

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

кандидата технических наук Самошкина Антона Сергеевича на диссертацию Федоровой Натальи Виталиевны «Определение напряженно-деформированного состояния контактирующих тел и моделирования их хрупкого разрушения», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.02.04 «Механика деформируемого твердого тела»

1. Оценка объема и структуры диссертации

Диссертация Н. В. Федоровой на соискание ученой степени кандидата технических наук состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы, включающего 126 наименований используемых публикаций отечественных и зарубежных авторов, и приложения. Основное содержание изложено на 134 страницах, включает 7 таблиц и 46 рисунков. Объем приложения 1 страница.

2. Актуальность избранной темы

Разрушение конструкций различного назначения обуславливается критическим накоплением повреждений, возникающих в следствии нагружении при эксплуатации. Одним из основных местом локализации этих дефектов является область контактного взаимодействия двух и более элементов конструкций. Поэтому обеспечение прочности соприкасающихся тел является практически значимой инженерной задачей. Особенно это важно для конструкций, изготовленных из хрупких (твердых) материалов, разрушение которых после образования критического дефекта носит лавинообразный характер. Сложность исследования контактного взаимодействия обусловлено комплексом сложных физико-механических процессов, протекающих в окрестности контакта: образование и накопление повреждений, взаимное смещение контактирующих тел, трение, изменение области контакта в следствии упругих и неупругих деформаций.

Известные аналитические решения контактных задач в простой геометрической постановке, полученные с применением упрощающих допущений, позволяют исследовать напряженно-деформированного состояния с приемлемой точностью. Для решения более сложных с геометрической и физической точек зрения задач применяют численные методы, использование которых является достаточно трудоемкой задачей, так как сопряжено с построением математической модели и идентификации ее параметров. Между тем инженерный подход основан на применении корректно упрощенных аналитических решений, позволяющих обеспечить необходимую прочность конструкции. Поэтому достаточно высок запрос на расширение спектра контактных задач, решаемых аналитическим способом.

В силу указанных значительных трудностей, возникающих при изучении

контактного взаимодействия, на сегодняшний день наиболее перспективным представляется подход, основанный на аналитических и численных методах исследования практически важных контактных задач, что и определяет **актуальность** темы диссертации.

3. Соответствие содержания диссертационной работы заявленной специальности

Диссертация соответствует следующим пунктам паспорта специальности 01.02.04 «Механика деформируемого твердого тела»:

- п. 8: «Математические модели и численные методы анализа применительно к задачам, не допускающим прямого аналитического исследования»;
- п. 9: «Экспериментальные методы исследования процессов деформирования, повреждения и разрушения материалов, в том числе объектов, испытывающих фазовые структурные превращения при внешних воздействиях».

4. Степень разработанности темы, обоснованность научных положений и рекомендаций

На основании проведенного анализа текущего состояния исследований механики контактного взаимодействия в диссертации обоснован спектр практически значимых задач, требующих поиска новых решений, в том числе в такой перспективной области как биомеханика: 1) об образовании кольцевых трещин в окрестности контакта; 2) о контакте свободно опертой круглой пластины с шаром; 3) о создании «ступенчатого» напряженно-деформированного состояния в образцах при экспериментальном моделировании; 4) о исследовании формы стоматологических имплантов. Для решения этих задач были построены корректные математические модели.

Расчетные результаты, полученные соискателем на базе построенных им математических моделей, сопоставлены с результатами известных аналитических решений. Их хорошее соответствие в достаточной мере обоснованы научные положения, рекомендации и сделанные выводы.

5. Новизна и достоверность полученных результатов

Новые научные результаты, полученные в диссертации, заключаются в следующем:

1. Проведен кончено-элементный анализ изгиба пластин, изготовленных из хрупкого материала, при вдавливании стального индентора. Установлено, что для определения максимальных растягивающих напряжений в окрестности контакта и поперечной прочности на разрыв с хорошей точностью можно пользоваться аналитическими формулами Хубера и Войновского-Кригера, соответственно.
2. На основании конечно-элементного анализа показано, что для создания ступенчатого распределения контактного давления можно использовать

блоки из оргстекла, профилированные в соответствии с известной аналитической зависимостью.

