

УДК 681.784

І.Г. Чиж, Н.Б. Афончина, Т.М. Якименко

## ОБҐРУНТУВАННЯ ДІАПАЗОНІВ ВИМІРЮВАННЯ АМЕТРОПІЇ І АСТИГМАТИЗМУ ОКА ОФТАЛЬМОЛОГІЧНИМИ АБЕРОМЕТРАМИ

### Вступ

Відомо, що більш ніж 80 % інформації про навколишнє середовище людина сприймає через зоровий орган, від стану якого великою мірою залежить не тільки працездатність, але й якість життя.

Будь-якій оптичній системі, в тому числі й оку людини, властиві оптичні недоліки – аберації, які спотворюють зображення на сітківці ока і обмежують обсяг візуальної інформації, що надходить у мозок. Для виправлення аберацій лікарю-офтальмологу потрібно мати кількісні характеристики аберацій ока пацієнта. Дані про абераційні недоліки ока людини отримують за допомогою сучасних офтальмологічних аберометрів [1].

Аберометр має бути в кожному сучасному офтальмологічному кабінеті незалежно від рангу медичного закладу. Проте ціни, які існують на ринку аберометрів, роблять їх досяжними лише для дуже обмеженої кількості центральних медичних закладів та багатих приватних клінік. Тому зменшення собівартості і ціни офтальмологічного аберометра є актуальною задачею, яка потребує якнайшвидшого вирішення.

Функціонально-вартісний аналіз систем існуючих аберометрів показує, що їх собівартість можна істотно зменшити відмовою від деяких допоміжних функцій та обмеженням робочих діапазонів функціональних параметрів. Переважна більшість пацієнтів має вади, зумовлені наявністю абераційних мод не вище третього степеневого порядку. Тому здійснювати велику кількість високоточних вимірювань хвильової аберації, що роблять існуючі аберометри для забезпечення можливості її апроксимації поліномами до 6-го і навіть до 10-го степеневого порядку, навряд чи потрібно.

У багатьох аберометрах діапазони вимірювання абераційних мод істотно завищені. Наприклад, вимірювання абераційної моди дефокусу у межах  $-30$ — $+30$  дптр сферичної рефрак-

ції та вимірювання моди первинного астигматизму в межах  $-12$ — $+12$  дптр циліндричної рефракції є необхідним у дуже рідкісних випадках [1, 2]. Такі широкі діапазони призводять до ускладнення приладів і збільшення їх собівартості. Для визначення функціонально і економічно обґрунтованих робочих діапазонів аберометрів необхідно мати дані про первинні аберації із врахуванням вірогідності, з якою вони можуть спостерігатися в середньостатистичного пацієнта. Отримання цих даних є головною метою даної статті.

### Постановка задачі

Пошук робочих діапазонів вимірювання первинних монохроматичних аберацій оптичної системи ока потребує даних рефрактометричних досліджень очей досить великої кількості пацієнтів різних вікових категорій з різним станом абераційних вад. Тому першочерговою задачею є отримання таких даних в умовах офтальмологічної клініки за допомогою сучасних методів і на сучасній професійній апаратурі. Ці дані необхідні для розрахунків статистичних характеристик аметропії та астигматизму – головних абераційних мод ока. За допомогою побудованих гістограм з відображенням абсолютної чи відносної кількості очей, що належать заданим інтервалам величин дефокуса та параметрів астигматизму, потрібно визначити робочі діапазони вимірювань амплітуд абераційних мод дефокуса  $C_2^0$ , а також первинного астигматизму  $C_2^2$  і  $C_2^{-2}$ , нормованих відповідно до стандарту OSA [3].

Мета розв'язання цих задач – обґрунтування рекомендацій щодо робочих діапазонів вимірювання первинних аберацій ока, які дають можливість здійснити модернізацію аберометрів у напрямку істотного спрощення їх системи і конструкції.

### Метод і результати досліджень

Результати рефрактометрії, необхідні для розв'язання поставлених у статті задач, було надано нам відомим українським офтальмологом, чл.-кор. АМН і НАН України, доктором медичних наук, професором Г.Д. Жабоедовим. Ці дані отримано в період з 2006 по 2009 р. за допомогою авторефрактометра Reichert KR460 на очах 491 пацієнта. Під аналіз підпала вибірка результатів рефрактометрії 930 очей. Об'єк-



Рис. 1. Гістограма вікової щільності кількості пацієнтів

тивні рефрактометричні вимірювання дублювалися суб'єктивними. Досліджувалися величини аметропії і астигматизму та кут нахилу головного перерізу астигматизму до горизонтальної площини. Вік пацієнтів становив від 4 до 88 років. Стать пацієнтів до уваги не бралася.

