

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.070.07, СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФГБОУ ВО «БАЙКАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ» МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 21.06.2019 г., протокол № 13

О присуждении **Зыонг Ван Лам**, гражданину Социалистической Республики Вьетнам, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация **«Математическое конечно-элементное моделирование деформируемых твердых тел на основе сканирования»** по специальности 05.13.18 – математическое моделирование, численные методы и комплексы программ принята к защите 15.04.2019 г. (протокол заседания № 10) диссертационным советом Д 212.070.07, созданным на базе ФГБОУ ВО «Байкальский государственный университет» Минобрнауки России, почтовый адрес: 664003, г. Иркутск, ул. Ленина, 11, приказом Минобрнауки России №105/нк от 11.04.2012 на период действия номенклатуры специальностей научных работников, утвержденной приказом Минобрнауки России от 23.10.2017 № 1027.

Соискатель Зыонг Ван Лам, 1988 года рождения, в 2013 году окончил ФГБОУ ВПО «Иркутский государственный технический университет», в 2018 году окончил очную аспирантуру на базе ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет», работает младшим научным сотрудником Байкальского Института БРИКС ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет» Минобрнауки России.

Диссертация выполнена на кафедре теоретической механики и сопротивления материалов ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет» Минобрнауки России.

**Научный руководитель** – доктор технических наук Пыхалов Анатолий Александрович, профессор, директор учебно-научного центра «Компьютерные технологии инженерного анализа» ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения».

### **Официальные оппоненты:**

– Москвичев Владимир Викторович, доктор технических наук, профессор, директор Красноярского филиала ФГБУН Института вычислительных технологий СО РАН – Специальное конструкторско-технологическое бюро «Наука»;

– Алпатов Юрий Никифорович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры информатики и прикладной математики ФГБОУ ВО «Братский государственный университет»,

дали положительные отзывы на диссертацию.

**Ведущая организация** ФГБОУ ВО «Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления», г. Улан-Удэ, в своем положительном отзыве, подписанным Бохоевой Любовью Александровной, д.т.н., профессором, заведующей кафедрой сопротивления материалов и утвержденным ректором, д.э.н., профессором Сактоевым Владимиром Евгеньевичем, указала, что диссертация является завершенной, самостоятельно выполненной научно-квалификационной работой на актуальную тему. Работа соответствует паспорту специальности 05.13.18

(п.п. 1, 4, 6, 7), требованиям п.9 «Положения о присуждении ученых степеней» (Постановление Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г.), а автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.18 – математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Соискатель имеет 17 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 17 работ, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 5 работ. Получены 3 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ. Общий объем опубликованных работ – 14,55 п.л. (авторских – 6,4). Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

- 1) Зыонг В.Л. Исследование точности численного решения методом конечных элементов анализа напряженно-деформированного состояния образцов из костной ткани на основе данных компьютерного томографа и натурального эксперимента / А.А. Пыхалов, В.П. Пашков, В.Л. Зыонг // ВЕСТНИК ИрГТУ. – 2017. – Т.21. – №4. – С. 47–56. (соискателем построены КЭ модели тестовых образцов, получено их напряженно-деформированное состояние и проведен сравнительный анализ результатов с экспериментальными данными натуральных испытаний);
- 2) Зыонг В.Л. Математическое моделирование и автоматизация обработки изображений сканирования твердых деформируемых тел с неоднородными свойствами материала и геометрии для построения их конечно-элементных моделей / В.Л. Зыонг, А.А. Пыхалов // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2017. – №2 (54). – С. 30–39. (соискателем разработан комплекс математических методов интерпретации результатов сканирования);
- 3) Зыонг В.Л. Интерполяция геометрии и неоднородности материала деформируемых тел при построении их объемных моделей методом конечных элементов на основе сканирования компьютерным томографом / В.Л. Зыонг, А.А. Пыхалов, С.Р. Татарникова // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2017. – №3(55). – С. 10–18. (соискателем разработан комплекс математических методов интерполяции геометрии и неоднородности материала из каркасной модели в объемную конечно-элементную модель);
- 4) Зыонг В.Л. Математическое моделирование для компьютерной обработки сканирования твердых деформируемых тел при построении и анализе их конечно-элементных моделей / А.А. Пыхалов, В.Л. Зыонг, О.П. Белозерцева // ВЕСТНИК ИрГТУ. – 2018. – Т.22. – №3. – С. 93–111. (соискателем реализован комплекс программ и применен для построения и анализа КЭ моделей реальных деформируемых твердых тел);
- 5) Зыонг В.Л. Построение и анализ конечно-элементных моделей неоднородных деформируемых твердых тел на основе сканирования / А.А. Пыхалов, В.Л. Зыонг, В.Г. Толстик // PNRPU Mechanics Bulletin. – 2018. – № 4. – С. 106–118. DOI: 10.15593/perm.mech/2018.4.10. (соискателем реализован комплекс программ и применен для анализа напряженно-деформированного состояния реальных неоднородных деформируемых твердых тел при их контактном взаимодействии).

