

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу *Петракова Игоря Евгеньевича*

«Моделирование упругого деформирования композитных пластин, различного сопротивляющихся растяжению и сжатию», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.8. «Механика деформируемого твердого тела»

Актуальность темы диссертации

Композитные материалы имеют ценные технологические и эксплуатационные свойства, определяемые высокой прочностью при небольшом весе. Их широкое применение в авиастроении, машиностроении и других отраслях промышленности требует создания математических моделей, описывающих особенности композитных материалов, и при этом, не требующих больших вычислительных мощностей для расчетов. Одной из таких особенностей является разномодульность материала, которая влияет на поведение композита при знакопеременных нагрузках. В представленной диссертационной работе с помощью обобщенного реологического метода построена модель композита, учитывающая различие модулей Юнга при растяжении и сжатии.

Структура и содержание работы

Диссертационная работа изложена на 120 страницах, содержит 31 рисунок, 4 таблицы и состоит из введения, 5 глав, заключения, списка использованной литературы из 138 наименований. Материал диссертации изложен логически ясно и последовательно, что способствует восприятию работы как единого целого.

Во введении обоснована актуальность темы, определены цель и задачи работы, сформулированы научная новизна, практическая значимость полученных результатов, выносимые на защиту положения. Здесь же дана информация об апробации и личном вкладе соискателя, публикациях по теме исследования.

Первая глава содержит литературный обзор. Приведена классификация композитных материалов, дан краткий исторический обзор существующих методов

моделирования неоднородных материалов из волокнистых композитов и обзор работ по моделированию разномодульных материалов. Во второй части главы описан реологический метод с использованием жесткого контакта в реологических схемах. Построена реологическая схема упругого волокнистого композита.

Во второй главе рассматривается:

1. Уточненное уравнение Эйлера для описания плоского изгиба тонкой балки прямоугольного сечения.
2. Задача определения положения нейтральной линии в балке из разномодульного материала.
3. Обратная коэффициентная задача, решение которой позволяет определить модуль упругости при сжатии.

В третьей главе описано решение задачи расчета деформаций многослойной композитной пластины в плоском напряженном состоянии. Выписаны формулы для вычисления напряжений через деформации и наоборот, потенциалы напряжений и деформаций, составлен интеграл упругой энергии, задача минимизации которого решена с помощью метода конечных элементов. Представлены рассчитанные деформации для пластины с круговым врезом в центре под действием распределенной нагрузки на границе.

Четвертая глава посвящена чистому изгибу пластины в рамках гипотез Кирхгофа и состоит из пяти разделов.

1. Исходя из предположения о существовании нейтральной поверхности получено уравнение, обобщающее уравнение Софи Жермен и получен функционал упругой энергии.
2. Показано существование и единственность решения задачи минимизации функционала и метод конечных элементов, используемый при решении задачи.
3. Представлены результаты расчетов прогибов пластины под действием сосредоточенной силы.
4. Описана задача изгиба пластины жестким штампом. Приведен вычислительный алгоритм, основанный на методе множителей Лагранжа и алгоритме Удзавы.

5. Приведены результаты расчетов прогибов пластины жестким штампом.

В пятой главе рассматривается напряженно-деформированное состояние пластины. С помощью вариационного принципа Лагранжа и потенциалов напряжений и деформаций, полученных ранее, построен функционал упругой энергии. Для численного решения использовалась комбинация метода конечных элементов и метода начальных напряжений. Описаны результаты расчетов изгиба пластины жестким штампом для модели композитной пластины. Проведены расчеты плоского напряженного состояния пластины, чистого изгиба и изгиба пластины под действием двух разнонаправленных сосредоточенных сил.

Научная новизна

В диссертационной работе построена оригинальная модель, описывающая поведение композитного материала с учетом разномодульности. В ее основе лежит обобщенный реологический метод. Разработаны алгоритмы численного решения квазистатических задач с помощью метода конечных элементов в сочетании с методом начальных напряжений, вариационного метода Лагранжа, алгоритмов Удзавы и метода множителей Лагранжа. Создана и зарегистрирована программа для ЭВМ, реализующая разработанные алгоритмы.

Достоверность результатов

Достоверность результатов диссертации обусловлена применением строгого математического аппарата, корректным использованием вычислительных методов, а также научными публикациями соискателя в рецензируемых научных изданиях, в том числе Web of Science и Scopus, а также обсуждений результатов диссертационной работы на международных и всероссийских конференциях и представительных семинарах. Имеется свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Научная и практическая значимость работы

Диссертация характеризуется несомненной научной ценностью, состоящей в разработке модели разномодульного композитного материала, а также алгоритмической и программной реализацией этой модели. Полученные

результаты расчетов вносят определенный вклад в существующие представления о поведении композитных материалов.

Замечания

1. Лабораторные измерения консольного изгиба балки во второй главе проводились для тонкой балки – спицы. Останется ли соотношение между модулями упругости при сжатии и при растяжении таким же для балок большого сечения? Оказывает ли влияние масштабный эффект?
2. При проектировании элементов конструкций из композитных материалов приходится анализировать поведение композитов не только при квазистатических, но и при динамических нагрузках. Это очень сложная задача, если учитывать накопление повреждений, появление и рост трещин. Каковы перспективы развиваемого метода моделирования в применении к динамическим процессам?
3. Текст диссертации составлен достаточно четко и кратко, не в ущерб полноте изложения, но имеются опечатки и стилистические неточности.

Публикации

Основные результаты диссертационной работы опубликованы в 13 печатных изданиях, из них 3 опубликованы в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ для публикации материалов диссертаций, 5 индексируются в базах данных Web of Science, 6 – в базах Scopus, из них 5 публикации индексируются одновременно в Web of Science и Scopus. Получено одно свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

