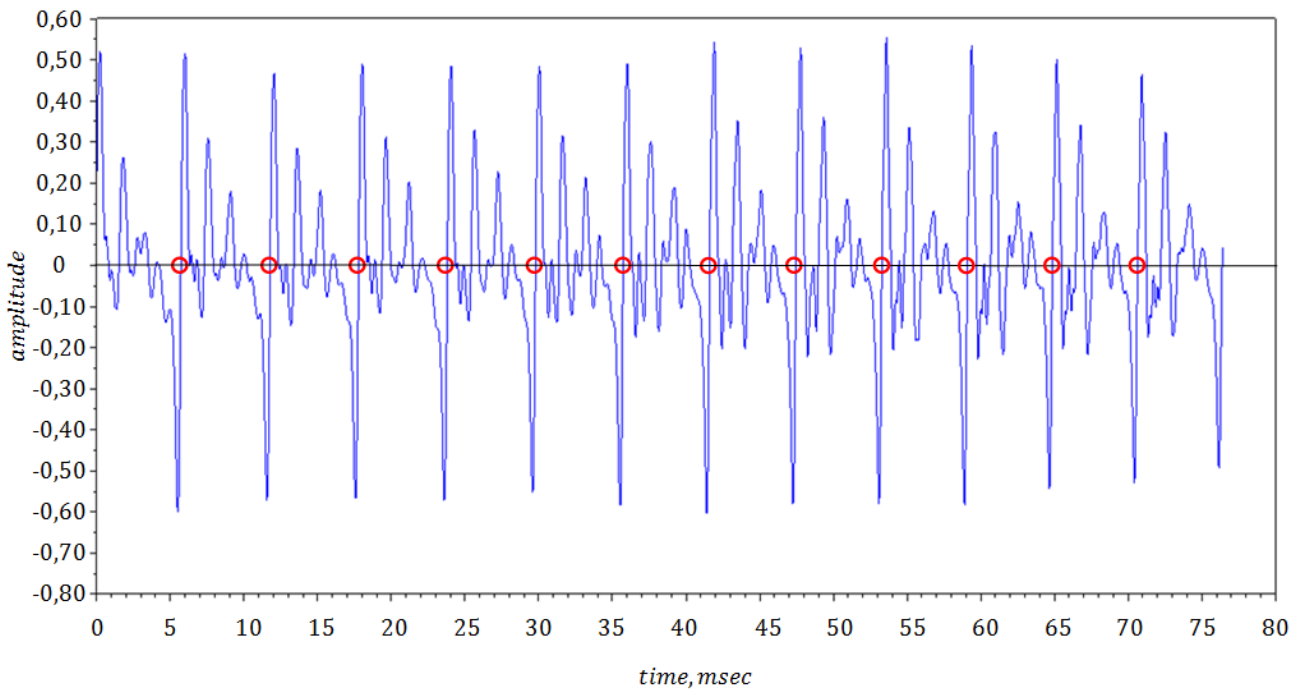


Рисунок 5 – Початкові та кінцеві моменти фреймів голосового сигналу

Стандартна процедура фреймування вокалізованої ділянки на основі кепстрального аналізу найчастіше дає некоректний поділ сигналу на одиничні фрейми (рис. 6). З метою підвищення достовірності процедури фреймування її було вдосконалено шляхом введення подвійного кепстрального та амплітудного уточнення. Ці уточнення полягають у визначенні локалізації максимумів кепстру первинного фрейму (рис. 7) та амплітудного уточнення точки переходу сигналу з від'ємної області у додатну (рис. 8).

