

УДК 681.784

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДУ ПОСЛІДОВНОЇ РОГІВКОВОЇ ТОПОГРАФІЇ

*Чиж І. Г., Сокурєнко В. М., Бараненко І. В. Національний технічний університет України  
"Київський політехнічний інститут", м. Київ, Україна*

*На експериментальній установці, що моделює роботу методу послідовної рогівкової топографії, проведені дослідження з фізичними імітаторами рогівки ока людини у вигляді сфер з відомими радіусами. Зроблені висновки про ефективність роботи алгоритму відновлення форми поверхні імітатора рогівки та дієздатність методу*

### **Вступ**

Якісна корекція стану зорової системи людини за допомогою контактних лінз або хірургічного втручання потребує комплексної діагностики ока. Необхідним етапом цієї діагностики є вимірювання форми передньої поверхні рогівки.

Переважає більшість приладів для визначення форми передньої поверхні рогівки базується на аналізі зображення тест-об'єктів, відбитих рогівкою як дзеркалом. Тестовими об'єктами найчастіше є концентричні кільцеві випромінювачі. Ця технологія є відносно новою, проте в її основу покладено декілька припущень і обмежень [1 - 4]. Принциповим 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. Поява в останні роки топографів з радіальними об'єктами дозволяє усунути цей недолік, проте не повністю. Крім того, в особливих випадках зображення сусідніх кілець можуть перекриватися, що робить неможливим аналіз даних в таких ділянках рогівки при побудові карти висот або рефракції. Як наслідок – наявність на картах областей з невизначеними параметрами.

З метою вдосконалення існуючої методики в попередній праці було запропоновано удосконалений метод послідовної рогівкової топографії, сутність якого полягає у використанні системи точкових джерел, записі відбитих рогівкою зображень, визначенні координат центрів зображення кожного джерела та відновленні форми передньої поверхні рогівки за допомогою залучення оптимізаційного математичного апарату [5]. Важливими перевагами запропонованого методу є відсутність припущень щодо розташування падаючого і відбитого променів та оптичної осі в одній площині; повне урахування аберацій як поверхні рогівки, так і оптичної системи приладу в цілому; визначення координат центрів зображень точкових джерел випромінювання за розподілом енергії у відповідних світлових плямах з урахуванням кінцевого розміру отвору апертурної діафрагми.

Метою даної роботи є експериментальне підтвердження або спростування дієздатності запропонованого методу рогівкової топографії.

### **Постановка задачі**

Задачі роботи полягають у попередньому експериментальному дослідженні

основних функціональних можливостей методу та перевірки ефективності розробленого алгоритму.

Для досягнення поставлених задач була розроблена експериментальна установка, яка фізично моделює функціонування методу; вибраний імітатор передньої поверхні рогівки ока з наперед відомими параметрами та розроблена комп'ютерна програма, що забезпечує проведення вимірювань і аналіз результатів.

### Методика експериментальних досліджень

Для формування висновків щодо дієздатності методу необхідно провести порівняння з дійсним станом, результати відновлення форми поверхні імітатора рогівки отримані експериментально. Вхідними даними для такого відновлення (окрім конструктивних параметрів експериментальної установки) є зображення точкових джерел випромінювання, сформовані у площині приймача зображення.

Послідовність дослідження полягає у записі відеокадрів із зображеннями точкових джерел при різних значеннях форми поверхні імітаторів рогівки з фіксацією на декількох віддаленнях від площини точкових джерел; визначенні за допомогою програми форми поверхні імітатора; порівнянні відновлених значень з дійсними та аналіз похибок відновлення.

Функціональна схема розробленої та виготовленої експериментальної установки показана на рис. 1. Конструктивно установка базується на офтальмологічному столику щільової лампи ЩЛ-2Б. Для забезпечення функціонування установки та виконання розрахунків була створена відповідна комп'ютерна програма.

