

УДК 612.78:519.2

В.Г. ДОЗОРСЬКИЙ, В.В. ФАЛЕНДИШ, Л.Є. ДЕДІВ
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя**МЕТОД ОПРАЦЮВАННЯ ГОЛОСОВИХ СИГНАЛІВ ДЛЯ ЗАДАЧ ПОБУДОВИ
КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ РОЗПІЗНАВАННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО СТАНУ
ГОЛОСОВОГО АПАРАТУ ЛЮДИНИ**

На основі статистичних даних Міністерства охорони здоров'я України щодо захворюваності голосового апарату обґрунтовано актуальність задачі розпізнавання функціонального стану голосового апарату людини за голосовими сигналами. На основі математичної моделі таких сигналів у вигляді періодично корельованого випадкового процесу проведено модифікацію синфазного методу опрацювання голосових сигналів для задач побудови систем розпізнавання функціонального стану голосового апарату людини. За результатами такого опрацювання запропоновано нові інформативні ознаки, що є індикаторами змін у функціонуванні голосового апарату та дано їх фізичну інтерпретацію. Сформульовано критерій оцінювання функціонального стану голосового апарату людини, який може бути використаний в сучасних системах розпізнавання функціонального стану голосового апарату людини.

Ключові слова: голосовий сигнал, функціональний стан, періодично корельований випадковий процес, синфазний метод.

V.G. DOZORSKYJ, V.V. FALENDUSH, L.Y. DEDIV
Ternopil Ivan Pul'uj National Technical University**THE METHOD OF VOICE SIGNALS PROCESSING FOR THE PROBLEM OF COMPUTER SYSTEMS
CONSTRUCTION FOR THE VOCAL APPARATUS FUNCTIONAL STATE RECOGNITION**

Abstract. The importance of the problem of functional state recognizing of the human vocal apparatus by voice signals is grounded, basis on the statistical data of the Ministry of Health of Ukraine regarding the disease of vocal apparatus. Based on the mathematical model of such signals as the periodically correlated stochastic process modification of sinphase method of voice signals processing is made for the problems of computer systems construction for the vocal apparatus functional state recognition. On the basis of such processing the new informative signs, that are indicators of changes in the vocal apparatus functioning, are grounded and the physical interpretation of them is given. The criterion of evaluation of the human vocal apparatus functional state is formulated and may be used in the modern computer systems of the vocal apparatus functional state recognition.

Keywords: voice signal, functional state, periodically correlated stochastic process, sinphase method.

Постановка задачі

Відповідно до статистичних даних Міністерства охорони здоров'я України щорічно збільшується кількість людей із порушеннями в роботі (порушеннями функціонального стану) голосового апарату людини. Своєчасна діагностика (розпізнавання функціонального стану) дає змогу виявити зміни функціонального стану органів голосового апарату шляхом належного опрацювання голосових сигналів і провести профілактичні заходи або вибрати курс лікування. Для об'єктивної діагностики в медичині застосовують опосередковані методи, що створюються на основі системно-сигнальної концепції, в рамках якої голосовий сигнал трактується як фізичний процес, що поширюється від досліджуваного об'єкта і є засобом перенесення відомостей про цей об'єкт. Ефективність функціонування діагностичної системи вирішальною мірою визначається методами опрацювання голосових сигналів, що лежать в основі побудови програмного забезпечення такої системи, та повинні мати засоби виділення інформативних характеристик – ознак зміни в роботі голосового апарату.

