

**Прилади і системи біомедичних технологій**

2. Результати аналізу температурої та баричної залежності функціональних параметрів абераторів дозволять у подальшому дослідити додаткові похибки аберометрів, пов'язані з коливаннями температури й атмосферного тиску.

**Література**

1. Абератор оптичної системи ока для тестування офтальмологічних аберометрів: Патент № 27813 на корисну модель, Україна, МПК (2006) А61В 3/00 / Чиж І.Г., Шиша Т.О.; Заявлено 27.07.2007; Опубл. 12.11.2007, Бюл. №18.
2. Чиж І.Г., Афончина Н.Б., Шиша Т.О. Модель оптичної системи ока для тестування і сертифікації офтальмологічних аберометрів // Вісник НТУУ «КПІ». Серія Приладобудування, 2007. – Вип. 33. – С.153-158.
3. Чиж І.Г., Шиша Т.О. Похибки моделювання абераций ока людини // Вісник НТУУ «КПІ». Серія приладобудування, 2007. – Вип. 34. – С.154–160.
4. Волосов Д.С. Фотографическая оптика. – М.: Искусство, 1978. – 543 с.
5. Слюсарев Г.Г. Методы расчета оптических систем. – Л.: Машиностроение, 1969. – 670 с.
6. Thibos L.N., Applegate R. A., Schwiegerling J. T., Webb R. Standards for reporting the optical aberrations of eyes // OSA Trends in Optics and Photonics Series. - 2000.-Vol. 35. - P. 232-244.
7. Kohlrausch. Praktische Physik. – 1968. - V.1. - P. 408.

Шиша Т.А., Чиж И.Г. **Эксплуатационные ошибки аберрационной модели оптической системы глаза**

Исследованы ошибки аберрационной модели глаза, возникающие вследствие естественных колебаний температуры и атмосферного давления. Установлено, что в двухлинзовой аберрационной модели в диапазоне температур 10 °С...30 °С при перепадах атмосферного давления в интервале 720...770 мм.рт.ст. указанные ошибки намного меньше допустимых.

Shysha T.A., Chyzh I.H. **Operational errors of the aberration model of the eye's optical system**

The errors are investigated arising in the aberration eye model as a result of natural fluctuations of temperature and atmospheric pressure. It is established that the two-lens aberration model induces permissible values of such errors when temperature varies from 10 to 30 degrees Celsius and atmospheric pressure is 720 through 770 mm of mercury.

Надійшла до редакції  
14 травня 2009 року

УДК 681.784

**СТАТИСТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ АМЕТРОПІЇ ТА АСТИГМАТИЗМА  
ОКА ЛЮДИНИ**

*Чиж І.Г., Афончина Н.Б., Якименко Т.М., Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна*

*Проведено аналіз розподілу величин аметропії та астигматизму очей великої кількості пацієнтів офтальмологічного кабінета. Виявлено характер розподілу цих первинних абераций ока людини. Показано, в яких діапазонах вони зустрічаються найчастіше*

**Вступ**

Відомо, що більшу частину інформації про навколишнє середовище людина

отримує за допомогою зорового аналізатора. Саме тому забезпечення повноцінного функціонування цього органу шляхом усунення аберацій оптичної системи ока завжди було і є однією з головних задач офтальмології.

Якість зображення, сформованого оптичною системою ока на сітківці, визначається деформацією фронту світлової хвилі, яка пройшла через всю систему ока від рогівки до сітківки [1]. Це деформація описується за допомогою ряду, складеного з поліномів Церніке. Кожний з поліномів відповідає за окремий степеневий порядок і тип аберації. Поліноми першого та другого степеневих порядку представляють аметропію та астигматизм, третій порядок – кому, третій, четвертий – сферичну аберацію і т.д. Більш високі порядки представляють так звані нерегулярні аберації, вклад яких у загальну картину хвильової аберації є порівняно невеликим [2]. Інтегральною мірою деформації хвильового фронту слугує його середньоквадратичне відхилення від ідеальної сфери.

