

## **ВІДГУК**

офіційного опонента на дисертаційну роботу

**Ярошенка Максима Олександровича**

на тему «Модифікований нейромережний метод рейтрейсингової  
аберометрії ока»,

представлену на здобуття ступеня доктора філософії

в галузі знань Електроніка та телекомунікації

за спеціальністю 172 Телекомунікації та радіотехніка

### **Актуальність теми дисертації.**

Рейтрейсингова аберометрія є одним із найточніших методів аналізу оптичних викривлень у системі ока, проте її практичне застосування має низку обмежень. Висока вартість обладнання, тривалий час вимірювань та обмежена кількість точок сканування знижують ефективність діагностики. Інтеграція методів штучного інтелекту у цей напрям відкриває перспективи для підвищення точності, оптимізації аналізу та розширення можливостей аберометрії.

Штучні нейронні мережі демонструють високу ефективність у моделюванні складних залежностей та обробці великих масивів даних. Їх застосування в аналізі оптичних викривлень сприяє вдосконаленню діагностичних підходів, підвищенню точності вимірювань, а також розширює можливості сучасних офтальмологічних технологій. Оптимізація процесу вимірювань і обробки даних штучними нейронними мережами сприятиме створенню точніших, швидших та доступніших методів оцінки стану оптичної системи ока.

Таким чином, дослідження застосування штучного інтелекту для вдосконалення рейтрейсингової аберометрії є актуальним як з точки зору підвищення точності діагностики, так і з позиції оптимізації вимірювань. Впровадження таких рішень сприятиме розвитку офтальмологічної діагностики та персоналізованої корекції зору.

### **Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.**

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:

- 1) Рейтрейсинговий метод аберометрії ока зазнав подальшого розвитку завдяки модифікації з використанням нейронних мереж на різних

етапах його роботи: початковому визначенні характеристик аберацій, уточненні отриманих результатів та оцінці викривлень вищих порядків. Запропоноване удосконалення підвищує точність вимірювань, знижує вимоги до оптичної системи приладу, прискорює процес сканування та дозволяє прогнозувати коефіцієнти Церніке високих порядків на основі значень нижчих.

- 2) Метод генерації аберометричних даних у вигляді векторів коефіцієнтів Церніке було вдосконалено шляхом створення нейромережевої моделі, здатної синтезувати вибірки з розподілом, подібним до навчальних даних, але без їх прямого дублювання. Розроблений алгоритм генерує різноманітні аберометричні дані, що сприяє покращенню моделювання та аналізу.
- 3) Запропоновано модифікацію рейтрейсингової аберометрії, що передбачає одночасне сканування декількох координат зіниці завдяки масиву лазерних випромінювачів. Це удосконалення сприяє зменшенню довірчого інтервалу та покращенню прецизійності вимірювань.

Перевірка достовірності та коректності отриманих результатів здійснювалася шляхом симуляцій у різних спеціалізованих програмних середовищах, зокрема MATLAB, Zemax та ін. Це підтверджує обґрунтованість розроблених рішень та їх відповідність галузевим стандартам.

Отже, в дисертаційній роботі поставлене наукове завдання виконано повністю, здобувач повною мірою оволодів методологією наукової діяльності.

### **Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності.**

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Ярошенка М.О. повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка та напрямкам досліджень відповідно до освітньої програми Телекомунікації та радіотехніка.

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувача у науковий напрям «Інформаційні та комунікаційні технології».

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадіння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Ярошенка Максима Олександровича є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів фальсифікації, компіляції,

фабрикації, плагіату та запозичень. Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають належні посилання на відповідне джерело.

### **Мова та стиль викладення результатів**

Дисертаційна робота написана українською мовою.

Текст дисертації відзначається чіткістю викладення, структурною завершеністю та логічною узгодженістю. В роботі дотримано сучасних наукових стандартів, характерних для технічних дисциплін, із використанням усталеної термінології, що забезпечує точність і зрозумілість викладу. Комплексний підхід до формулювання положень та обґрунтувань сприяє глибокому розкриттю досліджуваної тематики, що робить текст доступним для фахівців у відповідній галузі.

Дисертація складається з вступу, 5 розділів, висновків, списку літератури та додатків. Загальний обсяг дисертації складає 151 сторінку.

У вступі обґрунтовано актуальність дослідження, визначено його зв'язок із науковими програмами, планами та темами НДР КПІ ім. Ігоря Сікорського. Сформульовано основні завдання, необхідні для досягнення поставленої мети. Описано об'єкт, предмет та методи дослідження, акцентовано увагу на науковій новизні та практичній значущості отриманих результатів. Наведено відомості про їх публікацію у фахових наукових виданнях та апробацію на конференціях.

Перший розділ присвячений аналізу рейтрейсингового методу аберометрії, його можливостям та обмеженням. Наведено інформацію про будову оптичної системи ока людини. Огляд літературних джерел дав змогу окреслити перспективи його вдосконалення та визначити потенційні складнощі, які можуть виникнути в ході дослідження. На основі отриманих висновків сформульовано основні завдання для розробки модифікованого підходу із застосуванням нейронних мереж.

