

В диссертационный совет Д 212.070.07
на базе ФГБОУ ВО «Байкальский
государственный университет»
664003, г. Иркутск, ул. Ленина, 11, БГУ

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу Зыонг Ван Лам «Математическое конечно-элементное моделирование деформируемых твердых тел на основе сканирования», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

1. Актуальность работы для науки и практики

Проблемные вопросы повышения точности и эффективности конечно-элементного (КЭ) моделирования деформируемых твердых тел (ДТТ) являются определяющими при решении задач анализа напряженно-деформированных и предельных состояний сложных в конструктивном оформлении объектов и структурно неоднородных материалов. В особых случаях при КЭ моделировании дополнительно используются технологии сканирования рассчитываемых объектов, 3D моделирования и печати, цифровых двойников. Наибольшие трудности возникают при модельном описании материалов повышенной неоднородности (композиты, строительные материалы и горные породы, костные ткани и т.д.) и объектов сложной пространственной формы. Для решения этих вопросов в диссертационной работе предлагается использовать технологию компьютерно-томографического сканирования, результаты которого дают возможность интерпретации характеристик механических свойств материалов, отражающих неоднородность структуры и достоверного отражения геометрии и формы объекта исследований. Для указанных деформируемых тел сканирование является единственно возможным подходом, позволяющим реализацию практически полной их идентификации по характеристикам механических свойств и геометрии. Постановка данной проблемы обозначена в цели и задачах диссертационной работы Зыонг В.Л., что определяет её актуальность.

Основные положения научной новизны диссертационной работы связаны с разработкой математических методов, вычислительных алгоритмов и комплекса программ для обработки и интерпретации данных сканирования

ДТТ с получением результатов в виде характеристик механических свойств материала и геометрии, используемых при построении КЭ моделей и анализе напряженно-деформируемых состояний (НДС)

Практическая значимость работы определяется возможностью исследования деформируемых твердых тел и материалов сложной структуры, результаты которого используются при построении КЭ моделей с учетом неоднородности характеристик механических свойств материала и требований подобия геометрии и формы.

Таким образом, научное исследование, выполненное Зыонг В.Л., имеет все основания рассматриваться как соответствующее требованиям актуальности, научной новизны и практической значимости. Уровень поставленной научной проблемы соответствует диссертационной работе на соискание ученой степени кандидата технических наук. Постановка задач соответствует требованиям паспорта специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

2. Структура диссертации и общая характеристика работы

Диссертация состоит из введения, пяти глав, основных выводов, списка литературы (167 наименований) и трех приложений. Общий объем диссертации составляет 182 страницы, включая 93 рисунка и 22 таблицы.

Во введении отмечены актуальность, предмет исследований и раскрыты основные положения работы согласно принятых требований.

В первой главе представлены обзор состояния вопроса и анализ проблем, связанных с развитием технологии моделирования и исследования структурной неоднородности и характеристик механических свойств ДТТ, в том числе для повышения достоверности КЭ моделирования.

Вторая глава содержит основные математические зависимости обработки и интерпретации данных компьютерно-томографического сканирования ДТТ в виде пиксельной характеристики цифрового (растрового) изображения, неоднородной структуры, характеристик механических свойств и геометрии деформируемых тел для построения их КЭ моделей и решения задачи исследования НДС. Рассмотрены экспериментальные зависимости градиента изменения индексов цвета и его связь с модулем упругости для структурно неоднородного материала. Предложенная технология иллюстрируется на примере данных сканирования структуры и форм зубов челюстного сустава и бедренной кости. Представлены зависимости объемных

моделей метода конечных элементов, реализуемые с решением контактной задачи теории упругости.

В третьей главе, на основе представленных во второй главе математических зависимостей, разработан алгоритм, основными блоками которого являются:

- построение и уточнение каркасной модели геометрии и формы ДТГ, включая неоднородную структуру материала;

- определение зависимости модуля упругости от значений индексов цвета растровых изображений сканирования;

- определение неоднородности характеристик механических свойств материала деформируемого твердого тела в КЭ модели.

Представленный алгоритм реализован в виде программного комплекса, работающий в условиях интеграции со стандартным программным обеспечением компьютерных технологий инженерного анализа.

Четвертая глава посвящена исследованию точности и сходимости численного решения МКЭ в виде результатов анализа НДС КЭ моделей тестовых образцов с учетом неоднородности структуры материала.

В пятой главе проведено построение КЭ моделей и анализ НДС, с использованием решения контактной задачи теории упругости деформируемых твердых тел при контактном взаимодействии зубов.

