

УДК 612.78:661.831-073.97-71

ВІДБІР ТА ОПРАЦЮВАННЯ БІОСИГНАЛІВ ДЛЯ ЗАДАЧІ ВІДНОВЛЕННЯ КОМУНІКАТИВНОЇ ФУНКЦІЇ МОВИ ЛЮДИНИ

Є. Б. Яворська, О. Ф. Дозорська, В. Г. Дозорський

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя
вул. Руська, 56, м. Тернопіль, 46001, Україна. E-mail: vasilozorskiy1985@gmail.com

Виходячи з даних медичної статистики показано актуальність задачі відновлення комунікативної функції мови людини, що може бути втрачена внаслідок дисфункції органів дихальної системи чи голосового апарату людини. Для відновлення комунікативної функції застосовано принципи системно-сигнальної концепції та обґрунтовано доцільність проведення відбору і опрацювання двох груп біосигналів, що виникають в процесі реалізації цієї функції, а саме електроенцефалографічних та електроміографічних. Перша група сигналів реєструється з поверхні голови поблизу мовних центрів головного мозку, друга група реєструється з поверхні гортани поблизу голосових складок. Для реєстрації цих біосигналів запропоновано структуру системи відбору. Також запропоновано метод відновлення комунікативної функції за результатами опрацювання відібраних біосигналів. Запропонований метод придатний для відновлення комунікативної функції у людей із порушеною роботою дихальної системи та голосового апарату але із збереженою функцією центральної і периферичної нервової системи та може бути використаний для розроблення спеціалізованих медичних реабілітаційних систем.

Ключові слова: система відбору біосигналів, комунікативна функція.

ОТБОР И ОБРАБОТКА БИОСИГНАЛОВ ДЛЯ ЗАДАЧИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ КОМУНІКАТИВНОЇ ФУНКЦІЇ РЕЧІ ЧЕЛОВЕКА

Е. Б. Яворская, О. Ф. Дозорская, В. Г. Дозорский

Тернопольский национальный технический университет имени Ивана Пулюя
ул. Русская, 56, г. Тернополь, 46001, Украина. E-mail: vasilozorskiy1985@gmail.com

Исходя из данных медицинской статистики, показана актуальность задачи восстановления коммуникативной функции речи человека, которая может быть потеряна вследствие дисфункции органов дыхательной системы или голосового аппарата человека. Для восстановления коммуникативной функции применены принципы системно-сигнальной концепции и обоснована целесообразность проведения отбора и обработки двух групп биосигналов, возникающих в процессе реализации этой функции, а именно электроэнцефалографических и электромиографических. Первая группа сигналов регистрируется с поверхности головы вблизи речевых центров головного мозга, вторая группа регистрируется с поверхности гортани вблизи голосовых складок. Для регистрации этих биосигналов предложена структура системы отбора. Также предложен метод восстановления коммуникативной функции по результатам обработки отобранных биосигналов. Предложенный метод пригоден для восстановления коммуникативной функции у людей с нарушенной работой дыхательной системы и голосового аппарата но с сохраненной функцией центральной и периферической нервной системы и может быть использован для разработки специализированных медицинских реабилитационных систем.

Ключевые слова: система отбора биосигналов, коммуникативная функция.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. Мова є найважливішим засобом спілкування і пізнання, а в буквальному розумінні – системою знаків, що забезпечує процес комунікації [1–3]. При цьому, в житті кожної людини вона реалізує низку функцій, основною з яких є комунікативна. В процесі реалізації комунікативної функції задіюється значне число органів, що утворюють складну систему. Кінцевим виконавчим елементом цієї системи є органи голосового апарату (язик, губи, м'язи м'язи лиця, гортань, голосові складки тощо), в результаті злагодженої роботи яких формуються акустичні сигнали – голосові звуки, які і використовуються для обміну інформацією.

Вихідним матеріалом для формування голосових звуків є потік повітря, що створюється органами дихальної системи (легені, бронхи, трахея тощо). Злагодженість в роботі органів зазначених вище систем визначається сигналами керування – нервовими імпульсами, що надходять з мовних центрів центральної нервової системи.

