

10. Schwartz R.B., Tice H.M., Hooten S.M. et al. Evaluation of cerebral aneurysms with helical CT: correlation with conventional angiography and MR-angiography // Radiology. – 1994. – V. 192. – № 3. – pp. 717–722.
11. Беличенко О.И., Дадвани С.А., Абрамова Н.Н., Терновой С.К. Магнитно-резонансная томография в диагностике цереброваскулярных заболеваний. М.: Видар, 1998. – 93 с.
12. Беленков Ю.Н., Терновой С.К., Сеницын В.Е. Магнитно-резонансная томография сердца и сосудов. М.: Видар, 1997. – С. 38–40.
13. Францевич К.А., Цвігун Г.В., Красільников Р.Г., Ігнатенко П.М. Можливості магнітного резонансу в візуалізації артеріо-венозної мальформації. // Збірник тез доповідей. П'ята науково-технічна конференція. Приладобудування 2006. Стан і перспективи, 25-26 квітня 2006 рік, м. Київ, Україна.
14. Heiss W.D., Forsting M., Diener H.C. Imaging in cerebrovascular disease // Curr. Opin. Neurol. – 2001. – Vol. 14. – №1. – pp. 67–75.
15. Baba, Y. Cost – effectiveness of screening unruptured cerebral aneurysms in Japan / Y. Baba, M. Takahashi, Y. Korogi // Eur. Radiol. – 2000. – Vol. 10, Suppl. 3. – pp. 362-365.

Францевич К.А., Цвігун Г.В. **Применение магнитного резонанса в определении артериальных аневризм у особ молодого возраста**

В работе освещены преимущества оператор-независимого метода МРТ и еог методики МРА в определении артериальных аневризм. Проведено обследование 30 больных возраста от 20 до 45 лет. Результаты диагностики представлены на сканах.

Frantsevich K.A., Ttsvigun G.V. **Use (application) magnetic resonance in the determination of arterial aneurysms of young patients**

Privilege of operator-independent method of MRI and MRA methodic in the investigation of arterial aneurysms at vascular pathology are presented in the article. There were examined 30 patients in the age of 20 up to 45 years. Results of diagnostics are showed on the scan.

Надійшла до редакції
25 квітня 2008 року

УДК 681.784

ВІДНОВЛЕННЯ СКЛАДНИХ РОГІВКОВИХ ПОВЕРХОНЬ У ТОЧКОВОМУ ТОПОГРАФЕРІ

Сокурєнко В.М., Неділюк Д.С., Національний технічний університет України „Київський політехнічний інститут”, м. Київ, Україна

Представлено результати чисельного дослідження алгоритму відновлення асферичної форми поверхні рогівки ока, розробленого для методу послідовної (точкової) рогівкової топографії. Здійснено аналіз функціональних можливостей та точності алгоритму при різних режимах відновлення поверхні. Надані рекомендації щодо застосування поліномів Церніке при визначенні форми рогівкової поверхні

Вступ

Рогівка вносить приблизно дві третини оптичної сили ока і є його головним заломлюючим елементом. Ідеальна форма передньої поверхні рогівки – це витя-

гнутий еліпсоїд, а суттєві відхилення у її формі призводять до загальних аберацій таких як астигматизм і кома. Захворювання рогівки, подібні до кератоконусу, при яких вона стає тоншою і деформується, зумовлюють велику кількість аберацій вищих порядків, що не можуть бути виправлені звичайними окулярами.

Для забезпечення вдалих візуальних результатів рефракційна хірургія вимагає попереднього точного вимірювання форми передньої поверхні рогівки. Конструювання та підбір контактних лінз також базуються на результатах рогівкової топографії. Тому підвищення точності вимірювання рогівкової поверхні є актуальним з декількох точок зору.

Принциповим обмеженням, закладеним в основу сучасних рогівкових топографів з дисками Плачідо, є припущення про те, що промінь, який виходить з будь-якої точки тестового об'єкта, промінь, відбитий рогівкою, та оптична вісь поверхні рогівки належать одній площині. Однак, таке припущення є справедливим лише в обмеженій кількості практичних випадків. Як результат, із-за неможливості точного визначення азимутальних координат фрагментів зображення виникають похибки відновлення форми рогівки. Ця проблема, властива системам Плачідо, обговорювалась Кляйном [1] та вирішується лише частково [2]. Хальстед запропонував інший підхід [3], в основу якого покладено теорію формування сплайн-поверхні, яка б відповідала модельованій рогівці. Цей алгоритм відзначається високою стабільністю при наявності шумів, але є порівняно повільним.

Раніше авторами для вимірювання форми передньої поверхні рогівки був запропонований удосконалений метод послідовної (точкової) рогівкової топографії, який дає змогу уникнути вищезазначених припущень при відновленні поверхні та підвищити точність вимірювань [4]. Результати фізичних експериментів, проведених на сферичних поверхнях, підтвердили основні функціональні можливості методу.

В цій роботі була розроблена комп'ютерна програма, в основу якої закладено оптимізаційний алгоритм. Програма надає можливість змоделювати функціонування топографічної установки та здійснити відновлення заданої поверхні рогівки складної форми з та без наявності похибок вимірювань. Отже, представлені результати дослідження потенційної точності застосованого алгоритму та ефективності розробленої програми.

Обґрунтування методу

Метод послідовної рогівкової топографії полягає у використанні як тестових об'єктів системи точкових джерел випромінювання (замість кілець Плачідо).

Алгоритм базується на демпфованому методі найменших квадратів. Коефіцієнти Церніке, що описують поверхню, використовуються як параметри оптимізації. Нехай x_i є i -м елементом узагальненого вектора параметрів \mathbf{X} ($i=1\dots N$), де N – загальна кількість оптимізаційних параметрів.

Як функції оптимізації вибрані відхилення f_j координат x'_s і y'_s , плям від заданих значень (розрахованих для обраної моделі рогівки або виміряних екс-

периментально в реальному топографері), $j=1...2S$, де S – загальна кількість точкових джерел.