Обробка й аналіз результатів рефрактометрії здійснювалися із залученням математичного апарату теорії вірогідності та математичної статистики, який використовується при статистичному аналізі медично-біологічних даних [4]. Насамперед було зроблено аналіз вікового спектра пацієнтів, результати якого дають відповідь на питання:

1) наскільки рівномірною є вікова щільність кількості пацієнтів;

2) які вікові категорії пацієнтів найбільш і найменш часто звертаються до лікаря-офтальмолога. Результати цього аналізу наведено на рис. 1.

З рис. 1 видно, що вікова щільність кількості пацієнтів не є рівномірною. Так, в інтервалі 40–41 років спостерігається мінімум. Цей мінімум розділяє пацієнтів на дві групи, а саме: 4–40 і 41–88 років. У першій групі найбільша щільність спостерігається в діапазоні від 18 до 34 років, у другій – максимальна щільність припадає на вік 50–56 років та на вік 70–72 роки. У зв'язку з цим подальший аналіз ми проводили як для всієї вибірки, так і окремо для вказаних вікових груп.

Результати статистичного дослідження величини аметропії наведено на рис. 2, *а*, *б*, *в*.

Гістограмою показано кількість очей, які в діапазоні аметропії  $-15$ – $+15$  дптр належать конкретним субдіапазонам (карманам гістограми) з шириною  $0,25$  дптр. Аналіз гістограми на рис. 2, *а* дає можливість відзначити, що:

1) розподіл кількості очей за величиною аметропії наближається до нормального гауссового, але все ж не є строго гауссовим, оскільки має асиметрію відносно центрального максимуму;

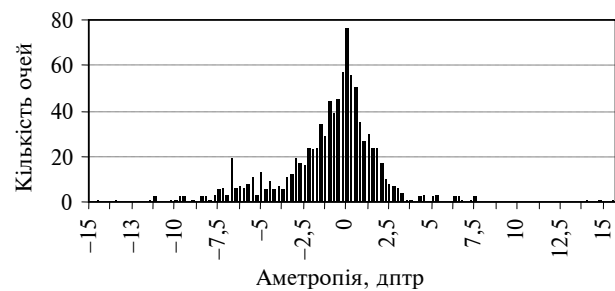
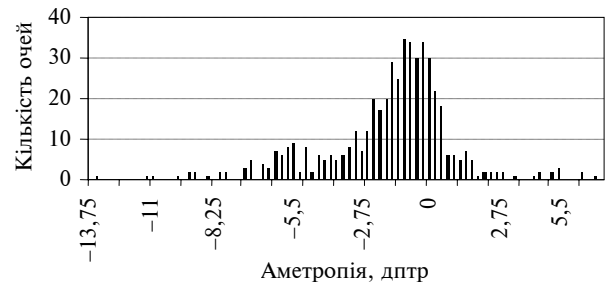
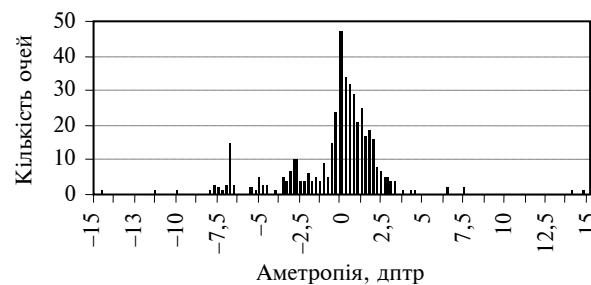
*а**б**в*

Рис. 2. Гістограми розподілу кількості очей, що мають аметропію в субдіапазонах: *а* – для всієї вибірки (930 очей); *б* – для групи пацієнтів від 4 до 40 років (500 очей); *в* – для групи пацієнтів від 41 до 88 років (430 очей)

2) в діапазоні  $-4$ – $+4$  дптр гістограма майже симетрична відносно нульової величини аметропії;

3) більша кількість очей належить до міопічних, яких в  $1,7$  раза більше, ніж гіперметропічних (співвідношення між кількістю міопіч-

них, еметропічних та гіперметропічних очей показано на рис. 3);

4) в інтервалі аметропії (-8--4) дптр спостерігається мода з максимумом приблизно на -5 дптр.

