

**УДК 612.78:661.831-073.97-71:519.24**

**Оксана Дозорська**

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

**ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ТА МЕТОДІВ  
ОПРАЦЮВАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЦЕФАЛОГРАФІЧНИХ І  
ЕЛЕКТРОМІОГРАФІЧНИХ СИГНАЛІВ ДЛЯ ЗАДАЧІ ОПОСЕРЕДКОВАНОГО  
ВІДНОВЛЕННЯ КОМУНІКАТИВНОЇ ФУНКЦІЇ ЛЮДИНИ**

На основі порівняльного аналізу можливостей, що їх дають математичні моделі електроенцефалографічного та електроміографічного сигналів у вигляді суміші детермінованих функцій та стаціонарного випадкового процесу, проведено обґрунтування вибору математичної моделі таких сигналів у вигляді кусково стаціонарного випадкового процесу та методів опрацювання.

Ключові слова: електроенцефалографічний сигнал, електроміографічний сигнал, математична модель

**Oksana Dozorska**

**THE GROUNDING OF CHOICE THE MATHEMATICAL MODEL AND  
METHODS OF ELECTROENCEPHALOGRAPHIC AND  
ELECTROMYOGRAPHIC SIGNALS PROCESSING FOR THE MEDIATE  
RESTORATION OF HUMAN COMMUNICATIVE FUNCTION**

On the basis of comparative analysis of the possibilities given by mathematical models of electroencephalographic and electromyographic signals in the form of a mixture of deterministic functions and stationary random process, the choice of mathematical model of such signals in the form of a piecewise stationary random process and methods of processing was made.

Keywords: electroencephalographic signal, electromyographic signal, mathematical model

В працях [1,2] обґрунтовано актуальність задачі опосередкованого відновлення комунікативної функції людини і запропоновано спосіб такого відновлення, що ґрунтується на паралельному відборі та опрацюванні електроенцефалографічних (ЕЕГ) і електроміографічних (ЕМГ) сигналів. В структурі цих біосигналів буде міститись інформація про роботу усіх органів, що задіюються в процесі реалізації комунікативної функції. Для отримання необхідної інформації про процес реалізації комунікативної функції необхідним є обґрунтування вибору способу математичного опису таких біосигналів та методів їхнього опрацювання. Методи опрацювання визначатимуть алгоритми функціонування програмного забезпечення технічних засобів опосередкованого відновлення комунікативної функції. При цьому, відсутні методи опрацювання таких паралельно зареєстрованих біосигналів для задачі відновлення комунікативної функції людини.

Відповідно до запропонованого способу опосередкованого відновлення комунікативної функції людини [1,2], в структурі ЕЕГ сигналів повинні проявлятися ознаки зміни мозкової активності при реалізації комунікативної функції, а в структурі ЕМГ сигналів – ознаки наявності основного тону (ОТ) при вимовлянні (подумки) голосних та приголосних вокалізованих звуків.

Проаналізовано основні типи математичних моделей, відповідні методи опрацювання та інформативні ознаки, що отримуються при цьому. В найпростішому випадку ЕЕГ та ЕМГ сигнали можуть бути подані в рамках детерміністського підходу

у вигляді суміші періодичних функцій. При цьому, можливим стає застосування методів морфологічного, гармонічного та формантного аналізу. Методи морфологічного аналізу практично не застосовуються самі по собі. Методи ж формантного аналізу ґрунтуються на оцінюванні амплітудних спектрів сигналів, що отримуються в рамках гармонічного аналізу. Тому, основна інформація із ЕЕГ та ЕМГ сигналів при такому підході може бути отримана у випадку застосування саме гармонічного аналізу. При цьому, в стані спокою (коли не реалізується комунікативна функція) оцінки амплітудних спектрів вибірок з цих сигналів повинні бути стійкі до часових зсувів (для виявлення ознак процесу мовлення). Однак помічено, що оцінки амплітудних спектрів є мінливими в стані спокою, тому виявити ознаки процесу мовлення в структурі ЕЕГ та ЕМГ сигналів цим методом складно. Мінливість амплітудних спектрів вказує на присутність випадкової складової в структурі ЕЕГ та ЕМГ сигналів.

Відомим є спосіб подання цих біосигналів у вигляді стаціонарного випадкового процесу [3], що передбачає незмінність ймовірнісних характеристик ЕЕГ та ЕМГ сигналів у часі. Однак, в структурі таких біосигналів повинні проявлятися ознаки реалізації комунікативної функції, що, в свою чергу, призведе до зміни їхніх ймовірнісних характеристик, а виявлення часових моментів появи цих ознак становить основу запропонованого способу опосередкованого відновлення комунікативної функції, оскільки за змінами часової структури ЕЕГ сигналів необхідно знаходити часові моменти початку та закінчення процесу мовлення, а у випадку ЕМГ сигналів – необхідно знаходити часові моменти появи ознак ОТ в структурі цих сигналів. Отже модель ЕЕГ та ЕМГ сигналів у вигляді стаціонарного процесу не буде адекватною досліджуваній задачі опосередкованого відновлення комунікативної функції людини.

