

## МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ЕЛЕКТРОРЕТИНОГРАФІЧНОГО СИГНАЛУ

*Розроблено математичну модель електроретинографічного сигналу у вигляді синусоїди з експонентційним згасанням на характерних часових рівнях. Використовуючи засоби програмного забезпечення Matlab реалізовано програму з графічним інтерфейсом, яка імітує даний сигнал за відомими параметрам патологій і норм (амплітуди, часові тривалості).*

### Вступ

Одним з найважливіших органів відчуттів людини є око. Явище зору є предметом вивчення багатьох наукових дисциплін, а саме таких як фізіологія і психологія, молекулярна і мембранна біологія, світло-, теле-, і фототехніка та офтальмологія. Одна із задач офтальмології — сприяння ефективному вирішенні проблеми ранньої і оперативної діагностики хвороб ока [1].

Для діагностики функціонального стану зорової системи застосовують цілу низку стандартних методик. Одними з них є методики, побудовані на основі аналізу електроретинографічного сигналу (ЕРС) — зареєстрованого сумарного електропотенціального відгуку клітин сітківки ока на зовнішнє світлове подразнення [1].

На сьогодні існують моделі ЕРС, а саме модель у рамках фізико-хімічної моделі, яка зображена у вигляді суми кількох компонент, які породжуються різними групами нейронів [2, 3, 4]. Згідно даної моделі, кожна компонента представлена одним екстремумом. Вимірювання вказаних діагностичних ознак здійснюється вручну і супроводжується значними похибками. Модель детермінована і про точність її наступного відтворення, як правило, мова не йде.

Також в роботах Яворського Б.І. і Юзьківа А.В. [5], модель представлена у вигляді затухаючої синусоїди, яка описує механізм породження ЕРС. Основним недоліком даної моделі є складність підбору вхідних параметрів для відтворення норми чи патології.

Тому створення нових моделей ЕРС, які би дали можливість забезпечити параметричну ідентифікацію з достовірним відтворенням даних є актуальною задачею.

### 1. Основні інформативні ознаки ЕРС

Електроретинографічний сигнал (ЕРС) – це графічне відображення зміни біологічної активності клітин сітківки ока у відповідь на світлове подразнення, зареєстроване за допомогою електродів накладених на око. На рисунку 1 представлено схему, за допомогою якої проводять реєстрацію ЕРС [1,2].

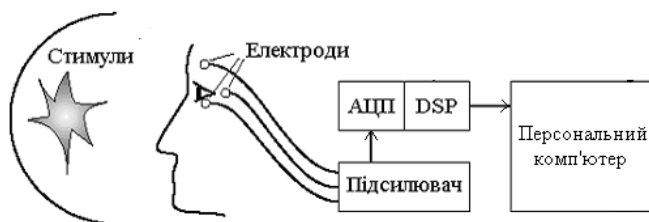


Рис. 1. Схема реєстрації ЕРС

ЕРС складається з від'ємної „а”- хвилі, яка генерується фоторецепторами, позитивної „b”-хвилі в появі якої приймають участь біполяри, гліальні клітини Мюллера. Кожен із компонентів ЕРС при певних умовах запису відображає функціональний стан фотопічної і скотопічної систем. У лікарській практиці, як діагностичні параметри використовуються тільки „хвиля а” і „хвиля b” та їх амплітудно-часові характеристики (рисунок 2) [1].