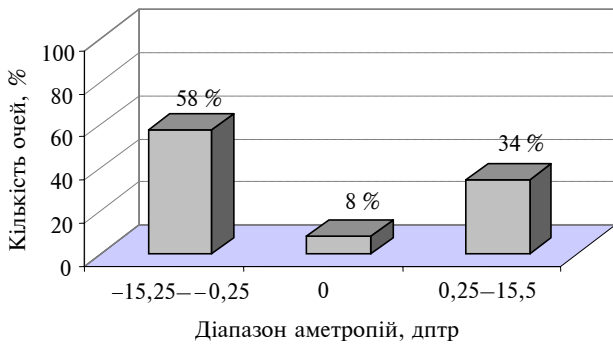


Рис. 3. Процентна кількість міопічних, еметропічних та гіперметропічних очей у вибірці з 930 очей

Гістограми, побудовані для пацієнтів до 40 років і пацієнтів після 40 років (рис. 2, б, в), мають відчутно різні статистичні параметри з вірогідністю помилки  $\leq 0,1\%$ . Аналіз гістограм дає можливість стверджувати, що:

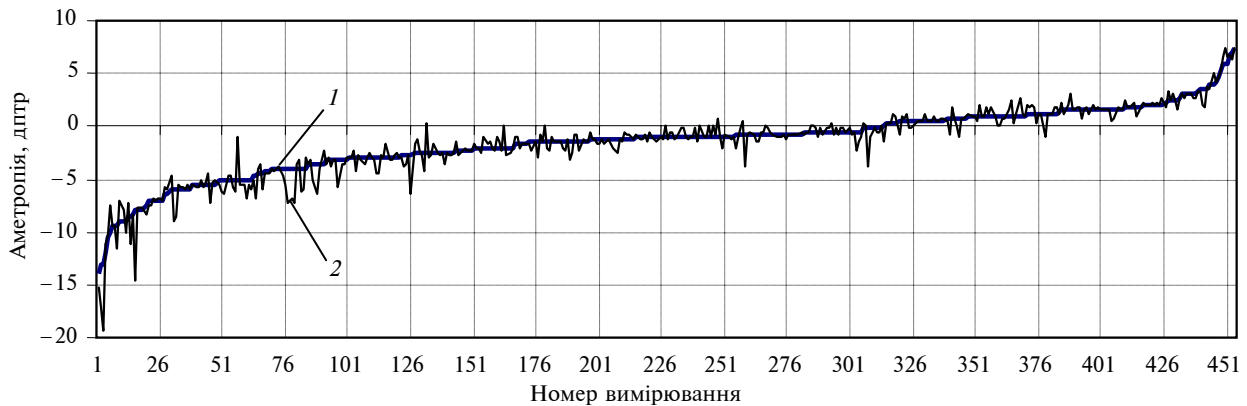
1) очі людей молодого і середнього віку належать у переважній більшості до міопічних, максимум відносної кількості міопічних очей лежить у діапазоні (-0,75--1,0) дптр;

2) пацієнти, які перейшли середній вік 40 років, переважно належать до гіперметропів, хоча серед них є порівняно невелика частина, що набула міопію ще в молоді роки, максимум відносної кількості цих пацієнтів припадає на субдіапазон +0,25--0,75 дптр;

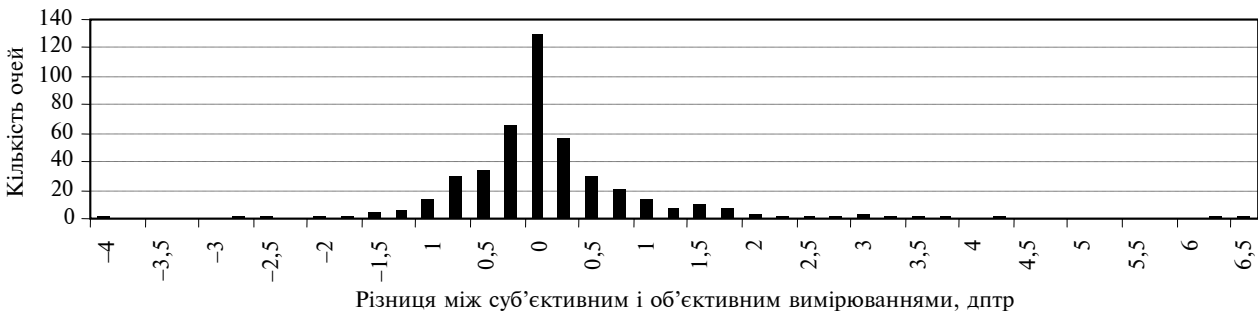
3) переважна більшість міопічних очей належить діапазону 0--8 дптр, гіперметропічних очей – діапазону 0--3,5 дптр.