Розв’язок найменших квадратів може бути знайдений при мінімізації такої оціночної функції ξ :

$$\xi = |\mathbf{F}|^2 = \mathbf{F}^T \mathbf{F},$$

де \mathbf{F} – $2S$ -елементний вектор, складений зі значень f_j , \mathbf{F}^T – транспонований вектор \mathbf{F} .

Згідно з демпфованим методом найменших квадратів [7], оптимізаційна траєкторія знаходиться як

$$\mathbf{X} = \mathbf{X}_0 - k_l (\mathbf{A}^T \mathbf{A} + p^2 \mathbf{I})^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{F}_0$$

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x_1} & \frac{\partial f_1}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial f_1}{\partial x_N} \\ \frac{\partial f_2}{\partial x_1} & \frac{\partial f_2}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial f_2}{\partial x_N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial f_{2S}}{\partial x_1} & \frac{\partial f_{2S}}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial f_{2S}}{\partial x_N} \end{pmatrix},$$

де \mathbf{X}_0 і \mathbf{X} – відповідно вихідний і новий вектори оптимізаційних параметрів, \mathbf{A} – матриця Якобі, тобто матриця, складена зі значень перших часткових похідних від функцій оптимізації по параметрам оптимізації; p^2 – демпферний коефіцієнт; \mathbf{I} – одинична діагональна матриця; \mathbf{F}_0 – вектор значень функцій оптимізації, обчислених для вихідних параметрів; k_l – коефіцієнт, який визначає довжину вектора спуску.

Ітераційний процес оптимізації завершується як тільки відносна зміна ϵ_{rel} або абсолютна зміна ϵ_{abs} оціночної функції стануть менші за задані значення [4].

Алгоритм задіює процедури розрахунку дійсних променів через задану оптичну систему з пошуком реальних апертур. Оптична система топографера і просторове (тривимірне) розташування точкових джерел можуть бути, в загальному випадку, довільними. Для досліджень обраних фотооб’єктів, телецентричний в просторі предметів.

Передня поверхня рогівки описується набором стандартних поліномів Церніке (до 7-го порядку включно). Максимальний діаметр зіниці дорівнює 10 мм, тому нормувальний радіус поліномів Церніке встановлено рівним 5 мм.

Програма дозволяє кількісно оцінити параметри працездатності алгоритму, його потенційні можливості у визначенні форми рогівки з субмікронним розділенням. Користувач має можливість коригувати: загальну кількість та розташування точкових джерел; їх мінімальну та максимальну висоту; радіус кривизни і кіничний коефіцієнт поверхні предметів; відстань від поверхні предметів до ро-

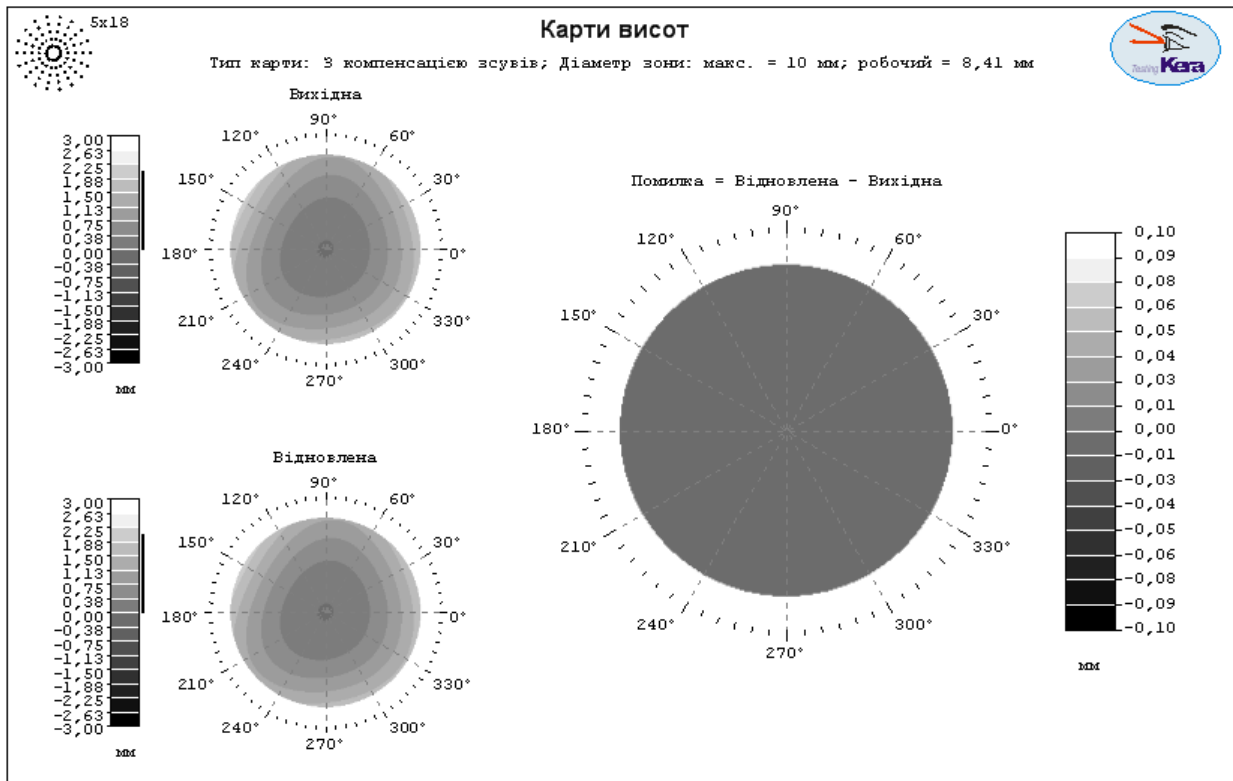
гівки, а також СКВ похибки визначення координат X та Y центрів світлових плям в площині зображень.