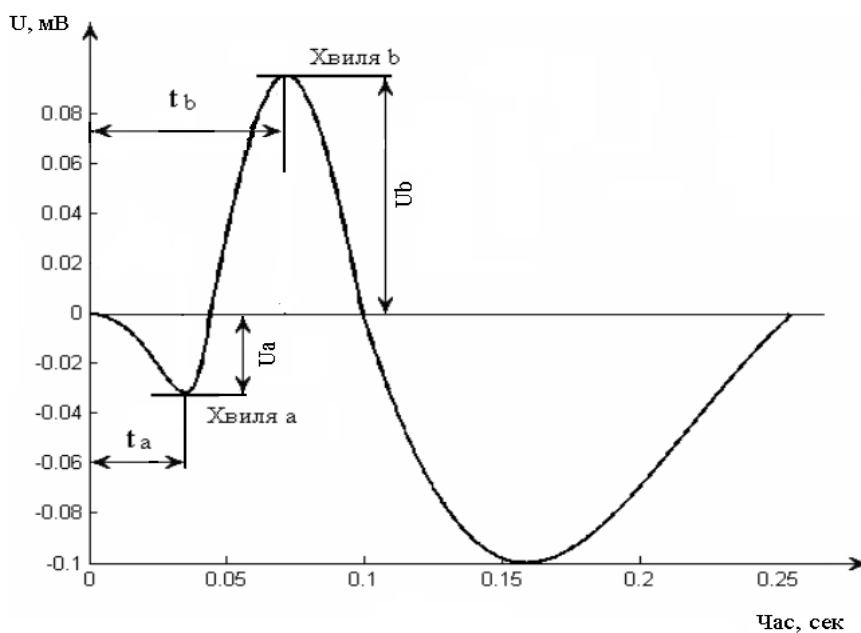


Рис. 2 Загальний вигляд ЕРС і його лікарські діагностичні параметри

## 2. Математична модель ЕРС

Оскільки, основними інформаційними параметрами в ЕРС є піки хвиль та їх тривалості (як видно з рисунку 2), які є достатніми у лікарській практиці для встановлення діагнозу, то побудуємо математичну модель, яка врахує всі вище приведені параметри.

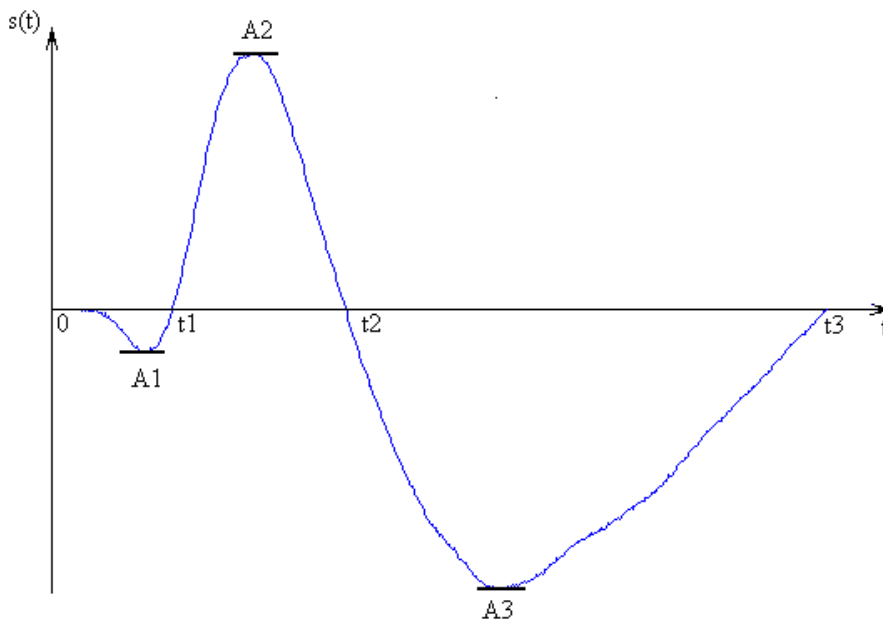


Рис. 3. Основні параметри ЕРС  
( $A1$ - $A3$  – амплітуди піків хвиль,  $t1$ - $t3$  – часові тривалості хвиль)

З рисунку 3 видно, що на певних інтервалах ЕРС веде себе як синусоїда з характерними експонентційними затуханнями на цих інтервалах. Тому використовуючи вище сказане, побудуємо модель у вигляді синусоїди із експонентційним затуханням на характерних часових рівнях, яка врахує всі вище наведені медичні діагностичні параметри:

$$s(t) = \begin{cases} A_1 \sin\left(\frac{2\pi t}{f_1}\right) \cdot e^{-t \cdot K_1} \cdot S_1 & t \in [t_1, t_2] \\ A_2 \sin\left(\frac{2\pi t}{f_2}\right) \cdot e^{t \cdot K_2} \cdot S_2 & t \in [t_2, t_3] \\ A_3 \sin\left(\frac{2\pi t}{f_3}\right) \cdot e^{-t \cdot K_3} \cdot S_3 & t \in [t_3, t_4] \end{cases} \quad (1)$$