На диссертацию и автореферат поступило 11 отзывов, все положительные и имеют замечания.

1. Отзыв **ФГБОУ ВО «Братский государственный университет»**, подписанный д.т.н., профессором кафедры машиноведения, механики и инженерной графики П.М. Огаром, с замечанием: «... не указана возможность исследования и моделирования трещин, дефектов и других видов разрушения на основе сканирования в КЭ

модели».

2. Отзыв **Инженерно-экспертного предприятия АО РАТТЕ**, подписанный д.т.н., профессором, научным консультантом Д.Г. Шимковичем, с замечаниями: «1. Не отмечены типы используемых контактных элементов. 2. Отсутствует учет трения при анализе контактирования деформируемых тел. 3. Не указано, как определялся/задавался коэффициент Пуассона».

3. Отзыв **ФГБУН Института динамики систем и теории управления СО РАН**, подписанный д.т.н., профессором, главным научным сотрудником А.Ф. Берманом, с замечанием: «... не указана возможность оценить влияние неоднородности структуры материала на надежность работы деформируемых систем».

4. Отзыв **ФГБУН Института машиноведения имени А.А. Благонравова РАН**, подписанный д.т.н., главным научным сотрудником Л.Я. Банах, с замечаниями: «... проблемы построения КЭ моделей для машиностроительных конструкций с учетом, как их внутренней неоднородности материала, так и локальных конструктивно-технологических особенностей (расточки, ребра и т.д.) также представляют определенные трудности. К сожалению, в автореферате не приводятся примеры таких конструкций, а также из автореферата не ясно, насколько разработанный автором программный комплекс сочетается с известными КЭ программами».

5. Отзыв **АО «Иркутский научно-исследовательский и конструкторский институт химического и нефтяного машиностроения»**, подписанный д.т.н., профессором, генеральным директором А.М. Кузнецовым, с замечаниями: «1. ... не понятно, какую плотность КТ сканирования контролируемых объектов необходимо использовать и, какая минимальная плотность сканирования достижима на практике. 2. Судя по блок-схеме на рис. 9 объемная КЭ модель исследуемого объекта строится из набора плоских КЭ сеток, соответствующих каждому сечению, полученному при КТ сканировании. Непонятно, каким образом осуществляется такое построение, особенно при генерации КЭ модели из объемных тетраэдральных конечных элементов. 3. На стр. 8 автором представлен алгоритм соотнесения индексов цветов для каждого сечения, полученного при КТ сканировании, с соответствующим значением модуля упругости материала посредством весового коэффициента, вычисляемого через экспериментальное значение  $E_{оп}$ . При этом автором не показано, каким образом на практике реализуется экспериментальное определение  $E_{оп}$ ».