Для моделювання процесу відновлення вихідна (тестова) рогівкова поверхні може бути задана стандартною оптичною поверхнею, що описується одним радіусом і одним конічним коефіцієнтом; біконічною поверхнею, що визначається парою радіусів і конічних коефіцієнтів, або поверхнею, представленою коефіцієнтами Церніке.

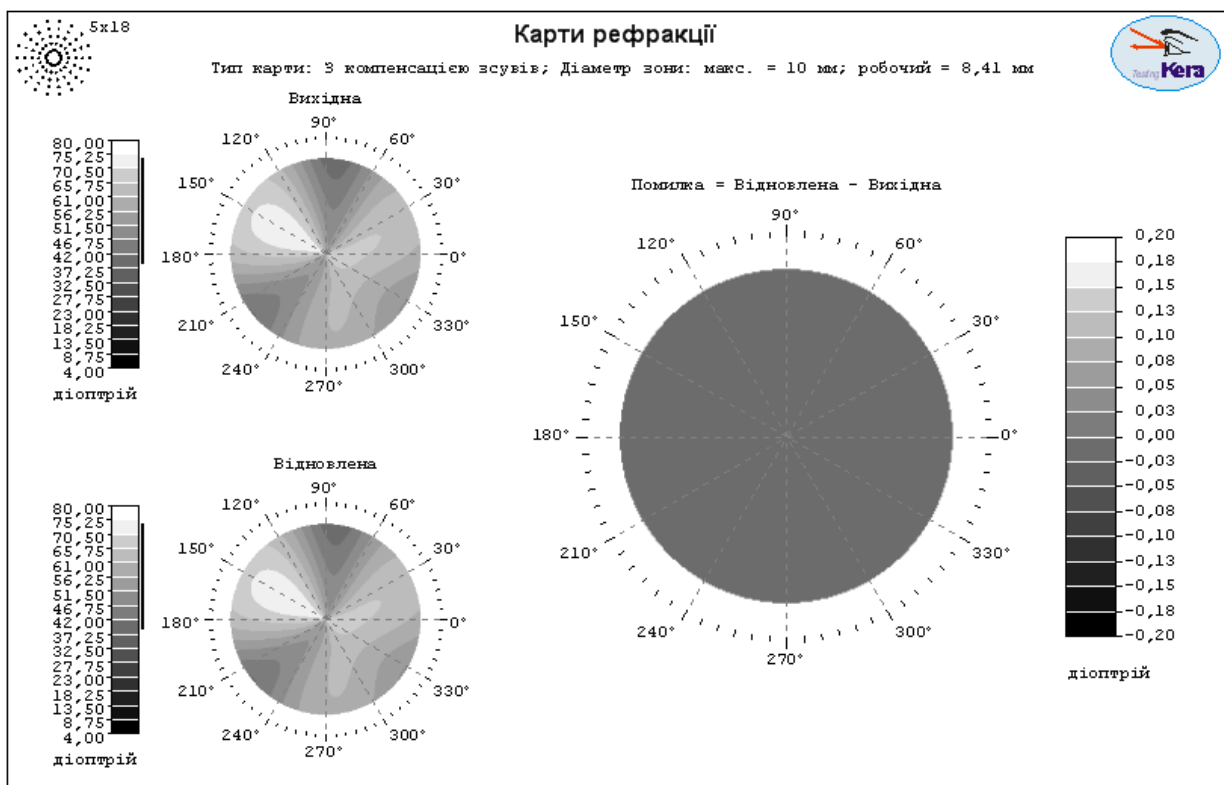
Результати відновлення поверхні рогівки представляються у вигляді текстового звіту, в якому наводяться похибки відновлення поверхні, а також у вигляді карти висот (тобто відхилень від площини, дотичної до поверхні рогівки та перпендикулярної до оптичної осі) в [мм] та карти рефракції (оптичної сили) поверхні рогівки в [діоптріях]. Порядкові індекси коефіцієнтів Церніке відповідають рекомендаціям, наведеним в праці [8].

Для прикладу на рис. 1 представлено результати відновлення карт складної поверхні з коефіцієнтом дефокусування $Z_4=0,66$ мм, головними астигматичними коефіцієнтами $Z_3=0,1$ мм; $Z_5=-0,1$ мм та коефіцієнтом $Z_6=0,14$ мм.

Положення світлових плям у площині фотоприймача та відновлені координати у площині предметів показані на точкових діаграмах (рис. 2). Діаграмами на рис. рис. 3 і 4 також проілюстровані числові значення вихідних і відновлених коефіцієнтів Церніке та похибки відновлення коефіцієнтів відповідно.



a)



б)

Рис. 1. Графічне представлення результатів відновлення складної астигматичної рогівкової поверхні: а) карта висот; б) карта рефракції