Для вимірювання величин аберацій в сучасних клініках застосовуються як традиційні суб'єктивні методи, так і сучасні об'єктивні з використанням прецизійних автоматизованих і комп'ютеризованих аберометрів. Останні мають перевагу по точності, швидкодії та діапазону вимірювання аберацій оптичної системи ока, але, на жаль, вони ще не отримали широкого розповсюдження у вітчизняній офтальмологічній практиці через високу вартість цих приладів.

Діапазони вимірювання абераційної рефракції різними моделями сучасних аберометрів варіюються. Є прилади, в яких цей діапазон сягає  $\pm 30$  діоптрій для вимірювання дефокусу та  $\pm 12$  діоптрій для вимірювання астигматизму. А степеневий порядок порядок коефіцієнтів Церніке, який можна отримати, сягає 10, хоча відомо, що п'ятий порядок і більш високі практично не впливають на якість зору. До того ж, аберації цих порядків не вдається компенсувати через їх надто малі за величиною амплітуди.

Збільшення діапазонів вимірювання рефракції викликає істотне подорожчання приладу, що, в свою чергу, унеможлиблює придбання сучасного аберометра рядовими офтальмологічними клініками. Тому пошук шляхів здешевлення аберометричної апаратури та розробка конкурентноспроможного приладу з невеликою собівартістю є актуальною проблемою в нашій країні.

Розробка офтальмологічного аберометру економ-класу вимагає визначення економічно-доцільного робочого діапазону вимірювання, насамперед, аберацій нижчих степеневих порядків – дефокусу та астигматизму.

### **Постановка задачі**

Обґрунтування вимог до робочих діапазонів вимірювань дефокусу (аметропії) та астигматизму можна здійснити на основі аналізу даних про результати вимірювань вказаних аберацій, отриманих на очах достатньої кількості пацієнтів. Результати статистичної обробки такого масиву даних дозволять створити уявлення про реальний абераційний стан зорового органу популяції та на цій основі визначати доцільні границі робочих діапазонів вимірювань вказаних аберацій. Тому головними задачами роботи є пошуки:

1) розподілу щільності вірогідності величини аметропії, яку може мати середньостатистичне око пацієнта;

2) розподілу щільності вірогідності величини астигматизму, який може бути наявним в середньостатистичному оці пацієнта;

3) діапазонів аметропії та первинного астигматизму, відповідних заданій довірчій вірогідності.

Кінцева мета – виявлення границь нижчих степеневих порядків хвильової аберації ока для обґрунтування медико-технічних вимог до офтальмологічних аберометрів економ-класу.

### Метод та результати досліджень

Дані про результати рефрактометрії, необхідні для вирішення поставлених задач, були люб'язно надані нам відомим українським офтальмологом, чл. - кор. АМН та НАН України, доктором медичних наук, професором Жабоедовим Г.Д. Ці дані були отримані в період з 2006 по 2009 р за допомогою авторефрактометра Reichert KR460 на очах 491 пацієнта. Під аналіз підпала вибірка результатів рефрактометрії 930 очей.

Рандомізація даних забезпечувалася випадковістю процесу відбору. До уваги бралися дані, отримані у випадковий день та під час випадкової зміни медичного персоналу. Вік пацієнтів складав від 4 до 88 років. Стать пацієнтів до уваги не приймалася. Обробка та аналіз вимірювань величин аметропії та астигматизму здійснювалися із залученням математичного апарату теорії вірогідності та математичної статистики, який використовується при статистичному аналізі медично-біологічних даних [3].

Насамперед був проведений аналіз вікового спектру пацієнтів, чиї дані складають вибірку. Результати цього аналізу представлені на рис.1.