Аналіз досліджень та публікацій

В праці [1] проведено обґрунтування технічних характеристик системи відбору голосових сигналів від пацієнтів, що є складовою частиною комп'ютерної системи розпізнавання функціонального стану голосового апарату людини. У цій праці шляхом аналізу часової структури та гармонічного складу голосових сигналів обґрунтовано технічні характеристики, яким має задовольняти система для відбору сигналів від пацієнтів, з метою забезпечення врахування під час їх опрацювання суттєвих з точки зору діагностичної цінності характеристик голосових сигналів та забезпечення коректності результатів опрацювання їх комп'ютерною системою розпізнавання функціонального стану. Поряд з цим в праці [2] на основі проведеного аналізу характеристик голосових сигналів розглянуто найпоширеніші методи опрацювання голосових сигналів та встановлено, що найпростішими є методи, які ґрунтуються на дослідженні часової структури та характеристик амплітудних спектрів такого роду сигналів (методи гармонічного та формантного аналізу) [2]. При поданні голосових сигналів як стаціонарного випадкового процесу [2] поширення набули методи спектрально-кореляційного аналізу, при цьому інформативними ознаками сигналу приймаються його ймовірнісні характеристики. Проте недоліком згаданих методів є або неможливість оцінювання випадкової складової, що є присутня в структурі голосових сигналів та спричинена випадковістю змін функціонального стану голосового апарату (методи гармонічного та формантного аналізу), або неможливість врахування коливної структури, що є характерною для голосових сигналів, та аналізу їх часово-фазової структури, що є важливим для розпізнавання часових моментів прояву змін у функціонуванні голосового апарату (методи спектрально-кореляційного аналізу).

У праці [2] обґрунтовано адекватність задачі розпізнавання функціонального стану голосового апарату моделі голосових сигналів у вигляді періодично корельованого випадкового процесу (ПКВП), який має засоби врахування у своїй структурі часово-фазових характеристик сигналів, випадкової складової та повторюваності і визначає загальні методи статистичного опрацювання їх – синфазний та компонентний. У праці [3] застосовано до опрацювання окремого типу голосових сигналів (вокалізованих фрикативних звуків) синфазного методу. Однак у цій праці не проведено вибору критерію, за яким можна було б розпізнавати функціональний стан голосового апарату, а лише запропоновано клас інформативних ознак, за зміною параметрів яких цей стан можна було б встановити (норма чи патологія).

Формування цілей

Модифікувати синфазний метод опрацювання голосових сигналів для забезпечення можливості автоматизованого розпізнавання стану голосового апарату та обґрунтувати вибір критерію для встановлення окремого типу функціонального стану (норма або патологія) і дати йому фізичну інтерпретацію.

Синфазний метод опрацювання голосових сигналів

Відбір голосових сигналів для стану медичної норми та патології голосового апарату проводився із використанням описаної в праці [1] системи. Для опрацювання відібраних сигналів використано синфазний метод [4] з відповідною його модифікацією. Суть методу зводиться до того, що відліки значень сигналу Ξ через період корельованості T при різному виборі початкової фази $t_0 \in [0, T)$ утворюють стаціонарну ергодичну векторну випадкову послідовність $\{\Xi(t_0), t_0 \in [0, T)\}$, де $\Xi(t_0) \equiv \{\Xi(t_0 + k \cdot T), k \in Z\}$, $\{\Xi(t_0), \Xi(t_1) \dots \Xi(t_n)\}$ – стаціонарні та стаціонарно пов’язані випадкові послідовності. При цьому кореляційні функції таких послідовностей, внаслідок їх періодичності з періодом корельованості T , виходячи з означення класу ПКВП [4], можуть бути розкладені в ряди Фур’є згідно з виразом:

$$b_{\xi}(t, u) = \sum_{k \in Z} e^{ik\Delta t} B_k(u), \Delta = \frac{2\pi}{T}$$

де $b_{\xi}(t, u)$ – кореляційна функція, $B_k(u)$ – кореляційні компоненти; k – номер компоненти; u – зсув.

В праці [3] за інформативні характеристики функціонального стану голосового апарату (норма чи патологія) було прийнято оцінки кореляційних компонент $B_k(u)$, що характеризують структуру часової мінливості голосових сигналів. Оцінки їх для випадку періодично корельованих випадкових послідовностей знаходяться за виразом:

$$\hat{B}_k(u) = \frac{1}{N_T} \sum_{n=0}^{N_T-1} \hat{b}_{\xi}(n\Delta t, u) \cdot e^{ik \frac{2\pi n}{N_T}}$$

де N_T – дискретний період корельованості голосового сигналу; $N_T = T / \Delta t$, Δt – крок дискретизації.