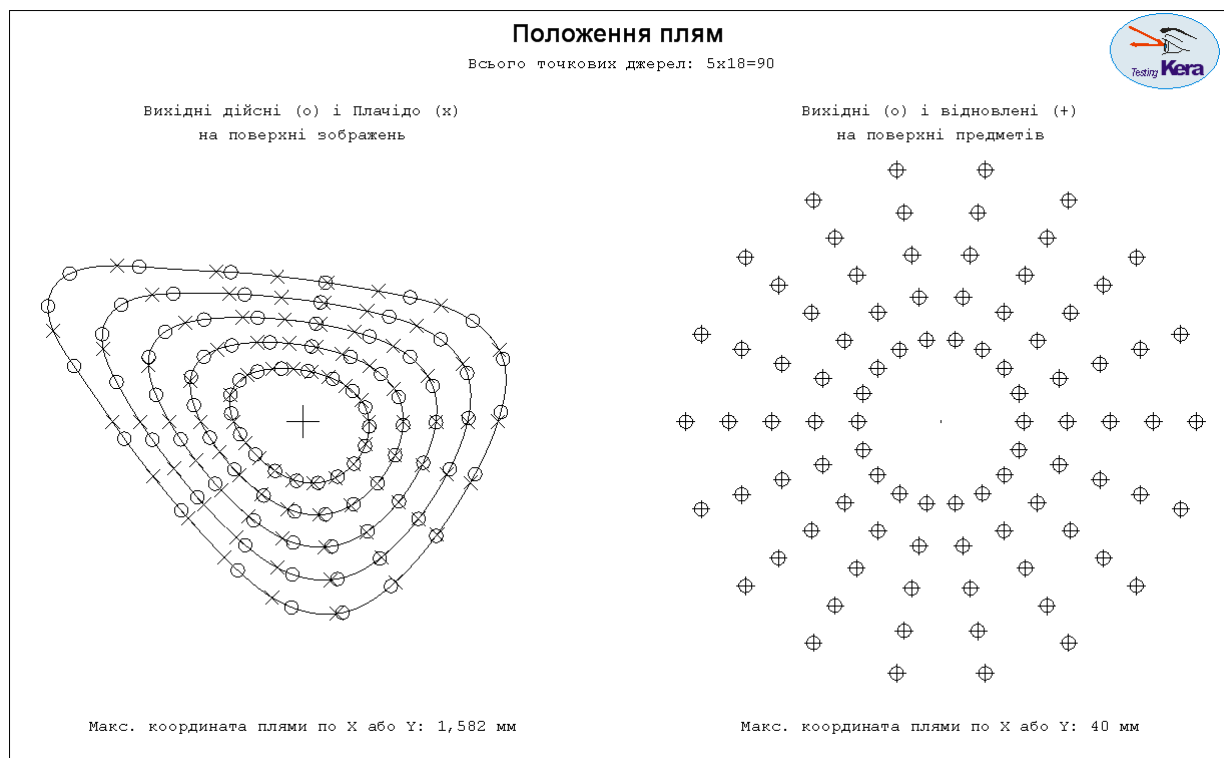


Рис. 2. Точкові діаграми положення світлових плям в площині зображення (ліворуч) та на поверхні предметів (праворуч)

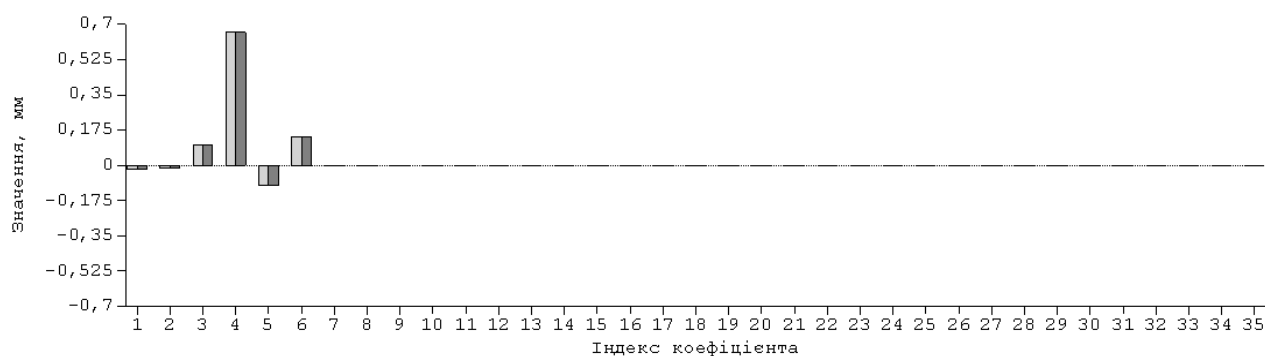


Рис. 3. Значення вихідних (ліворуч) та відновлених (праворуч) коефіцієнтів Церніке

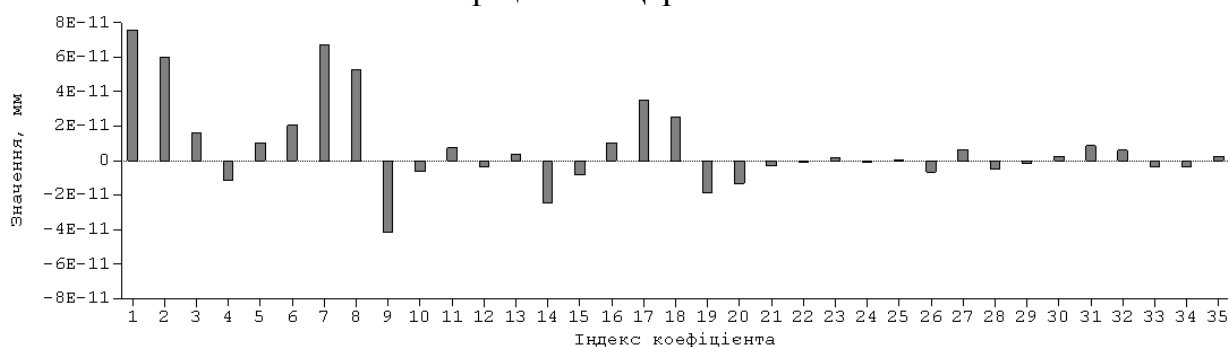


Рис. 4. Похибки відновлення коефіцієнтів Церніке

Дослідження

З метою оцінки потенційної точності розробленого алгоритму було проведено декілька серій експериментів при різних умовах завдання та режимах відновлення рогівки.

Вихідні поверхні мали такі параметри:

- для сферичної поверхні: радіус кривизни від 5 до 16 мм;
- для конічної поверхні: радіус при вершині від 5 до 16 мм, конічний коефіцієнт ($-e^2$) від -5 до 5;

- для складної поверхні: використовувались поліноми Церніке до 7-го радіального порядку, включно; коефіцієнт $Z_4 = 0,2..1$ мм, що відповідає приблизно радіусу кривизни рогівки від 5 до 16 мм; значення інших коефіцієнтів в межах від $-0,1/R^n$ до $0,1/R^n$ мм, де R – нормувальний радіус, n – радіальний порядок коефіцієнта.