Відповідно до вищесказаного, комунікативна функція мови в повній мірі може бути реалізована

виключно у випадку повноцінного функціонування центральної та периферичної нервової системи, системи дихання і органів голосового апарату. Однак, щорічно спостерігається зростання кількості людей із обмеженою або втраченою комунікативною функцією, зокрема через захворювання чи травми зазначених систем та органів (рис. 1) [4, 5].

Враховуючи зростання кількості людей із порушеною або повністю втраченою комунікативною функцією мови, важливим в області реабілітаційної медицини є завдання пошуку шляхів відновлення втраченої або компенсації порушеної комунікативної функції мови.

Мета роботи – розробка та обґрунтування опосередкованого методу відновлення втраченої або компенсації порушеної комунікативної функції мови без застосування оперативного втручання (неінвазивно) із можливістю наступної технічної реалізації у вигляді автоматизованого реабілітаційного комплексу є актуальною задачею та основною метою проведених досліджень.



Рисунок 1 – Структура причин порушень або втрати комунікативної функції мови

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. В області діагностичної та реабілітаційної медицини сьогодні застосовують опосередковані методи, що створюються на основі системно-сигнальної концепції, згідно з положеннями якої основним джерелом відомостей про роботу органів та систем є біосигнали, що можуть бути штучно викликаними або спонтанно випромінюватися в процесі роботи цих органів чи систем. На основі цього, в праці [6] описано метод, який може бути використаний при побудові технічних систем відновлення комунікативної функції мови людини, зокрема шляхом відбору та опрацювання сигналів, що характеризують нервову активність органів голосового апарату. У праці [7] запропоновано метод, що ґрунтується на відборі та опрацюванні електроенцефалографічних (ЕЕГ) сигналів, які виникають в мовних центрах головного мозку, а саме центрі Брока, центрі Верніке та асоціативному центрі. Отже, відновити втрачену комунікативну функцію мови можна шляхом належного опрацювання таких ЕЕГ сигналів, які відібрані з поверхні голови в безпосередній близькості до цих мовних центрів. В структурі відібраних ЕЕГ сигналів будуть відображатися нервові імпульси, які викликають збудження органів голосового апарату. Метою опрацювання є виділення в структурі таких ЕЕГ сигналів ознак окремих звуків подумки вимовлених слів з наступним переведенням їх в текст або озвучувану мову. Однак, описані в працях [7, 8] проведені дослідження показали, що за ЕЕГ сигналами можна визначити часові моменти, які відповідають початку та кінцю вимовляння конкретного слова, але виділення в структурі цих сигналів ознак окремих фонем, що є найменшими неподільними структурно-семантичними звуковими одиницями процесу мовлення, для ідентифікації слів є складним та потребує розроблення нових підходів до розуміння ЕЕГ сигналів та відображуваної у їх структурі інформації.

В працях [7, 8] описано суть методу відбору та опрацювання ЕЕГ сигналів для вирішення поставленої задачі. Отримані результати підтвердили узго-

дження методу з основними положеннями акустичної теорії голосотворення [9, 10], відповідно до якої у потоці видихуваного повітря (1) джерело сигналу (легені, голосові складки) формує звуковий сигнал з характерною повторюваністю – основним тоном (3), що генерується голосовими складками, котрі збуджуються послідовністю нервових імпульсів (2) (рис. 2). Відповідно, нервові імпульси, які в процесі вимови слів чи фраз керують роботою голосового апарату, формуються в окремих мовних центрах головного мозку і повинні проявлятися у структурі ЕЕГ сигналів, що відібрані з поверхні голови в безпосередній близькості до цих мовних центрів.

При цьому, проводити ідентифікацію окремих фонем (голосних та приголосних вокалізованих) можна за наявністю ознак основного тону в структурі ЕЕГ сигналів.