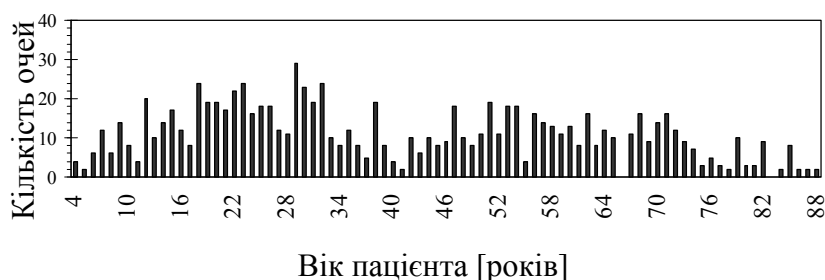


Рис.1. Гістограма вікової щільності

З представленого на рис.1 видно, що вікова щільність кількості пацієнтів не є рівномірною. Так в інтервалі 40-41 років спостерігається мінімум, і цей мінімум розділяє пацієнтів на дві групи, а саме: 4 – 40 років пацієнтів та 41 – 88 років.

В першій групі найбільша щільність спостерігається в діапазоні від 18 до 34 років, в другій групі найбільша щільність припадає на вік 50-56 років та на вік 70-72 роки.

Графік на рис. 2 по суті є оригінальною кривою гістограми кількості очей, що мають задану аметропію. Ширина карману величини аметропії на вихідній гістограмі складала 0.25 дптр.

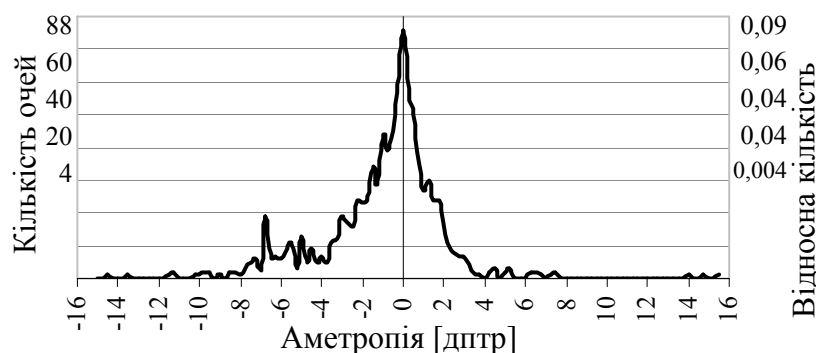


Рис. 2. Розподіл абсолютної та відносної кількості очей, за ознакою величини аметропії ока. Вік пацієнтів від 4 до 88 років

За виглядом графіка можна припустити, що розподіл наближається до нормального гаусового, але він все ж не є строго гаусовим, оскільки має асиметрію відносно центрального максимуму. Належність розподілення до гаусового була перевірена за допомогою методу медіани та процентілей. Відомо, що при гаусовому

розподілі щільності вірогідності значення процентілей (16) та (84) повинні дорівнювати значенням  $\mu - \text{СКВ}$ , та  $\mu + \text{СКВ}$  відповідно, де  $\mu$  – медіана вибірки, СКВ – середньоквадратичне відхилення. До того ж значення процентілей (2,5) та (97,5) також повинні бути близькими до значень  $\mu - 2 \times \text{СКВ}$  та  $\mu + 2 \times \text{СКВ}$  відповідно. Дійсні значення вказаних процентілей, отриманих з аналізу розподілу, показаному на рис.2, приведені в таблиці 1. Всі величини приведені в діоптріях.

Таблиця 1. Значення процентілей до розподілу на рис.2.

СКВ	Медіана ( $\mu$ )	$\mu - \text{СКВ}$	16-процентіль	$\mu + \text{СКВ}$	84-процентіль	$\mu - 2 \times \text{СКВ}$	2,5-процентіль	$\mu + 2 \times \text{СКВ}$	97,5-процентіль
2,96	-0,5	-3,46	-3,5	2,46	1,25	-6,42	-7,5	5,42	3,25

Виявлені значення показують, що медіана знаходиться в зоні міопії, а закон розподілу величин аметропії демонструє розходження з гаусовим розподілом. Найбільше це проявляється в діапазоні гіперметропічних очей.