3. Проведен численный анализ четырех типов стоматологических имплантов, отличающихся формой, для различных степеней минерализации кости. В результате сравнения напряженно-деформированных состояний выявлен тип имплантов, применение которого позволит понизить напряжения, возникающие в костной ткани при ее критической минерализации.

Достоверность результатов, полученных соискателем, рекомендаций и выводов, сделанных в диссертации, обеспечивается корректным использованием положений механики деформируемого твердого тела, необходимым объемом экспериментальных измерений, а также хорошим совпадением расчетных результатов, полученных на основе использования стандартного пакета прикладных программ ANSYS Workbench, с известными аналитическими решениями.

6. Значимость для науки и практики выводов и рекомендаций

Полученные в диссертации научные результаты способствуют совершенствованию методов расчета напряжений при контактном взаимодействии. Расширение границ применения аналитических методов решения значительно понижает трудоемкость расчетов, поэтому могут быть использованы в инженерной практике. Полученные результаты численного моделирования работы различных типов стоматологических имплантов позволили сделать рекомендации для производителей и врачей. Разработанная в диссертации методика проектирования рельефа поверхности блока из оргстекла может быть использована при экспериментальном моделировании гидроразрыва пласта, что подтверждается актом об использовании этих результатов в ООО «Газпром НТЦ».

7. Достоинства и недостатки по содержанию и оформлению диссертации и автореферата

Оформление диссертации и автореферата соответствует требованиям ГОСТ 7.0.11-2011 «Диссертация и автореферат диссертации. Структура и правила оформления». Автореферат диссертации полностью отражает ее содержание. Список литературы из состоит 126 наименований, в том числе и 72 зарубежных публикаций, свидетельствует о глубоком изучении соискателем исследуемой проблемы.

Основные результаты диссертации изложены в 17 научных работах, при этом 3 статьи опубликованы в журналах, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий рекомендованных ВАК при Минобрнауке РФ, и 3 статьи опубликованы в журналах, входящих в международные реферативные базы данных и системы цитирования. Результаты диссертационной работы достаточно хорошо апробированы на

Всероссийских и Международных научных конференциях.

К достоинствам диссертации следует отнести: 1) подробный и глубокий критический анализ теоретических и численных подходов к моделированию контактного взаимодействия; 2) разработка простого способа определения механических характеристик по результатам испытаний на вдавливание стального индентора в образец; 3) разработка метода проектирования формы профиля блока из оргстекла соответствующей, ступенчатому давлению при экспериментальном моделировании гидроразрыва пласта; 4) сравнительный анализ стоматологических имплантов, позволивший сделать полезные рекомендации; 5) хорошее согласование расчетных результатов с известными аналитическими решениями.

К замечаниям и вопросам по содержанию диссертации и автореферата относится следующее:

1. В описании испытания стеклянных образцов вдавливанием стального шарика отсутствует некоторые важные данные. Так, не указано количество испытанных образцов и проводилась ли статистическая обработка экспериментальных данных, поэтому не ясно насколько представительны полученные результаты. Из-за того, что не указана величина отверстия для наблюдения в микроскоп невозможно оценить, насколько сильным был изгиб образца.

2. На рис. 3.5 – 3.8 видно, что при моделировании для стального шарика в окрестности контакта выбран меньший размер конечного элемента, чем для стеклянного образца, исследование напряженно-деформированного состояния которого проводилось автором. По какой причине модель была дискретизирована именно так?

3. При численном анализе напряженно-деформированного состояния пластины изготовленной из алюминиды железа в окрестности контакта был использован нелокальный критерий разрушения – градиентный метод, а для определения поперечной прочности локальный критерий – максимальных растягивающий напряжений. Не ясно почему автор не воспользовался градиентным методом и для определения поперечной прочности, это позволило бы уточнить величину относительной разницы между аналитическими и численными результатами.

4. Материалы в обеих задачах о вдавливании стального индентора моделировались абсолютно хрупкими, т.е. до достижения предельных значений напряжений деформируются упруго, что не соответствует действительности. При вдавливании стального шара в образцы из стекла и алюминиды железа, возможно нелинейное поведение материалов, вызванное неупругими деформациями и накоплением повреждений. Введение физической нелинейности позволило бы более точно определить напряжения в окрестности контакта и предельные напряжения при изгибе, а также радиус области контакта.