Застосування синфазного методу опрацювання голосових сигналів передбачає апріорне знання величини періоду корельованості (ПК). Метод оцінювання значення цього періоду був детально розглянутий в праці [3]. Саме цей метод пошуку значення ПК було застосовано при модифікації синфазного методу.

Послідовність операцій реалізації модифікованого синфазного методу опрацювання голосових сигналів зображено на рис. 1.

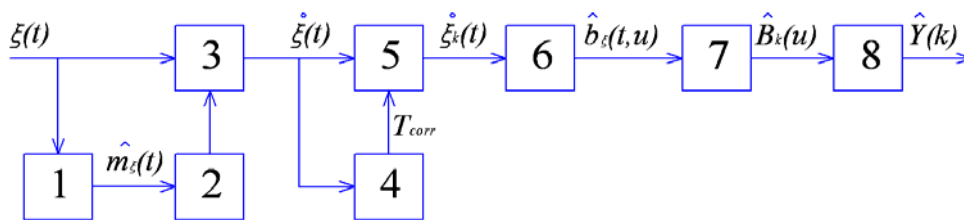


Рис. 1. Послідовність операцій реалізації модифікованого синфазного методу опрацювання голосових сигналів

Відповідно до рис. 1, блок 1 описує числення оцінки математичного сподівання $\hat{m}_{\xi}(t)$ від $\xi(t)$, блок 2 – формування періодичної послідовності $[\hat{m}_{\xi}(t) \hat{m}_{\xi}(t) \dots \hat{m}_{\xi}(t)]$, блок 3 – центрування випадкової послідовності $\xi(t)$, блок 4 – обчислення періоду корельованості T_{corr} описаним вище способом, блок 5 – формування стаціонарних компонент $\xi_k(t)$, блок 6 – обчислення оцінки кореляції $\hat{b}_{\xi}(t, u)$ між стаціонарними компонентами з врахуванням часових u та періодних T зсувів, блок 7 – обчислення оцінок кореляційних компонент $\hat{B}_k(u)$ та блок 8 – оцінювання кореляційних компонент $\hat{Y}(k)$.

Описану вище послідовність дій реалізації модифікованого синфазного методу опрацювання було реалізовано в середовищі Matlab у вигляді програмного забезпечення, із використанням якого було проведено опрацювання двадцяти реалізацій голосових сигналів для випадку медичної норми та для випадку патології (дисфункція язика). Для опрацювання використано реалізації приголосного звуку [л]

відповідно до даних, що наведені в праці [3]. На рис. 2 подано вигляд реалізацій приголосного звуку [л] для випадку норми та патології.

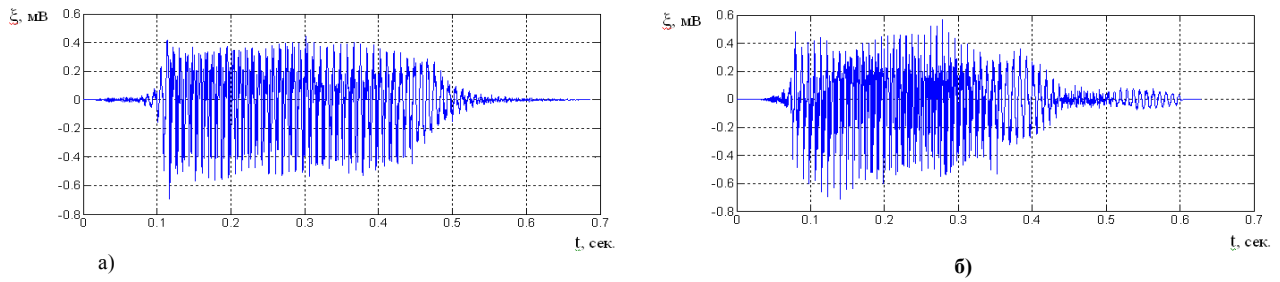


Рис. 2. Реалізації реєстрограми приголосного звуку [л] для випадку норми (а) та для випадку патології (б)

На рис. 3 наведено оцінки кореляційних компонент, обчислені з використанням модифікованого методу, від реалізацій приголосного звуку [л] (рис. 2).

