

10. Фёдорова В.Н., Фаустов Е.В. Медицинская и биологическая физика. Курс лекций с задачами. Учебное пособие ГОУ ВПО «ММА им. И.М. Сеченова»: «ГЕОТАР-Медиа». - 2009 – 592 с.

<p>Терещенко Н.Ф., Кириллова А.В. Оценка влияния ультразвукового сигнала на биологические ткани</p> <p>Проведено исследование влияния ультразвукового сигнала на биологические ткани. Определены закономерности изменения концентраций веществ в при мембранных слоевых пространствах. Предложена модель диффузии и получена математическая зависимость влияния параметров ультразвука на проницаемость мембран.</p> <p>Ключевые слова: ультразвук, терапия, мембрана, проницаемость, диффузия</p>	<p>Tereschenko N.F., Kyrylova A.V. Influence estimation of ultrasound on biological fabric</p> <p>Research of influence estimation of ultrasound on biological fabric has been conducted. Also changes of concentrations of matters in the membrane stratified spaces are studied and their dependence are grounded over. The model of diffusion with mathematical dependence influence of parameters to ultrasound on permeability of membranes is offered.</p> <p>Keywords: ultrasound, therapy, membrane, permeability, diffusion</p>
--	--

Надійшло до редакції
15 березня 2010 року

УДК 681.784

ВПЛИВ АСФЕРИЧНОСТІ ОПТИЧНИХ ПОВЕРХОНЬ АБЕРАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ ОКА НА ХВИЛЬОВУ АБЕРАЦІЮ, ЩО МОДЕЛЮЄТЬСЯ

Шиша Т.О., Чиж І.Г., Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна

Встановлено вплив спотворень форми оптичних поверхонь абераційної моделі ока на параметри її хвильової аберації. Розроблено методіку розрахунку допустимої асферичності поверхонь. Підтверджено існування технологічної можливості створення абератора у якості зразкової міри хвильової аберації ока

Ключові слова: імітація аберації ока, похибки моделювання хвильового фронту

Вступ

В роботі [1] запропонована абераційна модель ока, що призначена для тестування похибок офтальмологічних аберометрів. В роботах [2, 3] досліджено вплив на хвильову аберацію, що відтворюється моделлю, відхилень конструктивних параметрів абератора (оптичної системи моделі) від їх номінальних значень, які виникають внаслідок технологічних похибок виготовлення лінз, їх взаємного розташування, впливу коливань температури та атмосферного тиску. Проте результати цих досліджень ще не дають повної уяви про можливе відхилення функції хвильової аберації від розрахункової номінальної, точні дані про яку необхідно мати при тестуванні аберометрів.

Крім вказаного на хвильову аберацію абератора суттєво впливають відхилення форми оптичних поверхонь лінз абератора від номінальної сферичної. Через похибки виробництва такі відхилення є неминучими. Тому дослідження впливу цього фактору на хвильову аберацію моделі є необхідним для встановлення вимог до точності виготовлення її оптичних поверхонь.

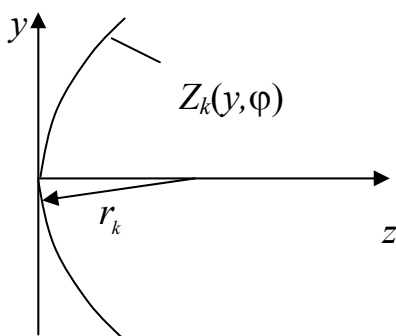
Постановка задачі

Для виявлення впливу на якість функціонування моделі відхилень оптичних поверхонь від номінальної сферичної форми у лінз, що імітують роботу рогівки та кришталіка, необхідно: 1) знайти математичний опис заломлюючих оптичних поверхонь з несферичною формою; 2) дослідити вплив асферичності поверхонь аберактора на параметри хвильової аберації; 3) визначити допуски на асферичність поверхонь лінз аберактора; 4) дослідити фактичну асферичність поверхонь лінз аберактора; 5) обґрунтувати рекомендації щодо необхідності урахування фактичної асферичності поверхонь лінз аберактора при паспортизації аберактора.

Мета досліджень – пошук умов, виконання яких забезпечує створення фізичної абераційної моделі хвильової аберації ока людини, що може слугувати взірцевою мірою хвильової аберації.