5. В работе не определены границы применимости аналитических формул к анализу напряженно-деформированного состояния образцов из стекла и алюминидов железа. Следовало бы указать при каких геометрических параметрах образца эти формулы позволяют производить вычисления с удовлетворительной точностью. Сравнение результатов, полученных аналитическим и численным способами, проводилось только по напряженному состоянию, эти результаты хорошо согласуются. Сравнений по деформированному состоянию не проводилось, однако в п. 3.2.5 приведены величины радиуса области контакта, полученные аналитически и численно, можно отметить значительную относительную разницу. Возникает вопрос, применимы ли аналитические формулы к определению деформаций в окрестности контакта?

6. В формуле (3.22) величина давления P принята равной 4 МПа без объяснений. Как было выбрано это значение?

7. Указано, что при моделировании контактной пары имплант-костная ткань в каждом узле выполнялись следующие условия: «сжимающие контактные силы строго отрицательны» и «выполняется условие связности». В действительности при деформировании такой конструкции (имплант-костная ткань) под действием достаточно высокой нагрузки из-за разности модулей упругости возникают относительные смещения, в результате ни одно, ни второе условие выполняться не будут. Рассматривалась ли такая ситуация?

8. Для оценки напряжений в костной ткани был выбран критерий Мизеса, который не учитывает различий в прочности материала на растяжение и сжатие, каким как раз и является костная ткань (табл. 1.1). Для моделирования следовало бы выбрать другой критерий, учитывающий эти особенности материала.

9. Имеется ряд редакционных замечаний по тексту диссертации:

- использован неудачный термин «сила пружины» вместо «сила упругости пружины» на стр. 45;
- величина нормальной реакции имеет два обозначения R_N и f_R ;
- для величин «нормальный зазор между телами» и «ускорение свободного падения» введено одно и то же обозначение g ;
- величины «эквивалентные напряжения» и «эффективные напряжения» обозначены одинаково – σ_e ;
- на рис. 3.20 не указаны размерности по осям абсцисс и ординат;
- формулы (3.10) – (3.12) являются повторениями формул (3.1) – (3.5).

Обнаружен ряд досадных опечаток:

- при записи равенства (2.9) и неравенств (2.8) и (2.10) допущена опечатка R_N вместо $|R_N|$;
- на стр. 42 и 43 вместо ссылок на уравнение (2.9) должны быть ссылки на неравенство (2.8);

- в формуле (2.35) в числителе пропущена величина ϵ ;
- на рис. 2.15 отсутствует подпись оси абсцисс, судя по всему, должно быть u ;
- ряд опечаток допущен при оформлении списка цитируемой литературы.

Однако указанные замечания и недостатки принципиально не снижают научной и практической значимости диссертационной работы.

Заключение

На основе критического анализа материалов диссертации и автореферата, а также замечаний, приведенных выше, можно сделать следующий вывод: диссертационная работа Федоровой Натальи Виталиевны «Определение напряженно-деформированного состояния контактирующих тел и моделирование их хрупкого разрушения» является законченной научно-квалификационной работой, содержащей решения ряда научных задач, имеющих важное значение для усовершенствования методик решения контактных задач.

Диссертация Федоровой Н. В. соответствует требованиям п.п. 9 и 10 постановления Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 «О порядке присуждения ученых степеней» (с изменениями от 26.05.2020), а ее автор, Федорова Наталья Виталиевна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.02.04 – «Механика деформируемого твердого тела».

Канд. техн. наук, доцент кафедры теоретической механики
ФГБОУ ВО Сибирского государственного
университета путей сообщения

А.С. Самошкин

11.09.2020

Научная специальность: 01.02.04 «Механика деформируемого твердого тела» (технические науки)

Почтовый адрес: Россия, 630049, г. Новосибирск, ул. Д. Ковальчук, 191.

Раб.тел. +7 (383) 328-05-42

E-mail: assamoshkin.stu@gmail.com

Подпись А.С. Самошкина заверено

