

ОТЗЫВ

официального оппонента к.ф.-м.н., ассистента Лукина Алексея Вячеславовича

на диссертацию Хватова Александра Александровича

«Методы теории Флеке для анализа распространения упругих волн в твёрдых телах с периодической структурой»

представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 – «Механика деформируемого твердого тела»

Актуальность темы

Диссертация Хватова А.А. посвящена развитию теории, на основе которой в настоящее время решаются задачи виброизоляции во многих областях техники. Распространение волн в твёрдых телах с периодической структурой является предметом исследований в кораблестроении, авиации, ракетостроении, строительстве мостов и различных сооружений, так как эффекты, возникающие в подобных структурах благодаря их периодичности, позволяют на практике значительно снизить уровень создаваемого ими шума.

В работе рассмотрена последовательность задач возрастающей сложности: от простых продольных колебаний стержня с периодической структурой до задачи о распространении волн в периодическом упругом слое. Исследуются некоторые новые свойства периодических конструкций (например, полосы частичного запирания) возникающие при усложнении модели упругого тела. Отдельная глава посвящена переходу к полярным координатам, что позволяет существенно расширить круг возможных практических приложений. Предложенное решение задачи о волнах в периодическом о упругом слое увеличивает верхнюю границу частотного диапазона, в котором можно использовать этот эффект виброгашения, а также детализирует виброизоляционную картину, возникающую в упругих твёрдых телах с периодической структурой.

В работе используется классический метод решения подобных задач – теорема Флеке. В случае полярных координат предпринята успешная попытка построить аналогичную теорию, которая асимптотически согласуется с общеизвестной формулировкой теории в декартовых координатах. Все теоретические выводы подкреплены убедительно представленными численными экспериментами.

Данная область механики деформируемого твёрдого тела, став предметом исследования в середине прошлого века, до сих пор популярна в научных статьях и практических разработках. В диссертации рассмотрены задачи, решения которых вносят вклад в анализ распространения волн в твёрдых телах, а именно позволяют получить детальную виброизоляционную картину для моделей высокого порядка и потому материал диссертации является актуальным.

Содержание работы

Диссертация состоит из введения в круг рассматриваемых задач, четырёх глав и заключения, содержащего основные результаты, полученные в диссертации.

В Главе 1 рассмотрены классические модели строительной механики – стержни, балки, цилиндрическая оболочка. Для каждой из моделей рассмотрены в деталях картины полос запирания. Так же продемонстрировано соответствие расположения полос запирания на произвольном частотном диапазоне спектру собственных частот колебаний симметричной ячейки периодичности, что позволяет свести задачу о бесконечном периодическом волноводе к анализу спектра ячейки периодичности.

В Главе 2 рассмотрена более сложная структура периодичности, а именно модель соединённых друг с другом искривлённых балок. Приведены численные эксперименты, показывающие соответствие теории и численного эксперимента. Так же приведено

небольшое параметрическое исследование влияния физических параметров на положение полос запирания.

В Главе 3 на примере круговой периодической в радиальном направлении мембранны, находящейся в условиях равномерного всестороннего растяжения, показан переход к формулировке задачи о распространении волн в периодических конструкциях для случая полярных координат. Построен аналог теории, использованной в Главах 1 и 2, произведён предельный переход, показывающий достоверность построенной теории.

В Главе 4 рассмотрена последовательность многомодовых моделей возрастающей сложности в пределе приводящая к задаче о распространении волн в периодическом упругом слое. Продемонстрировано соответствие результатов анализа многомодовых моделей разного уровня сложности друг другу в описании частотных диапазонов частичных и полных полос запирания.

Текст диссертации соответствует всем требованиям к диссертациям на соискание учёных степеней. Содержание автореферата в целом соответствует содержанию диссертации.

