

## **ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА**

о диссертации Шумиловой Владлены Валерьевны  
«Эффективные динамические характеристики микронеоднородных сред  
с диссипацией», представленной на соискание ученой степени  
доктора физико-математических наук по специальности  
01.02.04 - механика деформируемого твердого тела

Диссертация В.В. Шумиловой посвящена разработке подхода к исследованию динамического поведения микронеоднородных сред с диссипацией, обусловленной вязкостью и/или последействием, которое основано на определении их эффективных динамических характеристик с помощью усредненных моделей.

**Актуальность** проблематики, связанной с изучением динамического поведения микронеоднородных сред с диссипацией, обусловлена широким использованием таких сред на различных масштабных уровнях во многих сферах человеческой жизнедеятельности. Так, например, современное машиностроение, строительство, авиационная и ракетно-космическая техника немислимы без применения полимерных композитов с желаемыми или близкими к ним свойствами, а при решении ряда задач разведочной геофизики требуется всесторонний анализ физико-механических свойств земных недр, в том числе горных пород и флюидонасыщенных пористых грунтов. В тех случаях, когда численное исследование динамики микронеоднородной среды сильно затруднено, обычно используется процедура гомогенизации, т.е. вводится эффективная (усредненная) однородная среда, по своим динамическим свойствам близкая к первоначальной среде. Анализ характеристик эффективных сред и их зависимости от локальных физических свойств и геометрической структуры первоначальных сред играет важнейшую роль при прогнозировании поведения микронеоднородных сред с диссипацией, а также при оптимизации свойств полимерных композитов. Всё вышесказанное свидетельствует о несомненной актуальности темы данной диссертационной работы.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы из 160 наименований, 13 рисунков, И таблиц и изложена на 272 страницах печатного текста.

Во введении обоснована актуальность темы и сформулирована цель исследования, приведены общие характеристики диссертации и краткое содержание ее глав.

В первой и второй главах с помощью методов асимптотического анализа и преобразования Лапласа получены усредненные уравнения акустики для твердых и смешанных микронеоднородных сред с периодической внутренней структурой и диссипацией. При этом под первыми подразумеваются среды, состоящие из вязкоупругих материалов или из вязкоупругого и упругого материала, а под вторыми - среды, состоящие из твердого (упругого и вязкоупругого) материала и сжимаемой жидкости. Также получены усредненные уравнения акустики для микронеоднородных сред, состоящих из частично пористого твердого материала и заполняющей поры сжимаемой жидкости. Выписаны вспомогательные стационарные и эволюционные задачи на ячейке периодичности, решения которых используются для нахождения коэффициентов и ядер свертки усредненных моделей.

В третьей главе на основе результатов первой и второй глав найдены формулы для вычисления компонентов тензоров ядер релаксации усредненных сред, соответствующих двухфазным твердым и смешанным средам с диссипацией, состоящим из периодически чередующихся плоских слоев. В качестве одной из фаз рассмотрен упругий или вязкоупругий материал, а в качестве другой - вязкоупругий материал или вязкая сжимаемая жидкость.

В четвертой главе выведены уравнения для расчета точек спектров одномерных собственных колебаний изотропных вязкоупругих материалов, двухфазных слоистых сред с диссипацией и соответствующих им усредненных сред. Проведено сравнение указанных спектров для усредненных сред и отдельных фаз первоначальных слоистых сред с диссипацией. Для трех образцов композита проведен расчет точек спектров их собственных колебаний с помощью точек спектра собственных колебаний усредненного материала, выбранных в качестве начальных приближений.

В пятой главе получены формулы и системы линейных уравнений для расчета приближенных и точных значений комплексных амплитуд отраженной и прошедшей волн при пересечении плоской звуковой волны границ двухфазных слоистых сред с диссипацией. Определен диапазон частот волн, для которого допустимо применение полученных приближенных формул. С целью оценки погрешности приближенных формул и ее зависимости от числа слоев произведен расчет относительной погрешности амплитуды прошедшей волны для трех образцов слоистого композита, состоящего из упругого и вязкоупругого изотропных материалов.

**Достоверность** научных положений и выводов работы основана на применении строгого математического аппарата, корректной постановке

задач, согласовании полученных результатов с результатами проведенных в работе численных расчетов и сравнением с результатами исследований других авторов.

**Новизна** научных положений и выводов работы заключается в том, что автором были выведены усредненные модели, которые позволили ему исследовать динамическое поведение широкого класса твердых и смешанных микронеоднородных сред с диссипацией и, в частности, исследовать спектральные свойства двухфазных слоистых сред с диссипацией и процессы отражения и прохождения волн на их границах.