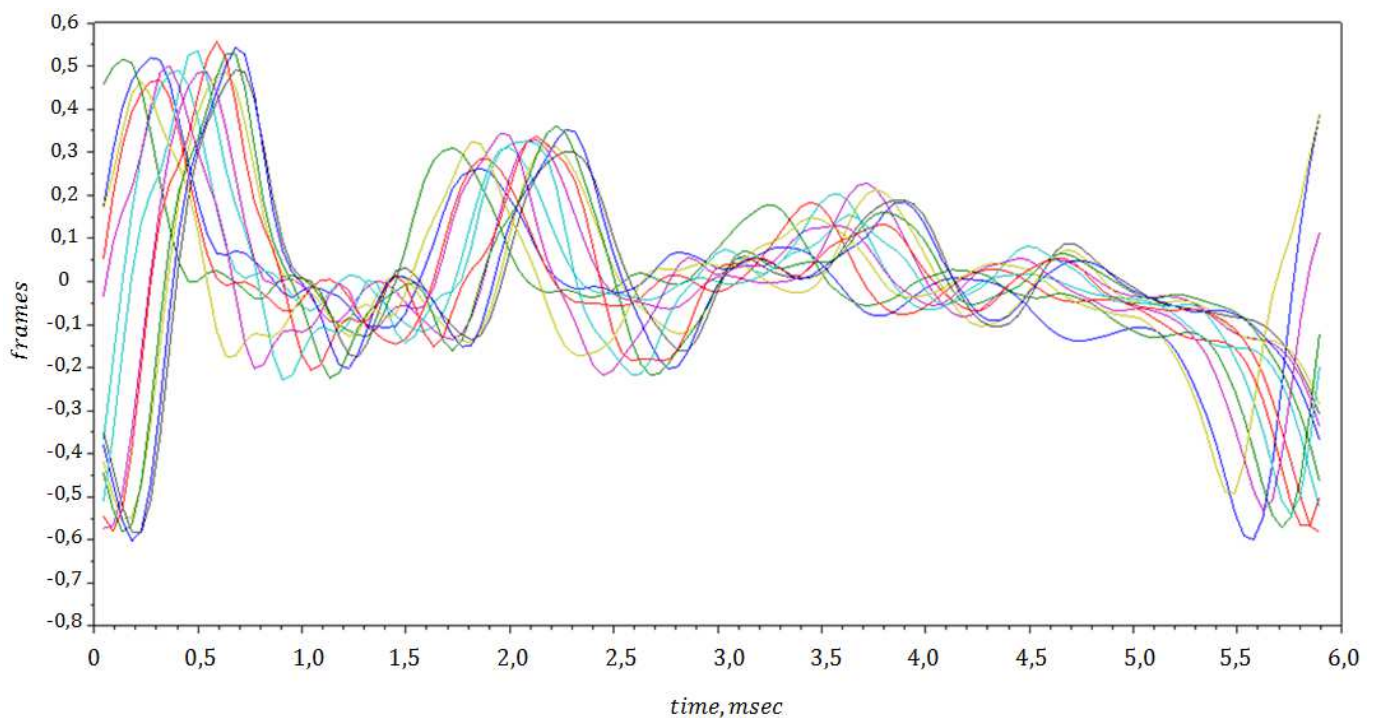


Рисунок 6 – Результат поділу вокалізованої ділянки на первинні фрейми



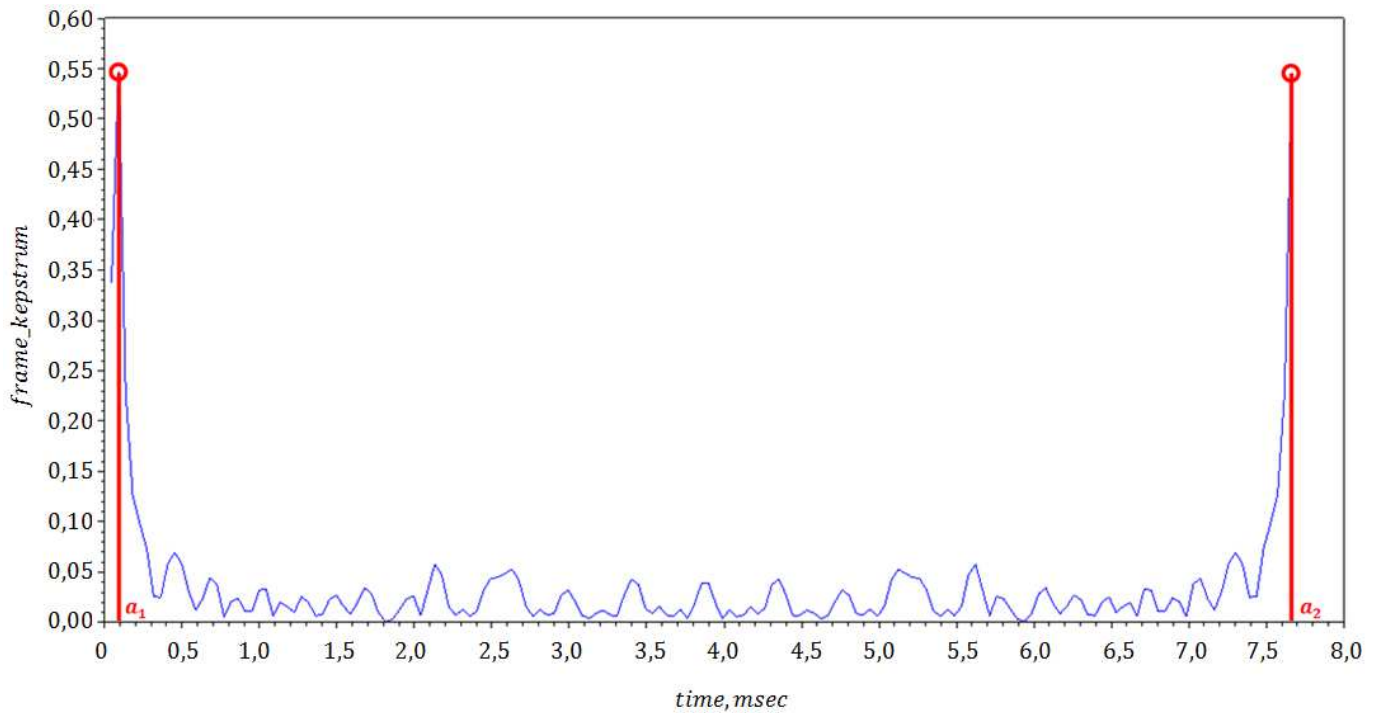


Рисунок 7 – Кепстр первинного фрейму

