

## АНАЛІЗ ОПТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ЛЮДСЬКОГО ОКА

Вінницький національний технічний університет

**Анотація.** В роботі розглянуто оптичні моделі людського ока та висвітлено можливості оптимізації оптичних моделей ока для їх дослідження з допомогою методів абераметрії.

**Ключові слова:** оптична модель людського ока, аберація

**Abstract.** The paper considers optical models of the human eye and highlights the possibilities of optimizing optical models of the eye for their research using optical coherence tomography methods.

**Keywords:** optical model of the human eye, optical coherence tomography, aberrations.

### Вступ

Зоровий апарат людини відіграє вирішальну роль у сприйнятті навколишнього світу, забезпечуючи понад 90% інформації, яку ми отримуємо. Це спонукає науковців до постійного вивчення проблем зорового сприйняття, механізмів формування зорових образів у мозку, а також структури та функціонування оптичної та нервової систем ока [1]. Необхідно враховувати, що будь яка оптична система ока не є ідеальною і має свої аберації. Окрім традиційних аберацій нижчих порядків, таких як розфокусування і астигматизм, існують аберації вищих порядків, такі як кома або сферична аберація.

### Огляд існуючих моделей ока

Існує велика кількість наукових задач (від метрологія, фізіологічна оптика, лазерна медицина, комп'ютерний зір та інші), для яких використовують моделювання фізичних процесів у людському оці. Існує широкий спектр моделей ока, що використовуються для різних задач. Моделі поділяються на схематичні та фізичні (Рисунок 1).

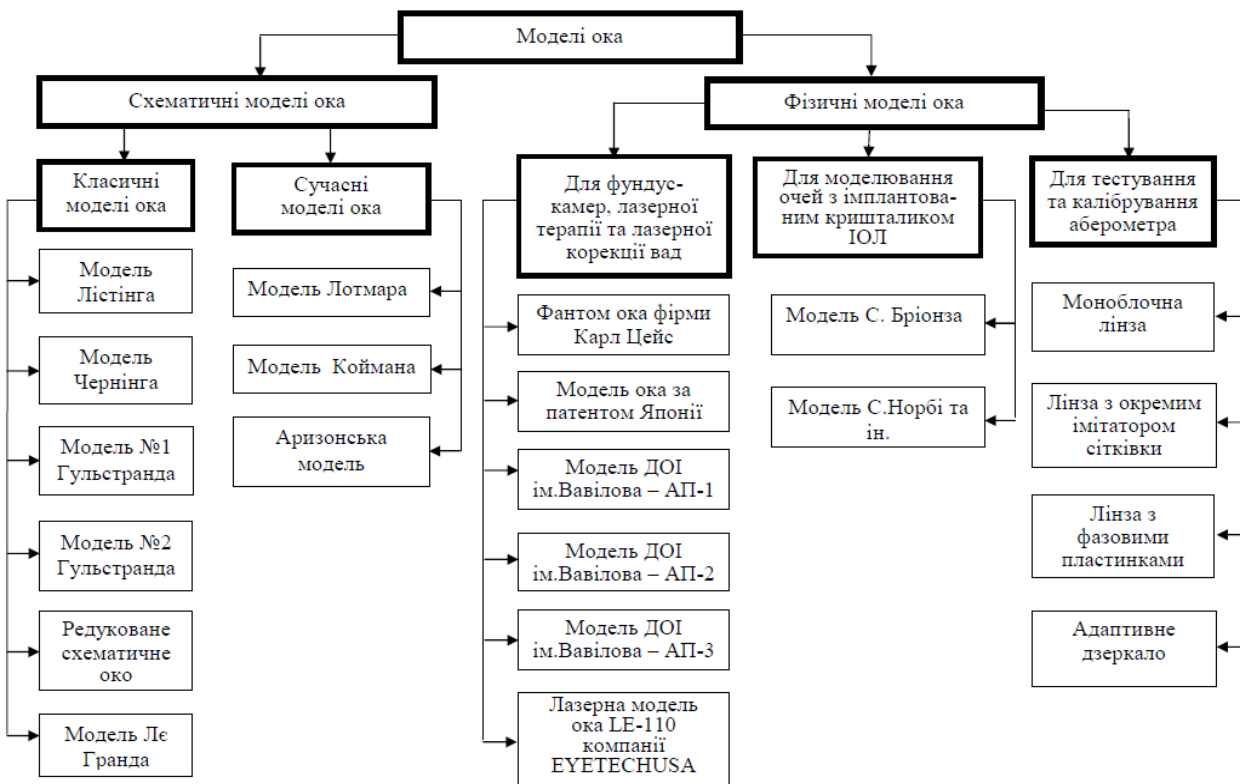


Рисунок 1 – Оптичні моделі ока [1], [2]

Схематичні моделі ока з чотирма поверхнями дістали найбільшого розповсюдження та стали основою схематичних моделей ока, що використовуються у сучасних дослідженнях. У сучасних

моделях ока, поверхні рогівки та кришталика, які традиційно були сферичними, зараз моделюються як асферичні, з метою надання більш реалістичних значень абераціям. Детальна інформація про ці моделі розглянута у роботі [2]. Схематичні моделі, в свою чергу, стають теоретичною основою для створення різних фізичних моделей ока.

