

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. 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 апарата 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

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 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

вносяться 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.

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 (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 апарата 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*, Выпуск 5/2 (53), с. 12–15, 2011.

[23] Н.Игнатов, В.Мишури, 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*, Выпуск 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*, Выпуск 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*, Выпуск 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*, Выпуск 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. 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.sb.audio.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. 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-angloyazychnoj-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. Клебельсберг, *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-Тес. [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 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. 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. 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. 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.Пулляя, Тернопіль, 1999.