

## ОТЗЫВ

научного руководителя  
на диссертационную работу Лэ Ван Хоанга  
**«Биомеханическое моделирование роговицы при кератоконусе,  
персонализированные цифровые модели  
и оптимизация хирургического лечения»**  
по специальности 1.1.10 «Биомеханика и биоинженерия»

Лэ Ван Хоанг, гражданин Социалистической Республики Вьетнам. С 2008 по 2013 год обучался в Техническом университете имени Ле Куй Дона (Le Quy Don Technical University), который окончил по специальности «Механика» с присвоением квалификации «Специалист». После окончания университета с 2013 г. работал инженером на предприятии по техническому обслуживанию и ремонту автомобилей в г. Ханой.

В 2019 году Лэ Ван Хоанг поступил в магистратуру ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет», которую окончил в 2021 году по направлению 15.04.01 «Машиностроение» с присвоением квалификации «Магистр». С 2021 по 2025 год обучался в очной аспирантуре ВолгГТУ по направлению 01.06.01 «Математика и механика». В период обучения проявил высокую мотивацию к научно-исследовательской работе, глубокий интерес к междисциплинарным задачам на стыке механики деформируемого твёрдого тела и офтальмологии.

С 2026 года Лэ Ван Хоанг работает на кафедре «Сопротивление материалов» Волгоградского государственного технического университета в должности лаборанта-исследователя. За время обучения и работы он зарекомендовал себя как ответственный, инициативный и технически грамотный специалист, способный самостоятельно решать сложные вычислительные задачи, осваивать современные программные комплексы (*Comsol Multiphysics*) и эффективно взаимодействовать с клиническими партнёрами — офтальмологами Волгоградского филиала МНТК «Микрохирургия глаза».

Лэ Ван Хоанг активно участвовал в выполнении научных проектов, поддержанных грантами Российского научного фонда (гранты № 22-21-20085, <https://rscf.ru/project/22-21-20085/> и № 25-25-00303, <https://rscf.ru/project/25-25-00303/>), где являлся одним из основных исполнителей по разделу численного моделирования биомеханических

процессов в роговице. Его работа требовала не только глубоких знаний в области механики и методов конечных элементов, но и понимания клинических задач, что позволило ему успешно интегрировать расчётные модели в реальную практику предоперационного планирования.

В процессе обучения и работы Лэ Ван Хоанг неоднократно выступал с докладами на всероссийских и международных конференциях, в том числе на ежегодных школах «Математическое моделирование и биомеханика в современном университете» (Дивноморское, 2023–2026), на школах-семинарах «Методы компьютерной диагностики в биологии и медицине» (Саратов, 2023–2024), а также на международных и всероссийских конференциях в Волгограде, Вологде, Кемерово, Ростове-на-Дону. Он проявил себя как уверенный докладчик и грамотный специалист, способный аргументированно защищать свои научные позиции.

По теме диссертации соискателем опубликована 21 работа, из них 3 статьи в журналах, рекомендованных ВАК РФ (в том числе одна статья без соавторов), и 5 статей в изданиях, индексируемых Scopus («Journal of Current Ophthalmology», «Mechanics of Solids», «Вестник офтальмологии», «Офтальмохирургия», «Клиническая офтальмология»). Публикационная активность Лэ Ван Хоанга свидетельствует о его способности самостоятельно формулировать научные проблемы, доводить исследование до завершённого вида и представлять результаты в ведущих профильных журналах.

Особо следует отметить личные качества соискателя: целеустремлённость, трудолюбие, аккуратность в работе с данными, умение планировать время и эффективно организовывать свою научную деятельность. Несмотря на то, что русский язык не является для него родным, он в совершенстве овладел научной терминологией и свободно излагает результаты как в устной, так и в письменной форме. Лэ Ван Хоанг успешно совмещает научную работу с участием в образовательном процессе кафедры, помогая в проведении практических занятий по сопротивлению материалов и численным методам прочностных расчётов, что свидетельствует о его педагогической зрелости.