Основные научные результаты, степень их обоснованности и новизны

В работе получены следующие научные результаты:

- Формализация понятия симметричных граничных условий (в терминах диссертации типов А и В) и алгоритм их получения. Данные условия являются с одной стороны обобщением классических условий Дирихле и Неймана, а с другой стороны могут использоваться для замены модели бесконечной периодической структуры в рамках классической теории Флоке моделью ячейки с симметричными граничными условиями. На практике это расширяет круг моделей механики деформируемого твердого тела для анализа виброизоляционных свойств.
- Формализация условий периодичности для равномерно натянутой мембранны в полярных координатах. Сформулированные условия позволяют рассматривать твёрдые тела с периодической структурой более сложной формы, что с практической точки зрения в широком круге задач ведёт к более компактным формам виброизоляторов. С теоретической точки зрения подобный пример может служить для формулировки задач и в других системах координат.
- Использование сформулированных в диссертации многомодовых теорий для периодического упругого слоя позволяет более точно исследовать картину полос запирания как в высокочастотном диапазоне, так и в низкочастотном. Частоты отсечки мод высокого порядка, рассмотренные в диссертации, намного превосходят акустический диапазон и поэтому, для практических применений более ценно уточнение положения полос запирания на низких частотах. Предложенный в диссертации метод разложения на композитные моды позволяет более точно проанализировать распространение волн в периодической структуре.

Результаты, полученные в работе, значительно расширяют набор моделей периодических конструкций и тем самым дают возможность применения их виброизоляционных свойств для решения большего числа практически значимых задач.

Достоверность результатов

Научные положения в диссертации получены с помощью корректного использования аналитических методов. В работе приведено сравнение полученных результатов с опубликованными в научной литературе решениями задач для некоторых частных случаев.

Основные научные результаты достаточно подробно изложены в девяти статьях и докладывались на городских семинарах, а также всероссийских и международных конференциях.

Замечания

Диссертация производит впечатление законченной научной работы и имеет удачно выбранную структуру. Довольно ярко выражена теоретическая направленность работы, хотя в диссертации так же представлены и численные эксперименты.

Можно указать на следующие недостатки:

- В работе упоминается программное обеспечение, написанное на Wolfram Mathematica. Не совсем ясен вклад автора в его реализацию: написано ли оно полностью, использовались ли готовые реализации или же дорабатывались существующие реализации программного обеспечения?

- Выбор модели в Главе 2 недостаточно обоснован. Почему выбрана именно искривлённая балка? Какие сценарии нагружения и предельные нагрузки подразумевались для данной структуры?

- В работе не указано каким известным аналогам механики деформируемого твёрдого тела соответствует модель мембранны в полярных координатах, рассмотренная в Главе 3.

- В Главе 4 не указано какой именно тензор напряжений используется при решении задачи о прямоугольном периодическом упругом слое.

Заключение

Несмотря на сделанные замечания, диссертационная работа Хватова А.А. представляет собой законченное исследование, посвящённое решению актуальной задачи анализа эффекта виброизоляции в твёрдых телах с периодической структурой. Объём диссертации в полной мере соответствует количеству опубликованных статей. Качество статей и диссертации в целом подчёркивает новизну и актуальность рассматриваемых вопросов.

Считаю, что диссертация Хватова Александра Александровича соответствует всем необходимым пунктам положения Правительства РФ «О присуждении учёных степеней», а её автор заслуживает присвоения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 – «Механика деформируемого твердого тела».

Официальный оппонент:
ассистент Высшей школы механики
и процессов управления
к.ф.-м.н.

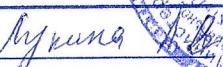

Лукин А. В.
 «10» сентября 2020 г.

Телефон: +7 911 146-74-72

E-mail: lukin_av@spbstu.ru

Наименование организации: Санкт-Петербургский Политехнический университет Петра Великого

Адрес: 195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29

Подпись 	УДОСТОВЕРЯЮ
Ведущий специалист	по кадрам
« <u>10</u> » <u>09</u>	20 <u>20</u> г.