де

$A_1, A_2, A_3$  - амплітуди хвиль;

$f_1, f_2, f_3$  - частоти коливань синусоїд (в даному випадку для півперіоду);

$K_1, K_2, K_3$  - коефіцієнти нахилу;  $S_1, S_2, S_3$  - масштабні коефіцієнти.

Приведемо систему рівнянь (1) до одного виразу :

$$s_j(t) = A_j \sin\left(\frac{2\pi t}{f_j}\right) \cdot e^{-t \cdot K_j} \cdot S_j, \quad t \in [t_{1j}, t_{2j}] \quad (2)$$

де  $j$  – номер хвилі на певних інтервалі  $t \in [t_{1j}, t_{2j}]$

### 3. Реалізація моделі засобами програмного забезпечення Matlab

За допомогою утиліти GUDE Quick Start, яка є інтегрованою в Matlab, було створено програмний модуль з графічним інтерфейсом (рисунок 4), який імітує модель ЕРС на основі рівняння (2).

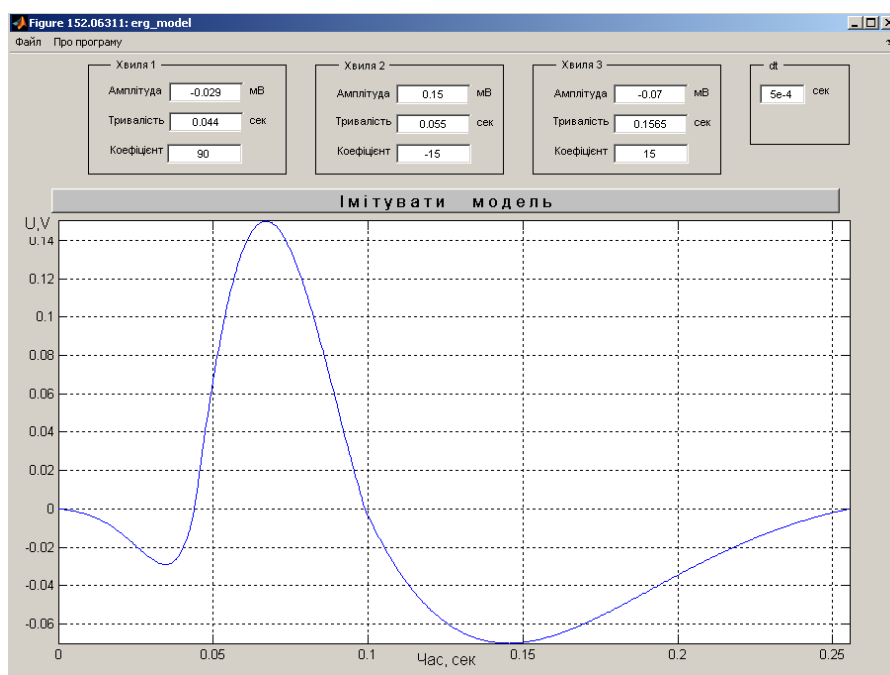


Рис. 4. Інтерфейс програми моделювання ЕРС

Математична модель електроретинографічного сигналу підтверджується експериментальними даними (рисунок 5).

