

АВТОМАТИКА ТА ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНА ТЕХНІКА

УДК 681.784

В. Є. Мілевський¹
І. Г. Чиж¹**МЕТОДИ ТА АПАРАТНІ ЗАСОБИ ТЕСТУВАННЯ
ІНТРАОКУЛЯРНИХ ЛІНЗ**¹Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

Проаналізовано методи та засоби, що використовуються для тестування інтраокулярних лінз. Зроблено огляд фізичних моделей ока. Запропоновано вдосконалення перспективних методів тестування інтраокулярних лінз.

Ключові слова: методи, засоби, тестування інтраокулярних лінз.

Вступ

Імплантація інтраокулярних лінз (ІОЛ) є одним з найпоширеніших хірургічних втручань. Ця операція виконується з використанням різних типів ІОЛ, такі як монофокальні і мультифокальні лінзи. В зв'язку з тим, що існує велика кількість моделей і типів ІОЛ, перед офтальмологом стоїть гостро питання вибору найкращої, для того чи іншого випадку. В такій ситуації і потрібна фізична модель ока (ФМО) [1] для проведення необхідних досліджень. Тому досить важливим питанням на сьогоднішній день є вибір оптимальної ФМО для тестування характеристик ІОЛ.

Найважливішою характеристикою ІОЛ є її оптична сила, яка відображає її здатність фокусувати зображення на сітківці ока. Вимірявши ефективну фокусну відстань (ЕФВ) зразка, можна розрахувати і його оптичну силу. ЕФВ можна виміряти в повітрі або в місці використання моделі ока згідно з ISO 11979 [2]. Важливою складовою оцінки якості ІОЛ є аналіз оптичних аберацій, шляхом дослідження хвильового фронту. У результаті аналізу можна отримати інформацію про сферичну аберацію, кому, астигматизм, дефокусування і кривизну поля. Вимірювання хвильового фронту дає також можливість визначити відхилення від конструкції лінзи. Ще одним параметром, необхідним для характеристики ІОЛ, є модуляційна передавальна функція (МПФ). Вона може бути виміряна безпосередньо на основі аналізу функції розсіювання точки або лінії, або шляхом розрахунку його з вимірюваного хвильового фронту [3].

У зв'язку з цим є доцільним провести аналітичний огляд апаратних засобів і методів, придатних для досліджень ІОЛ, та зробити висновки відносно стану їх розвитку, а також перспектив подальшого вдосконалення.

Постановка задачі

Розглянути всі методи та засоби, які використовуються для тестування ІОЛ. В свою чергу, кожен з цих методів та засобів має свої переваги та недоліки. Тому задачею статті є порівняльний аналіз цих методів та засобів з метою визначення перспективних напрямків їх подальшого вдосконалення.

Вихідні дані

Відомості про якість зображення, побудованого оптичною системою, можуть бути отримані двома шляхами — прямим і непрямим способами [4].

Прямі способи оцінки якості зображення полягають в спостереженні тест-об'єкта, сформованого за допомогою досліджуваної системи в зоні зображення, і вимірюванні фотометричної структури цього зображення, тобто визначення функції розсіювання точки (ФРТ) або функції розсіювання лінії (ФРЛ). Функції розсіювання та пов'язані з ними оптична передавальна функція, модуляційна передавальна функція і функція концентрації енергії (ФКЕ) в зображенні точкового тест-об'єкта служать на практиці кількісними характеристиками якості зображення оптичної системи.

Непрямі способи оцінки якості зображення полягають у вимірюванні структури деформацій хвильового фронту на виході оптичної системи і подальшому обчисленні на основі отриманої карти хвильового фронту. Переваги непрямих методів полягають в тому, що вони дозволяють за відомою топографією відхилень фронту хвилі розрахувати більшість характеристик якості зображення, таких як МПФ або ФКЕ. Непрямі методи дають можливість визначити вплив конкретних спотворень хвильового фронту, що вносить система, на якість зображення. Отже, слід розглянути методи оцінки зображення, яке формує ІОЛ, встановлена до ФМО.

Методи тестування ІОЛ

Метод рефрактометрії [5] ФМО зі встановленою ІОЛ (в цьому розумінні рефрактометри — це прилади, які вимірюють кількість світла на певній ділянці і світла, що потрапило в інші місця).

