

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной деятельности  
ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский)

федеральный университет» профессор

Д. К. Нургалиев

« 15 » декабря 2020 г.



## ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию

Федоровой Натальи Виталиевны «Определение напряженно-деформированного состояния контактирующих тел и моделирование их хрупкого разрушения», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.02.04 – механика деформируемого твердого тела

### Актуальность темы диссертационной работы

Работа посвящена решению задач контактного взаимодействия деформируемых твердых тел. Тема диссертация, несомненно, является актуальной, такие задачи возникают при моделировании технологических процессов, в геомеханике, в биомеханике, например, при решении задач взаимодействий имплантов с живыми тканями.

### Структура и содержание диссертации

Работа состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы из 126 наименований. Общий объем диссертации составляет 135 страниц, содержит 46 рисунков и 7 таблиц.

Во введении приведено обоснование актуальности темы и методов исследования. Сформулированы цель и задачи диссертационной работы, обоснована научная новизна и практическая значимость.

Первая глава посвящена описанию исторического развития контактной механики деформируемого тела, приводится обзор публикаций, посвященных исследованию задач механики контактного взаимодействия.

Во второй главе описываются методы решения задач о контактном взаимодействии упругих тел. В частности, для численного исследования указанных задач используется метод конечных элементов (МКЭ). Приводятся основные положения МКЭ и алгоритмы решения контактных задач в ППП ANSYS, описывается методика исследования нелинейных задач.

В третьей главе приводятся результаты экспериментального и численного решения задач контактного взаимодействия. Рассмотрена задача вдавливания стальных шаров в стеклянное полупространство, исследование проводилось как экспериментально, так и численно. Были определены максимальные растягивающие напряжения в окрестности области контакта по экспериментальным данным и с помощью численного моделирования. Найденные напряжения были сравнены между собой, показано, что результаты экспериментального исследования и численного дают хорошее совпадение.

Следующая задача – это задача о контакте круглой свободно опёртой пластины с шаром, которая также была решена экспериментально и численно. Пластина изготовлена из алюминида железа, полученного с помощью реакционного искрового плазменного спекания смеси порошков железа и алюминия. Были проведены экспериментальные исследования

для различных температур спекания смеси порошка. Приводятся результаты экспериментальных испытаний и численного моделирования, получены «критические» нагрузки, дается сравнение результатов.

Далее описана задача о моделировании гидоразрыва пласта в лабораторных условиях – задача о контакте прямоугольных блоков из оргстекла с профилированным зазором. Для этого была изготовлена специальная экспериментальная установка, которая подробно описана в диссертационной работе. С помощью экспериментальных данных и известного аналитического решения было получено распределение вертикального перемещения, также приводится решение МКЭ.

Последняя задача – это численное исследования формы керамических стоматологических имплантатов в зависимости от площади контакта и степени минерализации кости. По томографическим данным была построена трехмерная модель части челюсти. Были рассмотрены имплтанты стандартной формы (реальные имплтанты), а также обратно конусной формы с измененной шейкой имплантов. Показано, что имплтанты с измененной формой имеют преимущество перед имплантами со стандартной формой

В заключении приводятся основные результаты и выводы по всей работе.

**Научная новизна** диссертационной работы состоит в решении ряда новых задач контактной механики с помощью экспериментального и численного методов исследования.

**Достоверность полученных результатов** обеспечивается использованием апробированных алгоритмов численного решения контактных задач, корректностью подготовки и проведения экспериментов.

**Практическая значимость и рекомендации по использованию полученных результатов.** Практическая значимость заключается в возможности использования результатов исследования инженерами и экспериментаторами. В частности, результаты решения задачи об определении напряженно-деформированного состояния костной ткани при взаимодействии с имплантами разной формы можно использовать в качестве рекомендаций для проектирования и изготовления новых образцов имплантатов и использования на практике.

Полученные результаты исследования могут быть использованы в таких организациях как МГТУ им. Н.Э. Баумана, ПНИПУ, МГУ, КФУ, ННГУ, СГУ, ИПМ им. А.Ю. Ишлинского РАН, ИМСС УРО РАН и др.

Диссертация написана грамотным научным языком, корректно указаны ссылки на источники цитирования, описан личный вклад автора. Автор диссертации продемонстрировал умение формулировать основные положения и выводы.

Автореферат полностью отражает содержание диссертации. По теме диссертации автором опубликовано 17 научных работ, из них 6 работы – в изданиях, внесенных в Перечне журналов и изданий, утвержденных Высшей аттестационной комиссией, и изданий, индексированных системах цитирования Web of Science и Scopus. Результаты исследования обсуждались и докладывались на международных и всероссийских научных конференциях по тематике исследования.