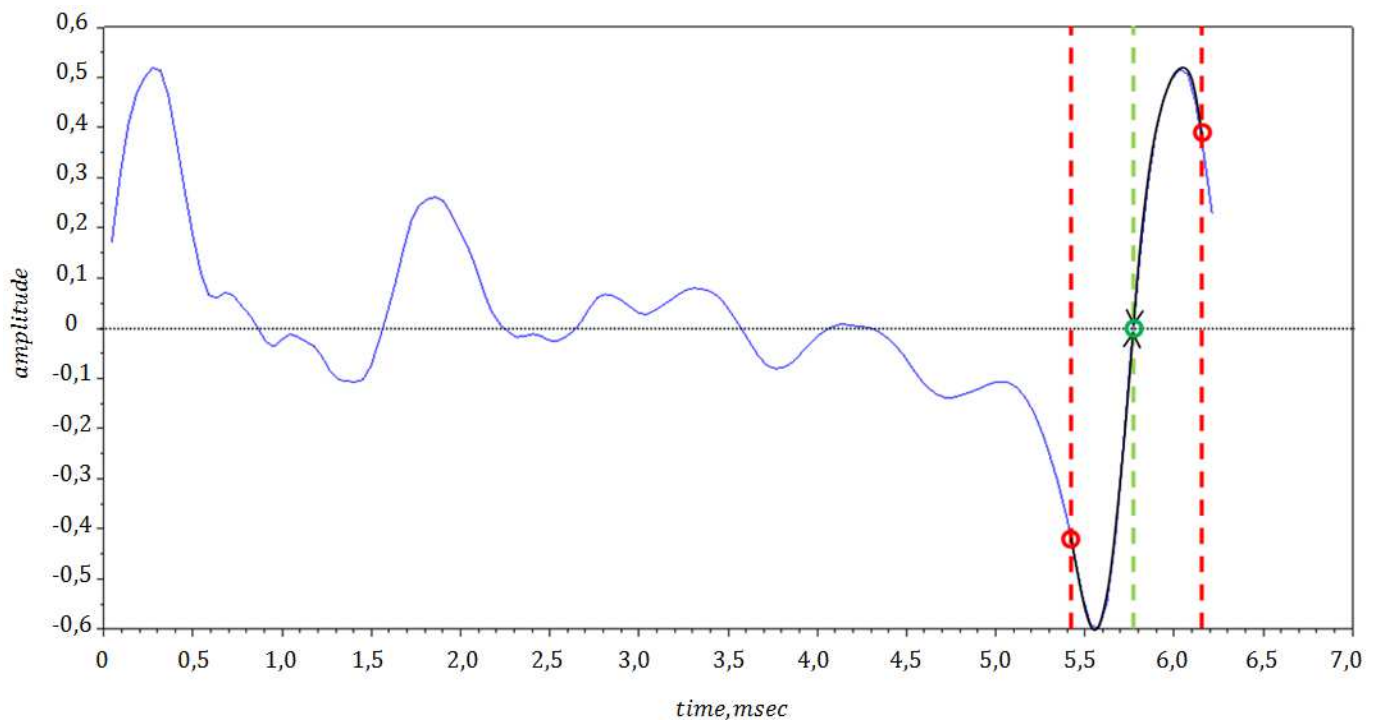


Рисунок 8 – Повторне уточнення тривалості фрейму на основі амплітуди сигналу

У результаті 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. 9).