Сутність методу полягає в тому, що колімований пучок світла, сформований позаосьовим параболічним дзеркалом, проходить через ФМО. Скануючий приймач випромінювання з точковою польовою діафрагмою вимірює розподіл освітленості у ближній або дальній зонах. Процес вимірювання контролюється комп'ютерною програмою. Точність вимірювання залежить від розмірів польової діафрагми і кроку сканування приймачем.

Метод дослідження, запропонований в ISO 11979. Коліматор проектує зображення міри у безкінечність. Паралельний пучок проходить через ФМО і фокусується у фокальній площині. Зображення міри трансформується об'єктивом мікроскопа на матрицю цифрової камери з високою роздільною здатністю. Як кріплення для лінзи використовується тримач, який розміщується на предметному столику. Обробка інформації виконується комп'ютером із відповідним програмним забезпеченням.

Метод аберометрії [6]. Спочатку виконується аберометрія моделі ока без ІОЛ. Для цього модель без ІОЛ встановлюється на аберометр і центрується відносно оптичної осі аберометра. Аберометрія виконується декілька разів. В модель ока встановлюється досліджувана ІОЛ, яка центрується щодо положень зображень центральних світлодіодів в відбитому від поверхонь ІОЛ світлі. Дзеркальні зображення світлодіодів, отримані від поверхонь лінзи-рогівки і від поверхонь ІОЛ, повинні бути центровані щодо оптичної осі аберометра, тобто розміщуватися відносно цієї осі симетрично. Аберометрія виконується декілька разів. Дані результатів дослідження записуються, а потім розраховується середнє арифметичне значення.

Метод інтерферометрії [7]. Модель ока встановлюється на коліматорний стенд з мікроскопом та цифровою фотокамерою. Площина дзеркала обертається і відображає точкове джерело світла діапроектора з галогеновою лампою. Мікроскоп дозволяє провести експертизу кілець Ейрі по обидві сторони від фокуса, а фотокамера зберігає зображення інтерферограми. Далі програмним методом проводиться оцінка якості зображення сформованого за допомогою ІОЛ.

Метод комп'ютерного моделювання ОС ока людини з ІОЛ [8]. Для комп'ютерного дослідження ІОЛ використовується, в більшості випадків, комерційна інженерна програма «ZEMAX». В програму записуються параметри оптичної системи відомих моделей ока із заданим ІОЛ, після чого виконується симуляція трасування оптичних променів. Отримуються всі необхідні енергетичні і абераційні розрахунки, а також МПФ. Цей метод є досить ідеалістичним, тобто безпосереднє тестування з використанням ФМО буде давати дещо інші результати.

Прилади для тестування ІОЛ

Характеристики ІОЛ мають бути визначені надзвичайно точно, адже подальше їхнє використання пов'язане зі здоров'ям людини. Для цього створені промислові прилади для вимірювання характеристик ІОЛ. Розглянемо деякі з них.

Image Master VISION [9]. Оцінює якість зображення офтальмологічних елементів за модуляційною передавальною функцією. Також є можливість для визначення функції розсіювання лінії, функції передачі фази, оптичної сили та астигматизму. Акомодація та адаптація людського ока можуть бути змодельовані за допомогою Image Master®VISION: вимірювальна головка фокусується для симуляції акомодації ока у діапазоні ± 10 дптр і змінюється апертура детектора для імітації адаптації ока.

OptiSpheric® IOL [10]. Дозволяє вимірювати всі важливі характеристики ІОЛ у відповідності зі стандартом ISO 11979 для будь-якого типу інтраокулярних лінз (монофокальних, мультифокальних, торичних та з будь-яким типом структури — рефракційних, дифракційних). Прилад вимірює у повітрі чи в моделі ока ефективну фокусну відстань, модуляційну передавальну функцію, функ-

цію розсіювання точки, радіус кривизни та задню фокусну відстань.

PMTF™ [11]. Прилад для офтальмологічних цілей, розроблений фірмою Lambda-X, для вимірювання характеристик різних інтраокулярних лінз високої якості в режимі реального часу оптичної сили і модуляційної передавальної функції.

IOLA Plus [12]. Система цього приладу використовує унікальну технологію, яка дозволяє отримувати об'єктивні й точні вимірювання всіх типів рефракційних ІОЛ в повітрі та в спеціальному розчині. Прилад чітко показує форму профілю лінзи та найменші відхилення і дефекти лінзи, включаючи будь-які аберації.