При відновленні поверхонь застосовано зворотній хід променів, що дозволяє уникнути трудомісткої процедури розрахунку головних променів при уточненні апертури.

Метою першої серії експериментів було дослідження точності відновлення поверхні в залежності від кількості точкових джерел, що використовуються. Дослідження проводились при різному впливі шумів (від 0 до 2 мкм). Тут і далі під шумами розуміються похибки визначення координат центрів світлових плям в площині приймача зображення. Для відновлення використовувались поліноми Церніке до сьомого радіального порядку, включно. Результати представлено у табл. 1, де значення СКВ усереднено зі 100 реалізацій.

Таблиця 1 – Результати відновлення поверхонь в залежності від кількості використаних джерел у топографері

СКВ координат світлових плям, мкм	СКВ похибки прогину поверхні в [мкм] для поверхні					
	Сферичної		Конічної		Заданої коеф. Церніке	
	48 джерел	90 джерел	48 джерел	90 джерел	48 джерел	90 джерел
0,0	$7,9 \cdot 10^{-4}$	$7,3 \cdot 10^{-4}$	$2,5 \cdot 10^{-2}$	$1,7 \cdot 10^{-2}$	$1,4 \cdot 10^{-6}$	$4,5 \cdot 10^{-7}$
0,5	0,29	0,24	0,21	0,24	1,83	1,21
1,0	0,63	0,71	0,53	0,34	3,11	2,75
2,0	1,53	1,06	1,02	1,01	6,98	3,96

Потенційна точність (без впливу шумів) методу складає $4,5 \cdot 10^{-7}$ мкм для карти висот та $2,9 \cdot 10^{-7}$ діоптрій для карти рефракції, відповідно. На сферичній та конічній поверхнях при застосуванні більшої кількості джерел результати майже не відрізняються. Тим не менше, на складній поверхні, що задана поліномами Церніке, при значному впливі шумів (2 мкм), точність зростає майже вдвічі і СКВ похибки прогину поверхні складає біля 4 мкм та похибки рефракції 1,8 діоптрій.

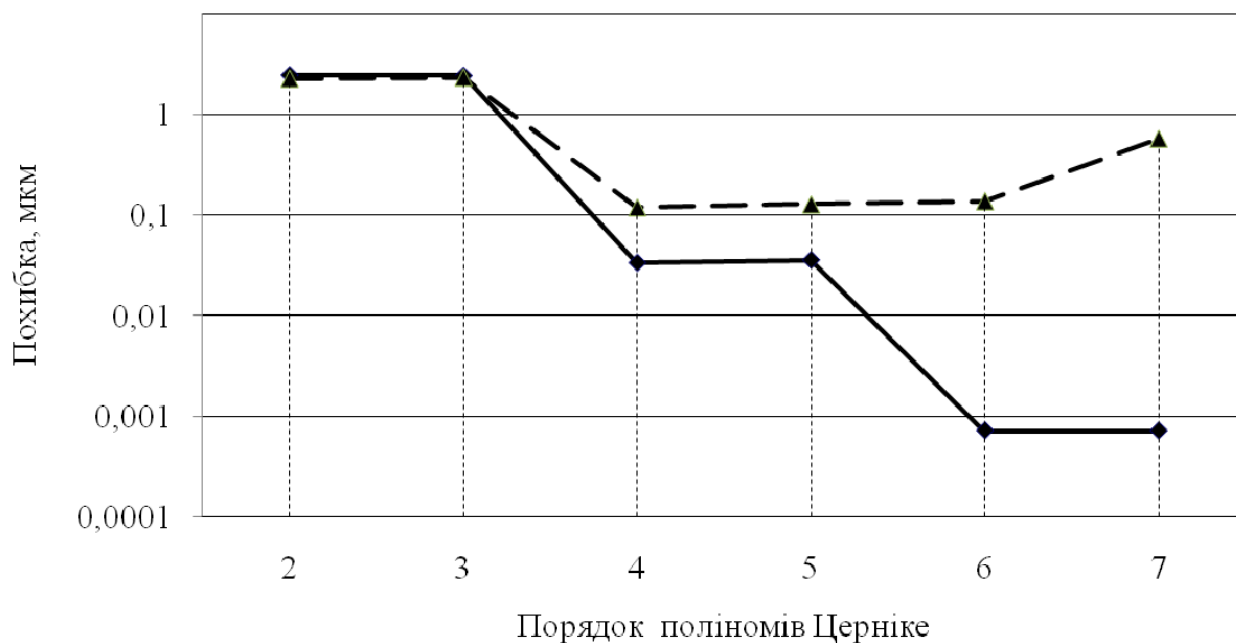
В другій серії експериментів досліджувалася точність відновлення поверхні рогівки в залежності від максимального порядку використаних при відновленні поліномів Церніке. Дослідження проводились на трьох типах поверхонь (сферичній, конічній та складній поверхні, заданій поліномами Церніке), при різному впливі шумів (від 0 до 2 мкм). Як видно з графіків, представлених на рис. 5, якщо не враховувати вплив шумів, підвищення радіального порядку зумовлює зменшення СКВ до $7,3 \cdot 10^{-4}$ мкм у випадку сферичної поверхні; до 0,026 мкм у випадку конічної поверхні та до $1,7 \cdot 10^{-7}$ мкм для поверхні, представленої поліномами Церніке.

Наявність похибок визначення координат плям в площині зображення суттєво погіршує ситуацію, особливо коли у відновленні застосовується всі сім порядків Церніке. Найбільш стійкою до впливу шумів виявилась конічна модель рогівки. Найчутливішою до шуму є поверхня, представлена поліномами Церніке, так СКВ похибки прогину поверхні при шумі 1 мкм склала 0,13 мкм (при відновленні застосовано 6 порядків Церніке). Значення СКВ усереднено з 50 реалізацій.