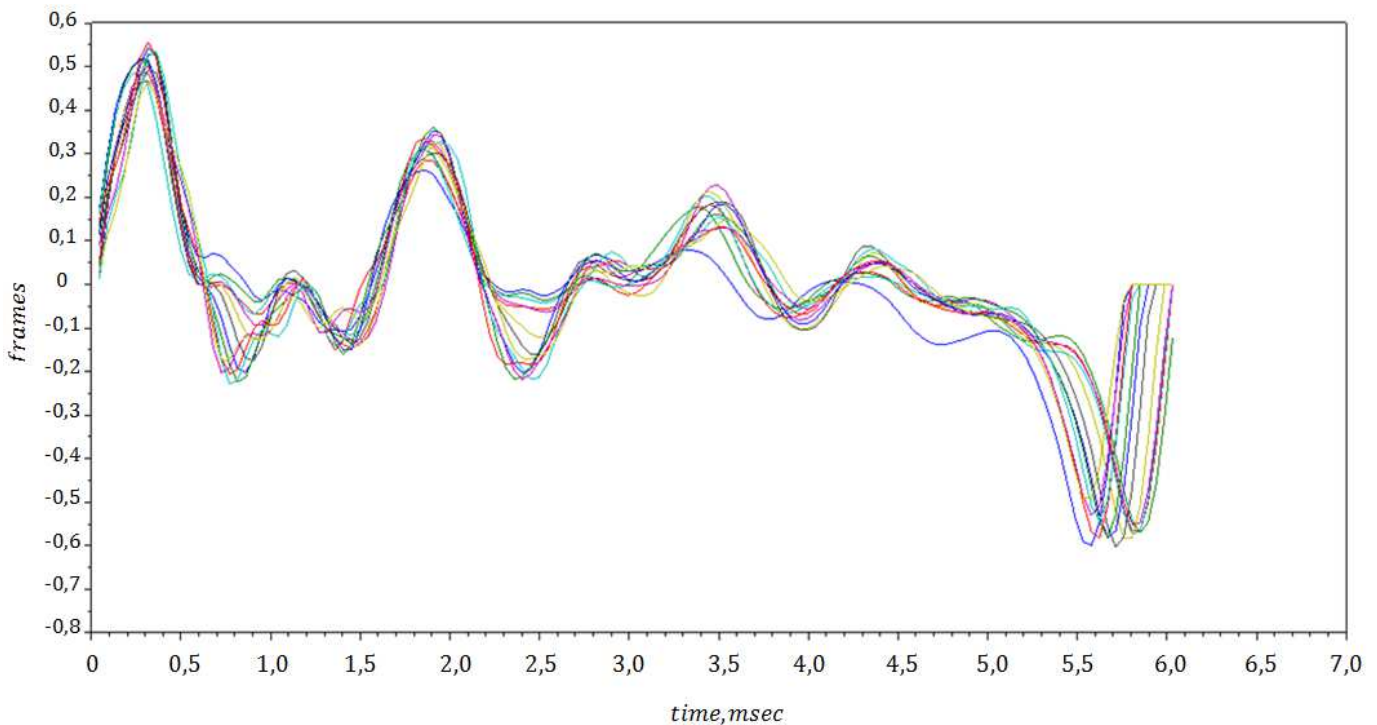


Рисунок 9 – Результат роботи удосконаленого методу фреймування

Після цього кожен фрейм масштабується до єдиної кількості відліків, яка визначена на рівні 250, і для кожного фрейму визначається коефіцієнт середньоквадратичного відхилення структури сигналу.

При формуванні персоніфікованого голосового еталону розглянуто можливість використання кількох видів паролівних фраз. За результатами аналізу для подальшого дослідження обрано фразу «Справи ідуть добре». У той же час для різних задач аутентифікації чи оцінювання функціонального стану людини цілком можливим є використання інших паролівних фраз чи звукових комбінацій.

Значення критерію *square\_fit* суттєво буде залежати від того, який сигнал використовувати у якості базового при формуванні локалізованих структур голосового сигналу. 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). За допомогою програмних засобів реалізовано гнучкий вибір базового сигналу для кожної людини.

Робота програмної частини розробленої системи відбувається за розробленим алгоритмом, узагальнена схема якого подана на рис. 10.

**У четвертому розділі** представлено основні результати експериментальних досліджень розробленого методу та системи.

Розроблена система аутентифікації та оцінювання функціонального стану людини при виконанні професійних обов'язків проходила експериментальні випробування на підприємстві ТОВ «Агро-Транзит-Інвест» та в КНП Херсонська міська клінічна лікарня ім. О.С.Лучанського, що підтверджено відповідними актами. Загальна база дикторів (людей, що брали участь у дослідженні) включає у себе 400 людей різного віку, статі та антропометрії.