Optikos IOL-5000 [13] призначений для вимірювання оптичних властивостей ІОЛ: модуляційної передавальної функції, ефективної фокусної відстані, функції розсіювання лінії та різних аберацій. Система аналізу зображення може тестувати як монофокальні так і мультифокальні ІОЛ та відповідає стандарту ISO 11979.

Порівняти функціональні можливості вищерозглянутих приладів можна за допомогою табл. 1.

Таблиця 1

Прилади для тестування характеристик ІОЛ

Виробник	Прилад	Вимірюється	Загальний вигляд
TRIOPTICS (Німеччина)	Image Master®VISION	МПФ, оптична сила, ФПФ, астигматизм	
TRIOPTICS (Німеччина)	OptiSpheric®IOL	МПФ, ефективна фокусна відстань, задній фокальний відрізок, радіус кривизни	
LAMBDA-X (Бельгія)	PMTF™	МПФ, оптична сила для мультифокальних і торичних ІОЛ	
Rotlex Optics (Ізраїль)	IOLA Plus	МПФ, форма профілю, дефекти, аберації	
Optikos (Великобританія)	IOL-5000	МПФ, оптична сила, ефективна фокусна відстань, кривизна поля, хроматичні аберації	

Фізичні моделі оптичної системи ока

Фізичні моделі оптичної системи ока людини, що використовуються для тестування ІОЛ, мають відповідати вимогам, які були визначені в ISO 11979, а також і в його аналогу ГОСТ 31580.7-2012 [14].

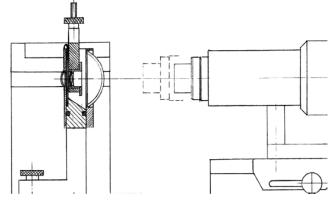
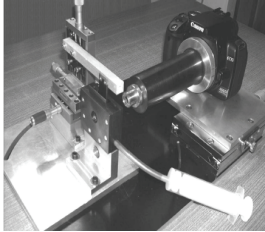
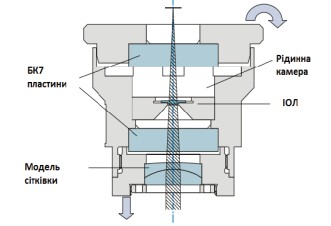

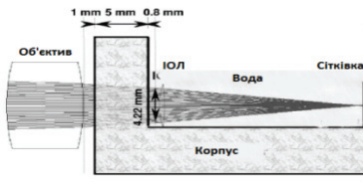
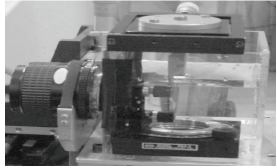
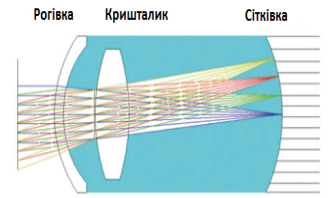

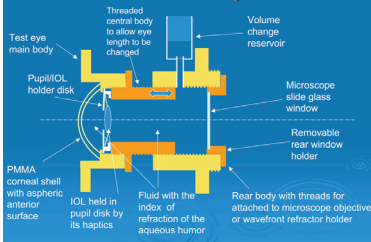
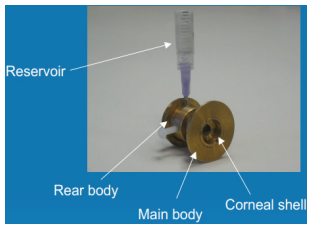
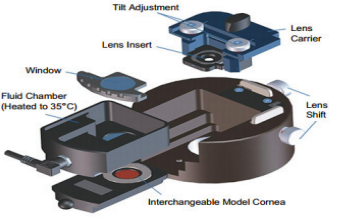
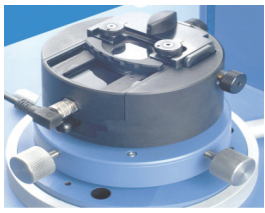
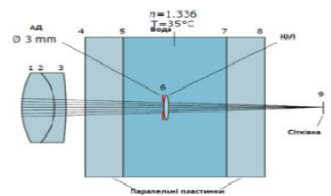
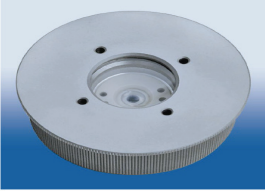
Отже, згідно з міжнародним стандартом тестування ІОЛ-ISO 11979 до ФМО висувуються такі вимоги:

- 1) передня поверхня ІОЛ розташована на відстані від (27 ± 1) мм перед фокальною точкою моделі рогівки, а показник заломлення простору зображення $n = 1,336$;
- 2) пучок променів, який проходить через модель рогівки, повинен освітлювати в центрі ІОЛ ділянку діаметром $(3 \pm 0,1)$ мм;
- 3) ІОЛ має бути розташована в рідині;

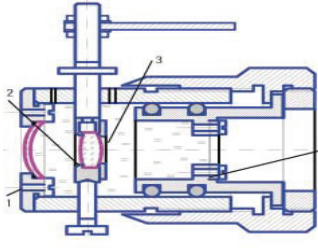
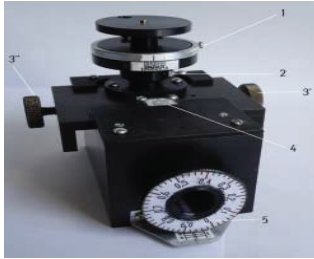
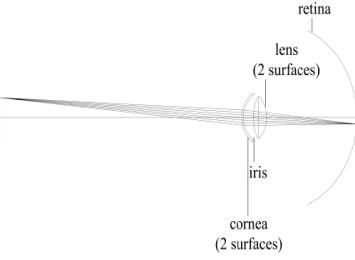
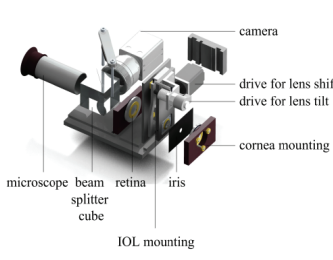
- 4) імітатор рогівки має бути вільний від аберцій;
 5) допускаються тільки аберції які вносяться ІОЛ.
 Моделі ока, які розглядаються, показано в табл. 2.

Таблиця 2

Фізичні моделі ока людини для тестування ІОЛ

Модель ока	Джерело	Схематичне зображення	Загальний вигляд
Модель № 1	[15]		
Модель № 2	[16]		
Модель № 3	[17]		
Модель № 4	[18]		
Модель № 5	[19]		
Модель № 6	[20]		
Модель № 7	[21]		

Продовження табл. 2

Модель ока	Джерело	Схематичне зображення	Загальний вид
Модель № 8	[22]		
Модель № 9	[23]		

Модель № 1 призначена для тестування оптичних характеристик різних інтраокулярних лінз. Модель складається з камери, заповненої рідиною, рогівки (у вигляді опукло-увігнутого меніску), кільця, що виступає в ролі діафрагми, встановленої перед ІОЛ. Зображення сформоване ФМО уловлюється об'єктивом мікроскопу з лінійним збільшення 6,6^X. Приймачем випромінювання слугує цифрова фотокамера з КМОП матрицею 10 мільйонів пікселів, розмір 6,6 мкм. ІОЛ фіксується в спеціальному утримувачі, який дозволяє зміщувати і змінювати нахил та децентрувати, а також обернути дослідний зразок навколо трьох перпендикулярних осей.

Модель № 2 для калібрування ІОЛ, це перша модель, розроблена компанією «Тріоптікс». Складається з рогівки, камери з рідиною, кріплення для досліджуваного зразка, імітатора сітківки, апертурної діафрагми. Універсальна модель яка відповідає вимогам, що встановлені в стандарті EN/ISO 11979. Застосовується для дослідження зображення сформованого ІОЛ.

Модель № 3 складається з 28 мм об'єктива Nikkor (компанії Nikon), який виступає в якості рогівки і проектує зображення на дослідний зразок, ІОЛ встановлена в прозорий контейнер, заповнений рідиною, кріплення для ІОЛ забезпечує поворот, переміщення та нахил. Переміщення, поворот та нахил зразка слугують для імітації складних випадків децентрування кришталика, яке зустрічається в пацієнтів.