Однак, під час проведення експериментальних досліджень [7, 8] було встановлено, що використовуючи класичні методи ЕЕГ досліджень можна лише встановити факт наявності процесу мовлення, але розпізнати окремі слова чи фрази практично неможливо через обмежені можливості сучасних електроенцефалографів (приладів для відбору ЕЕГ сигналів) та самого методу ЕЕГ досліджень. Це пов'язано із наступними фактами:

1) основний тон, що може бути використаний для ідентифікації фонем, формується голосовими складками, котрі збуджуються послідовністю нервових імпульсів, частота яких співпадає з частотою основного тону (відповідно до положень нейрохронакисичної теорії голосотворення Р. Юссона). Ці нервові імпульси виникають в мовних центрах головного мозку і повинні відображатися в структурі ЕЕГ сигналів, що відібрані з поверхні голови в безпосередній близькості до цих мовних центрів;

2) значення частоти основного тону для чоловічого і жіночого голосу може знаходитись в діапазоні від 80 до 450 Гц [10], і саме коливні складові ЕЕГ сигналів цього діапазону частот є найбільш інформативними. Однак, верхня гранична частота, яку

можуть реєструвати сучасні електроенцефалографи, зазвичай не перевищує 100 Гц, оскільки для проведення класичних методів ЕЕГ досліджень в області медичної діагностики проводиться виділення і аналіз низькочастотних ритмів (альфа-, бета-, гама-,

дельта-, тета-, мю-ритми в частотному діапазоні від 1 до 35 Гц) [11];

3) інформація, що міститься на вищих частотах вважається надлишковою і усувається шляхом низькочастотної фільтрації.