Для обґрунтування математичної моделі ЕЕГ та ЕМГ сигналів висунуто наступні припущення: 1) ділянки ЕЕГ та ЕМГ сигналів в стані спокою – при відсутності процесу мовлення за незмінних додаткових факторів (емоційний стан, положення пацієнта в просторі, заплющені очі, зовнішні впливи) – будуть стаціонарними; ділянки ЕЕГ та ЕМГ сигналів при реалізації комунікативної функції будуть стаціонарними, але з відмінними від аналогічних ділянок для стану спокою параметрами (статистичні оцінки, їхні розподіли тощо). Задача виявлення проявів в структурі ЕЕГ та ЕМГ сигналів ознак процесу реалізації комунікативної функції зведеться до задачі виявлення характерних для такого процесу змін властивостей цих біосигналів. Відповідно, як математичну модель ЕЕГ та ЕМГ сигналів використано кусково стаціонарний випадковий процес. При цьому, поставлена задача зводиться до задачі виявлення часових моментів появи зміни параметрів стаціонарних ділянок ЕЕГ та ЕМГ сигналів.

Для опрацювання пропонується використати методи спектрально-кореляційного аналізу стаціонарних випадкових процесів, а опрацювання сигналів проводити на інтервалах часу визначеної тривалості (в межах ковзного вікна).

Запропоновано метод опрацювання ЕЕГ сигналів для виявлення часових моментів появи ознак реалізації комунікативної функції людини, що включає в себе наступні етапи: 1) формування ковзного вікна заданої ширини, яке транслюється в часі по реєстрограмі ЕЕГ сигналу; 2) в межах кожної трансляції ковзного вікна проводиться оцінювання розподілу спектральної густини потужності ЕЕГ сигналу; 3) проводиться усереднення оцінок розподілу спектральної густини потужності; 4) на основі отриманих усереднених оцінок розподілу спектральної густини потужності проводиться формування критерію прийняття рішення про наявність ознак реалізації комунікативної функції людини.

Також запропоновано метод опрацювання ЕМГ сигналів для виявлення часових моментів появи ознак ОТ, що включає в себе наступні етапи: 1) формування ковзного

вікна заданої ширини, яке транслюється в часі по реєстрограмі ЕМГ сигналу; 2) в межах кожної трансляції ковзного вікна проводиться оцінювання розподілу спектральної густини потужності ЕМГ сигналу; 3) проводиться оцінювання наявності максимуму в розподілі спектральної густини потужності в діапазоні 80-210 Гц для ЕМГ, знятої з пацієнтів чоловічої статі, і в діапазоні 150-450 для ЕМГ, знятої з пацієнтів жіночої статі (формантний аналіз); 4) проводиться оцінювання інтервалу існування частоти основного тону (ЧОТ); 5) проводиться виявлення наявності максимумів оцінок розподілу спектральної густини потужності ЕМГ сигналу у визначеному попередньо інтервалі існування ЧОТ; 6) на основі отриманих результатів наявності максимумів проводиться формування критерію прийняття рішення про наявність ознак ОТ в структурі ЕМГ сигналів.

Оцінювання інтервалу існування ЧОТ проводилось за правилом трьох  $s$ , де  $s$  – кореговане стандартне відхилення для вибірки  $x$  (масив значень ЧОТ). При цьому, вибірка  $x$  має бути сформована експериментально із використанням формантного аналізу шляхом оцінювання частоти розміщення першого максимуму оцінок розподілу спектральної густини потужності із тестових сигналів ЕМГ, під час знімання яких пацієнт намагається вимовляти окремі голосні та приголосні вокалізовані звуки.

В запропонованих методах опрацювання ЕЕГ та ЕМГ сигналів оцінки часових моментів початку та закінчення процесу мовлення а також ознак ОТ будуть інтервальними (запропоновані методи дають можливість визначати часові інтервали, в межах яких будуть знаходитись ці оцінки), тому проведено обґрунтування вибору параметрів ковзного вікна з метою мінімізації похибки значень шуканих часових моментів. Основними параметрами ковзного вікна є його ширина та зсув у часі.

Для обчислення значення ширини вікна запропоновано вираз:  $T_{\text{вікно}} = N / f_{\text{осн.тону}}$ , де  $T_{\text{вікно}}$  – ширина вікна;  $f_{\text{осн.тону}}$  – середнє значення ЧОТ;  $N$  – коефіцієнт, значення якого обґрунтовується результатами досліджень Мулонге ( $N$  приблизно рівне 50).

Від величини зсуву вікна у часі буде залежати точність визначення часових моментів появи ознак процесу мовлення та ознак ОТ в структурі ЕЕГ та ЕМГ сигналів відповідно. Максимальна точність буде досягнута у випадку зсуву вікна на величину кроку дискретизації ЕЕГ та ЕМГ сигналів.

Запропонована математична модель та методи опрацювання паралельно зареєстрованих ЕЕГ і ЕМГ сигналів дають можливість виявлення часових моментів появи ознак процесу мовлення в структурі цих біосигналів із наступним розпізнаванням мови, та можуть бути втілені в технічних системах опосередкованого відновлення комунікативної функції мови.

### Література

1. Дозорська О.Ф. Відбір та опрацювання біосигналів для задачі відновлення комунікативної функції мови людини / О.Ф. Дозорська, В.Г. Дозорський, Є.Б. Яворська // Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. – Кременчук: КрНУ, 2017. – Випуск 4(105) – С. 9-14.
2. Яворська Є. Метод опрацювання біосигналів для задачі відновлення комунікативної функції людини / Є. Яворська, В. Дозорський, Л. Дедів, О. Дозорська // «Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки». – К.: Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського, 2018. – Т. 29 (68), № 4. – С. 26-30.
3. Сахаров В.Л. Методы математической обработки электроэнцефалограмм: Учебное пособие. / В.Л. Сахаров, А.С. Андреенко. – Таганрог: "Антон", 2000. – 44 с.:ил.