6. Отзыв **ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт»**, подписанный д.т.н., профессором, проректором по научной работе, заведующим кафедрой конструкций и проектирования двигателей Ю.А. Равиковичем, с замечаниями: «блок построения и уточнения геометрии ДТТ представлен в виде полного алгоритма, однако не указана возможность редактирования геометрических моделей при необходимости; каждый конечный элемент имеет свое значение модуля упругости, таким образом, в КЭ моделях сложных объектов их количество может составлять до миллиона или больше, следовательно, процесс решения задачи может быть большим по времени и ресурсам. В автореферате не указан подход к решению этой проблемы».

7. Отзыв **Государственного научного учреждения «Объединенный институт машиностроения Национальной академии наук Беларуси»**, подписанный начальником отдела моделирования и виртуальных испытаний А.Н. Колесниковичем, с замечаниями: «... не ясно, какие рекомендации дает соискатель для выбора оптимальных параметров (размеров, сгущаемости) конечно-элементной сетки при разбивке геометрии с неоднородной структурой (костной тканью), и чем они обос-

нованы; на рисунке 14 автореферата невозможно установить, какой график относится к HEX8 элементам, а какой к ТЕТ4; рассматривались ли в диссертационной работе вопросы калибровки цветопередачи сканера (томографа)?».

8. Отзыв **ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта»**, подписанный д.т.н., профессором, заведующим кафедрой теоретической механики С.Б. Косициным, с замечанием: «...на рисунках 8, 9 и 11 (стр. 10, 11) отсутствуют подробные описания алгоритмов построения индивидуальной геометрии и определения реального изменения механических характеристик материала, что затрудняет понимание назначения работы каждого блока».

9. Отзыв **АО «РЭП Холдинг»**, подписанный д.т.н., генеральным конструктором М.Е. Колотниковым, с замечаниями: «1. По-видимому, из-за ограничения объема автореферата недостаточно полно описаны экспериментальные исследования, используемые при анализе влияния числа конечных элементов на точность получаемых результатов. В частности, из рисунка 13 автореферата трудно понять, какие эксперименты проводились над образцами в форме параллелепипеда. По идее это должны были быть испытания на сжатие, но судя по знаку нормальных напряжений, кажется, что это испытания на растяжение, проводимые последовательно на отдельных образцах. Если это одномоментное нагружение, то, судя по знакам напряжений, это похоже на всестороннее растяжение, и как оно реализуется не ясно. Надлежащие комментарии в автореферате отсутствуют. 2. ... не указано, в каком виде сохраняются результаты определения неоднородности механических характеристик материала. ... не определена возможность использования представленной технологии для других программных комплексов анализа МКЭ. 3. Из рисунка 15 автореферата не ясно, какие напряжения приведены на картинках. Можно предположить, что это напряжения Мизеса или нормальные напряжения сжатия. Этой информации в автореферате обнаружить не удалось».

10. Отзыв **ООО Научно-исследовательского и проектного института «Технологии обогащения минерального сырья»**, подписанный д.т.н., профессором К.В. Федотовым, с замечанием: «... следует отметить отсутствие описания работы базы данных при обработке такого большого объема информации, которая формирует параметры неоднородности материала в представленном исследовании».

11. Отзыв **ООО «Эм-Эс-Си Софтвэр РУС» - «MSC Software Corporation»**, подписанный к.т.н., старшим техническим экспертом А.В. Гуменюком, с замечаниями: «1. Автор использовал язык программирования «Patran Command Language» с использованием комплекса программ MSC Nastran/Patran и Marc для моделирования неоднородности механических характеристик материала в КЭ модели, но в автореферате не представлена структура этого файла. Считаю, что в этом есть необходимость. 2. ... не указана возможность использования полученных результатов моделирования неоднородности для других комплексов программ MSC?»

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их научными достижениями в данной отрасли науки (математическое моделирование, численные методы, программирование, напряженно-деформированное состояние), наличием публикаций в соответствующей сфере исследования и способностью определить научную и практическую значимость диссертации.