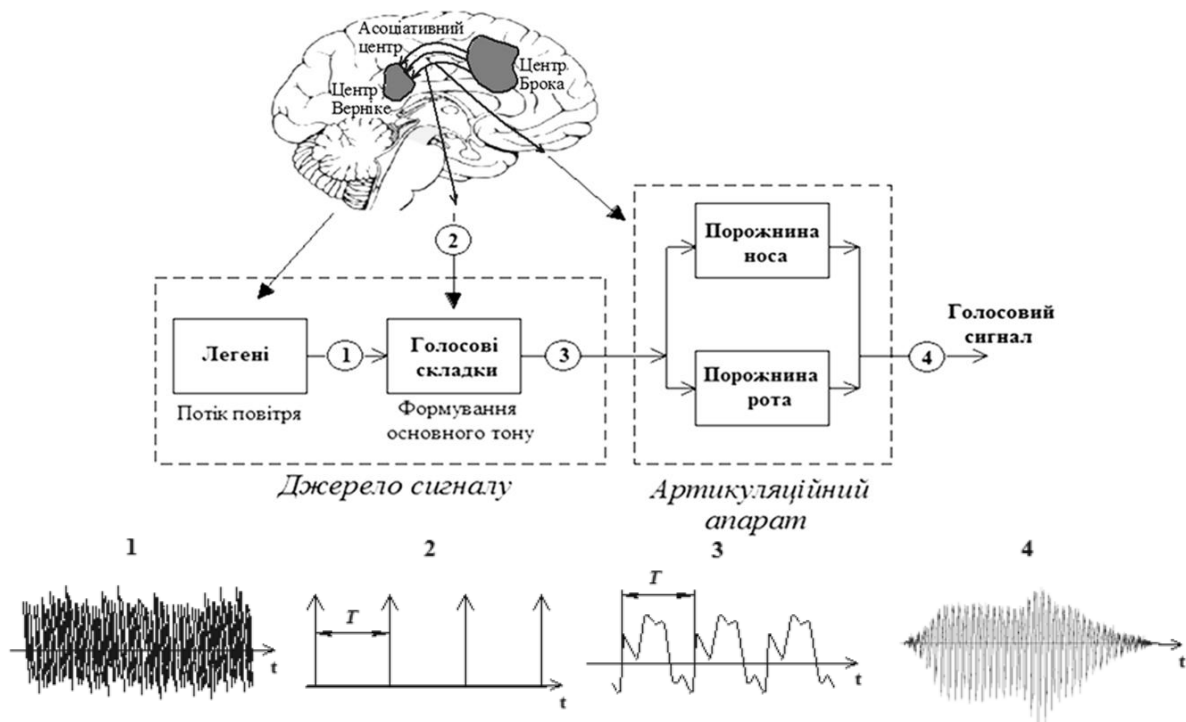


Рисунок 2 – Процес творення голосових сигналів

Відповідно, використання лише класичних методів ЕЕГ досліджень та медичних електроенцефалографів не дасть позитивного результату при розпізнаванні ознак голосових звуків в структурі ЕЕГ сигналів при вирішенні задачі відновлення комунікативної функції мови людини, оскільки ознаки наявності основного тону в структурі цих сигналів втрачаються в процесі відбору.

Для ефективного розпізнавання голосових сигналів і відновлення функції мови пропонується використати метод, що ґрунтується на паралельному опрацюванні двох груп сигналів: перші є сигналами, що відібрані з окремих органів голосового апарату – електроміографічні (ЕМГ) сигнали, відібрані з поверхні шиї поблизу голосових складок; інша група – це ЕЕГ сигнали, локалізовано відібрані з ділянок поверхні голови пацієнта, що розташовані поблизу мовних центрів. В структурі останньої групи сигналів будуть відображатися електричні образи нервових імпульсів, які ці центри будуть посилати до відповідних органів голосового апарату як ніби при вимовленні конкретного слова чи фрази. Умовно схема відбору біосигналів для задачі відновлення комунікативної функції наведено на рис. 3.

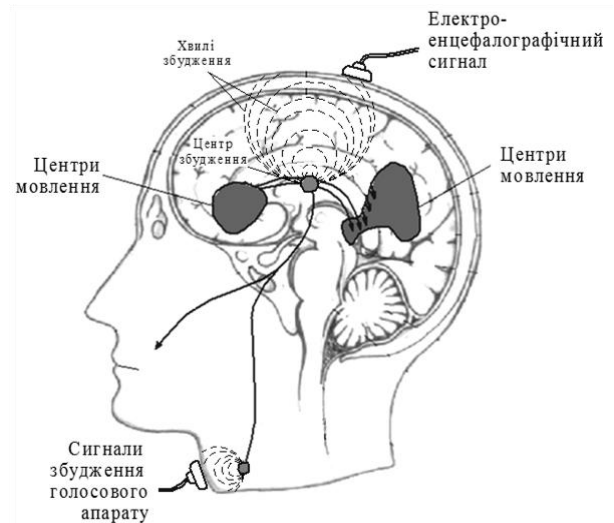


Рисунок 3 – Відбір сигналів збудження органів голосового апарату та ЕЕГ сигналів

Суть власне методу відновлення комунікативної функції зводиться до наступного:

1) відповідно до акустичної теорії голосотворення [9], елементарною складовою одиницею мовних сигналів є фонемі – окремі звуки. Вони можуть бути голосними і приголосними вокалізованими та невокалізованими;

2) формуючи певну кодову послідовність у вигляді ділянок, які відповідають голосним, приголосним вокалізованим та невокалізованим звукам (за результатами опрацювання описаних вище ЕЕГ та ЕМГ сигналів), методом підбору можна поставити у відповідність певне слово, яке найкраще підходить під отриману комбінацію звуків. Тоді, для відновлення функції мови досить отримати таку кодову послідовність;

3) поділ на окремі звуки пропонується виконувати за наявності складової основного тону (ОТ) в структурі описаних вище ЕМГ сигналів (для голосних звуків) та зміною значення ОТ (для вокалізованих приголосних звуків). Однак, якщо подумки вимовлене слово починається із приголосного невокалізованого звуку, зростає ймовірність помилки при розпізнаванні цього слова лише за ЕМГ сигналами;

4) пропонується за результатами опрацювання ЕЕГ сигналів формувати вікно початку і кінця ви-

мовленого подумки слова із наступною сегментацією цього вікна на ділянки, що відповідають голосним, приголосним вокалізованим та невокалізованим звукам, вже за результатами опрацювання ЕМГ сигналів.

