

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ МАШИНОВЕДЕНИЯ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
(ИПМаш РАН)



В.О., Большой проспект, д.61, Санкт-Петербург, 199178
Тел.: (812)-321-4778; факс: (812)-321-4771; <https://ipme.ru>

ОГРН 1037800003560, ИНН/КПП 7801037069/780101001

РЕЦЕНЗИЯ

на выпускную квалификационную работу
«Смена типа акустического метаматериала под влиянием комбинации
ротационной и трансляционной вязкости на примере изотропной
линейной редуцированной среды Коссера»,
выполненную обучающимся гр. 5040103/00301
Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого
Барсуковым Севастьяном Сергеевичем

Актуальность работы

В работе исследуется особый тип акустических метаматериалов с поворотными степенями свободы — так называемая редуцированная среда Коссера. Метаматериалами принято называть среды, имеющие запрещенную для бегущих гармонических волн зону частот или падающий участок дисперсионной кривой (зона аномального преломления). Изучение таких сред актуально — они имеют многочисленные приложения, так как при помощи подобных материалов можно экранировать волны определенных частот или управлять направлением распространения. Кроме практических приложений, метаматериалы интересны и с фундаментальной точки зрения, поскольку они обладают необычными волновыми свойствами, и типичные волновые задачи могут иметь для них совершенно иные решения. Микроструктурные степени свободы среды участвуют в волновых процессах и сильно меняют их свойства в определенном диапазоне частот (в частности, физики говорят об «отрицательной упругости» и «отрицательной плотности» метаматериалов). Примером таких микроструктурных степеней свободы могут быть поворотные, наличествующие в средах Коссера. Предложенные больше ста лет назад, среды Коссера стали популярными как предмет исследования в последние десятилетия, поскольку в настоящее время существует куда больше возможностей для экспериментов и измерений на микроуровне. Работы, посвященные редуцированным (отсутствует зависимость от скоростей поворота частиц) средам Коссера показали, что они тоже могут проявлять свойства метаматериалов. При этом они могут использоваться для моделирования различных композитов с твердыми включениями, консолидированных сыпучих сред, плотных суспензий и геосред. В магистерской работе исследуется влияние комбинированной вязкости (по трансляционным и ротационным степеням свободы) на характеристики вязкоупругой редуцированной среды Коссера. Ранее влияние вязкости по указанным степеням свободы было исследовано отдельно. Таким образом, работа является весьма актуальной.

Характеристика работы

Во введении дается обоснование целей работы и обсуждается история вопроса.

В первой главе приводятся большей частью уже известные положения, необходимые для постановки задачи. Законы динамики определяют основные уравнения линейной вязкоупругой редуцированной среды Коссера, вводятся уравнения в перемещениях и дисперсионное соотношение как зависимость

квадрата волнового числа от частоты и комплексных параметров, обладающее запрещенной зоной для бегущих решений. Далее магистрант получает обезразмеренное дисперсионное соотношение.

Во второй главе данное дисперсионное соотношение подробно анализируется. Получены уравнения для вещественной и мнимой части волнового числа k , доказано, что если хотя бы один из параметров диссипации не равен нулю, то для всех частот существует бегущая гармоническая волна с убывающей амплитудой. Представлены численные примеры дисперсионных соотношений для различных параметров вязкости, показано, что в случае не очень большой диссипации может существовать падающий участок дисперсионной кривой. Отдельно проанализирован случай, когда среда сопротивляется лишь повороту тела-точки относительно своей окрестности, в данном случае граничная частота запрещенной в упругом случае зоны становится нулем.

Затем исследуется асимптотика вещественной и мнимой частей волнового числа, а также логарифмического декремента для малых параметров диссипации в случае, когда обезразмеренная частота отделена от границ запрещенной в упругом случае зоны на намного большую величину, чем квадрат любого из параметров диссипации. $\text{Re } k$ вне запрещенной зоны и $\text{Im } k$ в запрещенной зоне отличаются на малую величину от упругого случая, причем мнимая часть k в запрещенной зоне может как расти, так и уменьшаться с ростом диссипативных параметров в зависимости от модулей среды и от частоты. $\text{Re } k$ в запрещенной зоне качественно меняет свой характер, в нижней части запрещенной в упругом случае зоны имеет место аномальное преломление. Для верхней границы запрещенной зоны получено уравнение четвертой степени и построено его численное решение в зависимости от упругих и диссипативных параметров. Также получена асимптотика логарифмического декремента, который убывает с ростом малой диссипации в запрещенной в упругом случае зоне.

Проанализировано сходство и отличие со случаями лишь трансляционной и лишь ротационной диссипации. Показано, что трансляционная вязкость имеет большее значение на низких частотах, а ротационная – в верхней части бывшей запрещенной зоны. При комбинированной вязкости, как и при только ротационной, исчезает частота отсечки для $\text{Re } k$. На высоких частотах и в нижней части запрещенной зоны оба диссипативных параметра вносят существенный вклад в решение.

В заключении сформулированы выводы работы и предложены различные варианты применения данной модели.

Исследование основано на фундаментальных законах механики, применяются тензорное исчисление, асимптотические методы (разложение по малому параметру), проводятся численные расчеты.

Цели, поставленные в работе, полностью достигнуты, работа выполнена на высоком научном уровне, выводы согласуются с результатами, полученными ранее отдельно для трансляционной и ротационной вязкостей. Работа имеет заметное теоретическое значение в области волновых процессов в микрополярных средах и акустических метаматериалов.

Замечания по работе

Имеются опечатки, при переносе формул на другую строку требуется повтор знака операции в начале следующей строки.

Заключение

Выпускная квалификационная работа Барсукова Севастьяна Сергеевича по теме «Смена типа акустического метаматериала под влиянием комбинации ротационной и трансляционной вязкости на примере изотропной линейной редуцированной среды Коссера» соответствует требованиям, предъявляемым к выпускным квалификационным работам и заслуживает оценки «отлично».

Рецензент
в.н.с., д.ф.-м.н., доц.



О.В. Мотыгин