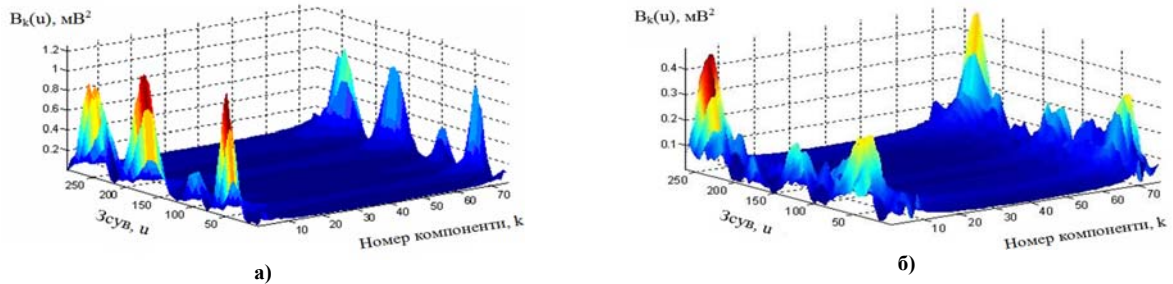


Рис. 3. Оцінки кореляційних компонент звуку [л] для стану медичної норми (а) та патології (б)

Для розпізнавання функціонального стану (норма/патологія) виконано усереднення кореляційних компонент (рис. 3) відповідно до виразу:

$$M_u(\hat{B}_k(u)) = \frac{1}{N_k} \sum_{k=1}^{N_k} B_k(u), \quad k = \overline{1, N_k},$$

де k – номер кореляційної компоненти; N_k – кількість кореляційних компонент.

Результати усереднення кореляційних компонент, обчислені для двох випадків норми та двох випадків патології наведені на рис. 4.

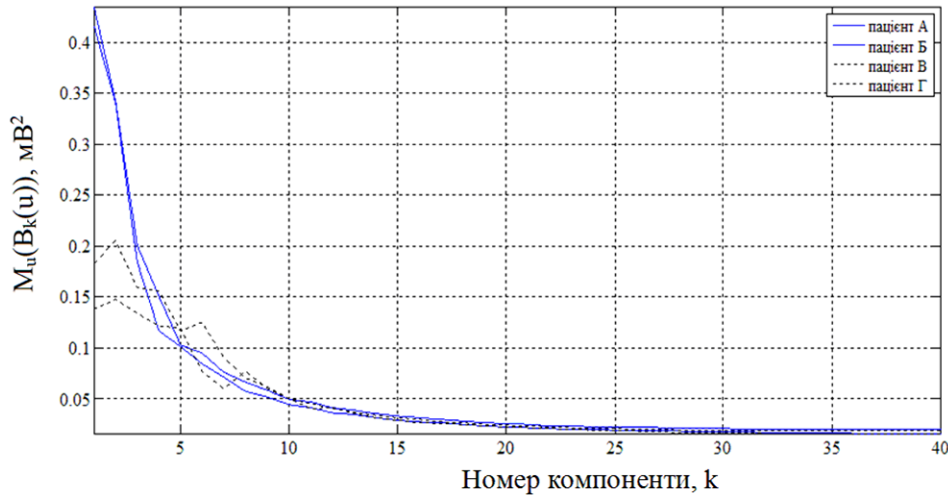


Рис. 4. Усереднені значення кореляційних компонент

У результаті порівняльного аналізу ознак сигналу на основі рис. 4 відзначимо, що для пацієнтів А та Б ознаки лежать у межах норми, а для пацієнтів В та Г спостерігається зміна ознак (що свідчить про порушення функціонального стану голосового апарату).