Для підтвердження останнього припущення було проведено експеримент з відбору ЕЕГ сигналів в процесі вимовляння подумки окремих слів. На рис. 4 наведено приклад реєстрограм ЕЕГ сигналів (без проведення апаратної і програмної фільтрації електроенцефалографом), відібраних з поверхні голови поблизу центрів Брока та Верніке. Запис тривав 130 с. При цьому, на протязі перших 45-50 секунд піддослідна особа намагалась ні про що не думати, а на протязі решти часу – подумки промовляла певне слово з мінімальними інтервалами. На реєстрограмах це відобразилось у вигляді зміни амплітуди відповідних ЕЕГ сигналів (момент часу t_1), що характеризує підвищення мозкової активності.

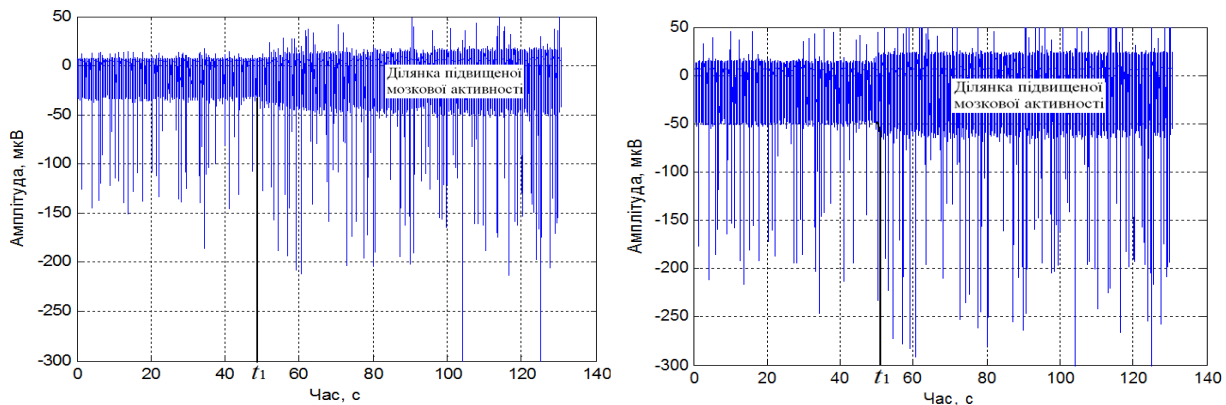


Рисунок 4 – Реєстрограми ЕЕГ сигналів, відібраних з поверхні голови поблизу мовних центрів із ознаками підвищення мозкової активності

Відповідно, за реєстрограми ЕЕГ сигналів можна формувати вікно початку і кінця вимовленого подумки слова. Слід зазначити, що зміна амплітуди ЕЕГ сигналів спостерігалася лише у відведеннях, що передбачали розміщення електродів на поверхні голови поблизу мовних центрів.

Відповідно до вище сказаного, запропоновано структуру системи відбору та опрацювання біосигналів, що реалізує описаний метод, яка наведена на рис. 5. Літерами А, В та С позначено ділянки накладання електродів для відбору ЕЕГ сигналів поблизу мовних центрів, літерами D, E – область накладання електродів для відбору ЕМГ сигналів.

Обидві групи сигналів надходять на незалежні блоки попереднього підсилення, режекторної фільтрації складових сигналів на частоті 50 Гц та блоки підсилення. Після оцифрування ці сигнали надходять на обчислювальний пристрій, який власне і виконує опрацювання та формування кодової послідовності, що складається з чергування ділянок, які відповідають голосним, приголосним вокалізованим

та нелокалізованим звукам мови.

Додатково в структурі системи для початкових етапів «навчання» програмного забезпечення проводиться паралельний відбір голосових сигналів з допомогою мікрофона М. На основі цих сигналів планується проведення виділення інформативних ознак окремих голосних та приголосних вокалізованих звуків в структурі ЕМГ сигналів. Власне процес формування кодової послідовності з голосних та приголосних звуків показано на рис. 6.