Модель № 4, оптичні компоненти якої були змонтовані на корпусі таким чином, що відстань між елементами може бути скоригована, щоб відповідати анатомії очей окремих пацієнтів. Роґівка приклеєна до корпусу для запобігання витоків рідини. Отвір в 10 мм для вставки кришталика, який імітує ІОЛ. Об'єктив розташований між 1 мм товщини кільцем і отвором діаметром 3,75 мм. Розмір зіниці може бути змінений шляхом простої заміни кільця. Помилка в положенні оптичних елементів залежить від точності мікроскопу, що використовується для монтажу та експлуатації приладу. В модель легко встановлюється ІОЛ, після чого заповнюється розчином.

Модель № 5 імітує око людини з його середовищами та основними компонентами. Можна використовувати в якості об'єктива на ПЗС-камеру для імітації того, що пацієнт бачить, тобто провести аналіз якості зображення, яке формує ІОЛ. Може бути встановлена на рефрактометр, де вона тестується так само, як людське око. Ця модель є універсальною. Складається з роґівки, імітатора сітківки, діафрагми, кришталика (ІОЛ) та рідинної камери.

Модель № 6 розроблена спеціально для тестування мультифокальних ІОЛ, повністю відповідає вимогам ISO 11979. Використовується для імітації складніших випадків дефекту кришталика (тобто забезпечується поворот і нахил ІОЛ, а також зміщення вздовж оптичної осі). Дозволяє виконувати точне переміщення по осях (X, Y) та нахил до ± 5 мм. Є можливість змінювати розмір апертурної діафрагми. Роґівка досить легко знімається, що забезпечує проведення вимірювань як з роґівкою так і без неї, що є досить важливим. Модель використовується на стенді для тестування ІОЛ «WaveMaster».

Модель № 7 пропонує компанія Тріоптікс для тестування ІОЛ. Оптична система моделі, побудована максимально наближено до ока людини, враховуючи показники заломлення, та імітатор сітківки. ІОЛ знаходиться в рідині. Корпус моделі забезпечує швидко зміну зразка (ІОЛ). Застосовується для тестування штучних кришталіків.

Модель № 8 має здатність децентрування і повороту кришталіка (ІОЛ) відносно лінзи-рогівки. Для цього імітатор сітківки має приводи його поздовжнього пересування, а імітатор кришталіка встановлюється на рухомій основі з приводами, які дають можливість контролювано децентрувати і повертати його відносно осі, перпендикулярної до оптичної осі імітатора рогівки. Регулювання світловтраг і деполяризація світла в ФМО забезпечується вибором матеріалу плівки, що імітує сітківку. Так, наприклад, поліетиленова плівка здатна деполяризувати світло видимого діапазону, а її властивість поглинати світло залежно від її кольору дає можливість досягати потрібного коефіцієнта відбиття, характерного для сітківки ока людини. ІОЛ знаходиться в рідині.

Модель № 9 складається зі змінної асферичної рогівки, змінної діафрагми, ІОЛ, екран в якості імітації сітківки. Останнє реалізовано у вигляді плоскої поверхні темної пластини. Кріплення рогівки виконано у вигляді лінзового утримувача, який дозволяє точно позиціонувати лінзу. Діафрагма була реалізована у вигляді тонкого листового металу з отвором по центру, вона є змінною, що дозволяє моделювання фізіологічних отворів між 2 мм та 8 мм.

Розмір кроку модельованих отворів райдужної оболонки може бути визначений користувачем. ІОЛ встановлений всередині окремого тримача лінзи. Тримач ІОЛ встановлений на пластині, яка передбачає зсув зразка. Це реалізовано за допомогою крокового двигуна. Модель оснащена мікроскопом та матрицею на яку проектується зображення через призму, це все робить таку модель універсальною в застосуванні.

В табл. 3 наведено порівняльний аналіз розглянутих ФМО.

