

Отзыв

официального оппонента

на диссертационную работу

Каримова Сунната Бахтияровича

«Моделирование нелинейно-упругих композиционных материалов с конечными деформациями методом асимптотического осреднения»,

представленную на соискание учёной степени

кандидата физико-математических наук по специальности

1.1.8. – «Механика деформируемого твёрдого тела»

Актуальность работы. Тематика диссертации является актуальной как с фундаментальной, так и с прикладной точки зрения. Композиционные материалы с эластомерными и высокоэластичными компонентами широко применяются в инженерной практике, в том числе в элементах, работающих при значительных перемещениях и деформациях. Для адекватного описания поведения подобных материалов требуется учёт геометрической нелинейности и сложной внутренней структуры среды. В связи с этим разработка методов вычисления эффективных характеристик композиционных материалов при конечных деформациях представляет значительный научный интерес.

В работе предложен вариант метода асимптотического осреднения для нелинейно-упругих периодических сред, основанный на использовании универсальных моделей упругости при конечных деформациях. Автором разработана конечно-элементная методика решения локальных задач на полной ячейке периодичности, позволяющая отказаться от ограничений, связанных с симметрией структуры материала. Существенным достоинством работы является объединение методов асимптотического осреднения и многомасштабного моделирования в рамках единого вычислительного подхода.

Научная новизна работы заключается в следующем.

- разработан оригинальный вариант математической постановки задач асимптотического осреднения для композиционных материалов с конечными деформациями;
- построен новый итерационный алгоритм решения локальных нелинейных задач на полной ячейке периодичности на основе вариационной формулировки в скоростях;
- разработана методика идентификации эффективных определяющих соотношений на основе диаграмм деформирования нелинейно-упругих сред с периодической структурой;
- реализован многомасштабный подход для расчёта конструкций из нелинейно-упругих композиционных материалов с конечными деформациями для периодических сред.

Достоверность полученных результатов обеспечивается корректным использованием аппарата нелинейной механики сплошных сред, вариационных методов, метода конечных элементов и методов асимптотического анализа. Выводы диссертации логически следуют из представленных теоретических и численных результатов.

Практическая значимость работы заключается в возможности применения разработанных методов при проектировании и расчёте конструкций из композиционных материалов, работающих в условиях больших деформаций. Предложенные подходы могут быть использованы в задачах инженерного анализа изделий из резинокордных и дисперсно-армированных материалов, а также при разработке вычислительных комплексов многомасштабного моделирования.

Материалы диссертации опубликованы в научной печати и апробированы на ряде всероссийских и международных конференций. Автором опубликовано 12 научных работ, включая 4 публикации в рецензируемых изданиях из перечня ВАК.

Структура диссертации является логичной и хорошо организованной. Работа включает введение, три главы, заключение и выводы. Общий объем диссертации составляет 155 страниц.

В первой главе рассмотрены основные уравнения нелинейной теории упругости для периодических сред с конечными деформациями и построены асимптотические разложения, лежащие в основе метода осреднения. Подробно изложена конечно-элементная реализация локальных задач.

Во второй главе разработана методика построения аналитических эффективных определяющих соотношений для осреднённых материалов, а также приведены примеры определения параметров моделей для конкретных типов композитов.

В третьей главе представлены результаты решения прикладных многомасштабных задач, связанных с моделированием элементов конструкций из композиционных материалов.

По содержанию диссертации можно сделать следующие замечания:

- При разделении масштабов введен термин «микрозадача». Однако, не сформулированы критерии перехода между масштабами и привязки этих размеров к порядку микро - 10^{-3} , что обосновало бы такой термин.
- В ряде мест текст перегружен громоздкими математическими выкладками, что усложняет восприятие отдельных результатов. Ограниченный набор видов анизотропии, рассмотренный в главе 2, не является исчерпывающим, тем не менее, не обсуждается возможность применения методики и для иных случаев.
- Некоторые рисунки и графические материалы могли бы сопровождаться более подробными пояснениями и крупными цифрами на шкалах полей.
- В работе сравнительно мало внимания уделено вопросам вычислительной эффективности, масштабируемости и устойчивости разработанных алгоритмов и оценке их трудоёмкости.

Однако отмеченные замечания носят частный характер и не снижают общей положительной оценки диссертационной работы.

Диссертация Каримова Сунната Бахтияровича является завершённой научной работой, содержащей новые научные результаты в области механики композиционных материалов и многомасштабного моделирования. Работа соответствует требованиям ВАК Российской Федерации, предъявляемым к кандидатским диссертациям, установленным Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842 (ред. от 16.10.2024), а её автор заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.8 – «Механика деформируемого твёрдого тела».

Официальный оппонент
Старший научный сотрудник
ФГБУН «Институт проблем механики
им. А. Ю. Ишлинского Российской
академии наук»,
к.ф.-м.н.

Ченцов А. В.

Адрес места работы:
119526, Москва, проспект Вернадского,
д. 101, корп. 1.

Подпись А. В. Ченцова заверяю:



Подпись Ченцов А. В. заверяю
Ученый секретарь
ИПМех РАН М.А. Котов
01.06.2026

С отзывом ознакомлен
09.06.2026 Каримов С.Б.