

Отзыв

на автореферат диссертации Каримова С.Б. «Моделирование нелинейно-упругих композиционных материалов с конечными деформациями методом асимптотического осреднения», представленной на соискание ученой степени кандидата физико – математических наук по специальности 1.1.8 «Механика деформируемого твердого тела»

Общая характеристика работы

Диссертационная работа Каримова С.Б. посвящена актуальной задаче механики деформируемого твёрдого тела — разработке и обоснованию эффективных методов моделирования нелинейно-упругих композиционных материалов (КМ) с конечными деформациями.

Приближенные инженерные методы расчета эффективных характеристик композитов, достаточно успешно применяемые для случаев материалов с малыми деформациями, не обеспечивают достаточной точности, ввиду наличия геометрической и физической нелинейности задачи. Численный конечно-элементный расчет характеристик композитов в рамках трехмерной задачи весьма трудоемок и не подходит для инженерной практики, когда необходимо многократно и быстро вычислять нелинейно-упругие свойства композита с достаточно высокой точностью. Такая проблема возникает, например, при расчете методом конечного элемента напряженно-деформированного состояния сложных пространственных элементов конструкций, например, из эластомерных композитов. В этом случае, при рассмотрении композита как анизотропного однородного материала, необходимо в каждом узле сетки вычислять эффективные нелинейные свойства композита. При этом объем вычислений становится чрезвычайно большим даже для современной вычислительной техники.

Таким образом, разработка метода, обладающего относительно высокой точностью и вычислительной эффективностью, позволяющего рассчитывать нелинейно-упругие характеристики композитов с конечными деформациями, является весьма актуальной задачей. В работе предложен оригинальный вариант метода асимптотического осреднения без обязательного требования о симметрии ячейки периодичности, т.е. минимальном повторяющемся элементе структуры КМ, позволяющий учитывать сложные трёхмерные структуры армирования при наличии эффектов нелинейности.

Научная новизна и значимость

- Разработан вариант метода асимптотического осреднения для КМ со сложными трехмерными структурами армирования;
- Предложен итерационный метод решения задачи нелинейной упругости на полной ячейке периодичности;
- Создана методика решения многомасштабных задач нелинейной упругости.

ОТДЕЛ КОРРЕСПОНДЕНЦИИ
И КОНТРОЛЯ ИСПОЛНЕНИЯ
ДОКУМЕНТОВ МАИ

«09» 06 2026г.

Практическая значимость

Разработанные методики и алгоритмы могут быть использованы для проектирования и анализа конструкций из современных композиционных материалов, подверженных большим деформациям (амортизаторы, шины, биомедицинские имплантаты и др.). Предложенные подходы позволяют повысить точность расчётов и снизить вычислительные затраты за счёт эффективного разделения макро- и микрозадач.

Достоверность результатов

Достоверность подтверждается:

- использованием современных моделей нелинейной упругости;
- обширным численным расчетом на различных типах КМ (тканевые, сферические, дисперсно-армированные);
- сравнением с экспериментальными данными;
- апробацией на международных и всероссийских конференциях, публикациями в рецензируемых изданиях.

Структура и оформление

Диссертация логично структурирована, содержит подробное введение, три главы, выводы, список литературы из 91 источника. Работа иллюстрирована 106 рисунками и 3 таблицами, что способствует наглядности изложения.

Работа построена логично и последовательно. В первой главе автором разработана методика численного решения задач теории упругости с конечными деформациями на полных ячейках периодичности. Особое внимание уделено методу асимптотического осреднения. Метод основан на асимптотическом разложении перемещений, напряжений и других величин по малому геометрическому параметру, который характеризует размер ячейки периодичности композита. Асимптотическое осреднение позволяет получить эффективные определяющие соотношения для композита в целом, аппроксимируя решение исходной задачи для неоднородной среды.

Вторая глава посвящена построению аналитических эффективных определяющих соотношений для изотропных и ортотропных композиционных материалов.

Третья глава содержит методику решения разномасштабных задач нелинейной упругости для периодических сред.

Замечания и рекомендации

1. В работе можно было бы более подробно рассмотреть вопросы сходимости предложенного итерационного метода;
2. В диссертации недостаточно внимания уделено сравнению полученных результатов расчетов с экспериментальными данными;
3. Целесообразно расширить обсуждение применимости предложенных моделей для сильно анизотропных или пористых структур;
4. Рекомендуются уделить больше внимания вопросам устойчивости итерационных процедур при больших деформациях.

Заключение

Диссертационная работа Каримова С.Б. выполнена на высоком научном уровне, содержит оригинальные результаты, обладающие существенной новизной и практической значимостью. Автор продемонстрировал широкую эрудицию и глубокое владение предметом исследования, современными методами численного моделирования и механики композитов. Полученные результаты имеют как теоретическую, так и практическую значимость. Работа полностью соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям по физико-математическим наукам (специальность 1.1.8 «Механика деформируемого твёрдого тела»).

Рекомендация: диссертация Каримова С.Б. заслуживает высокой оценки и рекомендуется к защите на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук.

Руководитель проектов научно-технической экспертизы
Научно-технического совета (Департамента)
Государственной корпорации «Ростех»,
доктор физико - математических наук

П.Г. Филиппов



Подпись Филиппова Павла Геннадьевича удостоверяю
эксперт-аналитик
Департамента управления персоналом

О.Ф. Лазовская

Телефон рабочий: +7 (495) 287-25-00, доб.25-14
Адрес электронной почты: P.G.Filippov@rostec.ru
Почтовый адрес: 125424, Российская Федерация,
г. Москва, Волоколамское шоссе д.75А