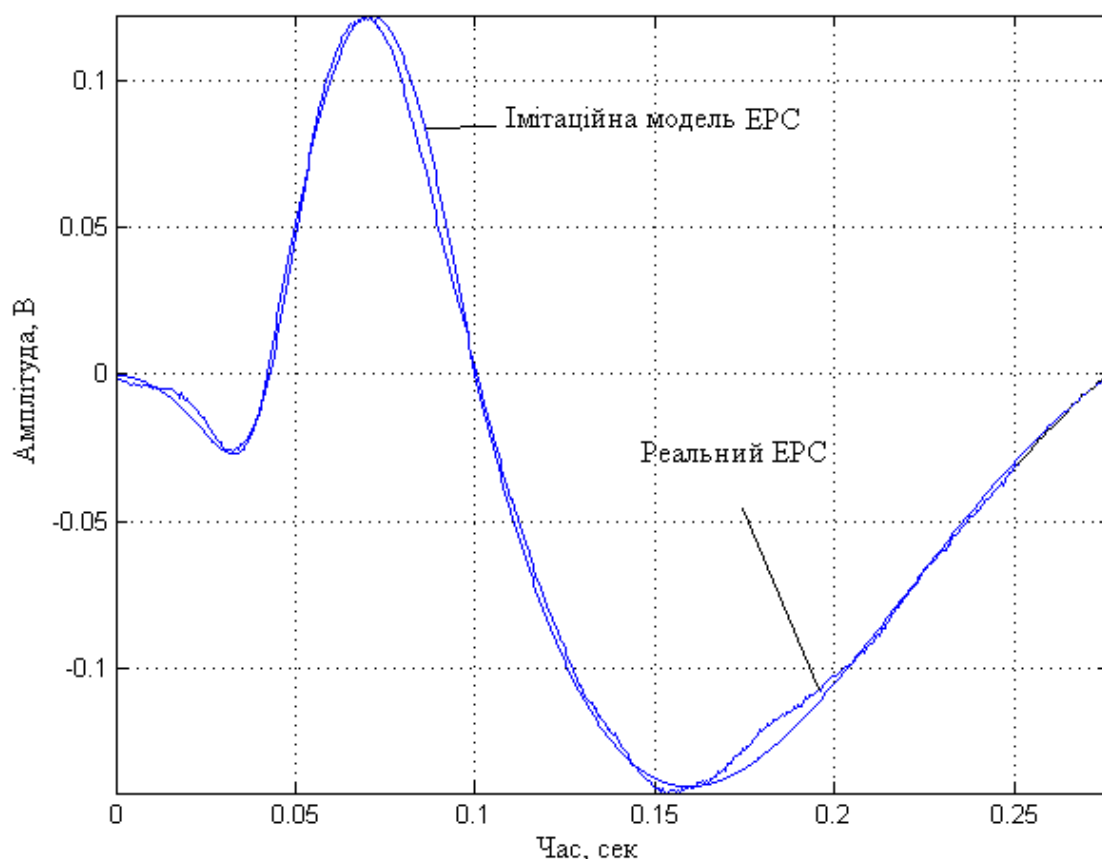


Рис. 5. Порівняння експериментально відібраного і змодельованого ЕРС

## Висновки

Розроблена модель електроретинографічного сигналу у вигляді синусоїди з експонентційним затуханням на характерних часових рівнях дає можливість по відомих медичних параметрах моделювати сигнали патологій і норм. Використовуючи засоби програмного забезпечення Matlab реалізовано програму з графічним інтерфейсом, яка імітує даний сигнал.

## Література

1. Электроретинография в оценке функции сетчатки при катаракте. Методические рекомендации / Зуева М.В., Шамшинова А.М., Цапенко И.В., Яковлев А.А. // Московский НИИ глазных болезней им. Гельмогольца. – М.: Типорг. Минздрав РСФСР, 1990. -24 с.
2. Семеновская Е.Н. Электрофизиологические исследования в офтальмологии. – М.: Медгиз, 1963. – 297 с.
3. Хьюбел Д. Глаз, мозг, зрение: Пер. с англ. – М.:Мир, 1990.-24 с.
4. Педхем И. Сондерс Дж. Восприятие света и цвета. –Пер. с англ.-М.:Мир, 1978-256с.
5. Юзьків А.В., Яворський Б.І. Математичне моделювання електроретинографічних сигналів.//Вісник ТДТУ імені Івана Пулюя.- № 2, 1997р.-С. 40-45