Таблиця 3

Порівняльний аналіз ФМО

Назва	Відповідність з ISO 11979	Децентрування	Імітатор сітківки
Модель № 1	+	+	—
Модель № 2	+	—	+
Модель № 3	—	+	—
Модель № 4	+	—	+
Модель № 5	+	—	+
Модель № 6	—	+	+
Модель № 7	+	—	+
Модель № 8	+	+	+
Модель № 9	+	+	+

Висновки

1. Порівняльний аналіз фізичних моделей ока людини, які використовуються для тестування інтраокулярних лінз, показав, що більшість існуючих на цей час моделей не відповідають сучасним вимогам офтальмології, а також міжнародному стандарту тестування ІОЛ (ISO 11979). З поміж проаналізованих ФМО слід звернути увагу на модель № 8 та модель № 9, що відповідають вимогам (зазначеним вище). Їх можна вважати оптимальними моделями для тестування ІОЛ. Подальше їх вдосконалення потребує детального вивчення факторів, що впливають на формування зображення.

2. Прилади, які використовуються в промисловості для дослідження характеристик ІОЛ, є досить ефективними, а також дозволяють визначити одразу декілька характеристик і швидко отримати результат. Дослідження за допомогою цих приладів можна проводити як з ФМО, так і без неї, що є досить важливим фактором. Проте, ці прилади мають дуже високу вартість, тому їх використання в офтальмологічних клініках є ускладненим.

3. Серед методів, які використовуються для тестування ІОЛ, слід звернути увагу на метод комп'ютерного моделювання. Для його використання потрібен комп'ютер та програма симулятор.

Перевагами цього методу є можливість застосовувати параметри більшості ФМО та ІОЛ, а також побудувати віртуальну модель ока, максимально наближену до реального ока людини, що є досить важливим для офтальмологічних досліджень перед імплантацією штучного кришталіка (ІОЛ). Покращення цього методу передбачає використання нової програми симулятора, яка дозволяє розраховувати дифракційну оптику. Що є актуальним, так як мультифокальні ІОЛ є дифракційними елементами. Програма описана в роботі [24].