Практичне значення має порівняння результатів вимірювання аметропії, зроблених об'єктивним та суб'єктивним методами. На рис. 4, а показано графіки, побудовані за результатами об'єктивних і суб'єктивних вимірювань. Кількісна характеристика різниці між показаннями об'єктивних і суб'єктивних вимірювань зображена гістограмою на рис. 4, б. Ця різниця в переважній кількості пацієнтів знаходиться в діапазоні -1--1 дптр.

Параметри астигматизму досліджувалися за даними вимірювань загальної вибірки і вка-



а



б

Рис. 4. Визначення різниці між показаннями об'єктивного і суб'єктивного методів рефрактометрії: а – графік 1 – показання рефрактометра, графік 2 – показання суб'єктивного методу; б – розподіл величини розходження між об'єктивним і суб'єктивним вимірюваннями аметропії

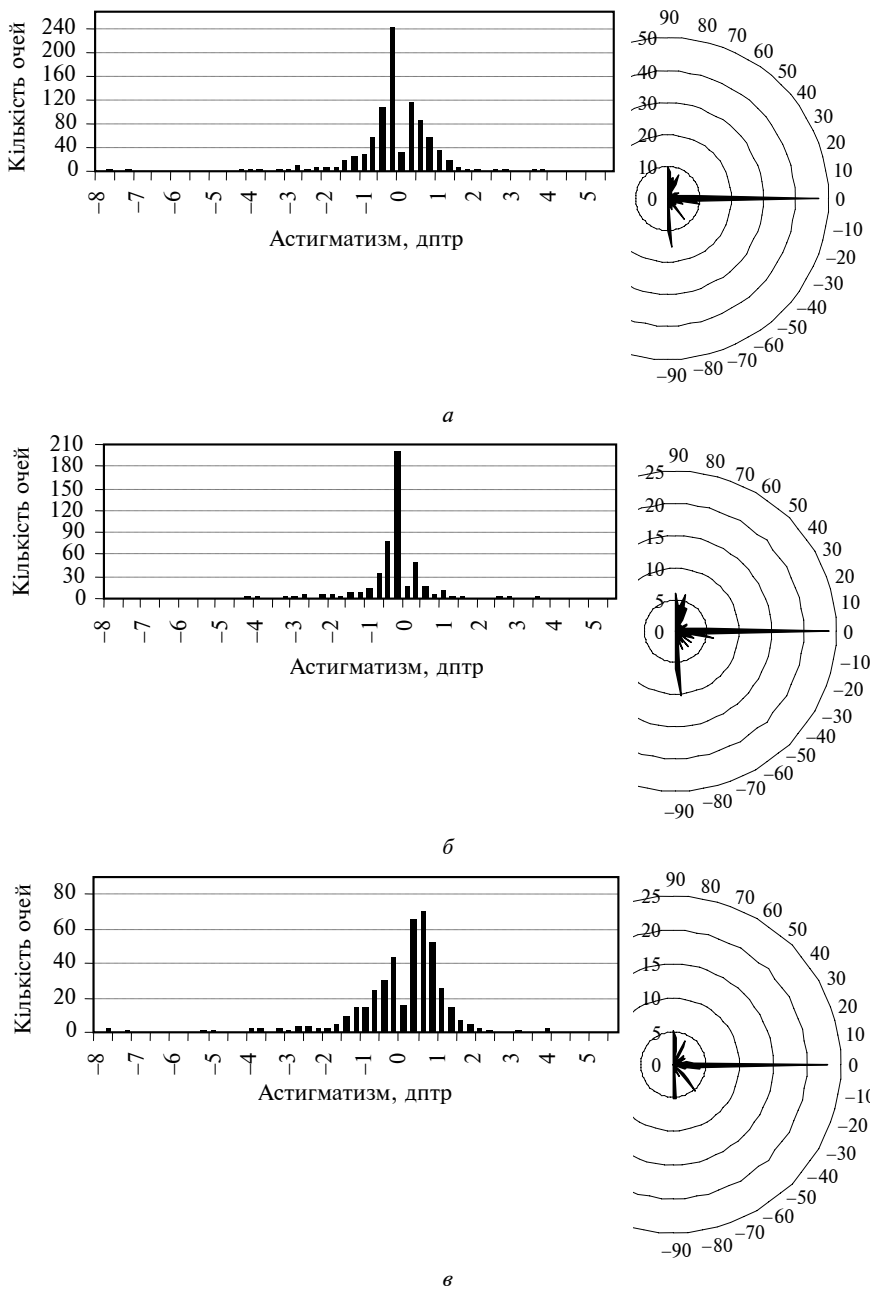


Рис. 5. Гістограми розподілу кількості очей, що мають астигматизм: *a* – для всієї вибірки (930 очей); *б* – для групи пацієнтів від 4 до 40 років (500 очей); *в* – для групи пацієнтів від 41 до 88 років (430 очей)

заних вище вікових груп. На рис. 5 наведено гістограми, які ілюструють розподіл кількості очей, що мають вказані величини астигматизму  $A_S$  (циліндр) та кута нахилу  $\varphi$  до горизонтальної площини головного перерізу.

Гістограми величини астигматизму в декартовій прямокутній системі координат показані ліворуч, гістограми кутів у полярній системі координат показані праворуч. Кути  $\varphi$ , більші

за  $90^\circ$ , відображені на гістограмах як від'ємні з величиною  $\varphi - 180^\circ$ .

Статистичний аналіз гістограм показує, що:

1) розподіл щільності кількості очей за величиною астигматизму порівняно з аналогічною гістограмою для аметропії помітно більше наближається до гауссового, але все ж не є точно гауссовим;

2) серед пацієнтів молодого і середнього віку більше спостерігається міопічний астигматизм, а серед пацієнтів вище середнього віку – гіперметропічний астигматизм;

3) 43 % пацієнтів молодого віку належить до субдіапазону  $0 - 0,25$  дптр;

4) 28 % пацієнтів віку вище середнього належить до субдіапазону  $+0,5 - +0,75$  дптр;