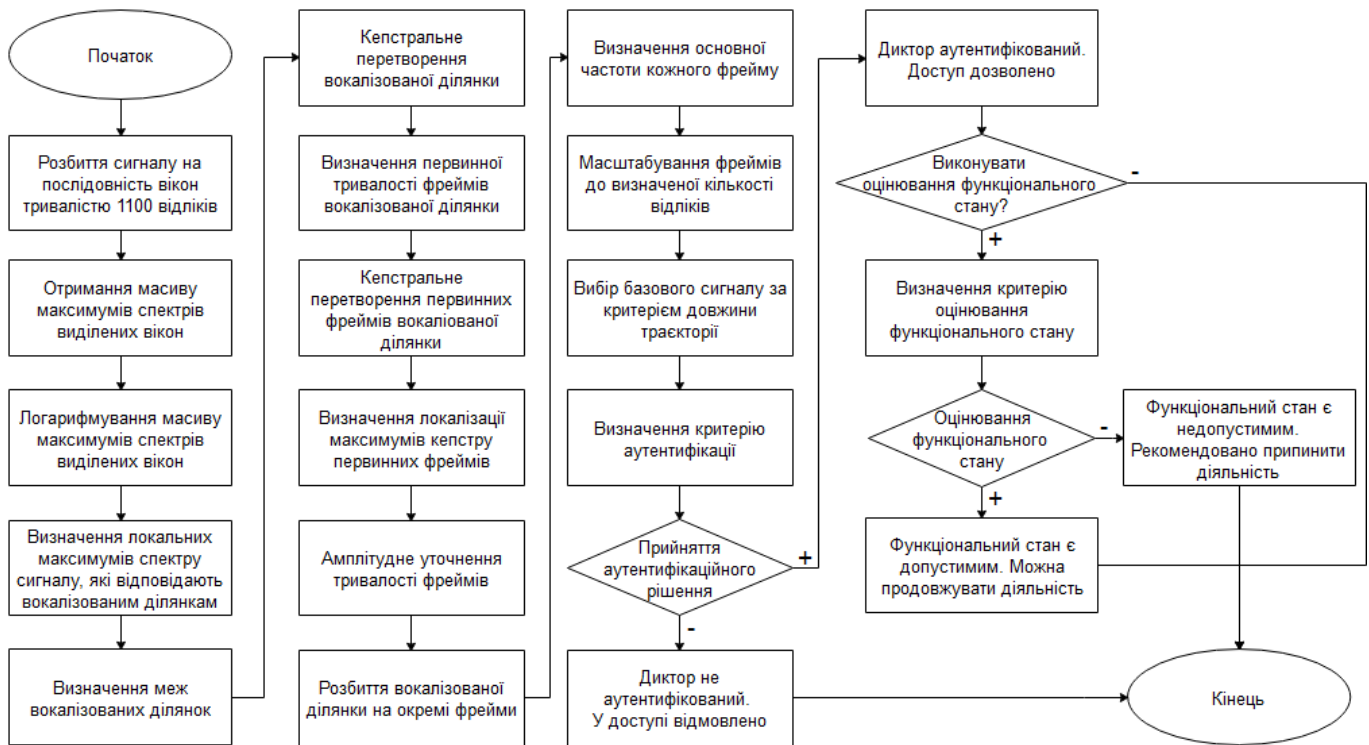


Рисунок 10 – Узагальнена блок схема алгоритму роботи комплексу

У ході дослідження для 40 дикторів, частина з яких була занесена до бази, було сформовано голосові еталони на основі різної кількості акустичних записів паролльної фрази. Запис проводився за технологією, описаною вище. Диктор вимовляв паролльну фразу у довільному стані, сидячи на стільці, тримаючи голову рівно. Запис паролльної фрази проводився у 5 сесій по дві вимови паролльної фрази послідовно. Інтервал між сесіями складав 15-20 хвилин. 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 шляхом запису паролльної фрази і порівняння її зі сформованими голосовими еталонами. Запис проводився за тою ж технологією, що і записи при формуванні голосового еталону. Відмінність полягала у тому, що диктор вимовляв паролльну фразу послідовно тричі.

Дана процедура проводилась з метою визначення оптимального значення критерію аутентифікації. З огляду на отримані результати, можна стверджувати, що з плином часу у більшості випадків голосові еталони людей поступово втрачають актуальність. Тобто, через деякий проміжок часу відсоток перекриття, який визначено як критерій точності аутентифікації поступово зменшується. При цьому для більшості дикторів на короткому інтервалі часу критерій аутентифікації характеризується доволі високими значеннями (80-85%), а після тривалого часу, близько тижня, стабілізується на рівні близько 0,7.