Рис. 6,а ілюструє формування вікна, що відповідає початку і кінцю процесу мовлення – заштрихована область (за результатами опрацювання ЕЕГ сигналів).

Рис. 6,б ілюструє виділення ділянок, які відповідають голосним звукам – затемнені ділянки (за результатами опрацювання ЕМГ сигналів). Рис. 6,в ілюструє ідентифікацію окремих фонем по отриманій кодовій послідовності (за результатами опрацювання голосових сигналів на етапах «навчання»).

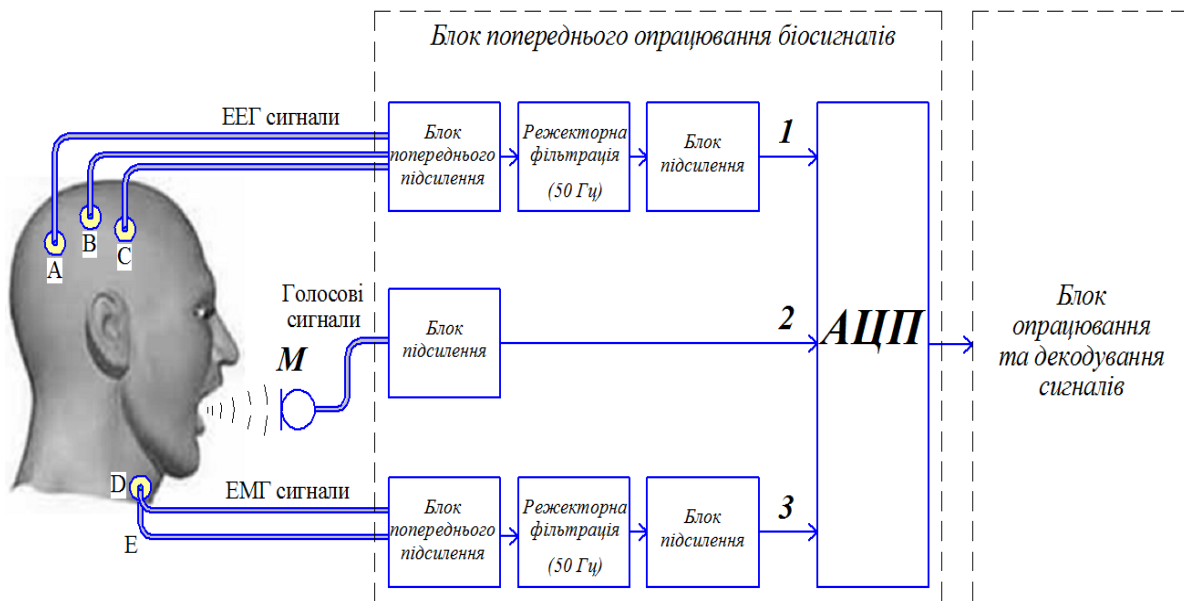


Рисунок 5 – Структура системи відбору та опрацювання біосигналів для відновлення комунікативної функції мови