5) 93 % очей має астигматизм у діапазоні  $-2 - +2$  дптр.

6) гістограма щільності кількості очей за величиною кута вказує на її істотно нерівномірний розподіл, найчастіше зустрічаються астигматичні очі з головним перерізом у горизонтальній площині;

7) кутові гістограми для всієї вибірки (рис. 5, *a*), а також для вікових груп (рис. 5, *б*, *в*) істотно не відрізняються.

### Визначення робочих діапазонів для aberометрів економічного типу

Робочий діапазон вимірювання хвильової аберації ока визначається амплітудами тих абераційних мод, які є найбільшими. До них належать досліджені вище аметропія (дефокус) і первинний астигматизм.

Для обґрунтування робочих діапазонів ми користувалися гістограмами розподілу аметро-

підних і астигматичних очей та процентною часткою пацієнтів відносно всієї вибірки, в яких обстеження аберацій очей можна здійснювати аберометрами економічного класу. В таблиці наведено дані про діапазони первинних аберацій ока, отримані в такий спосіб. Діапазони визначалися окремо для пацієнтів з міопічними і гіперметропічними аметропією або астигматизмом. Вони показують відносну процентну кількість пацієнтів, які знаходяться у визначеному діапазоні.

Офтальмологічні аберометри відтворюють амплітуди церніковських абераційних мод, через які визначаються потрібні характеристики і параметри вад зору. Амплітудами абераційних мод дефокуса і астигматизму є коефіцієнти  $C_2^0$  та  $C_2^2$  і  $C_2^{-2}$ , відповідно. Величини нормованих згідно з працею [3] амплітуд абераційних мод дефокуса  $C_2^0$  та астигматизму  $C_2^2$  і  $C_2^{-2}$  пов'язані із стандартними [5] офтальмологічними параметрами аметропії  $A_R$  і астигматизму  $A_S$  виразами [1]

$$C_2^0[\text{мкм}] = \frac{(r[\text{мм}])^2}{6,928} A_R[\text{дптр}], \quad (1)$$

$$\begin{aligned} & \sqrt{(C_2^2[\text{мкм}])^2 + (C_2^{-2}[\text{мкм}])^2} = \\ & = \frac{(r[\text{мм}])^2}{9,798} A_S[\text{дптр}], \quad (2) \end{aligned}$$

де  $2r$  – діаметр зони в площині зіниці, в якій здійснюється апроксимація функції хвильової аберації.