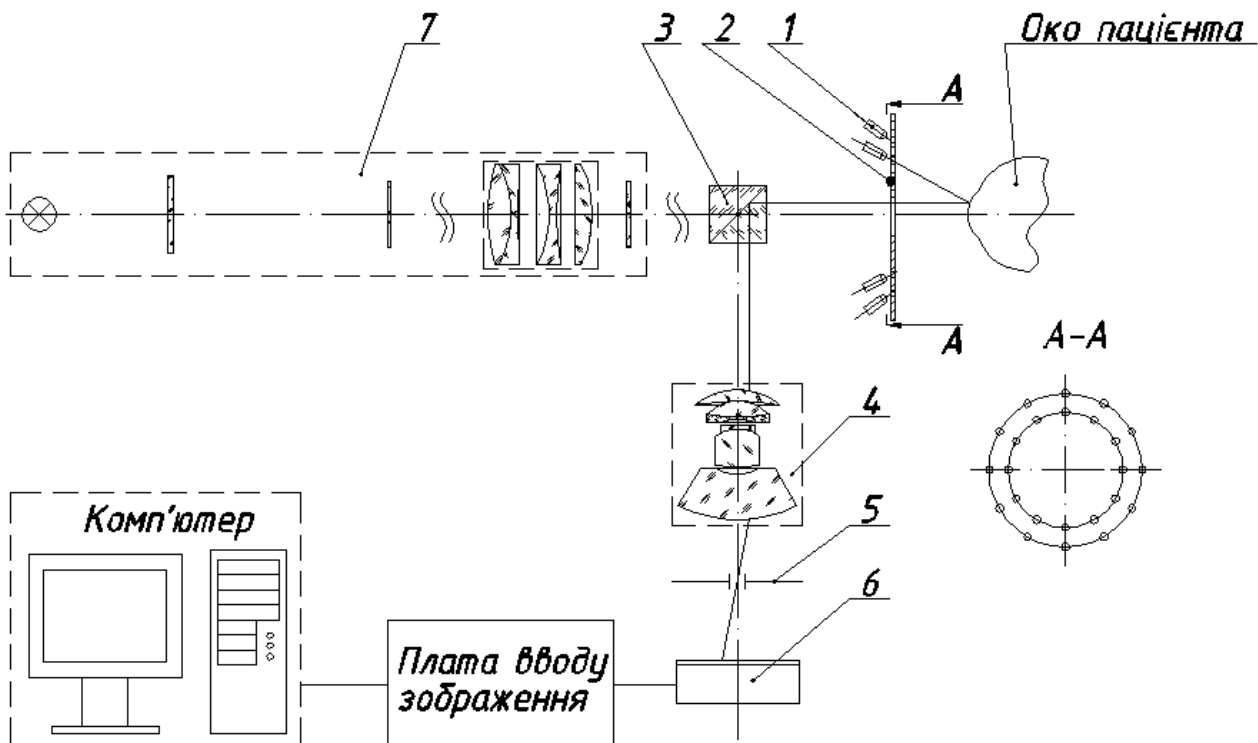


Рисунок 1 – Функціональна схема експериментальної установки

Як джерела випромінювання в цій установці використовується набір інфрачервоних світлодіодів АЛ-107Б з робочою довжиною хвилі випромінювання  $\lambda=0,95$  мкм (поз. 1) з розташованими перед ними діафрагмами, отвори яких мають діаметр 1 мм (поз. 2).

Питання щодо оптимального положення точкових джерел та форми поверхні розташування випромінювачів потребують додаткових досліджень і в даній роботі не розглядаються. Допитливому читачу можемо рекомендувати працю [6], якій теоретично обґрунтовується оптимальна форма поверхні концентричних тест-об'єктів.

В попередній праці [5] було зазначено, що для математичного відновлення сферичної поверхні рогівки достатньо мати щонайменше 3-4 джерела. В даній установці використовується 24 випромінювача, які розташовані одній площині симетрично вздовж двох кіл ( $R_1 = 15$  мм,  $R_2 = 21,5$  мм). Номінальна відстань від площини з діафрагмами до передньої поверхні рогівки становить 30 мм.