3. Новые научные результаты

Математические модели, численные методы и разработанный комплекс программ, представленные в работе, имеют принципиально важное значение для исследования неоднородности структуры материала, при этом получены новые результаты в области математического моделирования деформируемых твердых тел с применением современной технологии компьютерно-томографического сканирования:

- разработаны методы математического моделирования индивидуальной геометрии и формы ДТГ, как для внешнего контура, так и контуров внутренней структуры материала;

- разработаны численные методы оценки неоднородности характеристик механических свойств материала по данным сканирования и натурных испытаний на основе зависимостей между пиксельной характеристикой растрового изображения и механическими характеристиками материала;

- на базе разработанного математического и алгоритмического обеспечения создан комплекс программ, прошедших государственную регистрацию;

- установлено, что неоднородность механических характеристик материала в КЭ модели может быть представлена набором конечных элементов, в каждом из которых используется изотропная структура материала со своим модулем упругости;

- показана эффективность использования представленной технологии в реальных условиях работы (проектирования и изготовления) с возможностью её использования для широкого круга конструктивных структурно неоднородных материалов и изделий сложной формы.

4. Практические результаты и рекомендации по их использованию

Представленное математическое моделирование и комплекс программ позволяют проводить исследование различных сложных по форме и структурно неоднородных реальных деформируемых твердых тел, результаты которого используются при построении их КЭ моделей и анализе НДС с учетом неоднородности механических характеристик материала и индивидуальности геометрии. Разработанный комплекс может быть использован для любых физических принципов сканирования, когда полученная информация сканирования сформирована в виде цифрового изображения.

На основе результатов исследования точности и сходимости численного решения МКЭ с учетом свойств неоднородности механических характеристик материала и геометрии ДТТ, а также результатов построения и анализа НДС КЭ моделей реальных деформируемых твердых тел, доказано повышение уровня достоверности при КЭ моделировании.

5. Замечания по диссертационной работе

1. В названии диссертационной работы целесообразно было исключить слово «математическое» и добавить «... на основе данных сканирования».

2. Для неоднородных материалов в работе отсутствуют оценки влияния изменения коэффициента Пуассона на результаты анализа НДС.

3. В некоторых случаях, для обеспечения требуемых уровней точности построения геометрии сечений сканируемых объектов при обработке результатов сканирования необходимо изменять яркость и контрастность растровых изображений. В работе не отражено влияние этого изменения на результаты построения индивидуальной геометрии объекта и процедуру оценки неоднородности характеристик механических свойств материала в КЭ модели.

4. При сканировании составных сложных конструкций компьютерным томографом не ясно как, учитывается возможность определения границы

контактирующих деталей, имеющих одинаковые механические характеристики материала.

5. В разделе 3.2.1, неясно в каком виде сохраняется результат построения геометрии сечения. Авторский модуль работает отдельно или как приложение к AVTOSCAD? В данном разделе нет необходимости подробно описывать корректировку положения центра тяжести сечений, так как в разделе 2.1 уже отмечено, что *«В большинстве случаев анализа НДС КЭ модели корректировки положения центра тяжести сечений не требуется»*.

6. В автореферате на стр. 10 отсутствует описание общего алгоритма (рис. 8) технологии атематического моделирования идентификации результатов сканирования ДТТ для построения и анализа его КЭ модели, что затрудняет понимание представленной работы.

6. Заключение по диссертационной работе

1. Диссертация Зыонг В.Л. является законченным научно-исследовательским трудом, в рамках которого автором предложены новые математические модели, численные методы и комплекс программ, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие и решение проблемы исследования неоднородности характеристик механических свойств материалов, формы и геометрии ДТТ, повышения достоверности при математическом КЭ моделировании.

2. Автореферат и основные публикации достоверно и полно отражают содержание работы. Оформление работы отличается четким, последовательным и грамотным стилем изложения. Работа содержит необходимый объем информационно-аналитических и экспериментальных материалов, подтверждающих достоверность основных результатов, положений и выводов. Кроме того, адекватность и корректность научных результатов положительно характеризуется их внедрением и практическим использованием в области математического моделирования.

3. Указанные выше замечания не имеют принципиального значения в отношении научного содержания диссертации.

4. Тематика и содержание работы соответствуют специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

5. Представленная работа полностью удовлетворяет требованиям ВАК к кандидатским диссертациям, включая постановку задачи исследования, методы их решения и практическое использование полученных результатов. Диссертация соответствует требованиям пп. 9, 10 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» (постановление Правительства Российской

Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842) в части, касающейся ученой степени кандидата наук, а её автор Зыонг В.Л. заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Официальный оппонент,
директор Красноярского филиала
Института вычислительных технологий
Сибирского отделения
Российской академии наук
Специальное конструкторско-
технологическое бюро «Наука»
доктор технических наук, профессор,
заслуженный деятель науки РФ
«15» мая 2019 г.

В.В. Москвичев

Почтовый адрес: 660049, г. Красноярск, проспект Мира, д. 53
тел.: +7 (391) 227-29-12,
e-mail: krasn@ict.nsc.ru

Подпись Москвичева Владимира Викторовича
заверяю: Ученый секретарь СКТБ «Наука»
ИВТ СО РАН, к.т.н.
«15» мая 2019 г.

Н.А. Чернякова