Діапазони  $A_R$  і  $A_S$ , що наведені в таблиці, дають можливість за допомогою формул (1), (2) розрахувати діапазони, в яких знаходяться амплітуди мод  $C_2^0$  та  $C_2^2$  і  $C_2^{-2}$ . Дані про діапазони цих амплітуд наведені в двох останніх

графах таблиці. Розрахунки зроблено при діаметрі зони  $2r = 6$  мм.

*Таблиця.* До визначення робочих діапазонів аберометрів економічного класу

Кількість пацієнтів, %	Діапазон аметропії $A_R$ , дптр	Діапазон астигматизму $A_S$ , дптр	$C_2^0$ , мкм	$C_2^2$ , $C_2^{-2}$ , мкм
95	-7,5–+5	-2,75–+2,5	-9,7–+6,5	-2,5–+2,3
98	-9,5–+7,0	-4,25–+3,5	-12,34–+9,1	-3,9–+3,2
99	-11–+14	-5,25–+4,5	-14,3–+18,2	-4,8–+4,1

### Висновки

1. Результати статистичного дослідження величин аметропії і параметрів астигматизму, проведеного на великій кількості пацієнтів, дали можливість знайти діапазони амплітуд абераційних мод дефокуса і астигматизму із врахуванням діаметра зони визначення функції хвильової аберації на зіниці ока та процентної частки пацієнтів від всієї вибірки, для якої створюються аберометри економічного класу.

2. Визначені діапазони вимірювання аметропії і астигматизму дають змогу перейти до використання інших принципів дії офтальмологічних аберометрів та обґрунтовано формулювати вимоги технічного завдання на проектування аберометрів економічного класу.

3. Виявлені відносно великі розбіжності між результатами об'єктивних і суб'єктивних вимірювань аметропії, зумовлені здатністю зорового аналізатора фільтрувати та обробляти оптичну інформацію, стимулюють проведення досліджень, результати яких дадуть можливість обґрунтувати потрібну точність вимірювання хвильової аберації ока.

И.Г. Чиж, Н.В. Афончина, Т.М. Якименко

ОБОСНОВАНИЕ ДИАПАЗОНОВ ИЗМЕРЕНИЯ АМЕТРОПИИ И АСТИГМАТИЗМА ГЛАЗА ОФТАЛЬМОЛОГИЧЕСКИМИ АБЕРРОМЕТРАМИ

Исследованы параметры аметропии и астигматизма по результатам рефрактометрии глаз большого количества пациентов всех возрастных категорий. Показано, что распределение коли-

I.G. Chizh, N.B. Afonchyna, T.M. Yakimenko

ON DETERMINING RANGES OF EYE AMETROPY AND ASTIGMATISM BY EMPLOYING OPHTHALMOLOGY ABERRROMETERS

According to the results of eyes refractometry of patients of all age groups, we study the parameters of ametropia and astigmatism. The experimental results show that in accordance with the ametropia

чества пациентов по величине аметропии и астигматизма не является гауссовым. На основании результатов исследования обоснованы рабочие диапазоны офтальмологического aberrometra экономического класса.

and astigmatism value the distribution of patients' number is not Gaussian. On the experimental side, we demonstrate that operating ranges of the conservative ophthalmology aberrometer are based on the research results.

1. Сокуренько 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. 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. – **19(12)**. – P. 2329–2348.
3. 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. – **35**. – P. 232–244.
4. Гланц С. Медико-биологическая статистика / Пер. с англ. Ю.А. Данилова. – М.: Практика, 1998. – 460 с.
5. ГОСТ 14934–88. Офтальмологическая оптика. Термины и определения.

Рекомендована Радою  
приладобудівного факультету  
НТУУ “КПІ”

Надійшла до редакції  
2 жовтня 2009 року