У другому розділі розглянуто методику генерації аберометричних даних у вигляді коефіцієнтів Церніке. Оскільки навчальна вибірка складала лише 50 наборів, значну увагу приділено методам аугментації, що сприяють покращенню навчання моделі. Примітним є використання різних видів представлення даних задля покращення результатів навчання генеративної нейронної мережі. Проведено оцінку ефективності розробленого алгоритму та здійснено аналіз отриманих результатів за кількома критеріями.

Третій розділ зосереджений на модифікації рейтрейсингового методу для одночасного сканування кількох точок зіниці за допомогою масиву лазерних випромінювачів. Проблема коректного зіставлення координат відбитків і позицій сканувальних променів вирішено шляхом застосування

класифікаційної нейронної мережі та угорського алгоритму. Представлено результати навчання моделі та обґрунтовано перспективи її вдосконалення, які розкрито у наступних розділах.

У четвертому розділі детально описано оптичну систему для реалізації нейромережної модифікації рейтрейсингового методу, алгоритм первинної обробки даних та методику визначення аберацій. Представлено середовище навчання та механізм уточнення результатів на основі глибокого Q-навчання, а також реалізовано симуляцію в спеціалізованому програмному забезпеченні. Додатково проведено оцінку використання методу навчання з підкріпленням РРО як альтернативного для уточнення результатів. Описано можливості адаптації тестової реалізації програмного алгоритму для масового практичного застосування.

П'ятий розділ присвячений застосуванню нейронних мереж для покращення роздільної здатності аналізу хвильових фронтів. Створено модель згорткової нейронної мережі для прогнозування вищих порядків коефіцієнтів Церніке, проведено її навчання та оцінку результатів.

Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

### **Оприлюднення результатів дисертаційної роботи**

Наукові результати дисертації висвітлені у 4 наукових публікаціях здобувача, серед яких: 4 статті у наукових виданнях, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України; 0 статті у періодичних наукових виданнях, проіндексованих у базах даних Web of Science Core Collection та/або Scopus, з яких 0 статей у виданнях, віднесених до першого — третього квартилів (Q1—Q3) відповідно до класифікації SCImago Journal and Country Rank або Journal Citation Reports; 0 патентів на винахід, що пройшли кваліфікаційну експертизу та безпосередньо стосуються наукових результатів дисертації; 0 патентів України на корисну модель; 0 одноосібних монографій, що рекомендовані до друку Вченою радою КПП ім. Ігоря Сікорського та пройшли рецензування.

Також результати дисертації були апробовані на 5 наукових фахових конференціях.

Наукові публікації повноцінно відображають результати дисертаційного дослідження, забезпечуючи детальний виклад основних положень із дотриманням принципів академічної доброчесності. Викладені матеріали містять ґрунтовний аналіз отриманих даних та висновки, що підтверджують наукову цінність проведеної роботи та мають високий науковий рівень. У

випадках публікацій у співавторстві внесок здобувача є значним та відіграє ключову роль у формуванні загальної концепції дослідження, розробці методичних підходів і проведенні аналізу отриманих результатів.

Таким чином, наукові результати описані в дисертаційній роботі повністю висвітлені у наукових публікаціях здобувача.

### **Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.**

1. Вважаю, що в меті фраза «вирішення актуальної та важливої науково-прикладної задачі» є зайвою
2. Перший та другий розділи дещо є переобтяжені відомою інформацією, інформацію з розділу «Загальні відомості про аберометрію, аналіз рейтресингового методу та можливості його вдосконалення» слід було перенести у додатки.
3. Потребує додаткового пояснення твердження «результатами навчання нейронної мережі встановлено, що запропонована модифікація методу є ефективною – середня точність класифікації дорівнює 100 %».
4. В роботі досить стисло описано пропозиції щодо застосування штучної нейронної мережі, навченою на перетворених у зображення хвильових фронтів фотографій хмарного неба з датасету SWIMSEG, не наведено рекомендацій щодо реалізації системи.
5. Автор визначає, що ефективність є функцією багатьох параметрах (точність, потреба в кількості даних для навчання і т.д.) оцінки коефіцієнтів Церніке вищих порядків за значеннями коефіцієнтів нижчих порядків не залежить від методу вимірювання аберацій, тому його можна вважати таким, що підходить для обробки вимірювань, отриманих будь-яким методом аберометрії ока, але це є досить суперечливо без представлення критерію для визначення ефективності.
6. Наявність у тексті роботи пунктуаційних та орфографічних помилок.

Вважаю, що висловлені зауваження не є визначальними і не зменшують загальну наукову новизну та практичну значимість результатів та не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи.

### **Висновок про дисертаційну роботу**

Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Ярошенка Максима Олександровича на тему «Модифікований нейромережний метод рейтресингової аберометрії ока» виконана на високому науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є закінченим науковим

дослідженням, сукупність теоретичних та практичних результатів якого розв'язує наукове завдання, що має істотне значення для галузі знань Електроніка та телекомунікації. Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені в п.6 – 9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44.

Здобувач Ярошенко Максим Олександрович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань Електроніка та телекомунікації за спеціальністю 172 Телекомунікації та радіотехніка.

**Офіційний опонент:**

Професор кафедри  
біомедичної інженерії та  
оптико-електронних систем  
Вінницького національного  
технічного університету  
д.т.н., професор



Сергій ПАВЛОВ

М.П.

« 9 » червня 2025 року

«Підпис завірено»

Учений секретар ВНТУ



Інна ВІШТАК