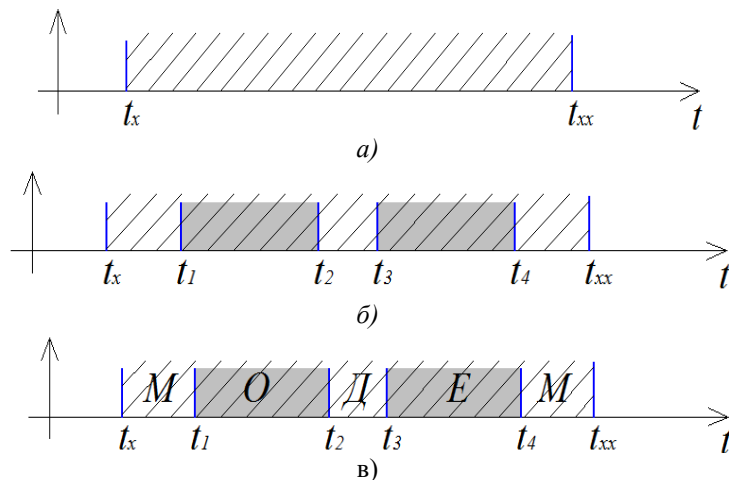


Рисунок 6 – Процес формування кодової послідовності

ВИСНОВКИ. Запропоновано метод відновлення втраченої комунікативної функції мови людини при дисфункції дихальної системи та системи голосотворення за результатами опрацювання електроміографічних та електроенцефалографічних сигналів, що виникають в процесі реалізації цієї функції. Запропоновано структуру системи та спосіб накладання електродів для відбору та опрацювання таких біосигналів. Запропонована структура системи відбору та опрацювання біосигналів може бути використана для розроблення спеціалізованих медичних реабілітаційних систем.

ЛІТЕРАТУРА

1. Українська мова. Енциклопедія / [під редакцією В.М. Русанівського, О.О. Тараненка, М.П. Зяблюка, Є.А. Карпіловської та ін.]. – К.: «Українська енциклопедія», 2004. – 833 с.
 2. Яковлев И.П. Ключи к общению. Основы теории коммуникаций. – СПб.: «Авалон», 2006. – 240 с.
 3. Почепцов Г. Теория коммуникации. – М.: СмартБук, 2009. – 651 с.

4. Секреты оториноларингологии: пер. с англ. / Б. Джафек, Е. Старк ; [под ред. Новикова Н.И., Овчинникова А.Ю.]. – М.: СПб: БИОНОМ: Невский диалект, 2001. – 624 с.
 5. Пальчун В.Т., Крюков А.И. Оториноларингология: руководство для врачей. – М.: Медицина, 2001. – 616 с.
 6. Силой мысли: Преобразование мысли в звучащее слово // <http://www.popmech.ru/technologies/7662-siloy-mysli-preobrazovanie-mysli-v-zvuchashchee-slovo>.
 7. Метод розпізнавання словесних образів за сигналами збудження органів голосового апарату для відновлення комунікативних функцій людини / М.В. Бачинський, Є.Б. Яворська, О.Ф. Чолка // Сборник научных трудов Sworld. – Выпуск 4(37). Том 7. – Иваново: МАРКОВА АД, 2014. – С. 44–46.
 8. Яворська Є.Б., Дозорська О.Ф. Метод відновлення комунікативної функції мови людини // Сборник статей научно-информационного центра «Знание» по материалам X международной заочной научно-практической конференции: «Развитие науки в

XXI веке»: сборник со статьями. – Харьков : научно-информационный центр «Знание», 2016. – С. 38–41.

9. Sadaoki Furui. Digital speech. Processing, synthesis and recognition. – Токуо : Токуо institute of technology, 2000. – 439 p. – ISBN 0-8247-0452-5.

10. Сорокин В.Н. Фундаментальные исследова-

ния речи и прикладные задачи речевых технологий // Речевые технологии. – 2008. – №1. – С. 18–49.

11. Зенков Л.Р. Клиническая электроэнцефалография. Руководство для врачей - 3-е изд. – М.: МЕ-Дпрессинформ, 2004. – 368 с.