Статистичний аналіз сформованих локалізованих структур реальних дикторів підтвердив гіпотезу про те, що розподіл основних характеристик голосового сигналу в межах кожної локалізованої структури є нормальним. За критерієм Фішера розроблена математична модель локалізованих структур голосового сигналу є адекватною з достовірністю 95%. Коефіцієнт детермінації розробленої моделі становить 0,9405. Загалом же достовірність процедури аутентифікації за розробленим

методом складає 95%. Розрахунки усіх статистичних критеріїв наведено у дисертаційній роботі.

Порівняння розробленого комплексу проводилось окремо для аналогічних програмних продуктів для обробки голосового сигналу, і окремо для програмних продуктів для задачі 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 пароліної 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 аутентифікації особистості проводилась на основі наступних показників:

- швидкодія процедури аутентифікації;
- достовірність результатів аутентифікації;

Розрахунок коефіцієнтів конкордації наведено у дисертаційній роботі. Результати аналізу оцінок експертів подано у табл. 1.

Таблиця 1

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

Показник	Коефіцієнт конкордації $W$	Розрахунковий критерій $\chi^2_{m-1}$	Табличне значення критерію $\chi^2_{3;0,05}$
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 процедури аутентифікації	0,4309	16,519	7,815
Достовірність результатів аутентифікації	0,4256	16,907	

Якщо розглядати рангові оцінки 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. 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.

