

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Мишина Алексея Владимировича  
«Формализм обобщенной производной для анализа гетерогенных материалов»,  
представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по  
специальностям

1.1.9 – механика жидкости, газа и плазмы,

1.1.8 – механика деформируемого твердого тела

Одной из приоритетных задач современного материаловедения является создание новых материалов с улучшенными и управляемыми эксплуатационными характеристиками. Актуальность данной задачи существенно возросла вследствие активного внедрения аддитивных технологий в различные области промышленности. Однако при использовании аддитивных технологий не только открываются широкие возможности быстрого и относительно недорогого получения изделий и элементов конструкций, но и возникают большие сложности управления микроструктурой 3D-напечатанных изделий, которая существенно отличается от микроструктуры изделий, изготовленных традиционными методами литья и термомеханической обработки. Как следствие, перед разработчиками аддитивных технологий стоит острая необходимость создания математического аппарата, позволяющего в полной мере описать закономерности формирования многоуровневой микроструктуры гетерогенных материалов, а также предсказать их поведение при различных внешних воздействиях. В связи с вышесказанным, настоящая диссертационная работа, посвященная созданию математической модели гетерогенной среды, включающей упругие свойства и микроструктуру гетерогенной среды с учетом процессов, в результате которых она была получена, является, безусловно, актуальной.

Мишин А.В. выполнил обширный обзор литературных данных, посвященных существующим моделям описания гетерогенных сред. Показано, что существующие математические модели гетерогенной среды либо вовсе не учитывают границы раздела фаз, либо учитывают их упрощенно путем рассмотрения периодической структуры или введения феноменологических коэффициентов.

В работе впервые получены новые научные результаты.

На основе индикаторной функции, входящей в функционал внутренней энергии, и с использованием вариационного исчисления получена формула для обобщенной производной, учитывающая влияние внутренних границ гетерогенной среды, разделяющих фазы с разными физическими свойствами, на распространение поля по ней и приводящая к интегро-дифференциальному уравнению переноса.

Полученные эффективные коэффициенты переноса обобщены на случай заданной размерности пространства и интегрально учитывают микроструктуру системы (упругие, вязкоупругие, электрические свойства фаз и характерные размеры) в явном виде.

Из анализа найденных эффективных коэффициентов, примененного для гетерогенных сред с существенно различающимися свойствами фаз, предсказано наличие несущей фазы и структурного фазового перехода (перколяции).

На основе разработанной математической модели, учитывающей процесс растворения и протекание химической реакции, показано, что итоговое состояние гетерогенного материала является следствием подаваемой на исходную систему энергии, что дает возможность контролировать состав и свойства конечной структуры.

На основе анализа осредненных уравнений методом условных моментов, с учетом анализа эффективных коэффициентов, представлено нахождение структурного вида коэффициента пропорциональности (для высокопористых сред) в законе Дарси, отражающего микроструктуру среды и удовлетворительно согласовывающегося с экспериментом.

В качестве замечания можно отметить излишне подробное сравнение полученных в работе математических выражений и формул с существующими экспериментальными данными, приводящее к необоснованному увеличению объема автореферата. Указанное замечание, однако, не снижает ценности и положительной оценки рассматриваемой диссертационной работы.

Считаю, что диссертационная работа «Формализм обобщенной производной для анализа гетерогенных материалов» отвечает всем требованиям ВАК РФ, а диссертант Мишин А.В. заслуживает присвоения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальностям 1.1.9 – механика жидкости, газа и плазмы, 1.1.8 – механика деформируемого твердого тела.

Заведующий лабораторией  
Физики поверхностных явлений  
Федерального государственного  
бюджетного учреждения науки  
Института физики прочности и материаловедения  
Сибирского отделения Российской академ  
д.ф.-м.н., профессор

Панин Алексей Викторович

Адрес: 634055, г. Томск, просп. Академический, 41т  
Телефон: +7 (3822) 49-18-81  
Факс: +7 (3822) 49-25 76  
E-mail: root@ispms.tc

Подпись А.В. Панин  
Ученый секретарь ИС  
к.ф.м.н.

Н.Ю. Матолыгина

10.04.2023