Установка дозволяє проводити вимірювання як з імітаторами рогівки, так і з оком людини. Цим обумовлена наявність в схемі системи фіксації погляду пацієнта (поз. 7) та світлоподілювача (поз. 3). В вимірювальному каналі використовується фотографічний об'єктив Юпітер-12 ( $f' = 35$  мм;  $D/f' = 1:2,8$ ;  $2\omega = 63^\circ$ ), що серійно випускається промисловістю (поз. 4). Випромінювання від світлодіодів 1, обмежене системою „точкових” діафрагм 2, відбиваючись рогівкою як дзеркалом, формує за передньою поверхнею рогівки уявне зображення точкових джерел. Об'єктив 4 переносить це зображення в площину телевізійної камери.

Для зменшення впливу позовжніх зміщень ока пацієнта на результати визначення форми поверхні рогівки в схемі використаний телецентричний хід променів між об'єктивом і оком пацієнта. Паралельний хід головних променів перед об'єктивом забезпечується встановленням апертурної діафрагми (поз. 5) з діаметром отвору біля 0,5 мм в задній фокальній площині об'єктива.

Реєстрація зображень тест-об'єктів здійснюється чорно-білою ПЗЗ-камерою (поз. 6). Кадр зображення, відзнятий камерою, через плату вводу зображення потрапляє до комп'ютера для подальшої обробки та формування результатів вимірювання. З метою виключення впливу похибок встановлення приладу відносно ока пацієнта та мікрорухів ока експериментальні дослідження проводилися на імітаторах рогівки – металевих кульках з відомими значеннями радіусів (визначеними контактним способом з похибкою – 0,01 мм).

Проведенню безпосередніх досліджень передують процедура позиціонування імітатора рогівки у вертикальному і горизонтальному напрямках, а також встановлення необхідної робочої відстані між імітатором і площиною діафрагм. Для цього використовуються елементи управління офтальмологічним столиком та відеозображення інфрачервоних світлодіодів. Далі за командою оператора проводиться запис кадру зображення точкових джерел (рис. 2). Процедура повторюється багаторазово (25 разів) з кульками різних радіусів. В проведених експериментах було використано 5 кульок з радіусами, які практично повністю охоплюють можливий діапазон радіусів рогівки людини: 4,75; 6,35; 7,15; 8,715 і 9,92 мм. Вимірювання проводились при трьох різних відстанях від площини

точкових діафрагм до кульки 25, 30 і 35 мм.