## **ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ**

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 людини при виконанні професійних обов'язків в режимі реального часу на основі порівняння вхідного акустичного матеріалу з персоніфікованим голосовим еталоном та критерії для даних процедур. Визначено порогове значення розробленого критерію для досягнення високої достовірності процедур аутентифікації та оцінювання функціонального стану людини 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 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. 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 (ТААС)*, 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://biofbc.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.

### 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”. – Вінницький національний технічний університет, Вінниця, 2019.

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. Також широке використання отримали методи оцінювання функціонального стану за голосовим сигналом.

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.

Розроблено метод та систему аутентифікації та оцінювання функціонального стану водія у вигляді поєднання апаратної та програмної підсистем, 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 особистості на основі розроблених методів та моделей складає 95%.

Результати дисертаційної роботи випробувано у формі програмно-апаратного комплексу для аутентифікації особистості в КНП Херсонська міська клінічна лікарня ім. О.С. Лучанського, та на ТОВ «Агро-Транзит-Інвест» і впроваджено в навчальному процесі Херсонського національного технічного університету.

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

### АННОТАЦИЯ

**Мешков А. Ю. Метод и система аутентификации и оценивания функционального состояния водителя по голосовому сигналу. – Квалификационный научный труд на правах рукописи.**

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.17 „Биологические и медицинские приборы и системы”. – Винницкий национальный технический университет, Винница, 2019.

В последнее время особое значение приобрели научные исследования, связанные с разработкой современных методов и средств биометрической аутентификации, в том числе и голосовой, которая может обеспечивать высокую степень достоверности результатов. Также широкое использование получили методы оценки функционального состояния по голосовому сигналу.



Научная новизна полученных результатов заключается в решении актуальной научно-технической задачи – повышении достоверности и быстродействия процедур аутентификации и оценки функционального состояния водителя путем разработки новых моделей и методов анализа голосового сигнала.

Разработан метод и система аутентификации и оценки функционального состояния водителя в виде сочетания аппаратной и программной подсистем, которые в совокупности с программным обеспечением реализуют разработанные методы и модели. Экспериментальное исследование разработанных математических моделей и методов обработки голосовых сигналов показало их адекватность, высокую достоверность (95%) и точность (коэффициент корреляции математической модели составляет 0,9405). В целом достоверность процедуры аутентификации личности на основе разработанных методов и моделей составляет 95%.

Результаты диссертационной работы испытаны в виде программно-аппаратного комплекса для аутентификации личности в КНП Херсонская городская клиническая больница им. А.С. Лучанского, на ООО «Агро-Транзит-Инвест» и внедрены в учебном процессе Херсонского национального технического университета.

**Ключевые слова:** аутентификация, функциональное состояние, голосовой сигнал, математическая модель, пространство характеристик, локализованные структуры голосового сигнала, персонифицированный голосовой эталон личности, критерий аутентификации.

#### ANNOTATION

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

Dissertation for the degree of a candidate of technical sciences in specialty 05.11.17 „Biological and medical devices and systems”. – Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, 2019.

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.

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.

**Keywords:** authentication, functional state, voice signal, mathematical model, space of characteristics, localized structures of the voice signal, personalized voice standard of the personality, authentication criterion.

Підписано до друку 13.09.2019. Формат 60x90/16.  
Папір офсетний. Друк різнографія. Гарнітура Times New Roman.  
Ум. друк. арк. 1,01. Наклад 100 пр. Зам. № 1246.

Надруковано з готового оригінал-макету.  
Книжкове видавництво ФОП Вишемирський В.С.  
Свідоцтво про внесення до державного реєстру суб'єктів видавничої справи:  
серія ХС № 48 від 14.04.2005, видано Управлінням у справах преси та інформації  
73000, Україна, м. Херсон, вул. Соборна, 2.  
Тел. (050) 133-10-13, (050) 514-67-88  
e-mail: printvvs@gmail.com