

Отзыв научного руководителя
кандидата физико-математических наук,
кандидата геолого-минералогических наук
Артамоновой Нины Брониславовны

на диссертационную работу Клементьева Петра Дмитриевича на тему «Двухуровневый анализ некоторых типов композитов и метаматериалов», представленную на соискание степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.8 – Механика деформируемого твердого тела.

В диссертационной работе Клементьева Петра Дмитриевича «Двухуровневый анализ некоторых типов композитов и метаматериалов» применено численное моделирование на мезоуровне для определения макро свойств дисперсных композитов, пористых сред и метаматериалов. Рассмотрены теоретические аспекты определения эффективных свойств композитных и пористых структур, выполнены расчёты на уровне структуры. Исследован вопрос учета поврежденности в фазах дисперсного композита при вычислении эффективных упруго-пластических свойств. Для метаматериалов проведено теоретическое и численное исследование свойств связанности растяжение/изгиб, сжатие/кручение.

Диссертация состоит из вступления, трех глав, заключения и списка литературы.

В первой главе использована модификация метода асимптотического осреднения для сред, не обладающих ячейкой периодичности, но обладающих представительной областью, для определения эффективных упругих свойств дисперсного композитного материала $B_4C/2024Al$. Проведено сравнение вычислений с экспериментальными данными. Проанализировано влияние геометрической формы включений на величину концентраций напряжений в представительных областях композита. На примере модельных пористых и композитных сред изучено свойство единственности осреднённой кривой напряжение – деформация. Для описания вычисленных свойств на уровне структуры использована макромодель Друкера–Прагера.

Во второй главе исследованы варианты алгоритма прогрессирующего разрушения. Исследование основывалось на сравнении результатов применения вариантов к различным модельным задачам. Оптимальный алгоритм прогрессирующего разрушения использован для расчёта кривых напряжение – деформация композита $B_4C/2024Al$. Показано, что применение указанного алгоритма и учет реальной геометрической формы включений позволяет приблизить вычисленную диаграмму напряжение – деформация к экспериментальным данным.

В третьей главе классический метод асимптотического осреднения во втором приближении использован для теоретического исследования эффектов связанности растяжение/изгиб, сжатие/кручение в метаматериалах. На основе

осреднения установлено и численно подтверждено, что для структур с декартовым типом периодичности коэффициенты связанности убывают обратно пропорционально количеству повторяющихся ячеек в структуре. Для метаматериалов, организованных периодически в цилиндрических координатах, продемонстрирована постоянность параметра связанности сжатие/кручение вне зависимости от размера структуры в плане. При помощи расчетов методом конечных элементов определены области краевого эффекта в резинокордных образцах и обоснована методика обработки результатов механических испытаний коротких образцов.

Основные результаты диссертации изложены в 14 работах, из них 3 статьи опубликованы в журналах, индексируемых в базах данных Web of Science, Scopus, RSCI. Научные результаты диссертационной работы докладывались на Всероссийских и Международных конференциях: Международный научный симпозиум по проблемам механики деформируемых тел, посвященный 115-летию со дня рождения А.А. Ильюшина (Москва, 2026); Всероссийская научная конференция с международным участием «Механика композиционных материалов и конструкций, сложных и гетерогенных сред» им. И.Ф. Образцова и Ю.Г. Яновского, ИПРИМ РАН (Москва, 2019, 2021, 2023, 2025); Всероссийская школа-конференция «Математическое моделирование в естественных науках», ПНИПУ (Пермь, 2023, 2024); Международная конференция по вычислительной механике и современным прикладным программным системам, МАИ (Алушта, 2021, 2025); Международная научная конференция «Ломоносов» (Москва, 2020–2024); Международная конференция по Прикладной математике и механике в аэрокосмической отрасли, МАИ (Алушта, 2022); Международная научная конференция «Ломоносовские чтения» (Москва, 2020–2022); Международная молодёжная научная конференция «XLVII Гагаринские чтения» (Москва, 2021); Международная конференция «Математическое моделирование», МАИ (Москва, 2020).

Кроме того, полученные результаты докладывались и обсуждались на научно-исследовательских семинарах: на семинаре кафедры теории пластичности механико-математического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова под руководством д.ф.-м.н., проф., члена-корр. РАН Е.В. Ломакина (2026 г.); на семинаре кафедры механики композитов механико-математического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова под руководством д.ф.-м.н., проф. М.У. Никабадзе (2026 г.); на семинаре имени А.А. Ильюшина кафедры теории упругости механико-математического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова под руководством д.ф.-м.н., члена-корр. РАН Д.В. Георгиевского (2026 г.); на объединенном заседании семинара лаборатории механики прочности и разрушения материалов и конструкций и лаборатории механики новых материалов и технологий под руководством д.ф.-м.н., члена-корр. РАН Д.С. Лисовенко, Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН (2026 г.); на секции Ученого совета НИИ механики МГУ под руководством д.ф.-м.н., проф. Д.В. Тарлаковского (2026 г.); на межкафедральном научно-исследовательском семинаре по механике деформируемых сред под руководством д.ф.-м.н., проф.

С.В. Шешенина, к.ф.-м.н., к.г.-м.н. Н.Б. Артамоновой и к.ф.-м.н. Ф.Б. Киселева (2021–2026 г.).

П.Д. Клементьев зарекомендовал себя как инициативный и работоспособный аспирант. Полученные им результаты обладают новизной, обоснованностью и наглядно подтверждены результатами вычислений.

Представленная работа «Двухуровневый анализ некоторых типов композитов и метаматериалов» удовлетворяет требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям. Рекомендую диссертацию Клементьева Петра Дмитриевича к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.8 – Механика деформируемого твердого тела.

Я, Артамонова Нина Брониславовна, даю согласие на включение моих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Научный руководитель: кандидат физико-математических наук (по специальности 01.02.04), кандидат геолого-минералогических наук (по специальности 25.00.08), старший научный сотрудник кафедры инженерной и экологической геологии геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова (119991, г. Москва, Ленинские горы, д. 1, телефон: +7(495)939-49-15, e-mail:)

27.02.2026

Н.Б. Артамонова