## **Замечания**

- 1) Из названия диссертации следует, что работа посвящена, в том числе, и моделированию хрупкого разрушения. Однако, в диссертации не проводится моделирование процессов хрупкого разрушения. Поэтому не совсем понятно, насколько корректно задача 3.3 описывает процесс

гидроизрыва пласта, так как не моделируется процесс разрушения материала и роста трещины, а рассматривается только процесс раскрытия уже имеющейся трещины.

2) Следовало бы более конкретно и корректно сформулировать третье положение, выносимое на защиту. Численно задачу «определения ступенчатого распределения контактного давления между прижатыми друг к другу блоками» решали, и не раз.

3) В задаче о контакте круглой свободно опёртой пластины с шаром, при экспериментальном исследовании пластина свободно лежит на поверхности с отверстием. При численном решении этой задачи свободное опирание реализуется с помощью закрепления точки пластины, что является не совсем корректным. Более правильным, как кажется, в области свободного опирания было бы реализовать условия контактного взаимодействия.

4) В соотношениях (1.1), (3.23), (3.24) размерности правых и левых частей не совпадают, следовало бы в диссертации дать пояснения.

5) Нельзя на основании решений на двух вариантах сетки судить о сходимости решений, п. 3.1.3, и сходится не сетка, а решение. Хотя следует отметить, что сетка очень мелкая.

6) Фраза «Эпюра растягивающих напряжений с фиксированным значением максимальных растягивающих напряжений в центре на нижней поверхности пластины...» может допускать различные толкования, следовало бы расшифровать это высказывание (стр. 89).

7) Глава 2 написана в несколько научно-популярном стиле. Так как все численные расчеты в диссертационной работе были проведены в ППП ANSYS, то больше внимания можно было уделить тем конкретным методикам, заложенным в «пакете, которые применялись при получении результатов, а не описывать возможности ANSYS.

8) Главу 3 следовало бы назвать по-другому, так как в ней приводятся не только численные решения задач, но и результаты экспериментальных исследований.

9) В диссертации имеются описки и неточности формулировок. Например, на стр. 42 написано «Относительного движения контактирующих частиц не будет до тех пор, пока вновь не перестанет выполняться неравенство (2.9)», но соотношение (2.9) – это равенство. На стр. 57 – «В природе все конструкции являются нелинейными».

### **Заключение**

Диссертация Федоровой Натальи Виталиевны на соискание ученой степени кандидата технических наук является законченной научно-квалификационной работой. В диссертации решен ряд задач контактной механики с помощью экспериментального и численного моделирования. Задачи такого рода являются актуальными и диктуются запросами производства деталей и эксплуатации отдельных элементов конструкций, и необходимостью детального моделирования взаимодействия между биологическими тканями и имплантами. Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 01.02.04 – механика деформируемого твёрдого тела.

Приведенные замечания не снижают общую положительную оценку представленной к защите диссертации и не носят принципиального характера.

На основании вышеизложенного следует сделать вывод о том, что диссертация Н. В. Федоровой «Определение напряженно-деформированного состояния контактирующих тел и моделирование их хрупкого разрушения» соответствует требованиям пп. 9–11, 13, 14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» № 842 от 24.09.2013, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени

кандидата наук, а ее автор Федорова Наталья Виталиевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.02.04 – механика деформируемого твердого тела.

Отзыв ведущей организации на диссертацию Н. В. Федоровой «Определение напряженно-деформированного состояния контактирующих тел и моделирование их хрупкого разрушения» был заслушан и утвержден на заседании кафедры теоретической механики КФУ, 31 августа 2020 г., протокол № 1.

Заведующий кафедрой теоретической  
механики КФУ, д. ф.-м. н., доцент

Л.У. Султанов

Профессор кафедры теоретической  
механики КФУ, д. ф.-м. н., доцент

Д.В. Бережной

#### **Сведения о лицах, предоставивших отзыв на диссертацию:**

Султанов Ленар Усманович, доктор физико-математических наук по специальности 01.02.04 – механика деформируемого твердого тела, заведующий кафедрой теоретической механики Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет».

Рабочий адрес: 420008, Россия, г. Казань, ул. Кремлевская, д. 35, тел.+7 (843) 2337185, E-mail: Lenar.Sultanov@kpfu.ru.

Бережной Дмитрий Валерьевич, доктор физико-математических наук по специальности 01.02.04 – механика деформируемого твердого тела, профессор кафедры теоретической механики Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет».

Рабочий адрес: 420008, Россия, г. Казань, ул. Кремлевская, д. 35,

тел.+7 (843) 2337185, E-mail: dmitri бережной@kpfu.ru.

