

Отзыв научного руководителя

о диссертанте Романова Александра Вячеславовича и его диссертации на тему: «ИССЛЕДОВАНИЕ МАСШТАБНЫХ ЭФФЕКТОВ МИКРОПОЛЯРНЫХ СРЕД В ТРЕХМЕРНЫХ МОДЕЛЯХ», представленной к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.8. – «Механика деформируемого твердого тела».

Романов Александр Вячеславович является выпускником 2019 года очной аспирантуры кафедры Механики композитов Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова».

Диссертационная работа Романова А.В. посвящена исследованию масштабных эффектов в трехмерных задачах микрополярных сред. Для достижения этой цели краевая задача статики для произвольных анизотропных микрополярных сред с центром симметрии при неизотермических процессах приводится к системе линейных алгебраических уравнений, записанной с помощью тензорно-блочных матриц. В рассматриваемом случае свободная энергия, кроме механических тензоров деформаций и изгибов-кручений, представляется с помощью тензоров тепловых деформаций и изгибов-кручений, наряду с начальными тензорными полями.

Применяя выражение для свободной энергии при неизотермических процессах, построен дискретный упругий потенциал, который учитывает тензор тепловых изгибов-кручений наряду с тензором тепловых деформаций. При этом тепловые и механические свойства материала могут быть различной анизотропии.

Следует отметить, что аппроксимация искоемых векторных полей перемещений и микровращений в рамках трехмерной микрополярной теории упругости была выполнена полиномами смешанной степени. Где для полиномов Лагранжа применяется обобщенный метод редуцированного и селективного интегрирования. На практике это позволяет на порядок повысить точность аппроксимации полиномами Лагранжа и увеличить скорость сходимости при решении системы, получаемой из условия стационарности дискретного функционала для полиномов смешанной степени. Важным и

новым также является попытка реализации модели натянутой нити с применением микрополярной теории упругости, так как данная задача имеет большое практическое значение при проектировании уникальных сооружений Атомных Электростанций (АЭС), позволяя оценить эксплуатационную пригодность преднапряженного контейнента (containment) или защитной оболочки энергоблока АЭС. Для апробации реализованных механических моделей в трехмерной постановке решены задачи о кручении цилиндрического тела, о цилиндрическом изгибе пластинки, о чистом изгибе цилиндрического тела, о призме с отверстием, задача о кубе и о толстостенном цилиндре конечных размеров с натянутыми нитями. На основе сопоставления экспериментальных данных и результатов решений механических моделей (для задачи о кручении и о чистом изгибе образца из ретикулированного пенополиуретана с размером ячейки 0.4 мм) получена оценка для масштабного параметра микрополярной модели. Это позволяет сделать вывод, что микрополярные среды демонстрируют существенные масштабные эффекты, а предложенный подход аппроксимации кинематических полей обладает лучшей точностью, в том числе для почти несжимаемой среды.

Во время подготовки диссертации Романов А.В. продемонстрировал хорошие знания в области механики деформируемого твердого тела, а также владение математическим аппаратом и современными навыками параллельных вычислений GPGPU.

Следует перечислить основные результаты диссертационной работы, полученные Романовым А.В.

1. Для оценки масштабных эффектов и возможности определения материальных параметров в рамках вариационной постановки, был предложен подход, согласно которому упругий потенциал или интегральное тождество для микрополярного материала с центром симметрии произвольной анизотропии приводится к системе линейных алгебраических уравнений в виде тензорно-блочной записи без использования матричных операторов градиентов. Это позволило выписать систему линейных алгебраических уравнений для трансверсально-изотропного, ортотропного и изотропного материалов при

неизотермических процессах с использованием тензорного аппарата механики, заменив матричные представления сокращенной тензорной формой.

2. Рассматривается свободная энергия при неизотермических процессах, которая кроме механических тензоров деформаций и изгибов-кручений представляется с помощью тензора тепловых изгибов-кручений, а также тензоров тепловых деформаций и начальных тензорных полей, построен дискретный упругий потенциал. При этом тепловые и механические свойства могут быть различной анизотропии.

3. На основе метода Ритца для аппроксимации искомым векторных полей перемещений и микровращений сформулирован обобщенный метод редуцированного и селективного интегрирования в тензорном виде, а также были использованы полиномы смешанной степени, что на практике привело к повышению точности аппроксимации на порядок (наряду с уменьшением количества итераций при решении СЛАУ) для рассмотренных задач.

4. Принимая натянутую нить в качестве микрополярного объекта, сформулирована для нее вариационная постановка задачи;

5. Дано решение задачи о призматическом теле, ослабленном круговым отверстием при одноосном растяжении; о кубе при различных вариациях масштабного параметра и моментного числа; решение задачи о толстостенном цилиндре с преднапряженными нитями.

Представленные результаты диссертационной работы определяют ее теоретическую значимость. Практическая значимость в научно-технических областях продиктована особым интересом или запросом на использование микрополярных (градиентных) моделей в рамках обоснований (экономической целесообразности или оптимального использования материалов) или исследования феномена масштабных эффектов в научно-экспериментальной и исследовательской области, включая моделирование в областях био- нано- или микромеханики. В частности, предложенный подход построения численного решения позволяет исследовать микрополярные модели, их механические и термомеханические эффекты с целью определения материальных параметров. Важную практическую роль имеет модель натянутых нитей для

проектирования преднапряженных композитов, в том числе для уникальных сооружений отечественных и зарубежных АЭС.

Таким образом, диссертация Романов А.В. является законченной научно-квалификационной работой, обладающей новизной и актуальностью в области математического моделирования современных задач и методов механики деформируемого твердого тела.

Романов А.В. является квалифицированным специалистом в области механики деформируемого твердого тела и заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.8. – «Механика деформируемого твердого тела».

Я, Никабадзе Михаил Ушангиевич, даю согласие на включение моих персональных данных в аттестационные документы соискателя и их дальнейшую обработку в диссертационном совете.

Научный руководитель: доктор физико-математических наук, профессор кафедры механики композитов механико-математического факультета федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» e-mail: munikabadze@yandex.ru, тел. +7 903-556-51-49. Адрес места работы: 119991, Россия, г. Москва, Ленинские горы, д. 1, ФГБОУ высшего образования «МГУ имени М.В. Ломоносова». Тел.: +7 (495) 939-10-00, e-mail: info@rector.msu.ru

Подпись Никабадзе Михаила Ушангиевича удостоверяю.

Декан механико-математического
факультета МГУ имени М.В. Ломоносова
д.ф.-м.н., член-корр. АН РФ, профессор



М.У. Никабадзе

М.У. Никабадзе
04.09.2024.

А.И. Шафаревич