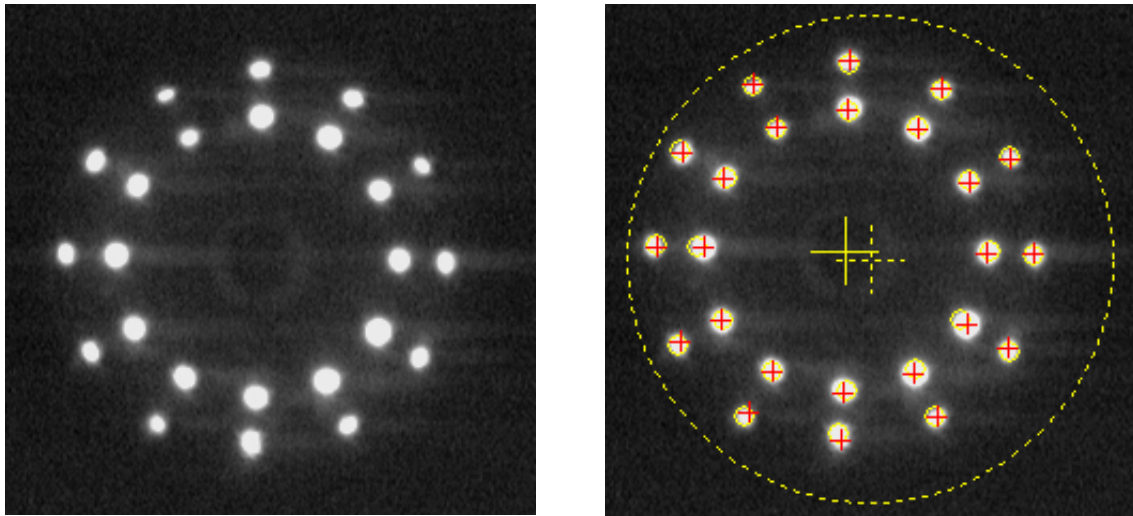


Рисунок 2 – Зображення точкових джерел до (ліворуч) та після (праворуч) обробки. Хрестиками показані відновленні алгоритмом положення світлових плям

Наступні дії здійснювалися програмою автоматично:

- Попередня обробка кадру зображення (фільтрація, переведення до градацій сірого, сегментація).
- Уточнення положення світлових плям.
- Формування математичної моделі установки із занесенням конструктивних параметрів установки.
- Запуск оптимізатора, в основі якого закладено алгоритм демпфованого методу найменших квадратів (параметрами оптимізаційної моделі є параметри поверхні рогівки, а функціями – відхилення координат центру світлових плям).
- Аналіз та відображення результатів.

### Результати експериментальних досліджень

Порівняльний аналіз значень відновлених радіусів кульок з відомими значеннями цих величин вказує на наявність розбіжності результатів. Як видно з табл. 1, похибки відновлення мають як систематичний, так і випадковий характер. Проте, значення похибок знаходяться в межах, прийнятних для офтальмологічної практики (похибка вимірювання радіуса рогівки переважної кількості сучасних кератометрів становить 0,01 мм). Основними причинами появи похибок, на нашу думку, є шуми та низька роздільна здатність ПЗЗ-камери, вплив фонового засвітлення тощо.

На прикладі рис. 3 представлені результати вимірювань з одним із фізичних імітаторів. Загалом розподіл результатів вимірювань наближається до нормального (рис. 4).

Таблиця 1 - Оброблені результати вимірювань

Параметр	Значення параметрів для кульки з радіусом [мм]				
	4,75	6,35	7,15	8,72	9,92
Робоча відстань 25 мм					
Середнє арифметичне, мм	4,761	6,336	7,157	8,692	9,937
Середньоквадратична похибка, мм	0,02	0,027	0,023	0,03	0,024
Систематична похибка, мм	0,011	-0,014	0,007	-0,023	0,017
Макс. відносна похибка, %	1,154	1,165	0,697	0,802	0,589
Робоча відстань 30 мм					
Середнє арифметичне, мм	4,778	6,371	7,145	8,662	9,947
Середньоквадратична похибка, мм	0,035	0,023	0,024	0,037	0,03
Систематична похибка, мм	0,028	0,021	-0,005	-0,053	0,027
Макс. відносна похибка, %	1,672	1,216	0,766	1,496	0,757
Робоча відстань 35 мм					
Середнє арифметичне, мм	4,789	6,353	7,127	8,693	9,915
Середньоквадратична похибка, мм	0,032	0,025	0,026	0,026	0,045
Систематична похибка, мм	0,039	0,003	-0,023	-0,022	-0,005
Макс. відносна похибка, %	2,147	0,717	1,276	0,801	1,018

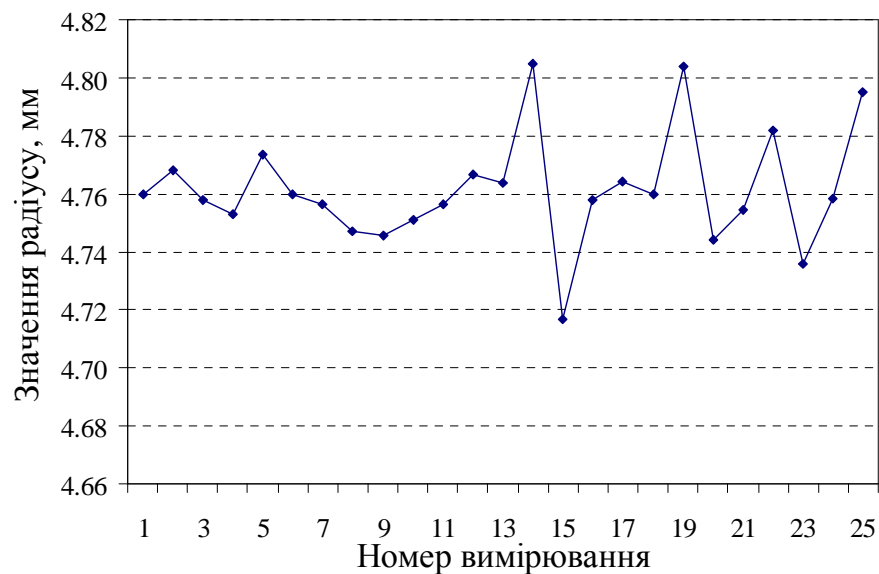


Рисунок 3 – Часова стабільність результатів вимірювань для одного з імітаторів рогівки

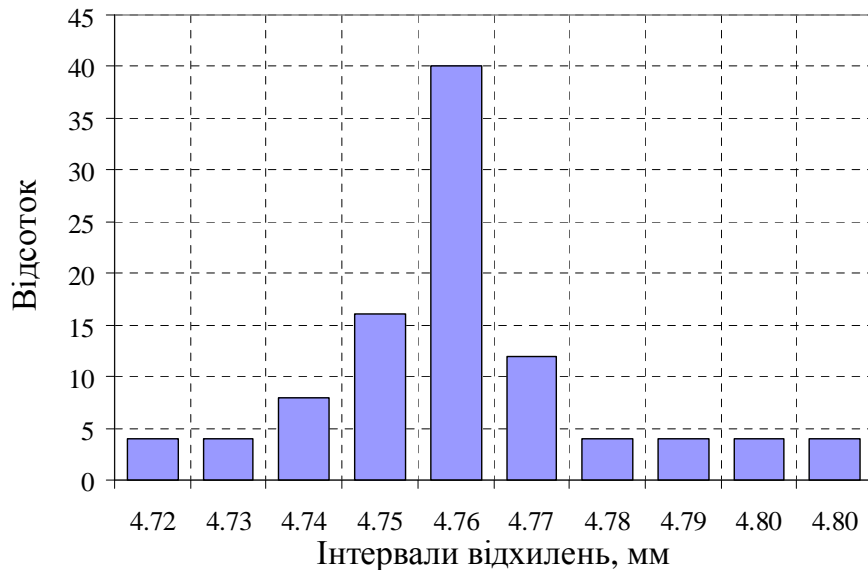


Рисунок 4 – Гістограма розподілу результатів вимірювань для одного з імітаторів рогівки

### Висновки

1. Результати експериментальних досліджень методу послідовної рогівкової топографії на сферичних моделях рогівки повністю підтвердили дієздатність методу та ефективність розробленого алгоритму.

2. В діапазоні вимірювань радіусів рогівки від 5 до 10 мм систематична похибка не перевищує 0,053 мм, СКВ – 0,045 мм, а максимальна відносна похибка – 2,15%.

3. Метод є чутливим до встановлення робочої відстані і положення площини зображень. Це потребує використання в приладі ефективного пристрою попереднього поздовжнього встановлення приладу на фіксованій відстані від рогівки.

4. Подальші зусилля доцільно направити на дослідження методу з більш складними моделями рогівки, а саме – асферичними та представленими коефіцієнтами Церніке.

