

## ОТЗЫВ

Колотникова Михаила Ефимовича  
об автореферате диссертации Зыонг Ван Лам

### «Математическое конечно-элементное моделирование деформируемых твердых тел на основе сканирования»,

представляемой на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

В задачах определения напряжённо деформированного состояния (НДС) твердых тел из изотропного материала с использованием метода конечных элементов (МКЭ) механические характеристики материала деформируемых твердых тел (ДТТ) обычно задаются в виде усредненных значений, используемых для всей модели в целом и полученных при испытании стандартных образцов на растяжение при различных температурах, охватывающих эксплуатационный диапазон. Данное обстоятельство в расчетно-инженерной практике остается вполне приемлемым. Однако, все более широкое применение в авиакосмической отрасли, машиностроении, строительстве, медицине и др. находят полимерные композитные материалы и материалы природного происхождения, для которых такой подход является непригодным. Реальное изменение механических характеристик для них является анизотропным и сильно отличается от усредненных значений. Не учёт этого факта при анализе (НДС) конструкций с использованием МКЭ приводит к высокому уровню искажения результатов по отношению к реальной картине НДС. Изучение степени неоднородности распределения механических характеристик, методов их определения и описания в указанных материалах является сложной научно-технической задачей.

В этой связи, диссертационная работа Зыонг В.Л., направленная на развитие математических методов идентификации неоднородности механических характеристик материала (модуля упругости) реальных ДТТ и индивидуальных параметров геометрии на основе технологии КТ сканирования является, несомненно, **актуальной**.

**Главный научный результат** выполненных в диссертации исследований и разработок, судя по автореферату, состоит в том, что автору удалось создать, исследовать и обосновать возможность построение зависимости изменения механических характеристик материала ДТТ(модуля упругости) от пиксельной характеристики цифрового изображения сканирования при проведении компьютерной томографии (КТ) объекта из костной ткани, с дальнейшим использованием полученных данных в его КЭ модели при выполнении анализа НДС. Определённой научной новизной обладают полученные экспериментальные данные о значениях модулей упругости образцов из костной ткани с различными цветовыми оттенками, определёнными при КТ сканировании. Новым научным результатом является разработанная автором методика сплайн-аппроксимации изменения модуля

упругости исследуемой костной ткани от пиксельной характеристики изображения, базирующаяся на предположении, что в пределах конечного элемента изменения пиксельной характеристики малы и значение модуля упругости исследуемого материала костной ткани в объёме КЭ является изотропным и остаётся постоянным.

Практическая значимость полученных в диссертации результатов определяется возможностью их использования для исследования НДС любых сложных структур реальных ДТТ с учетом неоднородности в них механических характеристик материала и геометрии при наличии результатов КТ сканирования объекта и сведений об изменении модуля от пиксельной характеристики изображения.

Достоверность полученных в диссертации результатов и сделанных выводов не вызывает сомнений, поскольку они базируются на использовании строгих математических численных методов анализа НДС, метода обработки изображений КТ сканирования объектов и методов сплайн-аппроксимации.

Судя по автореферату, диссертация прошла достаточную апробацию. Её материалы докладывались на ряде международных, всероссийских научно-технических конференций. Основные результаты диссертации опубликованы в 17 научных статьях, из которых 4 статьи в изданиях, входящих в перечень ВАК; 1 статья в издании, входящем в базу данных *Scopus*. Дополнительно получены 3 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ.

В качестве замечаний к автореферату необходимо отметить следующие:

1. По-видимому, из-за ограничения объёма 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. В автореферате не указано, в каком виде сохраняются результаты определения неоднородности механических характеристик материала. Также, 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.

Несмотря на сделанные замечания по автореферату, общая оценка диссертационной работы положительная. Работа выполнена на высоком научно-техническом уровне, направлена на решение важной теоретической и прикладной задачи достоверного расчётного определения НДС тел из природного анизотропного материала, удовлетворяет требованиям ВАК РФ,

предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор Зыонг Ван Лам заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

д.т.н.,  
генеральный конструктор,  
АО «РЭП Холдинг».

Колотников М.Е.

Личную подпись Колотникова М.Е. заверяю  
Вице-президент АО «РЭП Холдинг»

Москалёва Н.С.

АО «РЭП Холдинг»  
Почтовый адрес: 129029 Россия, Санкт-Петербург,  
пр. Обуховской Обороны, д.51, лит. АЩ  
Тел: 8 (812) 372-58-81 доб. 52-24  
Email: [m.kolotnikov@reph.ru](mailto:m.kolotnikov@reph.ru); [mekolotnikov@mail.ru](mailto:mekolotnikov@mail.ru)