Метод та результати досліджень

Дослідження впливу відхилень оптичних поверхонь від сферичної форми здійснювалось методом розрахункового рейтресингу оптичної системи аберактора, в якому оптичні поверхні з номером k представлені твірною функцією $z_k(y, \varphi)$. Перший доданок цієї функції – твірна сфери з кривизною $c_k = r_k^{-1}$, де r_k – радіус сфери, рис. 1. Другий доданок у вигляді суми описує деформацію сферичної поверхні за допомогою поліноміального ряду, складеного із мод $Z_i(\rho, \varphi)$ з амплітудами a_{ki} , де $i = 0 \dots N$ – номер моди, які представлені стандартизованими поліномами Церніке (згідно стандарту OSA, [4]), $[\rho, \varphi]$ – полярні координати, де $0 \leq \rho = \frac{y}{0,5D} \leq 1$, D – діаметр оптичної поверхні лінзи, $\delta(m_1)$ – дельта-функція (функція Кронекера).



$$z_k(y, \varphi) = \frac{c_k y^2}{1 + \sqrt{1 - c_k^2 y^2}} + \sum_{i=1}^N a_{ki} Z_i(\rho, \varphi)$$

при додатних m_1 :

$$Z_i(\rho, \varphi) = \sqrt{\frac{2(n_1 + 1)}{1 + \delta(m_1)}} R_{n_1}^{m_1}(\rho) \cos m_1 \varphi$$

при від'ємних m_1 :

$$Z_i(\rho, \varphi) = -\sqrt{\frac{2(n_1 + 1)}{1 + \delta(m_1)}} R_{n_1}^{-m_1}(\rho) \sin m_1 \varphi$$

Рис.1 Математична модель асферичних оптичних поверхонь лінз аберактора

Кількість мод N , тобто максимальний номер i , визначається максимальними значеннями цілих чисел n_1 і m_1 , які представляють найбільший степеневий порядок мод, що присутні у асферичній оптичній поверхні.

Чисельний рейтресинг оптичної системи абератора здійснювався за допомогою комп'ютерної програми ZEMAX. Мета рейтресингу полягала у визначенні коефіцієнтів впливу кожної окремої амплітуди a_{ki} на амплітуду $C_n^{\pm m}$ кожної окремої абераційної моди із поточним номером t . Для цього кожна з цих амплітуд розраховувалась при двох значеннях амплітуд a_{ki} : $a_{ki} = 0$ та $a_{ki} = \Delta a_{n1}^{m1} \neq 0$. В розрахунках величина Δa_{n1}^{m1} складала 0.06 мкм, що приблизно дорівнює десятій долі довжини хвилі, яка використовувалась при розрахунковому рейтресингу в ZEMAX, в аберометрах при аберометрії ока та в інтерферометрі, на якому досліджувалась реальна поверхня лінз абератора.

Коефіцієнти впливу Q_{iki} обчислювалися за формулою

$$Q_{iki} = \left[\frac{\Delta C_n^{\pm m}}{\Delta a_{n1}^{m1}} \right],$$

де $\Delta C_n^{\pm m} = C_n^{\pm m}(a_{ki} = \Delta a_{ki}) - C_n^{\pm m}(a_{ki} = 0)$ – приріст амплітуди відповідної абераційної моди хвильової аберації з номером t , обумовлений приростом Δa_{n1}^{m1} амплітуди моди з номером i – асферичності оптичної поверхні з номером k .

Аналіз коефіцієнтів впливу Q_{iki} , розрахованих для абераційної моделі ока, оптична система якої та її конструктивні параметри представлені в [1, 2], показав, що:

- 1) спотворення поверхонь лінз абератора призводить до характерних змін у хвильовій аберації абератора, а саме:
 - модальний склад асферичності, що має передня поверхня лінзи-рогівки, викликає той самий модальний склад спотворень хвильової аберації абератора;
 - асферичність задньої поверхні лінзи-рогівки та обох поверхонь лінзи-кришталіка також призводить до змін величин тих самих мод хвильової аберації, але при цьому додатково виникають зміни у модах нижчих степеневих порядків (наприклад, моди Z_4^2 , Z_4^{-2} , що представляють асферичність вище вказаних поверхонь викликають зміну абераційних мод хвильової аберації моделі ока C_4^2 , C_4^{-2} та C_2^2 , C_2^{-2});

2) при центрованому розташуванні лінз абератора найбільші за величиною коефіцієнти Q_{iki} має передня поверхня лінзи-рогівки, що обумовлюється двома причинами. По-перше, передня поверхня абератора розділяє оптичні середовища (повітря та скло), різниця показників заломлення яких (≈ 0.5) є найбільшою у порівнянні з іншими поверхнями, по-друге, у порівнянні з іншими передня поверхня лінзи-рогівки має світловий отвір з найбільшим світловим діаметром;

3) при децентрованому розташуванні лінз абератора вплив асферичності поверхонь лінзи-кришталіка на амплітуди мод хвильової аберації моделі істотно зростає із збільшенням величини децентрування, причому цей вплив стає домінуючим.

