

УДК 612.841:535.012.2:519.876.5:620.171.5

О.А.Шеломова,  
П.С.Галилеева (асп. СПбИТМО(ТУ)),  
В.А.Трофимов, к.т.н., доц

### МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ФИБРОЗНОЙ ОБОЛОЧКИ ГЛАЗА ДЛЯ ЕГО ДИАГНОСТИКИ МЕТОДОМ ФОТОУПРУГОСТИ

О необходимости создания и совершенствования математических моделей (ММ) человеческого глаза, для более полной и механически бесконтактной диагностики нами сообщалось в [1...3].

Целью данной работы являлось создание ММ фиброзной (внешней) оболочки (ФО) глаза.

ФО, состоящая из двух частей, склеральной оболочки и роговой оболочки, несет на себе защитные функции глазного яблока.

Человеческий глаз, представляющий собой сложную систему, в которой согласованно осуществляются механические, оптические и физиологические процессы невозможно исследовать экспериментально, не нарушая каких-либо причинно-следственных связей.

Клинически установлено, что напряженное состояние (НС) биотканей глаза определяет его функциональные возможности.

Выявлено, что биоткани глаза, в частности роговица, обладают свойством оптической чувствительности к напряжениям. Офтальмологические приборы, позволяющие наблюдать поля изохром и изоклин НС роговицы, визуализируют интегральное действие всех факторов оптической анизотропии [4]. Для их поэлементного анализа предлагается проведение математического моделирования.

ММ ФО глаза строились в следующем приближении: материал изотропен, геометрически оболочка считалась состоящей из сферических равнотолщинных тонкостенных сегментов. Из всех факторов, вызывающих возникновение оптической анизотропии роговицы, рассматривались внутриглазное давление (ВГД) и действие четырех прямых глазодвигательных мышц.

Для контроля моделей были рассчитаны интерференционные картины, которые могут наблюдаться при поляризационных исследованиях материальных (физических) реализаций разработанных моделей. Эти картины сравниваются с фотографией роговицы человеческого глаза, полученной на офтальмологическом поляриметре.

Методика построения ММ ФО, которую мы применяли, представлена на схеме рис. 1.

Построение моделей было проведено на основе линейной теории тонких оболочек В. В. Новожилова. ВГД считалось распределенным подобно гидростатическому давлению в резервуаре, а силовое воздействие глазодвигательных мышц принималось распределенным по периметру линии, разделяющей роговицу и склеру по закону:

$$f(\varphi) = (1 + \cos(4\varphi))t,$$

где  $\varphi$  — сферическая координата, изменяющаяся от 0 до  $2 \cdot \pi$  рад,  $t$  — постоянная величина, пропорциональная максимальному воздействию от мышц. Векторы распределенной нагрузки от действия мышц считались направленными по касательной к роговице, несмотря на то, что в моделях правой части схемы Рис.1 радиусы кривизны поверхностей, образующих склеру и роговицу различны.

Методика моделирования предусматривает переход от «предыдущей» модели к «последующей», при котором к удельным нормальным усилиям  $T_1$  и  $T_2$  Н/м,

направленным вдоль координатных линий и визуализирующихся при поляризационных исследованиях, последовательно вносятся поправки.

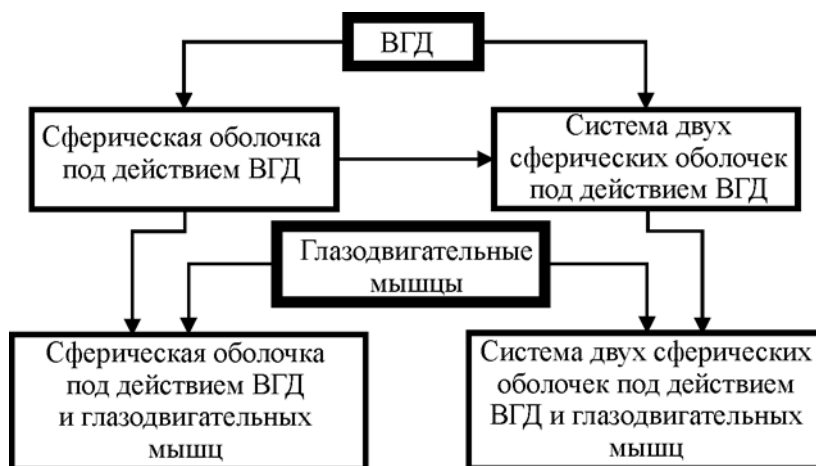


Рис 1. Схема построения математических моделей

Анализ результатов показал, что принятые условия моделирования, несмотря на достаточно приближенное соответствие объекту исследования, дают расчетные картины полей изоклин и изохром подобные получаемым экспериментально.

*Выводы.* Построение ММ глаза целесообразно проводить в следующем порядке. Определить результат раздельного влияния различных факторов на характер распределения двулучепреломления в роговице, после чего рассмотреть их одновременное влияние, при этом следует проводить уточнение модели с учетом оптогеометрических, физико-механических свойств биотканей и особенностей внешних воздействий. При расчетах целесообразно оценить влияние на ВГД упругости глазных тканей, особенностей гидродинамики глаза и действия упругого заполнителя глазного яблока.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Галилеева П. С., Трофимов В. А., Шеломова О. А. Моделирование эффекта фотоупругости для бесконтактной тонометрии // Сб. науч. тр. «Прикладная математика в инженерных и экономических расчетах».- СПб.: СПГУВК, 2001. С. 106-113.
2. Трофимов В. А., Шеломова О. А. Метод моделирования оптической анизотропии роговицы // Там же, С. 319-324.
3. Трофимов В. А., Шеломова О. А. Модели роговицы глаза для бесконтактной тонометрии ВГД // Известия вузов. Приборостроение, 2001, № 4. С. 39-44.
4. Голубева С. Г., Дричко Н. М., Даниличев В. Ф., Журавлев А. И., Малышев А. К. Офтальм поляриметр // Оптический журнал, 1994, № 12, С. 71-75.