**Диссертационный совет** отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

– *разработан* комплекс методов математического моделирования индивидуаль-

ной геометрии реальных деформируемых твердых тел, как для внешнего контура, так и контуров внутренней структуры материала;

– предложены методы определения зависимости изменения механических характеристик материала от значений индексов цвета на основе растровых изображений сканирования и данных натуральных испытаний, включая методы интерполяции механических характеристик материала в узлах КЭ модели;

– доказано, что неоднородный (анизотропный) характер материала в конечно-элементной модели в целом определяется набором конечных элементов, каждый из которых имеет свой модуль упругости изотропного материала, также, доказаны эффективность и точность использования представленной технологии для промышленного проектирования и изготовления конструкций.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

– применительно к проблематике диссертации результативно использованы аналитическая геометрия, линейная алгебра, статистические методы, численное решение методом конечных элементов;

– изложены численные методы и вычислительный алгоритм определения зависимости изменения механических характеристик материала от пиксельной характеристики растрового (цифрового) изображения сканирования, построенные на основе осредненных данных натуральных испытаний;

– раскрыты возможности эффективного применения растровых изображений сканирования, разработанных методов математического моделирования для построения и исследования конечно-элементных моделей неоднородных деформируемых твердых тел, имеющих сложную структуру механических характеристик материала;

– изучено изменение напряженно-деформированного состояния неоднородных деформируемых твердых тел при их контактном взаимодействии.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

– разработаны и внедрены: 1) математические методы моделирования, вычислительные алгоритмы и комплекс проблемно-ориентированных программ в стоматологической клинике ООО «32 Белых» для анализа напряженно-деформированного состояния фрагмента бедренной кости и зубов человека; 2) программное обеспечение в виде трех зарегистрированных программных продуктов в учебный процесс и научную деятельность магистрантов и аспирантов на кафедре теоретической механики и сопротивления материалов ФГБОУ ВО «ИРНИТУ»;

– определены перспективы практического использования предложенных математических моделей, разработанных численных методов, алгоритмического и программного обеспечения в других предметных областях, например, при изучении функциональности полимерных композиционных материалов;

– создан программный комплекс, предназначенный для построения индивидуальной геометрии деформируемых твердых тел по сечениям и определения в них изменения механических характеристик материала.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

– теория построена на материале современных публикаций по теме диссертации, а также на известных проверяемых данных;

– идея базируется на использовании и обобщении мирового опыта в области исследования работы деформируемых твердых тел на основе метода конечных эле-

ментов с использованием данных о механических и геометрических характеристиках, полученных на основе сканирования;

– *использованы* данные, полученные при натурных испытаниях стандартных образцов, а также результаты современной технологии сканирования компьютерным томографом с высоким разрешением пиксельной характеристики;

– *установлено*: 1) полученные модели и алгоритмы адекватно описывают исследуемые объекты; 2) качественная и количественная картина авторских результатов имеет высокий уровень совпадения с результатами, представленными в научной литературе, в тех случаях, когда такое сравнение является обоснованным.

Личный вклад соискателя состоит в непосредственном участии в постановке цели и задач работы, в разработке математических моделей и вычислительных алгоритмов, а также реализации их в виде программного комплекса для решения задач обработки данных и интерпретации результатов сканирования, успешной апробации результатов исследований на семинарах и конференциях, подготовке публикаций по диссертационному исследованию.

На заседании 21.06.2019 г. диссертационный совет принял решение присудить Зыюнг Ван Лам ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 14 человек, из них 6 докторов наук по специальности 05.13.18, участвовавших в заседании, из 19 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за 14, против нет, недействительных бюллетеней нет.

Председатель диссертационного совета,  
д.ф.-м.н., профессор

  
В.А. Пархомов


Ученый секретарь диссертационного совета,  
к.т.н., доцент

  
Т.И. Ведерникова

Подписи председателя диссертационного совета В.А. Пархомова и  
ученого секретаря диссертационного совета Т.И. Ведерниковой заверяю.

Первый проректор - проректор по науке  
ФГБОУ ВО «Байкальский государственный  
университет» д.э.н., профессор

  
А.П. Суходолов

  
24.06.2019