Дані про величини коефіцієнтів Q_{iki} дозволяють розрахувати приріст $\Delta C_n^{\pm m}$ будь-якої абераційної моди абератора, якщо відомі амплітуди $(a_{n1}^{\pm m1})_k$ мод асферичності всіх чотирьох поверхонь лінз:

$$\Delta C_n^{\pm m} = \sum_{k=1}^4 \sum_{n_1=2}^6 \sum_{m_1=0}^{|m|=6} Q_{t(n_1, m_1)k} \cdot (a_{n_1}^{\pm m_1})_k. \quad (1)$$

У виразі (1) моди асферичності оптичних поверхонь (як і абераційні моди) обмежені шостим степеневим порядком, що цілком достатньо для апроксимації асферичності реальних оптичних поверхонь. Моди першого порядку ($n_1 = 1$) не взяті до уваги, тому що вони представляють децентрування поверхонь лінз аберактора, вплив якого окремо досліджено у роботі [3].

При виробництві оптичних сферичних поверхонь амплітуди $(a_{n_1}^{\pm m_1})_k$ мають випадкові величини. Тому $\Delta C_n^{\pm m} [(a_{n_1}^{\pm m_1})_k]$ є функцією випадкових аргументів $(a_{n_1}^{\pm m_1})_k$. В зв'язку з тим, що амплітуди $(a_{n_1}^{\pm m_1})_k$ є некорельованими, то, згідно [5], середнє квадратичне відхилення (СКВ) вказаної функції – $\sigma(\Delta C_n^{\pm m})$ можна представити виразом:

$$\sigma(\Delta C_n^{\pm m}) = \sqrt{\sum_{k=1}^4 \sum_{n_1=2}^6 \sum_{m_1=0}^{|m|=6} Q_{t(n_1, m_1)k}^2 \sigma^2(a_{n_1}^{\pm m_1})_k}, \quad (2)$$

де $\sigma(a_{n_1}^{\pm m_1})_k$ – СКВ амплітуд мод асферичності оптичних поверхонь.

Вираз (2) дозволяє знайти допустиму асферичність оптичних поверхонь лінз аберактора, якщо відомі допустимі похибки моделювання мод хвильової аберації. Покажемо це на наступному прикладі.

Нехай всі моди асферичності оптичних поверхонь мають однакове допустиме (для заданої абераційної моди з номером t) значення СКВ ненормованих, тобто реальних амплітуд $[\sigma_a]_{\text{дон}} : [\sigma_a]_{\text{дон}} = \sqrt{\frac{2(n_1 + 1)}{1 + \delta(m_1)}} \sigma(a_{n_1}^{\pm m_1})_k$, звідси

$$\sigma^2(a_{n_1}^{\pm m_1})_k = \frac{[\sigma_a]_{\text{дон}}^2}{2(n_1 + 1)} (1 + \delta(m_1)). \quad (3)$$

Після підстановки (3) у (2) величину $[\sigma_a]_{\text{дон}}$ як сталий співмножник можна винести за знак радикала, що дозволяє отримати формулу:

$$[\sigma_a]_{\text{дон}} = \frac{\sigma(\Delta C_n^{\pm m})_{\text{дон}}}{\sqrt{\sum_{k=1}^4 \sum_{n_1=2}^6 \sum_{m_1=0}^{|m|=6} [Q_{t(n_1, m_1)k}^2 \frac{1 + \delta(m_1)}{2(n_1 + 1)}]}}, \quad (4)$$

де $\sigma(\Delta C_n^{\pm m})_{\text{дон}}$ – допустима величина СКВ стандартизованої, згідно [4], амплітуди конкретної абераційної моди з номером t , що визначається числами n, m .

Величина $[\sigma_a]_{\text{дон}}$, що задовольняє допустимим похибкам моделювання всіх абераційних мод аберактора, визначається як найменша з $[\sigma_a]_{\text{дон}}$, що розраховані за формулою (4) для кожної абераційної моди.

В таблиці представлені розрахунки величин $[\sigma_a]_{\text{дон}}$, здійснені в EXCEL за формулою (4) з використанням даних про допустимі величини $\sigma(\Delta C_n^{\pm m})_{\text{дон}}$, що представлені у першій колонці, а також даних про $Q_{t(n_1, m_1)k}$, розрахованих за до-

помогою ZEMAX . Величини $\sigma(\Delta C_n^{\pm m})_{дон}$ є меншими у п'ять разів за ті, що є допустимими для аберометрів. «Оптична система децентрована» означає, що лінза-кришталік зсунута перпендикулярно до оптичної осі на 2 мм.