Отримані інваріанти показують однорідність властивостей сигналу, і поряд з тим зміни, за характером і значеннями яких можна розпізнати функціональний стан голосового апарату.

Однак, рис. 4 є графічним способом відображення інформації і незручний для формування попереднього припущення про функціональний стан голосового апарату. Тому необхідно розробити критерій для оцінювання стану голосового апарату за оцінками усереднених кореляційних компонент (ОУКК).

В ОУКК відображується інформація про потужність зміни ритму сигналу. В стані норми функціонування голосового апарату порушення ритму незначні або відсутні, при цьому ОУКК є рівномірними. Цей факт підтверджено експериментально для стану норми. Вигляд реалізацій ОУКК наведено на рис. 5.

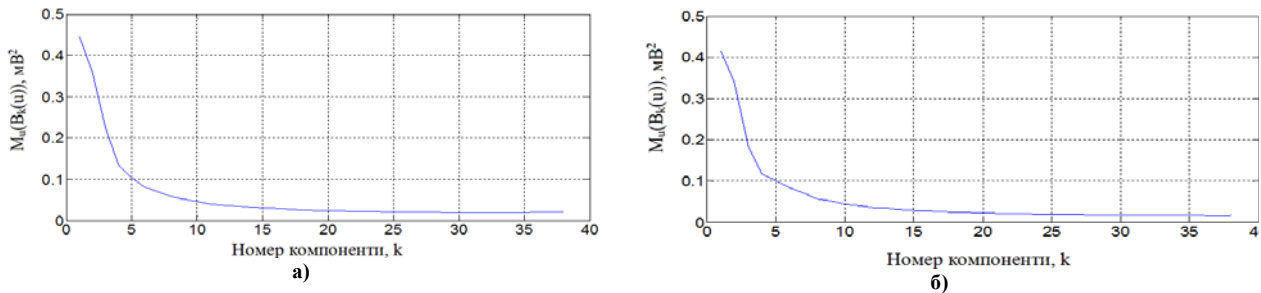


Рис. 5. Оцінки усереднених кореляційних компонент, обчислені для чотирьох реалізацій приголосного звуку [л] в стані норми

Однак, при наявності патологій спостерігається порушення роботи органів голосового апарату, що проявляється в порушеннях ритму. Цей факт також підтверджено експериментально для стану патології. Вигляд чотирьох реалізацій ОУКК наведено на рис. 6.

Для оцінювання варіації потужності зміни ритму за ОУКК запропоновано метод, який ґрунтується на апроксимації кривих оцінок кореляційних компонент до кривої, яка повинна відображати стан медичної норми голосового апарату, а саме, мати мінімальну варіацію потужності ритму. На рис. 7 показано вигляд ОУКК і апроксимуючих кривих. Віднявши від цих оцінок відповідні їм апроксимуючі криві отримано оцінки варіації потужності ритму голосових сигналів. Ці оцінки наведені на рис. 8.

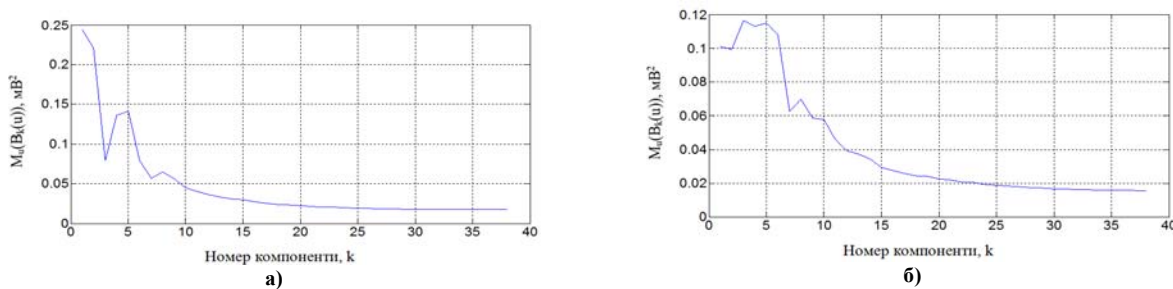


Рис. 6. Оцінки усереднених кореляційних компонент, обчислені для чотирьох реалізацій приголосного звуку [л] в стані патології

