

УДК 617.75.089.28:004.451.7.031.43 (045)
DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2025.1.1/06>

Монченко О.В.

Державне некомерційне підприємство
«Державний університет «Київський авіаційний інститут»

Кучеренко В.Л.

Державне некомерційне підприємство
«Державний університет «Київський авіаційний інститут»

Тищенко Є.О.

Державне некомерційне підприємство
«Державний університет «Київський авіаційний інститут»

Марченко Н.Б.

Державне некомерційне підприємство
«Державний університет «Київський авіаційний інститут»

Чубко Л.С.

Державне некомерційне підприємство
«Державний університет «Київський авіаційний інститут»

МОДЕРНІЗАЦІЯ РОБОТИ РЕТИНАЛЬНОГО ЗОРОВОГО ПРОТЕЗА ДЛЯ ОТРИМАННЯ ЯКІСНОГО ЗОБРАЖЕННЯ З ІМПЛАНТУ СІТКІВКИ

У статті розкрито та визначено сучасні виклики та розробки у області ретинальних зорових протезів, що відкриває нові горизонти для відновлення зору людей з важкими ушкодженнями сітківки, акцентуючи на необхідності модернізації технологій для підвищення якості сприйнятого зображення. Проведено аналіз поточного стану протезування, розроблено новітні методи обробки сигналів та експериментальне тестування. Матеріали статті спрямовані на забезпечення глибшого розуміння процесів, що лежать в основі покращення візуального сприйняття через ретинальні протези. Досліджено шляхи вдосконалення технічних характеристик імплантів задля максимального наближення якості відтвореного зображення до природного зору, відкриваючи тим самим нові можливості для візуальної реабілітації.

Розроблено нове програмне забезпечення, що мінімізує шуми і покращує роздільну здатність, стає ключовим елементом у досягненні поставленої мети. Акцентовано увагу на мультидисциплінарному підході, об'єднуючи зусилля в областях нейронауки, біомедичної інженерії та матеріалознавства для створення комплексних рішень, здатних відтворювати високоякісне зображення. У статті висвітлено взаємодію між технологіями та людським зором для створення проривних рішень у відновленні зору.

Ключові слова: ретинальні протези, модернізація, якість зображення, обробка сигналів, відновлення зору, сітківка, експериментальне тестування, технологічний розвиток, візуальна реабілітація.

Постановка проблеми. Статистика свідчить про зростаючу кількість людей, які стикаються з проблемами зору, що значно знижує якість їхнього життя. Значне зростання кількості людей, які страждають на важкі вади зору та сучасні досягнення в області біомедичної інженерії та нанотехнологій відкривають нові можливості для створення ефективних рішень, здатних відновити втрачені зорові функції [1-2]. Проте, попри значний прогрес у цій галузі, існують

численні виклики та обмеження, пов'язані з інтеграцією протезів, їхньою функціональністю та забезпеченням високої якості зображення для користувачів. Це створює необхідність подальших досліджень та розробок у цьому напрямку. Стаття зосереджена на аналізі сучасних розробок ретинальних зорових протезів та висвітлює розробку нового підходу до модернізації роботи цих пристроїв [3-4]. Основною метою є покращення якості зображення, яке отримують користувачі, за

рахунок використання інноваційних матеріалів, технологій та алгоритмів обробки даних. Важливість теми дослідження обумовлена не тільки науковими та технічними аспектами, але й соціальним впливом, адже вдосконалені ретинальні протези можуть значно покращити якість життя людей з обмеженими можливостями зору, дозволяючи їм краще адаптуватися до повсякденного життя, збільшити їхню самостійність та соціальну активність [5-6]. Розвиток цієї галузі має велике значення для медичної науки, технологій та суспільства в цілому, відкриваючи нові горизонти для подолання вад зору [7-9].

За результатами дослідження, ми очікуємо не лише підвищення роздільної здатності зображення, але й зменшення енергоспоживання протеза, що має велике значення для тривалого комфортного використання. Такі досягнення стануть вагомим внеском у розвиток технологій допомоги людям з обмеженими можливостями та сприятимуть подальшим науковим дослідженням у цій галузі.

У цьому контексті дослідження є важливим кроком на шляху до розробки більш ефективних та доступних рішень для людей, які втратили зір, і відкриває нові перспективи для подальшого вдосконалення технологій відновлення зору.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сучасні зорові протези представляють собою високотехнологічні рішення, розроблені з метою часткового відновлення зорових функцій у людей з вадами зору [10]. Ці пристрої варіюються від електронних імплантатів, які стимулюють зоровий нерв або сітківку, до складних систем, що включають камери та мікрочіпи для перетворення зображень з зовнішнього середовища у зорові сигнали. Останні дослідження у цій галузі спрямовані на покращення якості сприйняття, збільшення роздільної здатності та створення більш натуралістичних зорових вражень для користувачів.

Проте, незважаючи на значний прогрес, існуючі зорові протези все ще мають суттєві обмеження [11]. Однією з основних проблем є обмежена роздільна здатність, що впливає на деталізацію сприйняття зображення. Це пов'язано з технічними обмеженнями імплантатів та обмеженою кількістю електродів [12], що можуть бути безпечно імплантовані в зорову систему людини. Крім того, користувачі зорових протезів часто стикаються з проблемами адаптації та інтерпретації сигналів, особливо в умовах зовнішнього шуму, що може спотворювати або зменшувати якість

переданого зображення. Ще одним важливим обмеженням є висока вартість зорових протезів та їх імплантації, що робить їх недоступними для широкого кола пацієнтів у багатьох країнах світу [13]. Також варто зазначити проблеми, пов'язані з тривалістю життя пристроїв, необхідністю їх регулярної заміни або модернізації, а також потенційними ризиками та ускладненнями, що можуть виникати під час або після хірургічного втручання.

Враховуючи зазначені виклики, очевидною стає потреба у подальших дослідженнях та розробках в області зорових протезів. Особливу увагу слід приділити покращенню технологій обробки та фільтрації сигналів для мінімізації впливу шумів, розробці нових матеріалів та методів імплантації [14], що дозволять збільшити роздільну здатність та тривалість служби пристроїв, а також знизити їх вартість для забезпечення ширшого доступу до цих життєво важливих технологій. Шум у зорових протезах є критичним фактором, який може значно погіршити якість сприйняття зображення користувачами цих пристроїв [15]. Шумові ефекти виникають внаслідок різноманітних джерел, зокрема електронного шуму компонентів протезу, впливу зовнішнього середовища та непередбачуваної взаємодії з біологічними тканинами. Ці шуми можуть викликати спотворення сигналу, який передається до зорового нерву, що, в свою чергу, призводить до зниження якості та точності зорового сприйняття.

Особливо важливим є вплив шуму на сприйняття контрастності та деталізації зображення. Шум може «замаскувати» слабкі сигнали, що надходять від мікрочіпа протезу до сітківки, роблячи неможливим розрізнення між відтінками або деталями зображення. Це стає значною перешкодою для ефективності зорових протезів, оскільки однією з основних їхніх цілей є відновлення спроможності користувачів розпізнавати об'єкти та орієнтуватися в просторі. Крім того, шум впливає на стабільність зорового сприйняття, викликаючи випадкові або помилкові зорові враження, які можуть дезорієнтувати користувача. Для мінімізації цих ефектів розробники зорових протезів вдаються до використання різноманітних технік фільтрації та обробки сигналів, спрямованих на підвищення якості передачі сигналів і зниження впливу шумових факторів.

Таким чином, дослідження та розробка методів боротьби з шумом у зорових протезах є ключовим елементом у покращенні якості зорового сприйняття користувачів. Впровадження новітніх

технологій обробки сигналів, здатних ефективно відфільтровувати шум та підсилювати корисний сигнал, відкриває нові можливості для подальшого вдосконалення функціональності та ефективності зорових протезів, роблячи їх більш доступними та комфортними для користувачів [16].

Постановка завдання. Мета дослідження полягає в модернізації ретинального зорового протеза для значного покращення якості зображення, що отримує користувач.

Основною метою дослідження є розробка програмного забезпечення, спрямованого на зменшення впливу шуму на якість передачі сигналів у зорових протезах. Це програмне забезпечення має на меті оптимізувати обробку сигналів, що надходять від зорових протезів до зорового нерва, забезпечуючи тим самим покращене сприйняття зображення для користувачів. Передбачається, що застосування спеціалізованих алгоритмів фільтрації та обробки дозволить значно знизити рівень шуму, який впливає на якість зорових вражень, підвищуючи таким чином ефективність зорових протезів.

Успішна реалізація цієї мети вимагає вирішення низки задач, серед яких:

1. Аналіз існуючих методів обробки сигналів в зорових протезах та виявлення основних джерел шуму.
2. Розробка нових алгоритмів фільтрації, здатних ефективно відокремлювати корисний сигнал від шуму.
3. Тестування розробленого програмного забезпечення на моделях зорових протезів для оцінки його ефективності у реальних умовах.
4. Аналіз отриманих результатів та їх порівняння з даними, отриманими за допомогою традиційних методів обробки.

Реалізація цієї мети не лише покращить якість життя користувачів зорових протезів, але й відкриє нові перспективи для подальших досліджень у сфері відновлювальної медицини та біоніки.

Задачі, визначені в межах дослідження, включають в себе кілька ключових напрямків роботи, спрямованих на покращення функціональності зорових протезів через мінімізацію впливу шумів. Перша задача полягає у моделюванні сигналів, що імітують зорові відчуття, для виявлення та аналізу джерел шумів у цих сигналах. Це включає розробку математичних та комп'ютерних моделей, які можуть точно відтворювати роботу сітківки та зорових нервів, а також взаємодію між зоровим протезом і біологічними тканинами.

Другою ключовою задачею є фільтрація шуму, яка передбачає розробку та впровадження алгоритмів обробки сигналів для відділення корисної інформації від шумових даних. Це вимагає комплексного підходу до аналізу сигналів, зокрема використання методів штучного інтелекту та машинного навчання для розпізнавання та придушення шуму без втрати важливої інформації.

Третьою задачею є тестування покращення якості сприйняття, що включає проведення експериментів для оцінки ефективності розробленого програмного забезпечення у реальних умовах. Це передбачає використання прототипів зорових протезів з впровадженим програмним забезпеченням для зменшення шуму, а також залучення учасників дослідження для оцінки змін у їх зоровому сприйнятті.

Реалізація цих задач дозволить не лише покращити якість сприйняття зорових протезів, але й зробити значний крок вперед у розвитку біонічних технологій, спрямованих на відновлення зору.

Виклад основного матеріалу. Дослідження було спрямоване на вивчення впливу різних методів обробки сигналів та застосування інноваційних матеріалів для покращення якості візуального сприйняття через ретинальні протези.

Об'єктом дослідження був епіретинальний зоровий протез, який включає масив титанових електродів. Основною гіпотезою дослідження було припущення, що застосування спеціалізованого програмного забезпечення для фільтрації сигналу може покращити якість фосфенової картини. Припущення включали в себе можливість зменшення шумів в сигналах та покращення якості зображення. У дослідженні використовувалися програмне забезпечення MATLAB для фільтрації сигналів та аналізу даних, а експерименти проводилися з використанням моделей сигналів, які імітують реальні умови роботи протеза [16].

Методологія дослідження базується на розробці програми для зменшення шумів в сигналах ретинальних зорових протезів та покращенні фосфенової картини. Використані методи включають сучасні програмні засоби для обробки сигналів, аналіз даних з ретинального імплантату, та моделювання сигналів з накладеними шумами. Експериментальні дані надано офтальмологічним відділенням, а обробка даних здійснювалася за допомогою оптимального фільтра Вінера. Дослідження включало фільтрацію сигналу та аналіз отриманих фосфенових картин для оцінки ефективності модернізації.

Дослідження базувалося на використанні тестових зображень, зокрема великої літери «Г», для вимірювання якості сприйняття через ретинальний протез. Експерименти включали в себе зміну параметрів обробки сигналів, аналіз впливу шумів та оцінку ефективності різних фільтрів для покращення візуального сприйняття. Експериментальні дані та відповідні графіки, використані у цьому дослідженні, були забезпечені офтальмологічною клінікою «Лікарська практика». Серед найважливіших даних виділяються графіки зорового викликаного потенціалу на стимул (рис. 1) і локальні електроретинограми, отримані від одного з пацієнтів. Для наочного порівняння, на рисунку 2 представлено порівняння локальних ЕРГ між здоровою особою та згаданим пацієнтом.

Зібрані під час експериментів дані аналізувалися з метою ідентифікації оптимальних методів обробки сигналів. Використання оптимального фільтра Вінера дозволило ефективно відокремити корисний сигнал від шуму, що сприяло покращенню якості відтворення зображення.

Модель ретинального зорового протеза для дослідження

Для дослідження було використано модель, яка являє собою епіретинальний зоровий протез

з титановою електродною решіткою 16x16, який був встановлений пацієнту з пігментною дегенерацією сітківки. Протез був спеціально розроблений для експериментального вивчення механізмів передачі візуальної інформації в умовах лабораторного моделювання. Дослідження було зосереджене на моделюванні сигналу відповіді сітківки з накладеним шумом від самого протеза та зовнішніх джерел і подальшою його фільтрацією для покращення якості фосфенового зображення. У моделі накладені артефакти, такі як білий адитивний шум, артефакт імпульсу стимуляції та завада, спричинена рухом очей.

Для обробки даних електроретинограм (ЕРГ) графік перетворювався у масив даних, який програма могла сприймати. За допомогою команд `load` і `plot` у MATLAB будувалося і виводилося зображення сигналу на екран, до якого додавались заголовки та підписи змінних по осям, демонструючи як інформація від сигналу перетворювалася у візуальне зображення (рис. 3).

Модель адитивного шуму визначається як білий шум: це стаціонарний гаусовий випадковий процес із середнім значенням, що дорівнює нулю, і постійним широким спектром щільності потужності. Використовуючи функцію `randn`, ми симулюємо дискретний білий шум із середнім

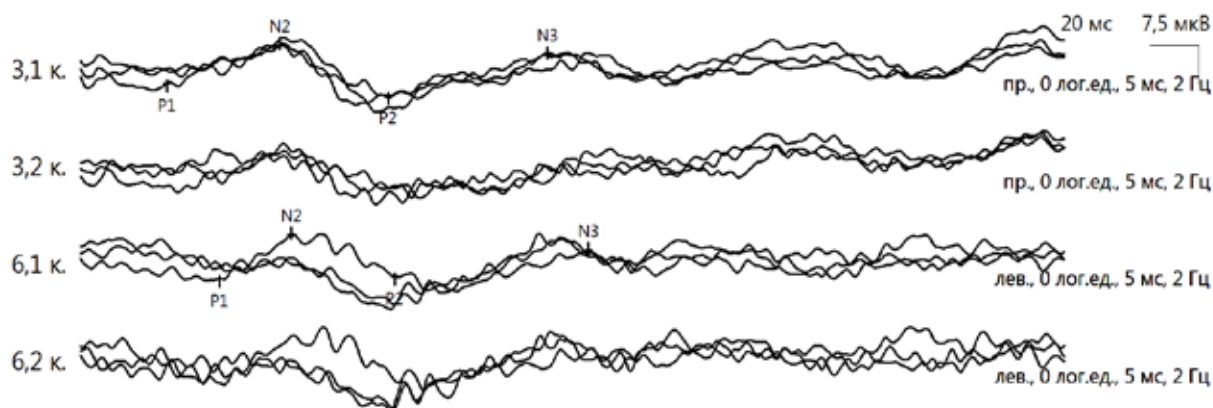


Рис. 1. Зоровий викликаний потенціал на сполох даного пацієнта

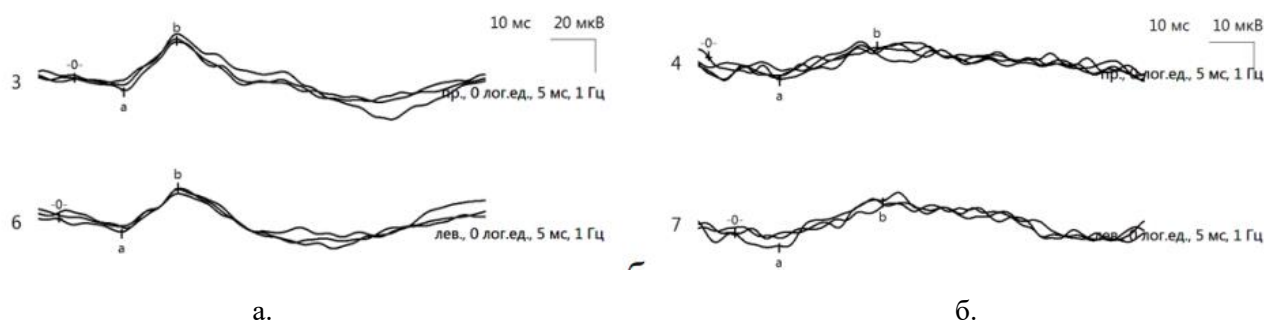


Рис. 2. Локальні ЕРГ здорової людини (а) та пацієнта (б)

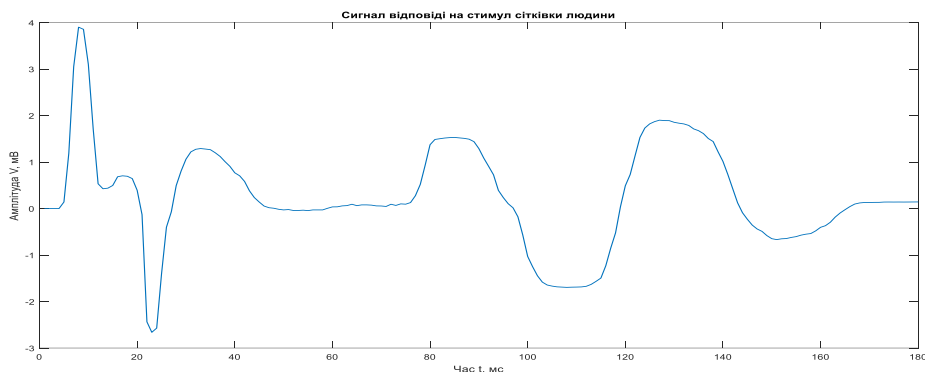


Рис. 3. Досліджуваний сигнал відповіді клітин сітківки

значенням $\mu = 0$ і дисперсією $D = 0,01$ при частоті дискретизації $f_s = 200 \text{ Гц}$.

Артефакти руху ока та імпульсу наведені на рисунках 4 та 5 відповідно.

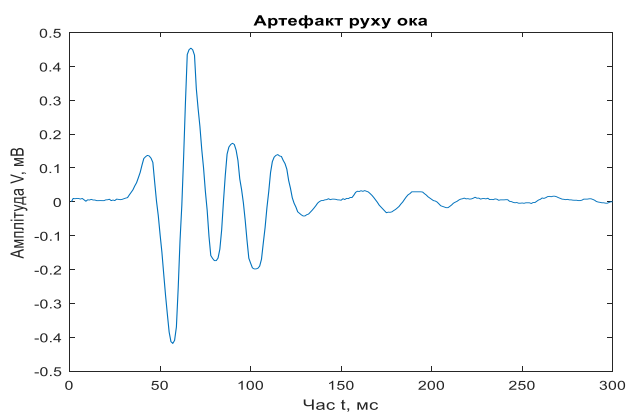


Рис. 4. Сигнал завади у вигляді руху ока

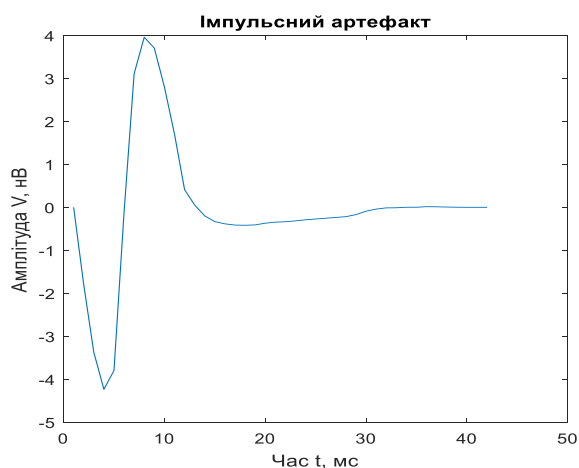


Рис. 5. Сигнал імпульсного артефакту

Послідовно додаємо вибрані шуми до обраного сигналу та за допомогою команд `figure` та `plot` відображаємо на екрані зображення сигналу з шумом (рис. 6).

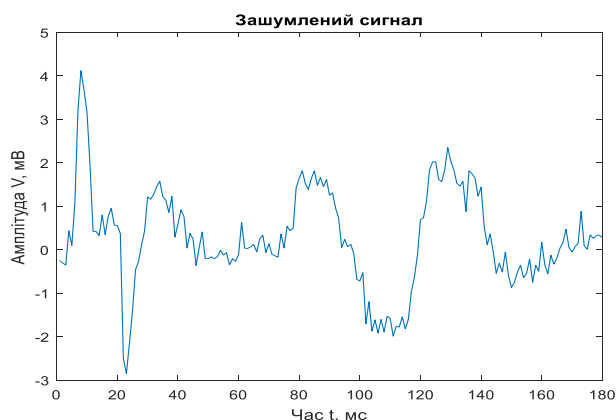


Рис. 6. Досліджуваний сигнал з накладеними шумами

Фактично, даний сигнал є показником процесів, що відбуваються на сітківці, тому його можна використати для відображення фосфенової картини.

Для дослідження якості отриманого зображення було обрано рисунок великої білої літери «Г» на чорному фоні (рис. 7).



Рис. 7. Візуальний образ для дослідження

Щоб імпортувати зображення до робочого середовища MATLAB, застосовували функцію $f = \text{imread}()$, а для його відображення на екрані використовувалась команда `imshow`. Використовуючи параметри стимуляції, а також використовуючи графіки та дані, отримані від клініки і зазна-

чені у відповідних дослідженнях, демонструємо на екрані симуляцію фосфенового зображення з високоякісною стимуляцією (рис. 8) та з зашумленого сигналу (рис. 9).



Рис. 8. Умовне фосфенове зображення при якісній стимуляції



Рис. 9. Умовне фосфенове зображення на хворій сітківці

Візуальне порівняння цих зображень чітко демонструє, як шуми у ретинальних зорових протезах можуть істотно змінити фосфенове зображення на сітківці, тому видалення цих шумів допомагає значно покращити візуальне сприйняття сцени для користувача протезу.

Фільтрація сигналу та виведення фосфенової картини.

Щоб усунути адитивний шум і завади, спричинені рухом очей, ми вдаємося до використання оптимального фільтра, зокрема, фільтра Вінера з визначеними параметрами. Створюємо оптимальний фільтр Вінера довжиною $L=32$, використовуючи формулу Вінера-Хопфа, обчислення якої здійснюється функцією `wiener_hopf`. Код цієї функції наступний:

```
function w = wiener_hopf(x,y,L)
x = x(:);
y = y(:);
rxx = xcorr(x,L);
rxy = xcorr(x,y,L);
rxx_matrix = toeplitz(rxx(L+1:end));
w = rxx_matrix\rxy(L+1:end);
end
```

Для фільтрації зашумленого сигналу і порівняння початкового та відфільтрованого сигналів у одному графічному вікні ми створюємо відповідні графіки (рис. 10).

Оскільки параметри стимуляції відомі, можна точно розрахувати вплив імпульсного артефакту. Використовуючи команду `sgor`, ми вирізаємо артефакт імпульсу в тому часовому діапазоні, де

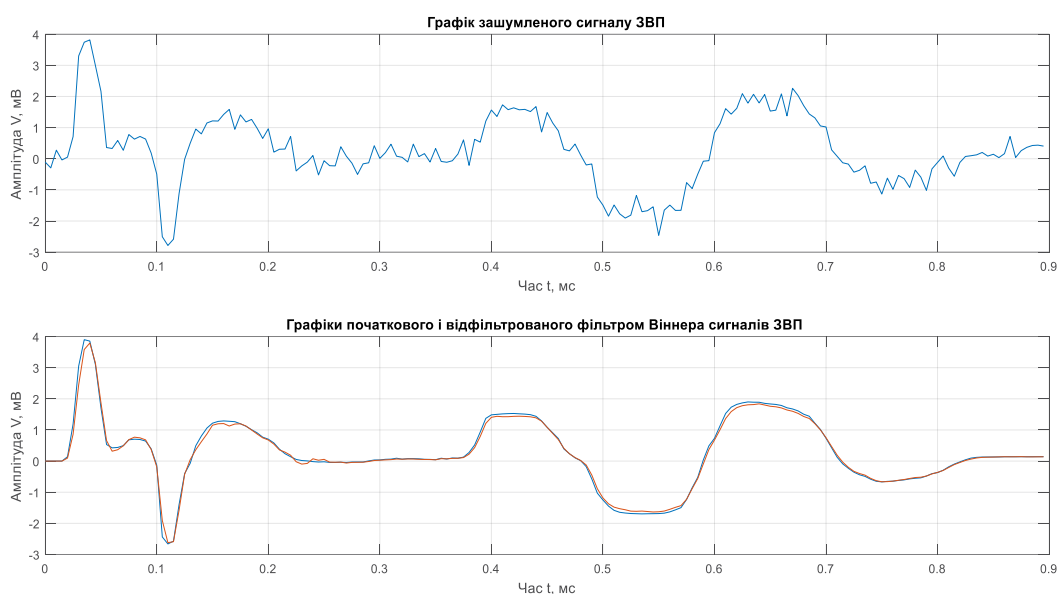


Рис. 10. Результати фільтрації адитивного шуму та руху ока

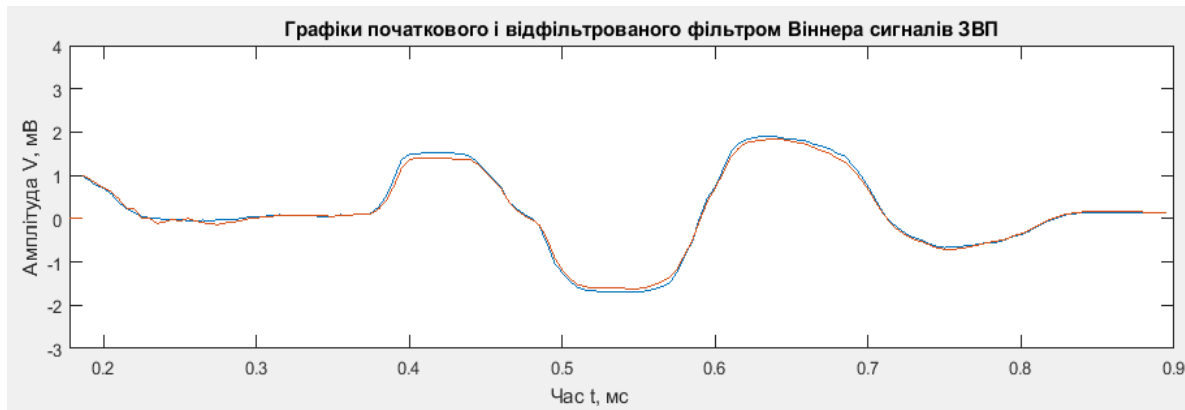


Рис. 11. Очищений сигнал відповіді клітин сітківки на стимуляцію ретинальним зоровим протезом

його вплив є найбільш вираженим. Результати цієї операції представлені на графіку, що розміщено на рисунку 11.

З цього сигналу, очищеного від шумів, завад та артефактів, генеруємо фосфенове зображення, аналогічно до того, як це було зроблено в попередньому пункті, результати чого представлені на рисунку 12.



Рис. 12. Фосфенова картина очищеного сигналу

Як демонструє отримане зображення, якість сигналу, що генерується клітинами сітківки у відповідь на стимуляцію за допомогою електродного масиву ретинального протезу, справді має вирішальний вплив на якість фосфенового зображення, яке сприймає користувач протезу. При цьому, чим менше шумів присутньо на сигналі, тим фосфени видаються більш виразними та яскравими. Моделювання було проведено для вивчення відгуку клітин сітківки на стимуляцію за допомогою електродів ретинального протезу, при цьому були застосовані різні види шумів, типових для зорових протезів, включаючи адитивний білий шум, шуми від стимулюючих імпульсів

та інтерференції, що виникають через рух очей. Використання фільтра Вінера дозволило оптимально очистити сигнал від цих шумів.

Моделі фосфенових зображень були розроблені на основі трьох різних станів сигналу: «ідеального», перед фільтрацією та після неї. Оцінка ефективності фільтрації була здійснена за допомогою візуального аналізу цих зображень, які були класифіковані як «чіткі» або «неясні» в залежності від якості візуального сприйняття. У ході експериментів була проведена детальна моделізація та аналіз артефактів, що виникають під час роботи протеза. Серед них виявлені білий адитивний шум, імпульсні артефакти стимуляції, та завади, викликані рухом очей. Використання великої літери «Г» як тестового зображення дозволило візуалізувати вплив цих артефактів на кінцеву якість фосфенового зображення.

Застосування спеціально розробленої програми з алгоритмами фільтрації, зокрема оптимального фільтра Вінера, дозволило значно покращити якість візуального сигналу. Результати показали, що фільтрація здатна ефективно мінімізувати вплив шумів та артефактів, забезпечуючи чіткіше та якісніше відтворення зображення. Окрім технічних аспектів, результати дослідження мають велике значення для покращення якості життя людей з серйозними вадами зору.

Дослідження підтвердило, що інноваційні методи фільтрації, зокрема використання оптимального фільтра Вінера, мають великий потенціал для покращення роботи ретинальних зорових протезів. Результати демонструють, що за допомогою сучасних технологій можливо значно покращити якість переданого протезом зображення, що є важливим кроком на шляху до подальшого розвитку та вдосконалення цих пристроїв у медичній практиці. Водночас, дослідження відкриває шляхи для роз-

робки нових стратегій соціальної інтеграції людей з обмеженими можливостями зору, пропонуючи їм новітні рішення для покращення якості життя.

У ході проведеного дослідження була розглянута ефективність застосування алгоритмічної обробки сигналів з ретинальних імплантатів у контексті покращення якості зорових відчуттів. Основною метою було зниження рівня шуму в сигналах, що передаються через зорові протези, для досягнення кращого візуального сприйняття. Застосування спеціалізованого програмного забезпечення з адаптивними фільтрами та алгоритмами машинного навчання продемонструвало значне покращення у якості сприйняття образів.

Результати дослідження підкреслили критичну важливість точної калібрування стимуляції сітківки та фільтрації сигналів. Оптимізація зорового відображення через ретельну настройку параметрів стимуляції дозволяє забезпечити максимально чітке та якісне сприйняття образів. У цьому контексті використання адаптивних фільтрів та алгоритмів машинного навчання відкриває нові можливості для покращення візуальної інформації, що сприймається користувачами зорових протезів.

Дослідження відкриває шляхи для подальшого розвитку зорових протезів, акцентуючи увагу на важливості інтеграції передових технологій обробки сигналів. Покращення алгоритмів фільтрації та калібрування стимуляції може значно збільшити ефективність протезів, роблячи їх більш адаптивними до індивідуальних потреб користувачів. Поліпшення якості зорового сприйняття через використання ретинальних протезів має не лише технічне, але й глибоке соціальне значення, що надає людям із важкими вадами зору можливість краще адаптуватися до соціального середовища, підвищуючи їх самостійність та якість життя. На основі отриманих даних можна зробити висновок, що інтеграція розширених алгоритмів обробки сигналів у розробку та вдосконалення ретинальних зорових протезів відкриває нові перспективи для значного покращення зорового сприйняття, що стимулює подальші дослідження та розробку в цій області, маючи на меті створення більш ефективних та доступних рішень для людей з обмеженими можливостями зору.

Висновки. Проведене дослідження підкреслює значний потенціал інноваційних підходів у модернізації ретинальних зорових протезів для покращення якості зображення, зниження енергоспоживання, та підвищення загального комфорту користувачів. Важливість цієї роботи полягає не тільки в теоретичному аспекті, а й у практичній значущості отриманих результатів, які відкривають нові можливості для подальшого розвитку та вдосконалення технологій зорових протезів. Дослідження вносить вклад у розвиток технологій, що сприятимуть значному покращенню якості життя людей з порушеннями зору, надаючи їм більше можливостей для самостійності та соціальної активності. Особливо цінним є вплив на соціальну інтеграцію осіб з обмеженими зоровими можливостями, забезпечуючи їм доступ до більш якісної та змістовної взаємодії з оточуючим світом.

Аналіз будови та принципів роботи ретинальних зорових протезів, а також унікальне явище утворення фосфенів через електродну стимуляцію сітківки, вказує на існуючі виклики та відкриває перспективи для подальших досліджень. Розроблене програмне рішення для моделювання та фільтрації сигналів з ретинальних протезів демонструє здатність до отримання високоякісних зображень, що є кроком вперед у покращенні функціональності протезів.

Результати дослідження підтверджують важливість подальшого вивчення та розробки ретинальних зорових протезів з використанням сучасних технологій обробки сигналів. Проведене дослідження є свідченням того, що інтеграція інноваційних підходів може значно вдосконалити існуючі технології, відкриваючи нові горизонти для лікування сліпоти та серйозних порушень зору. У сукупності, дослідження відзначається не лише досягненнями у сфері зорових протезів, але й наголошує на потенціалі технологій для створення більш доступних, ефективних та комфортних рішень для людей з вадами зору. Передові розробки у цій області обіцяють значні переваги для подальшого вдосконалення зорової реабілітації, відкриваючи нові можливості для забезпечення більшої якості життя і незалежності осіб, які стикаються з викликами вад зору.

Список літератури:

1. Hartong D.T., Berson E.L., Dryja T.P. Retinitis pigmentosa. The Lancet. Elsevier, 2006. November (vol. 368, no. 9549). P. 1795-1809. DOI:10.1016/S0140-6736(06)69740-7. PMID 17113430.
2. «Restoration of vision in blind individual using bionic devices: A review with A focus on cortical visual prostheses». January 2015. Brain Research 1595(1):51-73; DOI:10.1016/j.brainres.2014.11.020.

3. «New Vision for Visual Prostheses». 2020 February 18 [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7040096/>
4. «Modern concepts of bionic vision». January 2022. Vestnik Oftalmologii 138(3):95. DOI:10.17116/oftalma202213803195
5. «Advances in retinal prosthesis systems». January 2019. The rapautic Advancesin Ophthalmology 11:251584141881750. DOI:10.1177/2515841418817501
6. «Systematic Review of Novel Advancesin Epiretinal and Subretinal Prosthesis». March 2022. DOI:10.5606/jebms.2021.75674
7. «Clinical Progress and Optimization of Information Processingin Artificial Visual Prostheses». August 2022. Sensors 22(17):6544 DOI:10.3390/s22176544
8. «Retinal Prostheses – Now and in the Future». 9 June 2017 [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://surl.li/mbldhn>
9. «Visual Prosthesis for Optic Nerve Stimulation». June 2009. DOI:10.1007/978-0-387-77261-5_2. Inbook: Implantable Neural Prostheses 1 (pp.43-83). [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://surl.li/yjvnqo>
10. «The Argus II Retinal Prosthesis System». April 3rd 2019 [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://surl.li/qggekku>
11. «Bionic Vision Technologies: A Closer Look at the Bionic Eye System» [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://bionicvis.com/products-technology/>
12. «Retinal Prosthetic Approaches to Enhance Visual Perception for Blind Patients». 2020 May 24 [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7281011/>
13. «Retinal Prostheses and Artificial Vision». 2019 September 3 [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6761377/>
14. «Seeking enlightenment: the quest to restore vision in humans». December 29, 2020 [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://surl.li/iayuva>
15. «Progress in the clinical development and utilization of vision prostheses: anupdate». Alice Brandli, Chi D Luu, Robyn H Guymer, and Lauren N Ayton. Eye Brain. 2016; 8: 15–25. Published online 2016 May 11. doi: 10.2147/EB.S70822. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5398739/>
16. «Simulating prosthetic vision: I. Visual models of phosphenes». Spencer C. Chen, Gregg J. Suaning, John W. Morley. Vision Research. Volume 49, Issue 12, June 2009, Pages 1493-1506 [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://surl.li/gvxxvj>

Monchenko O.V., Kucherenko V.L., Tishchenko Ye.O., Marchenko N.B., Chubko L.S.

MODERNIZATION OF THE RETINAL VISUAL PROSTHESIS TO OBTAIN A HIGH-QUALITY IMAGE FROM THE RETINAL IMPLANT

The article reveals and identifies current challenges and developments in the field of retinal visual prostheses, which opens up new horizons for restoring vision in people with severe retinal damage, emphasizing the need to modernize technologies to improve the quality of the perceived image. An analysis of the current state of prosthetics is carried out, and the latest signal processing methods and experimental testing are developed. The materials of the article are aimed at providing a deeper understanding of the processes underlying the improvement of visual perception through retinal prostheses.

Ways to improve the technical characteristics of implants have been investigated in order to maximize the quality of the reproduced image to natural vision, thereby opening up new opportunities for visual rehabilitation.

New software has been developed that minimizes noise and improves resolution, becoming a key element in achieving the goal. The emphasis is on a multidisciplinary approach, combining efforts in the fields of neuroscience, biomedical engineering and materials science to create comprehensive solutions capable of reproducing high-quality images. The article highlights the interaction between technologies and human vision to create breakthrough solutions in vision restoration.

Key words: retinal prostheses, modernization, image quality, signal processing, vision restoration, retina, experimental testing, technological development, visual rehabilitation.