Виділені жирним шрифтом у двох останніх колонках величини $[\sigma_a]_{дон}$ є найменшими. Саме вони показують допустимі максимальні значення всіх амплітуд асферичності поверхонь, при яких похибки моделювання всіх абераційних мод не виходять за допустимі межі.

Таблиця - До визначення допустимих амплітуд мод асферичності поверхонь лінз абератора для діаметра 6 мм зони апроксимації поліномами Церніке

Амплітуди абераційних мод		Допустимі похибки моделювання абераційної моди $\pm\sigma(\Delta C_n^{\pm m})_{дон}$, [МКМ]	$\sqrt{\sum_{k=1}^4 \sum_{n_1=2}^6 \sum_{m_1=0}^{ m =6} \left[Q_{t(n_1 m_1) k}^2 \cdot \frac{1 + \delta_{m_1}}{2(n_1 + 1)} \right]}$		Допустимі величини амплітуд мод асферичності оптичних поверхонь лінз абератора	
t	$C_{n;\pm m}$		Система центрована	Система децентрована	Система центрована	Система децентрована
					$\pm[\sigma_a]_{дон}$, [МКМ]	
1	C2;-2	0,02204	0,3156	2,1750	0,0698	0,0101
2	C2;2	0,02592	0,3156	7,2542	0,0821	0,0036
3	C3;-1	0,01853	0,2122	0,4343	0,0873	0,0427
4	C3;1	0,01166	0,2081	4,7365	0,0561	0,0025
5	C3;-3	0,01374	0,2014	1,5206	0,0682	0,0090
6	C3;3	0,01050	0,2014	2,1382	0,0521	0,0049
7	C4;0	0,01659	0,2547	0,7957	0,0651	0,0208
8	C4;2	0,00622	0,1796	0,8048	0,0346	0,0077
9	C4;-2	0,00350	0,1796	0,3512	0,0195	0,0100
10	C4;4	0,00557	0,1777	0,3942	0,0314	0,0141
11	C4;-4	0,00492	0,1777	0,3873	0,0277	0,0127
12	C5;1	0,00259	0,1573	0,1777	0,0165	0,0146
13	C5;-1	0,00363	0,1563	0,0445	0,0232	0,0815
14	C5;3	0,00233	0,1564	0,0759	0,0149	0,0307
15	C5;-3	0,00311	0,1564	0,0696	0,0199	0,0447
16	C5;5	0,00298	0,1548	0,0537	0,0192	0,0555
17	C5;-5	0,00324	0,1548	0,0537	0,0209	0,0603
18	C6;0	0,00311	0,2059	0,0524	0,0151	0,0594
19	C6;-2	0,00156	0,1453	0,0250	0,0107	0,0622
20	C6;2	0,00207	0,1452	0,0283	0,0143	0,0733
21	C6;-4	0,00181	0,1446	0,0241	0,0125	0,0753
22	C6;4	0,00220	0,1445	0,0241	0,0153	0,0914
23	C6;-6	0,00246	0,1432	0,0222	0,0172	0,1109
24	C6;6	0,00259	0,1432	0,0222	0,0181	0,1168

Щоб встановити технологічну можливість забезпечення представлених в останніх колонках таблиці допусків на асферичність оптичних поверхонь було проведено інтерферометрію декількох комплектів лінз абератора, виготовлених

в умовах сучасного оптичного виробництва. Для цього був використаний комп'ютерний лазерний інтерферометр ИКД-Р, розроблений спільно ЦКБ «Арсенал» (Україна) та «ЛІТМО» (Російська Федерація), який побудований за схемою нерівноплечого інтерферометра Фізо. Цей прилад дозволяє відтворювати амплітуди мод асферичності оптичних поверхонь з похибками $\pm 0.01\lambda$, що при довжині хвилі лазерного випромінювача 0.6328 мкм становить величину 0.006328 мкм. Така похибка є істотно меншою за величини $[\sigma_a]_{\text{іон}}$, тому цей прилад дозволяє визначати відповідність форми поверхонь лінз абератора вимогам, що відображені у двох останніх колонках таблиці.

Аналіз отриманих інтерферограм оптичних поверхонь лінз абератора дозволив виявити поверхні, у яких амплітуди декількох мод асферичності виходять за встановлені допуски. Найбільше відхилення має мода a_4^0 , яка обумовлена симетричним «завалом» краю оптичної поверхні. Проте переважна більшість поверхонь мала асферичність в допустимих межах.