SELECTION AND PROCESSING OF BIOSIGNALS FOR THE TASK OF HUMAN COMMUNICATIVE FUNCTION RESTORING

E. Yavorska, O. Dozorska, V. Dozorskiy

Ternopil Ivan Pul'uj National Technical University

vul. Ruska, 56, Ternopil, 46001, Ukraine. E-mail: vasildozorskiy1985@gmail.com

Purpose. For the task of compensation of lost or restoration of impaired human communicative function as a result of the transmitted diseases, surgical interventions or injuries of the respiratory system and vocal apparatus with the full functioning of peripheral nervous system and brain speech centers. **Methodology.** The principles of the system-signal concept are applied and the feasibility of selecting and processing of two biosignal groups that arise during the implementation of communicative function, namely, electroencephalographic and electromyographic signals, is grounded. The first group of signals is registered from the head surface near the brain speech centers, the second group is registered from the laryngeal surface near the vocal folds. **Results.** The structure of system of electromyographic and electroencephalographic signals selection is proposed. Also, the method of communicative function restoration by the results of processing such biosignals is proposed. The essence of the method lies in the formation of a certain code sequence, the elements of which characterize the presence of vowels and consonant sounds in the mindset of the spoken word. The beginning and end of the speech process is determined by the results of electroencephalographic signals processing with the subsequent allocation of sites corresponding to vowels and consonant sounds by the results of electromyographic signals processing. **Originality.** For the first time, for the task of the human communicative function restoring, it is proposed to select and process electroencephalographic signals, registered from the surface of the head near the brain speech centers, and electromyographic signals, registered from the laryngeal surface near the vocal folds. The results of the work confirmed the coincidence of theoretical and experimental data. **Practical value.** The proposed method is suitable for restoring the communicative function in people with impaired functioning of the respiratory system and the vocal apparatus, but with the preserved function of the central and peripheral nervous system and can be used for the development of specialized medical rehabilitation systems. References 12, figures 6.

Key words: biosignal selection system, communicative function.

REFERENCES

1. Rusanivs'kyi, V.M., Taranenko, O.O., Zyabliuk, M.P., Karpilovs'ka, YE.A. and others (2004), *Ukrayins'ka mova. Entsyklopediya* [Ukrainian language. Encyclopedia]. "Ukrainian Encyclopedia", Kyiv, Ukraine.

2. Yakovlev, I.P. (2006), *Klyuchi k obshcheniyu. Osnovy teorii komunikatsiy* [Keys to communication. Fundamentals of the theory of communications]. «Avalon», St. Petersburg, Russia.

3. Pocheptsov, H. (2009), *Teoryya kommunykatsyy* [Theory of Communication]. SmartBuk, Moskov, Russia.

4. Jafek, B. and Stark, A. (1995) ENT secrets. PA: Hanley & Belfus, Philadelphia, USA.

5. Pal'chun, V.T. and Kryukov, A.Y. (2001), *Otorinolarynhologyya: rukovodstvo dlya vrachey* [Otorhinolaryngology: manual for doctors]. Medicine, Moscow, Russia.

6. Syloy mysly: *Preobrazovanye mysly v zvuchashchee slovo* [The Power of Thought: The Transformation of Thought into the Sounding Word] // <http://www.popmech.ru/technologies/7662-siloy-mysli-preobrazovanie-mysli-v-zvuchashchee-slovo>.

7. Bachyns'kyi, M.V., Yavors'ka, YE.B. and Cholka, O.F. (2014) "The method of recognition of verbal images by signals of excitation of the vocal apparatus organs for the restoration of human communicative functions", *Sbornyk nauchnykh trudov Sworld, Vypusk 4(37). Tom 7*, [Compilation of Sworld Scientific

Works, Issue 4 (37). Volume 7], Ivanovo: MARKOVA AD, Russia, 2014, pp. 44-46.

8. Yavors'ka, YE.B. and Dozors'ka, O.F. (2016), "The method of restoring the human speech communicative function", *Sbornyk statey nauchno-informatsyonnoho tsentra «Znanye» po materyalam X mezhdunarodnoy zaochnoy nauchno-praktycheskoy konferentsyy: «Razvytye nauky v XXI veke»*, [The materials of the X international correspondence scientific-practical conference "Development of science in the XXI century"], Scientific and information center "Knowledge", Kharkiv, Ukraine, 2016, pp. 38-41.

9. Sadaoki Furui (2000), Digital speech. Processing, synthesis and recognition. Tokyo institute of technology, Tokyo, Japan.

10. Sorokin, V.N. (2008), "Fundamental speech research and applied problems of speech technologies", *Rechevyye tekhnologii, Nauchno-prakticheskiy zhurnal*. Moscow, Russia, pp. 18-49.

11. Zenkov, L.R. (2004), *Klynycheskaya elektroéntsefalohrafiya. Rukovodstvo dlya vrachey* [Clinical electroencephalography. Manual for doctors], MEDpressinform, Moskov, Russia.

Стаття надійшла 05.06.2017.