Диссертационная работа Лэ Ван Хоанга является законченным научным трудом, в котором решена актуальная задача разработки персонализированных биомеханических моделей роговицы для оптимизации хирургического лечения кератоконуса. Полученные результаты имеют как теоретическую, так и практическую значимость и уже внедрены в клиническую практику.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, приложения и списка литературы из 174 источников. В первой главе приведён обзор современной литературы по конечно-элементному моделированию роговицы, методам диагностики и хирургического лечения кератоконуса. Вторая глава содержит математическую постановку задачи о напряжённо-деформированном состоянии роговицы как гиперупругой оболочки, описание построения персонализированных геометрических моделей на основе данных диагностических приборов (Pentacam и Corvis ST), а также методики идентификации биомеханических свойств с использованием оптимизационных алгоритмов. В третьей главе представлена разработанная многоочаговая модель зоны кератоконуса и результаты идентификации параметров для различных стадий заболевания. Четвёртая глава посвящена моделированию ультрафиолетового кросслинкинга – построению трёхмерного распределения прироста жёсткости с учётом диффузии рибофлавина и затухания излучения, а также оптимизации параметров зоны воздействия. В пятой главе приведена нелинейная контактная модель имплантации интрастромальных сегментов, учитывающая аппланацию, формирование канала, адгезию и декогезию ткани, и показаны результаты многовариантных расчётов по выбору оптимальных параметров имплантации. В заключении сформулированы основные выводы работы.

В процессе выполнения диссертационного исследования Лэ Ван Хоанг разработал методику построения персонализированной трёхмерной конечно-элементной модели роговицы на основе данных кератотопографии и пневмотонометрии, обеспечивающую реконструкцию геометрии и пространственного распределения гиперупругих свойств. Им впервые решена обратная коэффициентная задача идентификации параметров модели Йео для интактной ткани и зон кератоконуса, установлены механические маркеры прогрессирования деградации: выявлено существенное снижение жёсткости ткани на поздних стадиях заболевания и прогрессирующий рост индекса концентрации деформаций. Соискателем создана многоочаговая модель эктазии как суперпозиции локальных областей с плавным градиентом жёсткости, позволяющая реконструировать скрытое распределение модулей упругости по данным о поверхностной кривизне роговицы и амплитуде её деформаций при пневмотесте. Построены верифицированные модели кросслинкинга и имплантации сегментов, в которых на основе многовариантных расчётов выявлены закономерности влияния геометрических и позиционных

параметров вмешательства на перераспределение напряжённо-деформированного состояния оболочки. Показано, что таргетное упрочнение при кросслинкинге позволяет значительно снизить пиковые деформации при одновременном существенном сокращении площади модифицируемой поверхности, а оптимизация имплантации сегментов даёт возможность заметно уменьшить среднюю кривизну оптической зоны при сохранении допустимого уровня локальных напряжений.

Результаты исследования имеют существенную практическую значимость, так как могут быть использованы в офтальмологических клиниках при предоперационном планировании кросслинкинга и имплантации интрастромальных сегментов. Разработанные методики позволяют на основе стандартного обследования строить карту локальной жёсткости роговицы, прогнозировать индивидуальный биомеханический отклик и выбирать оптимальные параметры вмешательства. Методология внедрена в практическую деятельность Волгоградского филиала ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Фёдорова» Минздрава России, что подтверждено актом внедрения. Также результаты используются в учебном процессе кафедры «Сопротивление материалов» Волгоградского государственного технического университета.

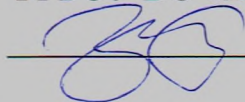
Диссертационная работа Лэ Ван Хоанга на тему «Биомеханическое моделирование роговицы при кератоконусе, персонализированные цифровые модели и оптимизация хирургического лечения» является завершённым научно-квалификационным исследованием, в котором решена актуальная научная задача. Работа соответствует критериям, установленным пп. 9–11, 13 и 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утверждённого постановлением Правительства Российской Федерации №842 от 24.09.2013 г., для кандидатских диссертаций, а её содержание полностью соответствует паспорту специальности 1.1.10 «Биомеханика и биоинженерия». Считаю, что автор работы Лэ Ван Хоанг заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата физико-математических наук.

### Научный руководитель

доктор технических наук, доцент,

заведующий кафедрой «Сопротивление материалов»

ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет»



Захаров Игорь Николаевич



14.06.2026

14.06.2026  
(подпись)