### Література.

1. R.A. Applegate, R.Nunez, J.Buettner, and H.C. Howland. How accurately can videokeratographic systems measure surface elevation? // *Optom. Vision Sci.* – 1995. – Vol. 72. – P. 785-792.
2. R.L. Schultze Accuracy of corneal elevation with four corneal topography systems // *J. Refract. Surg.* – 1998. – Vol. 14. – P. 100-104.
3. A.Guirao and P.Artal. Corneal wave aberration from videokeratography: accuracy and limitations of the procedure // *J. Opt. Soc. Am. A.* – 2000. – Vol. 17. – P. 955-965.
4. Richard H. Rand, ScD, Howard C. Howland, PhD, and Raymond A. Applegate, OD, PhD, FAAO. Mathematical Model of Placido Disk Keratometer and Its Implications for Recovery of Corneal Topography // *Optometry and Vision Science.* – 1997. – Vol. 74. – № 11. – P. 926-930.
5. Сокурєнко В.М. Метод послідовної рогівкової топографії // *Вісник НТУУ “КПІ”. Приладобудування.* – 2005. – № 29. – С. 94-102.
6. Damian Siedlecki, Henryk Kasprzak. New shape of a videokeratometric illuminator // *Optica Applicata.* – 2002. – Vol. XXXII. – № 4. – P. 665-672.

Чиж И. Г., Сокурено В. М., Бараненко И. В. <b>Экспериментальное исследование метода последовательной роговичной топографии</b> На экспериментальной установке, моделирующей функционирование метода последовательной роговичной топографии, проведены исследования с физическими имитаторами роговицы глаза человека в виде сфер с известными радиусами. Сделаны выводы об эффективности работы алгоритма восстановления формы поверхности роговицы и дееспособности метода.	Chyzh I. H., Sokurenko V. M., Baranenko I. V. <b>Experimental investigation of the consecutive corneal topography method</b> Investigations with spherical physical models of a human cornea were carried out on the experimental setup modeling the consecutive corneal topography method. The conclusions are presented concerning the efficiency of the corneal surface reconstruction algorithm and capabilities of the method.
--	---

Надійшла до редакції  
10 червня 2005 року

УДК 617.55-089-78

## ДИФЕРЕНЦІАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ОПТИЧНОЇ БІОПСІЇ В ГІНЕКОЛОГІЇ

<sup>1)</sup>Корольова Т.В., <sup>2)</sup>Юффе С.Є., <sup>2)</sup>Суханова А.А. <sup>1)</sup>Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут"; <sup>2)</sup>Київська медична академія післядипломної освіти ім. П.Л. Шупика, м. Київ, Україна

*В роботі розглянуті можливості диференціації диспластичних змін епітелію шийки матки за результатами in vivo флуоресцентної діагностики з метою визначення ділянок слизової для взяття традиційної біопсії у вагітних жінок*

### Вступ

Охорона здоров'я матері та дитини є одним з пріоритетних напрямків медицини. На сучасному етапі розвитку клінічної медицини актуальною є проблема ранньої діагностики можливих патологій в гінекології, серед яких дисплазія епітелію шийки матки є найбільш розповсюдженим захворюванням у жінок репродуктивного віку. При пізньому діагностуванні цієї патології та при відсутності належного лікування вона з часом, у переважній кількості випадків, призводить до утворення злоякісних пухлин.

Для діагностики патологій епітелію шийки матки лікарі-гінекологи зазвичай користуються традиційними методами: кольпоскопією, кольпоцервікоскопією, гістологічними дослідженнями, цитологією. Гістологічні дослідження є найбільш достовірним діагностичним методом (так званий "золотий стандарт"), але при безприцільних біопсіях, які роблять на підставі візуальних спостережень, у до 26% хворих не вдається виявити злоякісну пухлину шийки матки на ранніх стадіях. Крім того, в разі обстеження пацієнток з різними строками вагітності, біопсійна травма може ускладнити гестаційний період: сприяти розвитку запальних процесів генітального тракту і, навіть, спровокувати зрив вагітності.

### Методика та апаратура

Флуоресцентна діагностика, яка базується на відмінностях спектрів власної флуоресценції (автофлуоресценції) незміненої слизової та морфологічно зміне-