

**Отзыв официального оппонента**  
**о диссертации Афанасьева Александра Александровича "Задачи**  
**определения напряженно-деформированного состояния вращающихся**  
**дисков", представленной на соискание ученой степени кандидата**  
**физико-математических наук по специальности 01.02.04 "Механика**  
**деформируемого твердого тела"**

Настоящая диссертационная работа посвящена исследованию напряженно-деформированного состояния быстро вращающихся упругопластических дисков. Данные задачи при использовании критерия пластичности Мизеса являются физически нелинейными, поэтому при их решении возникают значительные трудности. Методом конечных элементов решены упругопластические задачи, с учетом упрочнения материала, для случая плоского напряженного состояния, осесимметричного состояния и связанной задачи механики деформируемого твердого тела и механики жидкости и газа.

**1. Актуальность темы диссертационной работы.**

Повышающиеся требования к надежности работы различных конструкций требуют уточнения существующих методов расчета упругопластических задач. Автором исследовано поведение дисков с учетом истинной диаграммы деформирования материала, что особо актуально для современных материалов используемых при создании турбомашин. Развитие вычислительных технологий привело к тому, что значимость приближенного численного решения, полученного в результате компьютерного моделирования, возросла для задач, где получить аналитическое приближенное решение невозможно. Все это обуславливает актуальность выбранной темы диссертации.

Исследования напряженно-деформированного состояния элементов конструкций с учетом возникновения пластических деформаций методом

компьютерного моделирования позволяет значительно уменьшить количество натуральных экспериментов.

Результаты, представленные в диссертационной работе могут быть использованы при проектировании конструкций авиационной и аэрокосмической техники, а также при создании различных энергетических установок. Полученные результаты можно использовать для верификации новых отечественных программных продуктов.

## **2. Краткий анализ содержания.**

Во введении описаны актуальность темы, цель работы и задачи исследования, научная новизна, а также выносимые на защиту результаты.

В первой главе дается описание подходов используемых в пакетах автоматизированного конструирования и методе конечных элементов. Рассмотрена задача о равновесии треугольного цилиндрического элемента. Проводится верификация метода, предлагаемого для решения упругопластических задач, на известных аналитических решений.

Во второй главе рассмотрено упругопластическое плосконапряженное состояние сплошного и кольцевого вращающихся дисков. Проведена систематизация известных подходов по исследованию напряженно-деформированного состояния дисков. Решение проводится для трех моделей материала: без упрочнения, линейно изотропно упрочняющегося и материала, поведение которого описывается истинной диаграммой растяжения.

В третьей главе исследуется осесимметричное напряженное состояние сплошного диска постоянной толщины. Получены зависимости напряженно-деформированного состояния от относительной толщины диска. Проверена гипотеза о постоянстве напряженно-деформированного состояния диска по его толщине. Решена междисциплинарная задача об упругопластическом диске, вращающемся в ограниченном пространстве, заполненном вязкой

несжимаемой жидкостью. Изучены вопросы определения момента сил трения диска.

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы из 102 наименований. Работа изложена на 124 листах машинного текста, содержит 67 рисунков и 3 таблицы.

### **3. Новизна научных положений, выводов и рекомендаций, полученных в работе.**

Диссертация Афанасьева А.А. "Задачи определения напряженно-деформированного состояния вращающихся дисков" представляет собой существенный вклад в изучение напряженно-деформированного состояния дисков, имеющих развитую пластическую зону и позволяет уточнить методику определения оборотов потери несущей способности таких дисков.

### **4. Оценка обоснованности и достоверности научных положений и выводов.**

Обоснованность и достоверность полученных автором результатов обеспечиваются строгостью использованных математических методов, применением фундаментальных законов механики. Достоверность используемых численных методов подтверждается вычислительной сходимостью решений и использованием апробированных методов решения получаемых уравнений.

Сформулированные в заключении основные выводы в сжатой форме содержат новые научные положения, выдвигаемые в диссертации. Диссертация прошла широкую апробацию в виде докладов на российских и международных научных конференциях, научных семинарах в российских научных организациях, основные результаты отражены в опубликованных работах.

Оценка выводов и результатов показывает, что диссертационная работа Афанасьева Александра Александровича является законченной научной

работой, имеет внутреннее единство, содержит математически достоверные и экспериментально подтвержденные научные положения и выводы.

#### **5. Рекомендации по использованию результатов диссертации.**

Предложенная модель и предложенные подходы к решению могут быть рекомендованы к использованию при проведении НИР и ОКР в научно-исследовательских и проектных организациях, занимающихся вопросами расчетов на прочность материалов и конструкций.

В целом, результаты, полученные в диссертации, могут быть полезны для исследований проводимых в Институт механики сплошных сред УрО РАН, Институте проблем механики РАН, Институте механики МГУ, НИИ механики Нижегородского государственного университета, Воронежском государственном университете, Тульском государственном университете, а так же в учебном процессе для студентов, изучающих механику деформируемого твердого тела.

#### **6. Оценка степени опубликования результатов исследования.**

Основные результаты диссертации опубликованы в 8 работах автора, из которых 2 в научных изданиях, рекомендованных ВАК при Минобрнауки РФ.

#### **7. По работе имеются следующие замечания.**

1. Неудачно выбрано название первого параграфа первой главы: «Определяющие соотношения метода конечных элементов». В МДТТ под определяющими соотношениями понимается физическая связь деформированного и напряженного состояний.

2. В главе 1 рассматривается изложение основ МКЭ в рамках линейных функций форм конечного элемента. Хотя в пакете ANSYS представлены только элементы с квадратичной аппроксимацией.

3. При решении упругой и упругопластической задач методом конечных элементов используется нерегулярная сетка, рис. 1.4 и рис. 2.2

соответственно. Использование регулярной структурированной сетки может уменьшить погрешность численного решения.

4. В работе не учитывается влияние температурных напряжений, хотя, например, для дисков турбин данный вид напряжений значительно сказывается на напряженно-деформированном состоянии и, в том числе, на радиусе упругопластической границы.

5. В параграфе 2 главы 3 на странице 99 при решении связанной задачи взята высокая плотность среды в которой вращается диск.. При меньшей плотности среды перепад давления, действующий на диск уменьшится и соответственно уменьшится разница по сравнению с решением, полученным в параграфе 1 данной главы.

6. В диссертации наряду с постановками следовало бы изложить методы решения физически нелинейных задач или сослаться на соответствующие итерационные методы.

#### **8. Общее заключение о соответствии диссертации комплексу критериев ВАК при Минобрнауки РФ.**

Отмеченные замечания не носят принципиального характера и не влияют на общую положительную оценку. Диссертационная работа Афанасьева А.А. выполнена на высоком научном уровне, изложена общепринятым в научной литературе языком, формулировки четкие, ясные, выводы достаточно аргументированы. Оформление диссертации хорошее.

Диссертация Афанасьева Александра Александровича является законченной научно-квалификационной работой, имеющей важное научное и практическое значение в области механики деформируемого твердого тела, в которой решена важная научная задача, состоящая в разработке математической модели, позволяющей уточнить методики расчета вращающихся дисков.

Диссертация и автореферат оформлены в соответствии с требованиями ВАК при Минобрнауки РФ.