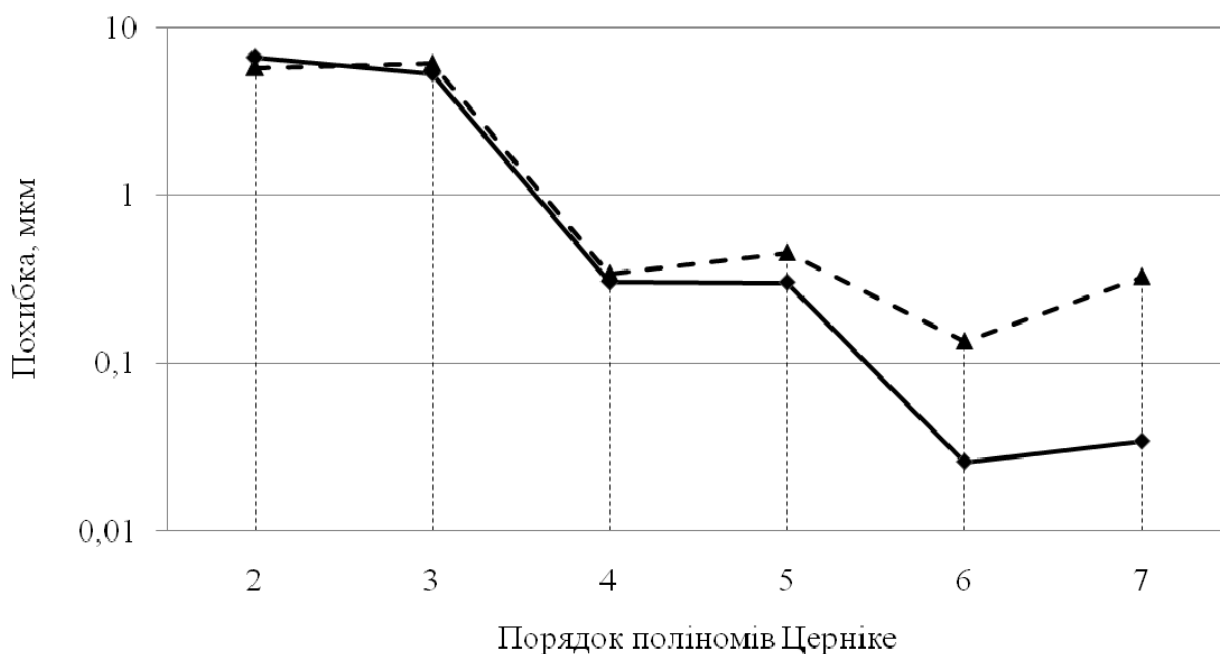
З огляду на мінімізацію СКВ похибки прогину поверхні при наявності шумів оптимальним виявилось застосування поліномів шостого радіального порядку для відновлення поверхні. У випадку поліномів 7-го порядку СКВ похибки зростає для всіх розглянутих типів поверхонь (див. рис. 5). Подібного

висновку у своїх роботах також дійшли Іскандер [5] та Сікам [6]. Шостий порядок поліномів Церніке також застосовується в сучасних топографічних системах (WASCA WaveFront Analyzer) компанії Zeiss.

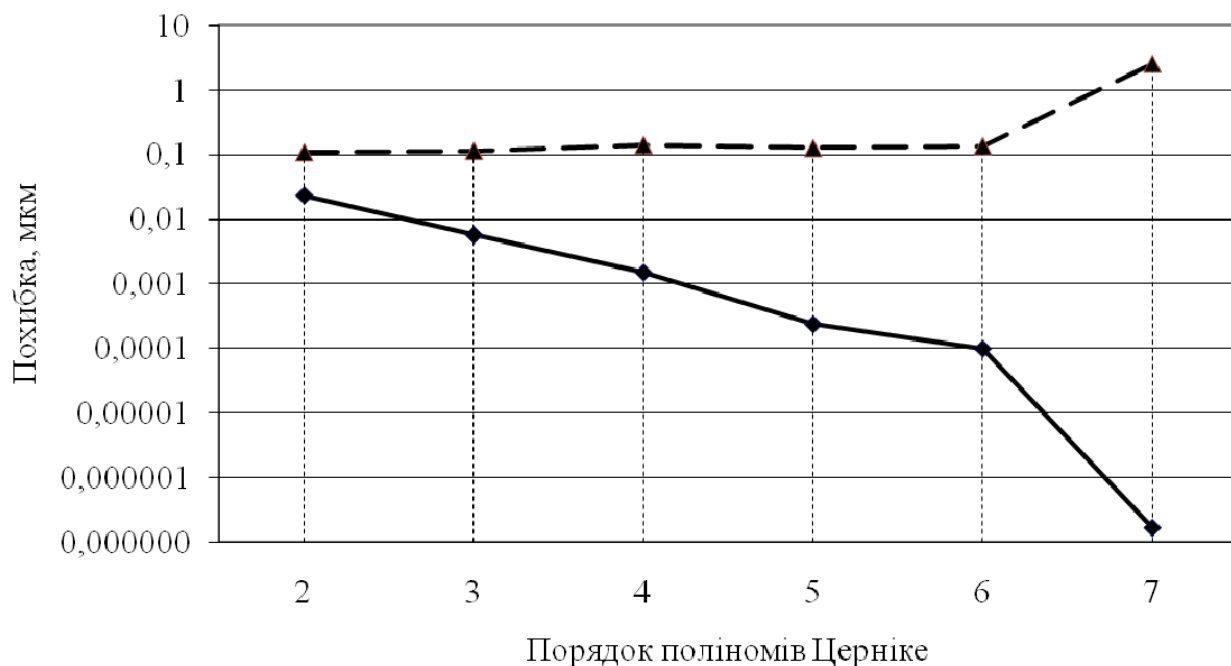
Окремо для сферичної поверхні було визначено СКВ похибок відновлення радіусу кривизни поверхні. Результати цього чисельного дослідження наведено у табл. 2. Як видно, навіть для зображення, враженого шумами (2 мкм), СКВ зазначеної похибки не перевищувало 0,02 мкм при використанні радіальних порядків Церніке від 4-го до 7-го.