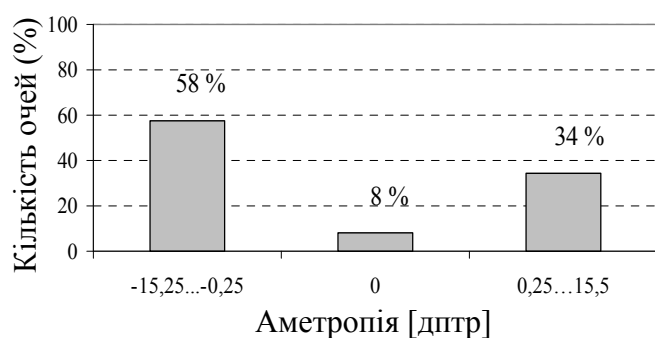


Рис. 3. Процентна кількість міопічних, еметропічних та гіперметропічних очей у вибірці з 930 очей

Різниця значень симетричних відносно медіани процентілей також свідчить про істотну перевагу кількості міопічних очей.

Діаграма на рис.3, на якій показано співвідношення між кількістю міопічних, еметропічних та гіперметропічних очей у вибірці, підтверджує попередні висновки.

Аналіз графіку, представленого на рис.2, дозволяє відмітити додаткові особливості розподілу:

- в діапазоні  $\pm 4$  дптр гістограма майже симетрична відносно нульової величини аметропії;

- в інтервалі аметропії (-8...-4) дптр спостерігається мода із максимумом приблизно на -5 дптр.
- переважна більшість міопічних очей належить діапазону 0...-8 дптр, гіперметропічних очей – діапазону 0...+3.5 дптр.

Параметри астигматизму досліджувалися за даними вимірювань цієї ж загальної вибірки. На рис.4 наведений графік розподілу кількості очей, що мають вказані величини астигматизму  $A_S$  (циліндр).

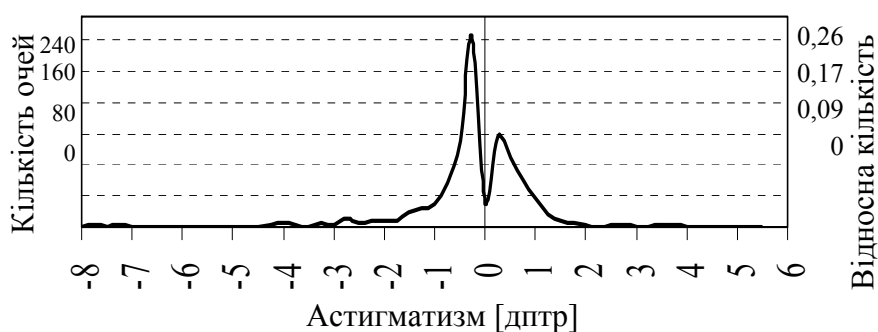


Рис. 4. Розподіл абсолютної та відносної кількості очей, за ознакою величини астигматизму. Вік пацієнтів від 4 до 88 років

Перевірка закону розподілу кількості очей з астигматизмом на відповідність гаусовому закону здійснювалася аналогічно, за допомогою методу медіани та процентилей. В табл.2 приведені результати обчислень значень цих параметрів для даної вибірки. Всі величини приведені в діоптріях.

Таблиця 2. Значення процентилей до розподілу на рис.4.

СКВ	Медіана ( $\mu$ )	$\mu$ -СКВ	16-процентиль	$\mu$ +СКВ	84-процентиль	$\mu$ -2×СКВ	2,5-процентиль	$\mu$ +2×СКВ	97,5-й процентиль
1,17	-0,25	-1,43	-0,75	0,93	0,5	-2,61	-3,15	2,11	1,5

З табл.2 видно, що закон розподілу також не можна вважати гаусовим, але цей розподіл більш симетричний відносно медіани, ніж розподіл за величиною аметропії.

