

## 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»

Знание упругопластического напряженно-деформированного состояния во вращающихся элементах конструкций представляет значительный научный и практический интерес. Исследовать подобные задачи аналитическими и численными методами достаточно трудно из-за сложности математической модели, описывающей данные явления. Развитие вычислительных технологий позволяет для упругопластических задач переходить к численному решению связанных задач гидродинамики и механики деформируемого твердого тела.

Диссертация Афанасьева Александра Александровича «Задачи определения напряженно-деформированного состояния вращающихся дисков» посвящена расчету упругопластического напряженно-деформированного состояния дисков, в том числе исследованию развития пластической зоны с увеличением оборотов вращения, определению предельных оборотов вращения, решению связанной задачи о диске, вращающемся в корпусе, заполненном вязкой жидкостью. Задачи решены для условия пластичности Мизеса.

Метод конечных элементов - универсальный метод решения задач механики деформируемого твердого тела. Следует отметить, что приближенные решения, полученные с его помощью, становятся все более значимыми для задач, где получить приближенное аналитическое решение невозможно. Таким образом, диссертация Афанасьева А.А. является актуальной, развивающей приближенные методы решения упругопластических задач о вращающихся дисках.

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.

Во введении описаны актуальность темы, цели исследования, научная новизна, дан достаточно полный обзор литературы по теме диссертации и приведены пункты, выносимые на защиту.

В первой главе дается описание подходов, используемых в пакетах автоматизированного конструирования. На примере задачи о равновесии треугольного цилиндрического элемента рассмотрены основные положения метода конечных элементов. Кроме того проводится верификация предлагаемого метода решения задач о вращающихся дисках.

Во второй главе рассмотрено упругопластическое состояние сплошного и кольцевого вращающихся дисков. Задачи решены для случая плосконапряженного состояния. При решении выбиралось три различных варианта материала: материал без упрочнения, линейно изотропно упрочняющийся материал и материал на основе истинной диаграммы растяжения. Использовался критерий пластичности Мизеса и проведено сравнение полученных решений с известными решениями на основе условия Треска. Уточнены формулы для вычисления оборотов потери несущей способности кольцевого и сплошного диска. Формулы учитывают упрочнение материала. Показано, что предельные обороты, определенные на основе критерия Треска дают на ~8% заниженные значения.

В третьей главе исследуется осесимметричное напряженное состояние сплошного диска постоянной толщины, компоненты напряжений для которого зависят от двух переменных  $\rho$  и  $z$ . Такая зависимость значительно усложняет математическую модель. В классических работах по этой теме данная трудность обходилась с помощью гипотезы о постоянстве напряжений по толщине диска. В первом параграфе исследована зависимость напряженно-деформированного состояния от относительной толщины диска, что позволило определить ту относительную толщину диска, при которой



компонентами напряжений  $\tau_{pz}$  и  $\sigma_z$  пренебрегать уже недопустимо. Во втором параграфе решается связанная задача об упругопластическом диске, вращающемся в ограниченном пространстве, заполненном вязкой несжимаемой жидкостью. Исследовано влияние распределения давления жидкости на напряженно-деформированное состояние диска. В третьем параграфе систематизированы различные методики определения момента сил трения диска. По результатам решения связанной задачи показана неточность в формуле достаточно широко применяемой на практике.

В заключении сформулированы основные результаты диссертационного исследования и их значимость.

Практическая значимость заключается в том, что результаты работы могут быть использованы при создании конструкций авиационной, аэрокосмической техники, могут применяться при проектировании различных энергетических установок. Кроме того исследованные математические модели могут использоваться для верификации создаваемых пакетов конечноэлементного анализа.

Автореферат и опубликованные материалы отражают основные результаты диссертации. Основные положения работы достаточно полно представлены в журналах, в том числе рекомендованных ВАК РФ, и сборниках трудов международных и всероссийских конференций.

Работа не лишена неточностей и описок, отметим некоторые из них:

1. В формулах (2.2.1) и (2.4.3) непонятен порядок коэффициента упрочнения. Константа, стоящая перед ним имеет порядок  $10^{-11}$ , а при таком порядке малости данным слагаемым можно пренебречь. Однако в тексте диссертации сказано, что упрочнение оказывает влияние на напряженно-деформированное состояние.

2. В заключении говорится о том, что показана «нефизичность формулы» по определению момента сил трения. Обнаруженный факт скорее следует назвать «некорректностью формулы», так как в результате

вычислений с ее помощью получается верная физическая величина, однако ее значение не соответствует действительности.

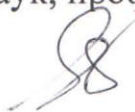
3. На странице 27 говорится о формулировке математической модели с помощью скриптового языка программирования Mechanical APDL. Однако в тексте диссертации не приведено листинга программы. Автору следовало добавить его в качестве приложения.

Несмотря на замечания, диссертация производит хорошее впечатление структурированием материала, подробным изложением, достаточным количеством графиков, оформлена в соответствии с требованиями ВАК РФ, выполнена на актуальную тему, представляет собой законченное научное исследование.

Сказанное выше позволяет утверждать, что диссертация удовлетворяет всем требованиям Положения ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям по специальности 01.02.04 «Механика деформируемого твердого тела» и ее автор Афанасьев Александр Александрович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по указанной специальности.

Официальный оппонент: заведующий кафедрой математики Военного учебно-научного центра Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж) доктор физико-математических наук, профессор Сумин Александр Иванович

«23» ноября 2015 года



Сумин А.И.

Адрес: 394064, г. Воронеж-64 ул. Старых Большевиков, 54а

206 кафедра математики ВУНЦ ВВС «ВВА»


Тел. 89103410755,

e-mail: [sumin\\_ai@mail.ru](mailto:sumin_ai@mail.ru)

Подпись зав. кафедрой математики А.И. Сумина заверяю:

Ученый секретарь ученого совета ВУНЦ ВВС «ВВА имени проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»,

профессор



А.А. Томилов