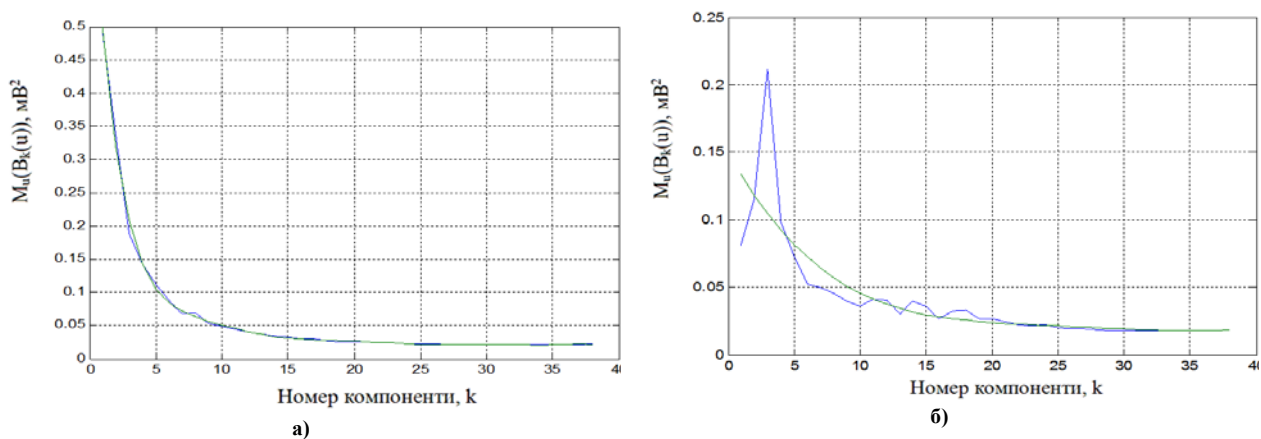


Рис. 7. Реалізації ОУКК і апроксимуючих кривих для стану норми (а) та патології (б)

За критерій оцінювання функціонального стану голосового апарату доцільно використати дисперсію варіації потужності ритму. Шляхом опрацювання вісімнадцяти реалізацій приголосного звуку [л], відібраних в стані норми та патології встановлено, що для стану норми значення дисперсії варіації потужності ритму знаходяться в околі значень $(2,4 \pm 0,6) \cdot 10^{-5} \text{ мВ}^4$, а для стану патології значення дисперсії знаходяться в околі значень $(1,6 \pm 0,6) \cdot 10^{-4} \text{ мВ}^4$.

Отже, запропонований критерій є чутливим до змін ритму у приголосному звукові [л] та може бути використаний як критерій для поставлення попереднього діагнозу.