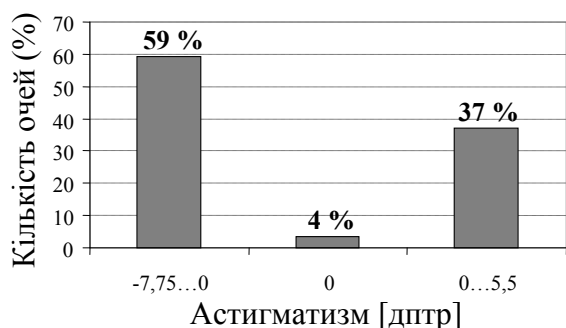


Рис. 5. Процентна кількість очей з міопічним, гіперметропічним та відсутнім астигматизмом у вибірці з 937 очей

У розподілі також спостерігається деяка переважність кількості очей з від'ємним значенням величини астигматизму.

На діаграмі (рис. 5) показано співвідношення між кількістю міопічних, еметропічних та гіперметропічних очей у вибірці.

Аналіз розподілу на рис.4 показує наступне:

- переважна кількість очей має астигматизм у діапазоні -2...+2 дптр;

- кількість пацієнтів з міопічним астигматизмом є в 1,6 більшою, ніж з гіперметропічним.

### Визначення робочих діапазонів для аберометрів економічного класу

Для обґрунтування робочих діапазонів вимірювання аметропії та астигматизму ми користувалися графіками, представленими на рис.2, та на рис.4. Визначення діапазону здійснювалося з урахуванням допустимої кількості пацієнтів, які не можуть бути діагностованими на аметропію та астигматизм аберометром економ-класу. За допустиму відносну кількість таких пацієнтів було прийнято величину 0.05. Відповідно до вказаної величини інші 95 % від загальної кількості пацієнтів мають аметропію в діапазоні  $-7,5 \dots +5$  дптр та астигматизм – в діапазоні  $-2,75 \dots +2,5$  дптр.

### Висновки

1. Наявна величина аметропії ока пацієнта офтальмологічного медичного закладу з вірогідністю 95% знаходиться в діапазоні  $-7,5 \dots +5$  дптр, а величина первинного астигматизму – в діапазоні  $-2,75 \dots +2,5$  дптр.

2. Виявлені в клінічних умовах діапазони наявних первинних аберацій ока є основою для обґрунтування медико-технічних вимог до офтальмологічних аберометрів економ-класу.

3. Результати, отримані в цій роботі, можуть бути використаними при математичному моделюванні компенсаторів аметропії та астигматизму.

### Література

1. Сокурєнко В.М., Тимчик Г.С., Чиж І.Г. Око людини та офтальмологічні прилади: Навч. посіб. – К.: ІВЦ “Видавництво Політехніка”, 2009. – 260 с.
2. Thibos, L. N., Hong, X., Bradley, A. and Cheng, X. (2002). Statistical variation of aberration structure and image quality in a normal population of healthy eyes. J Opt Soc Am A Opt Image Sci Vis. 2002 Dec. V. 19(12). – P. 2329-48.
3. Гланц С. Медико-биологическая статистика / Пер. с англ. Ю.А. Данилова. М.: Практика, 1998. - 459 с.

Чиж І.Г., Афончина Н.Б., Якименко Т.Н. <b>Статистическое исследование аметропии и астигматизма глаза человека</b> Проведен статистический анализ результатов рефрактометрии 930 глаз пациентов. Приведены гистограммы распределения количества глаз по величине аметропии и астигматизма. Определены рабочие диапазоны измерений аметропии и астигматизма аберометрами эконом-класса.	Chizh I.H., Afonchyna N.B., Tatyana M. Ya. <b>Statistical research of the human eye ametropy and astigmatism</b> The statistical analysis of the 930 patient's eyes refractometry results is done. The bar charts of the ametropy and astigmatism value distributions according to eyes number are obtained. Working ranges of the economy-type ophthalmology aberrometer are specified.
---	--

Надійшла до редакції  
14 травня 2009 року