а)



б)



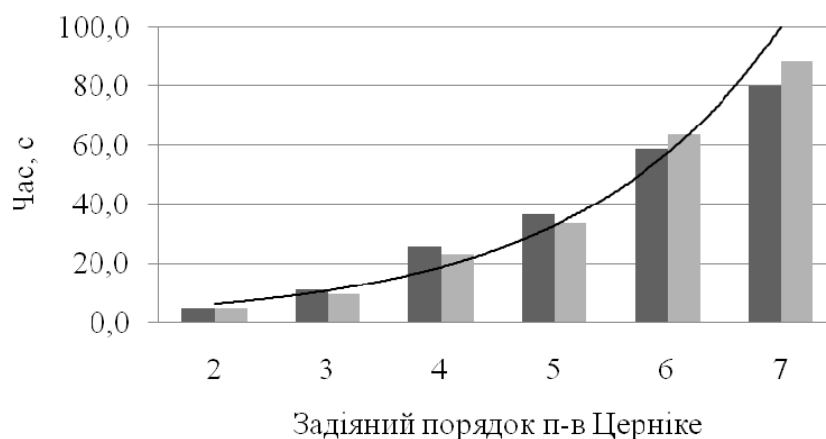
в)

Рис. 5. Залежність СКВ похибки поверхні від задіяного у відновленні порядку поліномів Церніке (суцільна лінія – без впливу шумів; штрихпунктирна лінія – шум 1 мкм): а) сферична поверхня; б) конічна поверхня; в) поверхня, представлена поліномами Церніке

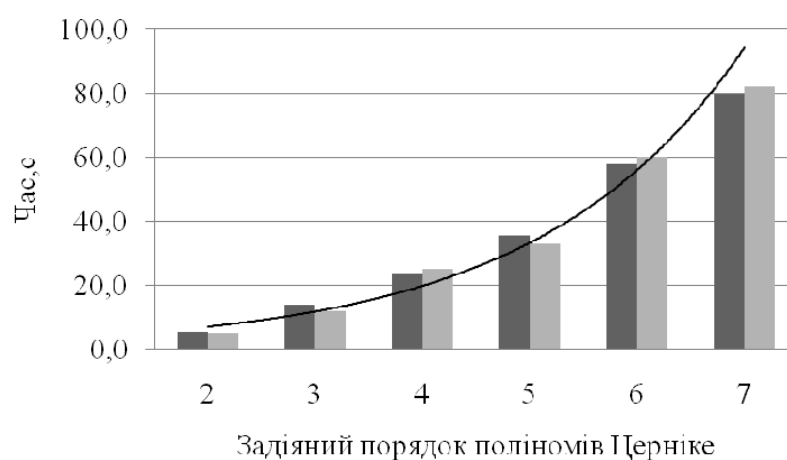
Таблиця 2 – Результати відновлення радіусу кривизни сферичної поверхні

СКВ радіусу кривизни, мкм				
Радіальний порядок поліномів Церніке	СКВ похибок координат світлових плям, мкм			
	0	0,5	1	2
2	0,43	0,41	0,39	0,41
3	0,42	0,42	0,41	0,4
4	$1,82 \cdot 10^{-2}$	$1,81 \cdot 10^{-2}$	$1,76 \cdot 10^{-2}$	$1,87 \cdot 10^{-2}$
5	$1,75 \cdot 10^{-2}$	$1,77 \cdot 10^{-2}$	$1,69 \cdot 10^{-2}$	$1,79 \cdot 10^{-2}$
6	$7,4 \cdot 10^{-4}$	$3,32 \cdot 10^{-3}$	$6,42 \cdot 10^{-3}$	$1,51 \cdot 10^{-2}$
7	$7,3 \cdot 10^{-4}$	$3,55 \cdot 10^{-3}$	$7,69 \cdot 10^{-3}$	$1,3 \cdot 10^{-2}$

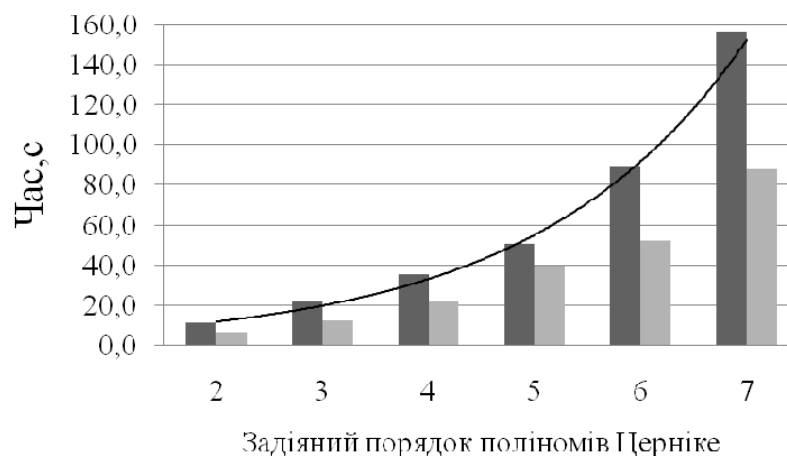
Результати комп'ютерного моделювання показали, що наявність шумів практично не впливає на час відновлення роگیркової поверхні. Досягнуті значення оціночної функції ξ , зазвичай, знаходяться в діапазоні $10^{-3} \dots 10^{-4}$. Виключення становить модель поверхні роگیрки, представлена поліномами Церніке (рис. 6). Без шуму тривалість процедури її відновлення збільшується майже вдвічі, оскільки значення оціночної функції ξ може наближатися до величин $10^{-24} \dots 10^{-25}$, що, в свою чергу, потребує більшої кількості ітерацій оптимізації.