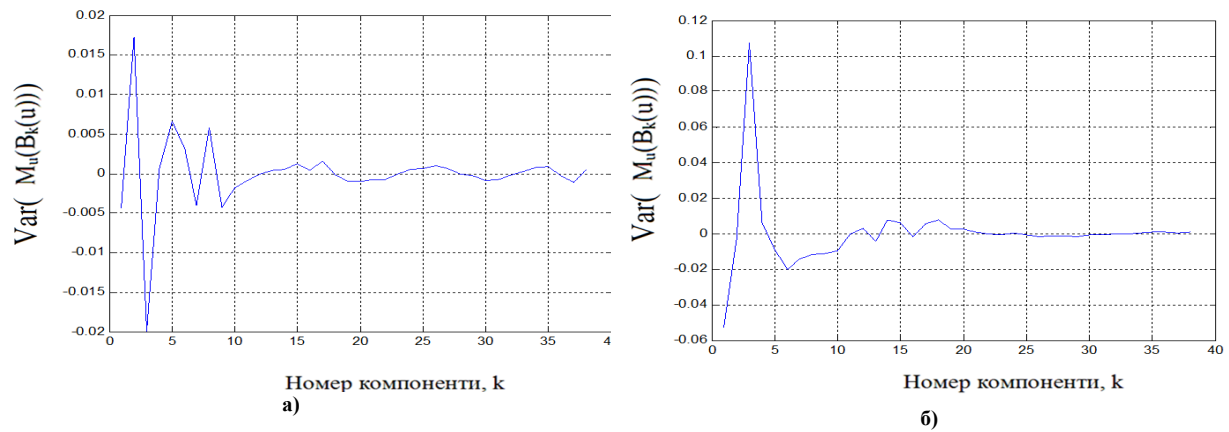


Рис. 8. Оцінки варіації потужності ритму приголосного звуку [л] для стану норми (а) та патології (б)

Висновки

Описаний модифікований синфазний метод дає можливість проведення розпізнавання функціонального стану голосового апарату шляхом обчислення та оцінювання кореляційних компонент голосових сигналів, а запропонований критерій – проведення кількісного оцінювання цього стану. Результати роботи можуть бути використані при побудові комп'ютерних систем розпізнавання функціонального стану голосового апарату людини.

Література

1. Бачинський М.В. Обґрунтування структури системи відбору акустичних сигналів для задач медичної діагностики систем дихання та голосотворення / М.В. Бачинський, В.Г. Дозорський, І.Ю. Дедів // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – Хмельницький : ХНУ, 2011. – № 3. – С. 192–195.
2. Дозорський В. Обґрунтування математичної моделі фрикативного звуку у вигляді періодично корельованого випадкового процесу / Я. Драган, Є. Яворська, В. Дозорський // Вісник тернопільського національного технічного університету ім. І. Пулюя. – Тернопіль : ТНТУ ім. І. Пулюя, 2010. – Т. 15, №10. – С. 159–164. – ISBN 1727-7108.
3. Дозорський В. Синфазний метод статистичного опрацювання фрикативних звуків для задач діагностики голосового апарату / В. Дозорський // Вісник Сумського державного університету. Технічні науки. – Суми : Видавництво СумДУ, 2012. – № 3. – С. 16–21.
4. Драган Я.П. Енергетична теорія лінійних моделей стохастичних сигналів : монографія / Я. П. Драган. – Львів : Центр стратегічних досліджень еко-біо-технічних систем, 1997. – 333 с.

References

1. M.V. Bachynskiy, V.G. Dozorskiy and I.Yu Dediv. Obgruntuvannya struktury systemy vidboru akustychnykh sygnaliv dlia zadach medychnoi diahnostryky system dykhannia ta holosotvorennia. Herald of Khmelnytsky National University. Technical sciences. Khmelnytsky. 2011. Issue 3. p.p. 192-195.
2. Ya. Dragan, Ye. Yavorska, and V. Dozorskiy. Obgruntuvannya matematychnoi modeli frykativnoho zvuku u vyhladi periodychno korelovanoho vypadkovoho protsesu / Ya. Dragan, Ye. Yavorska, V. Dozorskiy. Visnyk ternopilskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu im. I. Puliuia, 2010. – Volume 15, Issue 10. p.p. 159-164.
3. V. Dozorskiy. Synfaznyi metod statystychnoho opratsiuvannya frykativnykh zvukiv dlia zadach diahnostryky holosovoho aparatu. Visnyk Sumskoho derzhavnoho universytetu. Tekhnichni nauky. Issue 3. p.p. 16–21.
4. Ya.P. Dragan. Enerhetychna teoriia liniinykh modelei stokhastychnykh syhnaliv. Lviv. Tsentr stratehichnykh doslidzhen eko-bio-tekhnichnykh system, 1997.

Рецензія/Peer review : 11.11.2014 р.

Надрукована/Printed :29.11.2014 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Пастух О.А.