**Наиболее существенные** научные результаты, полученные лично соискателем, состоят в следующем:

1. Выведены усредненные уравнения акустики для широкого класса твердых и смешанных двухфазных микронеоднородных сред, у которых одной фазой является вязкоупругий материал, а другой фазой - упругий/вязкоупругий материал или вязкая/слабовязкая сжимаемая жидкость. Показано, что расчет коэффициентов и ядер свертки усредненных уравнений сводится к решению вспомогательных задач на ячейке периодичности. С помощью решений этих задач найдены компоненты тензоров ядер релаксации усредненных сред, соответствующих двухфазным слоистым средам с диссипацией, состоящим из вышеперечисленных фаз (за исключением фазы из слабовязкой жидкости).

2. Показано, что нахождение точек спектров одномерных собственных колебаний усредненных сред, соответствующих двухфазным слоистым средам с диссипацией из п. 1, сводится к решению алгебраических уравнений. Установлено, что спектры содержат бесконечные невещественные части лишь в том случае, когда обе фазы исходных слоистых сред не обладают вязкостью или когда только одна их фаза обладает вязкостью и при этом собственные колебания перпендикулярны слоям.

3. Показано, что нахождение точек спектров одномерных собственных колебаний, перпендикулярных слоям двухфазных слоистых сред с диссипацией из п. 1, сводится к решению трансцендентных уравнений, число которых зависит от числа слоев. Установлено, что при неограниченном уменьшении толщины всех слоев пределами последовательностей точек этих спектров являются либо точки спектров одномерных собственных колебаний усредненных сред, либо вещественные точки непустых множеств. Тем самым обнаружено, что наличие диссипации у слоистых сред качественно меняет предельное поведение их спектров. На примере слоистых композитов с

диссипацией, состоящих из 10, 14 и 28 периодов, численно исследовано, насколько близки точки спектров одномерных собственных колебаний этих композитов и усредненного материала.

4. Для плоских звуковых волн, нормально падающих на границы двухфазных слоистых сред с диссипацией из п. 1, получены формулы и системы линейных уравнений для расчета приближенных и точных значений комплексных амплитуд отраженных и прошедших волн. С их помощью на примере слоистых композитов с диссипацией, состоящих из 10, 14 и 28 периодов, численно установлено, что увеличение числа слоев приводит в целом к быстрому уменьшению относительной погрешности приближенного значения амплитуды прошедшей волны. Кроме того, численно обнаружено, что эта погрешность принимает наибольшие значения для тех волн, частоты которых близки к собственным частотам колебаний композитов или усредненного материала.

**Замечания** по тексту диссертации:

1. Не описаны численные методы, применяемые при проведении расчетов.

Остальные замечания относятся, в основном, к опечаткам в тексте:

2. На странице 90 в 4-й сверху формуле пропущен символ  $dx$ , на той же странице во 2-й снизу формуле вместо  $dt$  стоит  $dx$ , на странице 102 во 2-й и 3-й формулах пропущен  $dx$ .

3. На странице 106 в 5-й строке сверху не дописано предложение.

4. К сожалению, диссертант не знает, что словосочетание «Для того чтобы ...» пишется без запятой, и ставит запятую на страницах 29, 33, 86, 182, 209, 229, 232, причем переносит эту ошибку в текст автореферата.

Указанные замечания не умаляют значимости полученных результатов и не снижают научной ценности представленной работы.

### **Заключение**

Представленная к защите диссертация Шумиловой В.В. является законченной научно-квалификационной работой, выполненной автором самостоятельно и на высоком научном уровне. Совокупность разработанных в ней теоретических положений можно классифицировать как научное достижение в области динамики микронеоднородных сред с диссипацией. Результаты диссертации представляют не только теоретический, но и практический интерес, достаточно полно опубликованы в ведущих научных

периодических изданиях и доложены на научных конференциях и семинарах. Автореферат правильно отражает содержание диссертации.

На основании изложенного считаю, что диссертационная работа Шумиловой Владлены Валерьевны «Эффективные динамические характеристики микронеоднородных сред с диссипацией» соответствует всем критериям «Положения о порядке присуждения ученых степеней» (постановление Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842) в части, касающейся ученой степени доктора наук, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.02.04 - механика деформируемого твердого тела.

**Официальный оппонент:**

доктор физико-математических наук,  
профессор, ведущий научный сотрудник  
Федерального исследовательского центра  
"Информатика и управление" Российской академии наук  
(119333, Москва, ул. Вавилова, д. 44, корп. 2)  
Телефон: + 7(499)135-40-90  
E-mail: mikh\_igor@mail.ru



Михайлов Игорь Ефимович

Подпись Михайлова Игоря Ефимовича удостоверяю:

