

ВІДГУК
офиційного опонента

на дисертаційну роботу **Тимківа Павла Олександровича** на тему:
«Ідентифікація параметрів математичної моделі відгуку ретини ока на низькоінтенсивну стимуляцію»,

представлену на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

за спеціальністю 01.05.02 – математичне моделювання та

обчислювальні методи

подалих наукових експериментів та досліжень їхніх залежностей

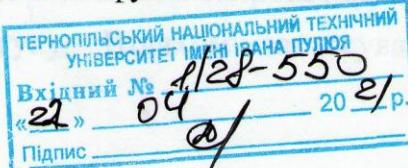
Актуальність теми дисертаційної роботи

Застосування електроретинографії сприяє підвищенню рівня об'єктивності та достовірності встановленого діагнозу, скороченню часу проведення обстеження, зокрема дає змогу виявляти та оцінювати ризики нейротоксиції (виявляти тип токсину, визначати дозу, оцінювати тривалість впливу). Існуючий стандарт ISCEV, регламентує застосування у електроретинографії світлового подразнення в межах від 0,01 до 30 Кд·с·м⁻², для отримання електричного відгуку ретини – електроретино сигналу (ЕРС).

Велика інтенсивність стандартного світлового подразнення, призводить до збільшення часу відновлення ока, а, отже, і тривалості проведення процедури, а необхідність декількох реєстрацій ЕРС при застосуванні когерентної фільтрації – до дискомфорту пацієнта. Впровадження малоінвазивних та неінвазивних підходів, збільшення ризиків нейротоксиції внаслідок негативного антропогенного впливу (використання нових, маловивчених хімічних сполук як у побуті так і в промисловості), висуває нові вимоги до методів дослідження ретини.

При цьому отримують ЕРС, що значно спотворений шумами внаслідок зниження відношення енергії сигналу до енергії шуму, тому удосконалення методу ідентифікації параметрів математичної моделі відгуку біооб'єкту на його низькоінтенсивне тестове подразнення потребує вирішення наукового завдання, що має істотне значення для оперативної (вчасної) підтримки функціонального стану організму людини.

Наведені аргументи визначають актуальність удосконалення методу ідентифікації параметрів математичної моделі відгуку біооб'єкту на його низькоінтенсивне тестове світлове подразнення для підвищення ефективності віддаленого автоматизованого контролю та підтримки функціонального стану організму людини.



Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертаційній роботі, їхня достовірність

Наукова новизна отриманих результатів у роботі полягає у наступному:

1. Вперше обґрунтовано та застосовано метод ідентифікації коефіцієнтів обчислювальної моделі електроретиносигналу неградієнтним методом Хука-Дживса, що дало змогу зменшити час цієї ідентифікації у понад 120 разів.
2. Вперше отримано змогу використати функціональну залежність закону Вебера-Фехнера для низькоінтенсивної електроретинографії, планування подальших наукових експериментів та досліджень при зниженні інтенсивності тестового світлового подразнення.
3. Дістав подальшого розвитку метод оцінювання та бінарної класифікації параметрів обчислювальної моделі електроретиносигналу, що дає змогу до оперативного (вчасного) рішення щодо ризиків порушення функціонального стану організму та їх усунення.
4. Уперше ROC-аналізом визначено показники чутливості та специфічності запропонованого методу параметричної ідентифікації моделі відгуку ретини для підвищення ефективності віддаленого, автоматизованого контролю та підтримки функціонального стану організму.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій визначається їх відповідністю сучасному стану математичного моделювання, підтверджується:

- адекватним застосуванням відомої математичної моделі відгуку ретини та тестове світлове подразнення у вигляді рекурсивної обчислювальної структури 2-порядку для віддаленого автоматизованого контролю та підтримки функціонального стану організму людини;
- коректним застосуванням методів оптимізації параметричної ідентифікації цією моделі для адаптивно-рекурсивного опрацювання низькоінтенсивного відгуку ретини на тестове світлове подразнення та їх верифікацією при розробці алгоритмів ідентифікації параметрів моделі.

Ефективність використаного підходу підтверджена апробаціями на наукових конференціях та впровадженнями, про що свідчать відповідні акти.

Достовірність одержаних в дисертації результатів і висновків забезпечується коректністю використання математичного апарату обчислювальної математики, теорії випадкових процесів і математичної статистики, цифрового опрацювання сигналів та ROC-аналізом запропонованого методу параметричної ідентифікації моделі відгуку. Шляхом застосування

критерію Неймана-Пірсона проведено верифікацію методу та розробленого алгоритму ідентифікації параметрів моделі відгуку, що дає змогу з високою ймовірністю прийнятого рішення на рівні 0,996, ідентифікувати ці параметри моделі та застосувати їх у адаптивно-рекурсивні фільтрації.

Огляд змісту роботи

Дисертаційна робота складається із переліку умовних позначень, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та 4 додатків.

Загальний обсяг дисертації становить 197 сторінок, з яких 152 сторінок основного тексту, список використаних джерел містить 149 найменувань. У додатках наведені лістинги комп'ютерних програм, акти впровадження результатів досліджень дисертаційної роботи.

У **вступі** висвітлено актуальність теми та вибір напрямку наукових досліджень, сформульовано мету досліджень, їх об'єкт, предмет та поставлено і сформульовано задачі дослідження, охарактеризовано наукову новизну, практичне значення, а також апробацію та опублікування результатів проведених досліджень.

У **першому розділі** обґрунтування актуальності задачі діагностування функціонального стану організму на основі аналізу відгуку ретини на тестове світлове подразнення зниженої інтенсивності. При цьому встановлено, що з розвитком науково-технічного прогресу, збільшується негативний техногенний вплив на організм людини. При цьому, застосування електроретинографії сприяє підвищенню рівня об'ективності медичного дослідження, скороченню часу проведення обстеження та можливості автономного, віддаленого застосування. Встановлено, що використання високої інтенсивності стандартного світлового подразнення, призводить до збільшення часу відновлення ока, та тривалості проведення процедури. А необхідність декількох реєстрацій ЕРС при застосуванні когерентної фільтрації – до дискомфорту пацієнта.

Для віддаленого, автоматизованого діагностування функціонального стану організму людини, найперспективнішим є застосування електроретинографії зі зниженою інтенсивністю світлового подразнення. Для збільшення точності та роздільної здатності, що є необхідним для визначення ризиків нейротоксиції, знижують енергію світлового подразнення.

У **другому розділі** проведено аналіз відомих методів параметричної ідентифікації моделі відгуку ретини на світлове подразнення. Встановлено, що отриманий низькоінтенсивний відгук ретини значно спотворений шумами внаслідок зниження відношення енергії сигналу до енергії шуму. Рівень біошумів,

шумів від системи відбору та нерівномірності освітлення залишається сталим відносно стандартної електроретинографії, а рівень корисного сигналу значно зменшується. Оскільки використання фільтру рекомендованого стандартом ISCEV, виявляється неефективним то застосовують додаткові методи опрацювання низькоінтенсивного ЕРС при малому відношенні сигнал/шум. Складність опрацювання, додатково збільшується внаслідок невідомої або прихованої природи токсину та його впливу на організм людини, що відображається в зміні амплітудо-часових параметрів хвиль чи виникненні нових елементів хвилі в ЕРС.

Використання узгодженої фільтрації (у значенні фільтра Норса) чи оптимальної фільтрації у значенні Колмогорова-Віннера (з критерієм оптимальності мінімуму середньоквадратичного відхилення) до опрацювання низькоінтенсивного ЕРС, ускладнено невідомою зміною форми відгуку сітківки чи появою нових сегментів при впливі токсинів.

У третьому розділі досліджено методи параметричної ідентифікації та проведено порівняння їх часової складності при визначення коефіцієнтів математичної моделі відгуку ретини ока при зниженні інтенсивності тестового світлового подразнення. Алгоритм параметричної ідентифікації математичної моделі відгуку ретини на основі прямого повного перебору та застосування при синтезі оптимального фільтру, володіє значною часовою складністю. Це унеможливило швидке переналаштування такого фільтру при віддаленому, автоматизованому опрацювання низькоінтенсивного відгуку ретини для діагностування функціонального стану організму.

Розв'язок такої задачі статичної оптимізації передбачає знаходження параметрів моделі (коефіцієнтів рекурсивного рівняння a_1 та a_2), оптимальних за певним критерієм. При цьому критерієм К оптимальності підбору коефіцієнтів буде близькість змодельованого відгуку ретини до еталонного, попередньо напрацьованого відгуку.

На основі методу Хука-Дживса реалізовано алгоритм пошуку коефіцієнтів математичної моделі та проведено порівняння часу визначення коефіцієнтів методом прямого перебору та методом Хука-Дживса

У четвертому розділі проведено верифікацію методу параметричної ідентифікації на прикладі стратегії пошуку за алгоритмом Хука-Дживса, що показало ефективність їх застосування до задач параметричної ідентифікації моделі. Характерною особливістю двокрокового алгоритму Хука-Дживса (досліджаючого пошуку та пошуку за зразком), уможливлює ефективне

використання цього алгоритму до задачі оптимізації процесу ідентифікації параметрів моделі відгуку на тестове світлове подразнення для діагностування стану функціонального стану організму. Це дозволило значно скоротити час параметричної ідентифікації у понад 120 разів, при інших однакових умовах. Методом статистичного випробування, проведено визначення достовірності методу визначення коефіцієнтів. Оцінювання достовірності проведено опираючись на баєсівську концепцію теорії ймовірності, та побудовано критерій затвердження рішення. Для оцінювання якості бінарної класифікації адаптовано критерій Неймана-Пірсона. Використаний ROC-аналіз показаввищу чутливість та специфічність отриманого удосконалого методу в порівнянні з методом повного прямого перебору. Розраховано показник AUC для методу прямого направленого перебору і методу визначення коефіцієнтів у декілька ітерацій, який показав більшу чутливість та специфічність (на 5-10%) удосконалого методу.

Список використаних джерел відображає найбільш значущі наукові роботи, пов'язані з тематикою дисертації.

Практична цінність і значення дисертаційної роботи

Запропоновані методи та алгоритми параметричної ідентифікації моделі відгуку ретини, які розроблені в дисертаційній роботі, доведено до їх комп'ютерної реалізації. Розроблено пакет прикладних програм у середовищі MATLAB щодо параметричної ідентифікації для ефективного віддаленого автоматизованого контролю та підтримки функціонального стану організму людини.

Матеріали дисертаційної роботи Тимківа П.О. в науково-виробничому експериментальному малому підприємстві «Медап» та «Випробувальна лабораторія Х-променевої медтехніки» (Методика виконання вимірювань № МВ-001LED-2017 «Метрологія. Визначення світлотехнічних параметрів низької інтенсивності світлодіодів медичного призначення. Методика вимірювань»).

Враховуючи основні положення дисертаційної роботи та особистий внесок в публікаціях, що належать автору, за темою дисертації можна зробити висновок, що дисертація Тимківа П.О. «Ідентифікація параметрів математичної моделі відгуку ретини ока на низькоінтенсивну стимуляцію» є самостійною та завершеною науковою працею, що вносить істотний вклад у розвиток електроретинографічних систем для діагностики функціонального стану організму людини. Всі результати та висновки є науково обґрунтованими та експериментально підтвердженими.

Повнота викладення результатів у опублікованих матеріалах

Основні результати дисертаційної роботи опубліковано у 21 наукових працях: з них у 8 статтях наукових фахових видань України з технічних наук та 13 публікацій у матеріалах Міжнародних та Всеукраїнських наукових та науково-технічних конференцій (2 праці – у виданнях, що зареєстровані у наукометричній базі з міжнародним індексом цитування Scopus). Особистий внесок здобувача у спільних публікаціях відображені в дисертації та авторефераті. Основні наукові результати, які викладені в спільних публікаціях, отримані дисидентом самостійно.

Рівень та кількість публікацій відповідають вимогам, що ставляться до кандидатських дисертаций в Україні.

Оцінка мови, стилю та оформлення дисертації та автореферату

Дисертаційна робота написана на належному мовностилістичному рівні, застосована наукова термінологія є загальновизнаною, стиль викладу результатів теоретичних та практичних досліджень, нових наукових положень, висновків і рекомендацій забезпечує доступність їх сприйняття і використання іншими дослідниками. Автореферат повністю відповідає змісту дисертації, написаний грамотно, державною мовою з використанням сучасної наукової термінології. Оформлення дисертаційної роботи і автореферату відповідає встановленим вимогам МОН України, що висуваються до кандидатських дисертаций, у тому числі п. 11 "Порядку присудження наукових ступенів".

По дисертаційній роботі варто відзначити наступні зауваження:

1. Достовірність того, що час ідентифікації зменшено у 120 раз у повній мірі не обґрутовано так як не розкрито фактори, які можуть внести невизначеність в процеси обробки даних.
2. Необхідно відмітити деякі помилки граматичного та стилістичного типу.

Однак, вказані недоліки не знижують наукової та практичної цінності роботи і не впливають на її загальну позитивну оцінку.

Загальна оцінка роботи і висновки

Дисертаційна робота Тимківа П.О. на тему «Ідентифікація параметрів математичної моделі відгуку ретини ока на низькоінтенсивну стимуляцію» є завершеною науковою працею, в якій отримано нові науково обґрутовані результати: поставлена і вирішена актуальна наукова задача удосконалення методу ідентифікації параметрів математичної моделі відгуку біооб'єкту на його низькоінтенсивне тестове світлове подразнення для підвищення ефективності віддаленого автоматизованого контролю та підтримки функціонального стану

організму людини.

Робота у достатній мірі проілюстрована рисунками, графіками, таблицями. Оформлена акуратно, у відповідності із вимогами, які ставляться до дисертаційних робіт.

Опубліковані наукові праці Тимківа П.О. за темою дослідження повністю відображають основні положення дисертації.

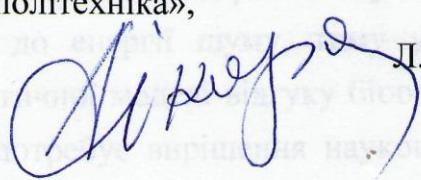
Автореферат дисертації достатньо повно розкриває її зміст.

Дисертаційна робота містить нові науково-обґрунтовані результати, які є важливими на сучасному етапі опрацювання низькоінтенсивного електроретино сигналу для систем ефективного віддаленого автоматизованого контролю та підтримки функціонального стану організму людини, і цілком відповідає вимогам паспорту спеціальності 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи.

За актуальністю розглянутої проблеми, обсягом проведених досліджень, їх науковим рівнем та практичною цінністю отриманих результатів дисертаційна робота відповідає вимогам "Порядку присудження наукових ступенів" (зокрема п. 9, 11, 12 щодо кандидатських дисертацій), затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. №567 (зі змінами), а її автор Тимків Павло Олександрович заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 01.05.02 - математичне моделювання та обчислювальні методи.

Офіційний опонент:

Професор кафедри автоматизованих систем управління,
Національного університету «Львівська політехніка»,
доктор технічних наук, професор

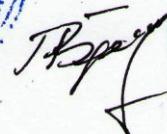

Л.С. Сікора

Підпис д.т.н., професора, професора кафедри автоматизованих
систем управління, Національного університету
«Львівська політехніка», з.д.р.п.р.к.:

Вчений секретар

Національного університету
«Львівська політехніка», к.т.н. доц.




Р.Б. Брилинський

Брилинський Р.Б.