Висновки

1. Розроблена методика оцінки впливу асферичності оптичних поверхонь на величини амплітуд аберацийних мод моделі ока дозволила встановити допустимі відхилення поверхонь лінз абератора від ідеальної сфери, при яких модель може бути зразковою мірою хвильової аберації ока людини при тестуванні аберометрів.

2. Перевірка технологічної можливості забезпечення допусків на асферичність оптичних поверхонь, здійснена виготовленням лінз абератора з наступним високоточним інтерферометричним контролем форми його оптичних поверхонь показала, що сучасний рівень розвитку оптичного виробництва дозволяє забезпечити встановлені допуски, але необхідним і обов'язковим повинен бути вхідний контроль асферичності форми поверхонь лінз абератора з метою їх відбракування або для перерахунку амплітуд аберацийних мод абератора під фактичну асферичність їх оптичних поверхонь.

3. Подальші експериментальні дослідження необхідно спрямувати на розробку методу контролю параметрів хвильової аберації моделі ока в умовах її серійного виробництва.

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. Шиша Т.О., Чиж І.Г. Моделювання аберацій оптичної системи ока. Частина 1. Огляд і порівняльний аналіз фізичних аберацийних моделей ока // Наукові вісті НТУУ «КПІ», 2009. – №5. – С.104-111.
3. Шиша Т.О., Чиж І.Г. Моделювання аберацій оптичної системи ока. Частина 2. Технологічні похибки дволінзової аберацийної фізичної моделі ока // Наукові вісті НТУУ «КПІ», 2009. – №6. – С.116-123.
4. 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.
5. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. – М.: Наука. Главная редакция физико-математиче-

скої літератури. – 1969. – 576 с.

<p>Шиша Т.А., Чиж І.Г. Влияние асферичности оптических поверхностей аберрационной модели глаза на моделируемую волновую аберрацию</p> <p>Установлено влияние искажений формы оптических поверхностей аберрационной модели глаза на параметры волновой аберрации. Разработано методику расчета допустимой асферичности поверхностей. подтверждена технологическая возможность создания аббератора в качестве образцовой меры волновой аберрации глаза.</p> <p>Ключевые слова: имитация аберраций глаза, ошибки моделирования волнового фронта</p>	<p>Shysha T.A., Chyzh I.H. The influence of optical surfaces asphericity on the wave aberration, simulated in the eye model</p> <p>The influence is established of optical surface deformations arising in the aberration eye model on parameters of its wave aberration. The technique is proposed for estimation of the permissible surface asphericity.</p> <p>The technological possibility is proven of manufacturing the aberrator as an elalon of eye wave aberration.</p> <p>Keywords: Eye aberration simulation, wavefront errors</p>
--	--

Надійшло до редакції
18 березня 2010 року

УДК 615.84

МАГНІТОТЕРАПЕВТИЧНИЙ АПАРАТ ТА МІРА ДЛЯ ЙОГО ПОВІРКИ

Терещенко М.Ф., Рудик В.Ю., Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна

Стаття присвячена дослідженню особливостей побудови сучасних магнітотерапевтичних апаратів (МТА) зі змінними магнітними полями заданих форм (ЗМПЗФ). Запропоновані нові методи і принципи побудови таких перспективних МТА з розширеними динамічним, частотним діапазонами та високоточною міри для їх метрологічної атестації

Ключові слова: магнітотерапевтичний апарат, міра, повірка

Вступ

Сьогодні магнітотерапія становиться багатообіцяючим перспективним фізіотерапевтичним методом [1], який дозволяє обмежити використання ліків та уникнути їх побічного впливу. Тому створення багатофункціональних МТА набуває актуального значення на сучасному етапі розвитку медичної техніки. Ефективність лікування, яке проводиться за допомогою МТА, в першу чергу, залежить від магніточутливості пацієнта, виду та ступеню захворювання, точності завдання характеристик діючого магнітного поля (МП). Для збільшення ефективності терапевтичного впливу важливе значення має величина динамічного та частотного діапазонів МТА при створенні різних видів МП [2].

Постановка задачі

Варіації біологічної дії МП залежать від його біотропних параметрів: індукції, градієнта, вектора, частоти, форми імпульсу, експозиції, локалізації і ін. Ефект дії МП зростає при варіюванні біотропними параметрами під час проведення процедури. Сучасні МТА (“Полюс-6”, “МІТ-11”, “Полімаг”, “Маг-30”, “МАВР-2”, “ПДМТ-2”) обмежені у варіюванні зміною параметрів МП.