Фізичні моделі використовуються для розробки приладів діагностики та лікування, обслуговуванні обладнання, яке використовується при діагностиці та лікуванні захворювань ока, корекції вад зору. Моделі можуть бути використані для імплантації штучних кришталіків або корекції форми передньої поверхні рогівки, включаючи лазерні хірургічні методи, а також для дослідження оптичних аберацій, особливо сферичних аберацій та астигматизму.

Однією з основних задач фізичних моделей ока є відтворення точного та передбачуваного деформування світлової хвилі, яка надходить до вимірювального пристрою. Фізичні моделі можна поділити на кілька підгруп [3]. Модель схематичного ока Гульстранда, що базується на більш старій моделі Лістинга, і була удосконалена Ле Грандом, відтворює гаусові властивості середнього ока, та актуальна по сьогоднішній день через простоту її застосування та розрахунків. Це дозволяє виявляти помилки аберометрії шляхом порівняння абераційних параметрів моделі з результатами вимірювань. Такі моделі використовуються як для розробки нових медичних приладів, так і для калібрування існуючих, оскільки абераційні властивості такої моделі загальновідомі. Подібні оптичні моделі (відомі як абератори) є аналогами оптичних абераційних компонент, що використовуються в астрономічній оптиці для корекції аберацій [4].

Актуальною проблемою практичного застосування моделей ока є точність моделей та системи оцінювання. Також проблемними питаннями на практиці є:

- Відсутність стандартів для порівняння моделей - не існує єдиних стандартів, за якими можна оцінити точність оптичних моделей ока. Це може ускладнювати порівняння різних моделей та визначення, яка з них є найточнішою.
- Недостатність емпіричних даних - для валідації оптичних моделей ока потрібно мати велику кількість експериментальних даних, що часто є складним завданням. Недостатня кількість емпіричних даних може ускладнювати процес оцінки точності моделей.
- Суб'єктивність оцінки деяких параметрів моделі (аберації, форма поверхонь ока), що ускладнює точну оцінку моделі.
- Обмеженість апаратного та програмного забезпечення (не завжди доступні відповідні апаратні та програмні засоби, достатні для проведення якісних вимірювань та аналізу, що обмежує можливості оцінки точності моделей).
- Варіабельність параметрів - оптичні властивості ока можуть змінюватися в залежності від різних факторів, таких як освітлення, вік та стан здоров'я. Це може призводити до великої варіабельності параметрів ока та ускладнювати оцінку точності моделей.

## Висновки

Отже, в контексті подальшого розвитку моделей людського ока, як фізичних, так і схематичних, важливо звернути увагу на кілька напрямків:

- Покращення точності та реалістичності (налагодження моделей з метою надання більш точних та реалістичних результатів є ключовим аспектом). Це може включати удосконалення алгоритмів, врахування більш широкого спектру аберацій та індивідуальних особливостей ока.
- Динамічність та адаптивність (розробка моделей, які здатні відтворювати динамічні зміни в оптичних властивостях ока в залежності від різних умов та факторів). Це дозволить краще відтворювати реальні умови та враховувати індивідуальні відмінності.
- Інтеграція з новими технологіями (використання новітніх технологій, зокрема штучного інтелекту, машинного навчання та великих даних може значно покращити якість та ефективність моделей ока).

Зосередження на цих напрямках дозволить досягти значного прогресу в розвитку моделей ока та сприятиме подальшому розумінню та використанню їх у науці та медицині та допоможе створити набори моделей, адаптовані для використання у різних сферах наукової діяльності.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Сокурєнко В.М. Око людини та офтальмологічні прилади / В.М. Сокурєнко, Г.С. Тимчик, І.Г. Чиж. К.: НТУУ «КПІ», 2009. 264 с.
2. Porter J. Aberrations of the human eye: Structure / Jason Porter, Advisor: David R. Williams // The Institute of Optics and Center for Visual Science University of Rochester. 2001.
3. Dhanachandra Ningthoujam, K. Hemachandran, and Yambem Jina Chanu. "Digital image processing techniques for the detection and analysis of glaucoma." Journal of Medical Engineering, 2014.

4. Construction of special eye models for investigation of chromatic and higher order aberrations of eyes / Yi Zhai, Yan Wang, Zhaoqi Wang, Yongji Liu and etc. // Bio-Medical Materials and Engineering. 2014. P. 3073-3081.

**Щербатюк Артем Володимирович** - аспірант кафедри біомедичної інженерії та оптико-електронних систем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, [scherbatyuk.art@gmail.com](mailto:scherbatyuk.art@gmail.com).

**Тужанський Станіслав Євгенович** – к.т.н, доцент кафедри біомедичної інженерії та оптико-електронних систем, Вінницький національний технічний університет, [slavat@vntu.edu.ua](mailto:slavat@vntu.edu.ua).

**Shcherbatyuk Artem Volodymyrovych** - Postgraduate student, Department of Biomedical Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, [scherbatyuk.art@gmail.com](mailto:scherbatyuk.art@gmail.com).

**Tuzhanskyi Stanislav Yevhenovych** - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Biomedical Engineering and Optoelectronic Systems, Vinnytsia National Technical University, [slavat@vntu.edu.ua](mailto:slavat@vntu.edu.ua).