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Аберометрія оптичної системи ока / [І. Г. Чиж, Г. С. Тимчик, Т. О. Шиша, Н. Б. Афончина]. — К. : НТУУ «КПІ», 2013. — 292 с.
2. IS/ISO 11979-2 (1999): Ophthalmic Implants — Intraocular Lenses, Part 2: Optical Properties and Test Methods [MHD 5: Ophthalmic Instruments and Appliances]. — 32.
3. Mitchel L. Sanderson G. Star testing: a novel evaluation of intraocular lens optical quality / L. Mitchel, A. C. B. Molteno, T. H. Bevin // Br. J. Ophthalmol. — 2006. — V. 90(5). — P. 586—592.
4. Колобродов В. Г. Дифракційна теорія оптичних систем / В. Г. Колобродов, Г. С. Тимчик — К. : НТУУ «КПІ», 2011. — 148 с.
5. Mechanical eye model for the comparison of optical imaging quality and physiology of human vision / A. Drauschke, E. Rank, S. Auer and others // Biomed. Tech. — 2012. — V. 57. — P. 289—292.
6. Шиша Т. О. Моделювання аберацій оптичної системи ока. Ч.2. Технологічні похибки дволінзової абераційної фізичної моделі ока / Т. О. Шиша, І. Г. Чиж // Наукові вісті НТУУ «КПІ». — 2009. — № 6. — С. 116—123.
7. Far and near visual acuity with multifocal intraocular lenses in an optomechanical eye model with imaging capability / P. G. Gobbi, F. Fasce, S. Bozza and others // Journal of Cataract and Refractive Surgery. — 2007. — V. 33 (6). — P. 1082—1094.
8. Visual simulation of retinal images through a decentered monofocal and a refractive multifocal intraocular lens / K. Negishi, K. Ohnuma, T. Ikeda, T. Noda // Japanese Journal of Ophthalmology. — 2005. — V. 49 (4). — P. 281—286.
9. Промисловий прилад для тестування ІОЛ «Image Master VISION» [Електронний ресурс]. — Режим доступу : URL : <http://www.trioptics.jp/products/imagemaster/imv.html>. — Назва з екрану.
10. Промисловий прилад для тестування ІОЛ «OptiSpheric®» [Електронний ресурс]. — Режим доступу : URL : <http://www.trioptics.com/products/optical-test-instruments/optispheric/optispheric-iol/>. — Назва з екрану.
11. Промисловий прилад для тестування ІОЛ «PMTF™» [Електронний ресурс]. — Режим доступу : URL : <http://www.lambda-x.com/pmtf>. — Назва з екрану.
12. Промисловий прилад для тестування ІОЛ «IOLA Plus» [Електронний ресурс]. — Режим доступу : URL : <http://www.rotlex.com/iola-plus-lens-analyzer>. — Назва з екрану.
13. Промисловий прилад для тестування ІОЛ «IOL-5000» [Електронний ресурс]. — Режим доступу : URL : <http://www.hellopro.co.uk/Optikos-3015-noprofil-2001679-14589-0-1-1-fr-societe.html>. — Назва з екрану.
14. Государственный стандарт Российской Федерации. ГОСТ 31580.7-2012 (ISO 11979) Имплантаты офтальмологические. Интраокулярные линзы. Часть 7. Клинические испытания.
15. Модель ока № 1 [Електронний ресурс]. — Режим доступу : URL : <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:hqQnut715ygJ:spie.org/Publications/Proceedings/Paper/10.1117/12.822391+&cd=3&hl=uk&ct=clnk&gl=ua>. — Назва з екрану.
16. Модель ока № 2 [Електронний ресурс] / Trioptics. — Режим доступу : URL : <http://www.trioptics.com>. — Назва з екрану.
17. Модель ока № 3 [Електронний ресурс] / NCBI. — Режим доступу : URL : <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/14570097>. — Назва з екрану.
18. Модель ока № 4 [Електронний ресурс]. — Режим доступу : URL : http://psilab.ucsd.edu/publications/%28journal_2013%29_arianpour_%28RS_An_optomechanical%29.pdf. — Назва з екрану.
19. Модель ока № 5 [Електронний ресурс]. — Режим доступу : URL : <http://www.opticsinfobase.org/ao/abstract.cfm?uri=ao-46-26-6595>. — Назва з екрану.
20. Модель ока № 6 [Електронний ресурс]. — Режим доступу : URL : <http://www.trioptics.com>. — Назва з екрану.
21. Модель ока № 7 [Електронний ресурс]. — Режим доступу : URL : <http://www.trioptics.com>. — Назва з екрану.
22. Патент № 27813 на корисну модель, Україна, МПК (2006) А61В 3/00. Абератор оптичної системи ока для тестування офтальмологічних аберометрів / Чиж І. Г., Шиша Т. О.; Заявл. 27.07.2007; Опубл. 12.11.2007, Бюл. № 18.
23. Модель ока № 9 [Електронний ресурс]. — Режим доступу : URL : <http://www.degruyter.com/view/j/bmte.2012.57.issue-s1-P/bmt-2012-4010/bmt-2012-4010.xml>. — Назва з екрану.
24. Сокурєнко В. М. Програма автоматизованого проектування оптичних систем «Абер» / В. М. Сокурєнко, О. М. Сокурєнко // Збірник тез доповідей VIII міжнародної науково-технічної конференції «Приладобудування : стан і перспективи». Київ, НТУУ «КПІ». 28—29 квітня. — 2009. — С. 47—49.

Рекомендована кафедрою лазерної та оптоелектронної техніки ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 21.01. 2015

Мілевський Вадим Євгенійович — студент, e-mail: mylevsky@ukr.net;

Чиж Ігор Генріхович — д-р техн. наук, професор, професор кафедри оптичних та оптико-електронних приладів.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Київ

V. Ye. Milevskyi¹
I. H. Chyzh¹

Methods and hardware for testing intraocular lens

¹National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute»

There have been assembled methods and means used for testing intraocular lenses. The review of physical models of eye has been carried out. The improvement of advanced methods for testing of intraocular lenses has been suggested in the paper.

Keywords: methods, means, testing intraocular lenses.

Milevskyi Vadym Ye. — Student, e-mail: mylevsky@ukr.net;

Chyzh Igor H. — Dr. Sc. (Eng.), Professor, Professor of the Chair of Optical and Optoelectronic Devices

В. Е. Милевский¹
И. Г. Чиж¹

Методы и аппаратные средства тестирования интраокулярных линз

¹Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»

Проанализированы методы и аппаратные средства, которые используются для тестирования интраокулярных линз. Сделан обзор физических моделей глаза. Предложено усовершенствование перспективных методов тестирования интраокулярных линз.

Ключевые слова: методы, средства, тестирование интраокулярных линз.

Милевский Вадим Евгеньевич — студент, e-mail: mylevsky@ukr.net;

Чиж Игорь Генрихович — д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры оптических и оптико-электронных приборов