**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ**

**Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт прикладной механики Российской академии наук**

**«ИПРИМ РАН»**

*На правах рукописи*

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

*Подпись аспиранта*

|  |
| --- |
| Зябков Павел Сергеевич |
| *ФИО аспиранта* |

|  |
| --- |
| Деформирование пологих полимерных оболочек двойной  кривизны и вырождающейся на контуре толщины на неоднородном вязкоупругом основании при эволюции его физических постоянных |
| *наименование темы научно-квалификационной работы (заглавными буквами)* |

|  |
| --- |
| 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела |
| *отрасль науки (шифр и наименование научной специальности)* |

|  |
| --- |
| 01.06.01 - Математика и механика |
| *наименование направленности (шифр и наименование направления)* |

|  |  |
| --- | --- |
| Квалификация | **Исследователь. Преподаватель-исследователь** |

НАУЧНЫЙ ДОКЛАД

|  |  |
| --- | --- |
| Научный руководитель: | к. ф.-м. наук, доц., зам. директора по научной работе Жаворонок Сергей Игоревич |
|  | *ученая степень, ученое звание, должность, ФИО полностью* |

|  |  |
| --- | --- |
| Рецензент: | к. ф.-м. наук, ведущий научный сотрудник, Волков-Богородский Дмитрий Борисович |
|  | *ученая степень, ученое звание, должность, ФИО полностью* |

|  |  |
| --- | --- |
| Рецензент: | к. ф.-м. наук, проф. кафедры № 311 НИУ МАИ, Земсков Андрей Владимирович |
|  | *ученая степень, ученое звание, должность, ФИО полностью* |

Москва, 2025

Одной из основных проблем обеспечения работоспособности интраокулярных линз (ИОЛ) при проведении факоэмульсификации представляется предотвращение аберраций, связанных с неоднородностью сетчатки вследствие развития дистрофических явлений. В случае двух- или мультифокальных ИОЛ прогрессирующее изменение свойств сетчатки является противопоказанием к их применению. Ключевой задачей, решение которой необходимо для обеспечения работоспособности ИОЛ, является исследование деформирование мультифокальных ИОЛ при эволюции механических свойств сетчатки в процессе развития дистрофических явлений. Одно из актуальных направлений прикладной биомеханики связано с необходимостью решения ключевой проблемы современной офтальмохирургии – расчетом рефракции интраокулярных линз (ИОЛ), имплантируемых при удалении естественного хрусталика глаза (факоэмульсификации), особенно в случае мультифокальных ИОЛ и ИОЛ с расширенной глубиной фокуса. Децентрация и наклон могут приводить к отклонению послеоперационной рефракци, возможность учета подобных явлений особенно важна при выборе конфигурации имплантируемой линзы При рассмотрении вопроса о постановке мультифокальных и торических линз выявление деформаций искусственного хрусталика могут быть полезными для выбора линз. Как показывают результаты исследований, на кинематику линзы преобладающее влияние оказывает нерасчетное (как правило, недостаточное) раскрытие гаптических элементов. В процессе заживления после факоэмульсификации и имплантации ИОЛ развивается фиброз капсульного мешка с изменением его объема, что может привести к уменьшению диаметра раскрытия гаптических элементов и возможному изменению положения ИОЛ. Экспериментальные данные in situ, позволяющие судить о деформировании ИОЛ в послеоперационном периоде, практически отсутствуют; однако, известны попытки построения оценок деформирования ИОЛ теоретически, основываясь на математических моделях различной степени детализации. С одной стороны, разрабатываются максимально подробные конечно-элементные модели аккомодирующих гибких линз, а также взаимодействия ИОЛ с тканями глаза, приводящего к деформации оптической системы оперированного глаза. Данный подход обеспечивает получение количественных оценок в конкретной задаче, а также необходим для планирования натурных экспериментов. С другой стороны, предпринимаются попытки построения аналитических оценок деформации ИОЛ на основе упрощения модели; в работах приближение ИОЛ моделью линейно-упругого диска, находящегося в плоском напряженном состоянии и подвергающегося локальному контурному нагружению со стороны элементов гаптики, пренебрегающая деталями взаимодействия ИОЛ с тканями глаза и ее смещениями, позволило построить точные аналитические решения задачи. Модель упругого диска является достаточно грубым первым приближением, и ее практическая значимость сводится главным образом к оценке напряженно-деформированного состояния, способного привести к возникновению временного двупреломления. Для оболочек большой относительной толщины использование канонической теории Кирхгоффа приводит к неприемлемой погрешности решения; построение модели, с одной стороны, обеспечивающей достаточную точность, с другой – минимальное число степеней свободы, представляется возможным на основе иерархического подхода к теории оболочек как континуально-дискретных систем в соответствии с определением Н.А. Кильчевского. Иерархия моделей оболочек различного порядка может быть построена путем редукции пространственной размерности трехмерной задачи механики деформируемого твердого тела в варианте И.Н. Векуа. Одним из вариантов развития данного метода является построение иерархической теории оболочек как континуально-дискретных систем на основе вариационного формализма аналитической механики континуума.

Взаимодействия между остаточной капсулой хрусталика и имплантированной интраокулярной линзы (ИОЛ), особенно с аккомодационными свойствами, после операции по удалению катаракты имеет большое клиническое значение. Задача взаимодействия интраокулярной линзы и сетчатки глаза практически не рассматривалась

Операция по удалению катаракты самая распространенная медицинская процедура в пожилом возрасте.

Существует необходимость в моделировании изменения геометрии, структуры и свойств хрусталика капсулы после операции по удалению катаракты.

Это может являться необходимым условием для понимания взаимодействия капсулы и имплантата.

Целью работы является построение модели ИОЛ на основе теории неоднородных нетонких оболочек переменной толщины на вязкоупругом основании с переменными свойствами, изучения деформирования ИОЛ при эволюции свойств основания и описание аберраций, порождаемых отклонением деформированного состояния ИОЛ от расчетного вследствие эволюции свойств основания.