а)



б)



в)

Рис. 6. Залежність часу відновлення поверхні від задіяного порядку поліномів Церніке. Результати отримані для випадку 90 точкових джерел. Лівий стовпчик – без впливу шумів; правий стовпчик – шум 1,0 мкм (результати отримані для процесора AMD Athlon з тактовою частотою 1,7 ГГц): а) сферична поверхня; б) конічна поверхня; в) поверхня представлена поліномами Церніке

Висновки

1. Представлено результати чисельних досліджень вдосконаленого алгоритму точкової рогівкової топографії та доведено його працездатність при відновленні складних асферичних рогівкових поверхонь, які не мають осьової симетрії.

2. Встановлено, що навіть при невеликій кількості (48) джерел СКВ похибки відновлення складних поверхонь, заданих поліномами Церніке до сьомого радіального порядку, без впливу шумів становить $4,5 \cdot 10^{-7}$ мкм для карти висот та $3 \cdot 10^{-7}$ діоптрій для карти рефракції.

3. СКВ похибки відновлення радіусу кривизни сферичної поверхні не перевищує $7,4 \cdot 10^{-4}$ мкм без впливу шумів та 0,013 мкм при СКВ похибок координат світлових плям до 2 мкм.

4. Конічна модель поверхні, серед досліджених, виявилась найбільш стійкою до впливу шумів; поверхня, представлена поліномами Церніке – навпаки, є дуже чутливою до зміщення світлових плям в площині зображення.

5. Для забезпечення найбільшої точності вимірювання рогівкових поверхонь при кількості точкових джерел до 100, рекомендується використовувати 6-й радіальний порядок поліномів Церніке.

6. Доцільно провести подальші дослідження з метою визначення прийнятого для офтальмологічної практики порогового значення оціночної функції, оптимального просторового розташування точкових джерел, раціональної форми предметної поверхні та величини робочої відстані.

Література

1. Klein S.A. Axial curvature and the skew ray error in corneal topography // *Optom. Vision Sci.* – 1997. – Vol. 74. – pp. 931-944.
2. Klein S.A. Corneal topography reconstruction algorithm that avoid skew ray ambiguity and the skew ray error // *Optom. Vision Sci.* – 1997. – Vol. 74. – pp. 931-944.
3. Halstead M.A., Barsky B.A., Klein S.A., Mandell R.B. A Spline Surface Algorithm for Reconstruction of Corneal Topography from a Videokeratographic Reflection Pattern // *Optom. Vis. Sci.* – 1995. – Vol. 72. – pp. 821–827.
4. Сокурєнко В.М. Метод послідовної рогівкової топографії // *Вісник НТУУ «КПІ». Серія Приладобудування.* – 2005. – № 29. – С. 94–102.
5. Iskander D.R., Collins M.J. Optimal Modeling of Corneal Surfaces with Zernike // *IEEE Transactions on Biomedical Engineering.* – 2001. – Vol. 48, No.1 – pp.87-95.
6. Sicam V.A. et al. Corneal surface reconstruction algorithm that uses Zernike polynomial representation // *J. Opt. Soc. Am A.* – 2004. – Vol.21, No. 7. – pp.1300–1306.
7. Родионов С. А. Автоматизация проектирования оптических систем. – Л.: Машиностроение, 1982. – 270 с.
8. L. N. 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. – pp. 232–244.

<p>Сокурєнко В.М., Недилуєк Д.С. Восстановление сложных роговичных поверхностей в точечном топографере</p> <p>Представлены результаты численного исследования алгоритма восстановления асферической формы роговичной поверхности, разработанного для метода последовательной (точечной) топографии роговицы. Выполнен анализ функциональных возможностей и точности алгоритма при разных режимах восстановления поверхности. Даны рекомендации относительно применения полиномов Цернике при определении формы роговичной поверхности.</p>	<p>Sokurenko V.M., Nediluk D.S. In a point-source topographer</p> <p>The results of numerical investigations are presented for the algorithm, developed to reconstruct aspheric corneal surface shapes in the point-source (spot) corneal topographers. The analysis of functional possibilities and the accuracy of the algorithm is performed under different surface reconstruction modes. The recommendations are established for the effective use of Zernike polynomials describing a corneal surface shape.</p>
---	---

Надійшла до редакції
25 травня 2008 року

УДК 615.849.19:577.1+579.8

ВПЛИВ РЕЖИМІВ СВІТЛОВОГО ЕЛЕКТРОМАГНЕТНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ НА ЕРИТРОЦИТИ БАРАНА

¹⁾Клочко Т.Р., ¹⁾Дастжерді А.Х.М., ²⁾Коваленко Є.О., ³⁾Карпова І.С., ²⁾Гетьман К.І., ²⁾Сацук О.В., ²⁾Підгорський В.С., ¹⁾Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут", ²⁾Інститут мікробіології і вірусології ім. Д.К.Заболотного НАН України, ³⁾Інститут молекулярної біології та генетики НАН України, м. Київ, Україна

В роботі йдеться про дослідження впливу електромагнетного випромінювання світлового діапазону на еритроцити барана. Виявлено основні режими, що найбільш впливають на цей процес

Вступ

Вплив електромагнетного випромінювання на живі біологічні об'єкти супроводжується зміною структурного складу біологічної тканини, зміною енергетичних параметрів та метаболічних реакцій організму в цілому. Нагальною проблемою сучасної медицини є створення нових методик, нової техніки, що забезпечували б якомога інтенсивніший лікувальний результат без побічних ефектів. В цьому сенсі запропоновані [1, 2, 3] принципи систем полягають у формуванні інтегрованих режимів випромінювання для немедикаментозного впливу на живі істоти.

Існуючі наразі у сучасній медицині технічні засоби, які призначені для фізіотерапевтичного лікування впливом електромагнетного випромінювання у світловому діапазоні, використовують джерела або когерентного, або некогерентного випромінювання [1, 2, 3]. Розвиток методів впливу на біологічний об'єкт і побудови схемотехніки цих пристроїв здебільшого обумовлений наявністю компонентної бази. Незважаючи на досить тривалий час застосування