

МОДЕЛИРОВАНИЕ УПРОЩЕННОЙ РОГОВИЦЫ: ПРИБЛИЖЕНИЕ К ХАРАКТЕРИСТИКАМ ГЛАЗНЫХ МОДЕЛЕЙ

Валиев Д.О. (Университет ИТМО), **Буракова Е.А.** (Университет ИТМО), к.м.н. **Тимофеева Н.С.** (Чебоксарский филиал ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова» Минздрава России), **Воскресенская А.А.** (Чебоксарский филиал ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова» Минздрава России)

Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент **Бахолдин А.В.** (Университет ИТМО)

Введение. Главной задачей работы является приближенное воспроизведение различных характеристик упрощенной поверхности роговицы в пакетах прикладных программ ОПАЛ и OpticStudio/Zemax. Рассмотрены приближения, основывающиеся на данных биометрии глаз индивидуумов и взятые из классических моделей глаз. В свою очередь цель заключается в демонстрации эффективности использования полиномов Цернике в качестве инструмента восстановления поверхности, измеренной по точкам. Подобный выбор описания не случаен поскольку успешное воспроизведение роговицы решает сразу две задачи, а именно: подтверждение правомочности применения полиномов Цернике в качестве базиса для приближения к реальным роговицам и возможность представления полиномами оптических поверхностей для расчета хода лучей и определения функций качества изображения.

Основная часть. В качестве приближений поверхности роговицы, поэтапно рассмотрены модели глаз в порядке увеличения их сложности, в контексте математического представления поверхности. Первым рассмотрен «схематический глаз» Гульстранда [1, 2], в нем передняя поверхность роговицы представляется сферой с радиусом кривизны $r = 7,7$ мм. Далее «схематическая широкоугольная модель глаза» [3], предложенная Рафаэлем Наварро и Изабелем Эскудеро Сансом, в которой роговица выражена радиусом кривизны $r = 7,72$ мм и конической константой $s = -0,26$. Другие рассмотренные модели глаз [4], в общем и целом, не отличались способом построения роговицы. Стоит отметить, что в одной из работ Рафаэля Наварро можно найти упоминание [5] о возможности использования биконических поверхностей для моделирования торичности. По причине отсутствия числовых данных о коэффициенте анаморфозы, вызванном торической поверхностью роговицы, было принято решение для демонстрации использовать торическую поверхность с радиусом кривизны в горизонтальном меридиане $r = 10$ мм [5].

В качестве оценки погрешности воспроизведения результатов использовались следующий метрики: коэффициент детерминации и норма остатка. Расчеты производились для 152 полиномов. В итоге, для каждого из вариантов коэффициент детерминации составил 1, а норма остатка стремилась к нулю.

В качестве одного из кратких методов оценивания корректности моделирования, использовалось оборачивание и работа в отраженном свете (подобно тому, как происходит процесс измерения радиуса кривизны поверхности роговицы при помощи офтальмометра Жавалья), то есть использование свойств анастигматических точек отражающей поверхности. В таком варианте результаты оказались близки к исходным. Наибольшее отклонение показала торическая поверхность, что объяснимо высокими требованиями к уточнению направления главных меридианов и рефракций в них. На результаты моделирования влияет множество факторов, начиная от ограниченной точности представления чисел при вычислении коэффициентов полиномов до самого представления поверхности в пакетах прикладных программ ОПАЛ и OpticStudio/Zemax.

Выводы. В данной работе показано, что выбор полиномов Цернике в качестве инструмента восстановления поверхностей роговицы, измеренных при помощи биометра по точкам, является оправданным, приближение к упрощенным моделям показало релевантные результаты.

Список использованных источников:

1. Тамарова, Р.М. Оптические приборы для исследования глаза / Р.М. Тамарова. – Москва: Медицина, 1982. – 176 с.
2. Черкасова Д.Н., Бахолдин А.В., Евлампьева Е.С. Оптические офтальмологические приборы и системы. Часть 2. – СПб: Университет ИТМО, 2019. – 129 с.
3. Navarro, R. Off-axis aberrations of a wide-angle schematic eye model / R. Navarro, I. Escudero-Sanz // -. – 1999. – Т. -, № -. – С. 1-11.
4. Atchison David Refracting Components Cornea and Lens / David Atchison // Optics of the Human Eye / David Atchison, George Smith. – USA : CRC Press (Taylor & Francis Group, LLC), 2023. – 2. – С. 15-43.
5. Navarro, R. The Optical Design of the Human Eye: a Critical Review / R. Navarro // Journal of Optometry : электронный журнал. – URL: <https://www.researchgate.net>. – Дата публикации: 2009. – DOI 10.3921/joptom.2009.3