

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования_
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
им. Н.И. Лобачевского»**

Институт информационных технологий, математики и механики

УТВЕРЖДЕНО
решением Ученого совета ННГУ
протокол № 12 от 26.12.2023 г.

Рабочая программа дисциплины

Волновые процессы в механических системах

Уровень высшего образования
Бакалавриат

Направление подготовки / специальность
15.03.03 - Прикладная механика

Направленность образовательной программы
Инженерное приложение суперкомпьютерного моделирования

Форма обучения
очная

г. Нижний Новгород

2024 год начала подготовки

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.02 Волновые процессы в механических системах относится к части, формируемой участниками образовательных отношений образовательной программы.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства	
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	Для текущего контроля успеваемости	Для промежуточной аттестации
ПК-2: Умеет извлекать актуальную научно-техническую информацию из электронных библиотек, научных сайтов и т.д., анализировать полученную информацию для применения в научной работе, а также публично представлять полученные результаты с учетом уровня аудитории	ПК-2.1: Умеет извлекать актуальную научно-техническую информацию из электронных библиотек, научных сайтов и т.д. ПК-2.2: Знает методы анализа полученной информации, умеет применять ее в научной работе ПК-2.3: Имеет практический опыт публичного представления полученных результатов в соответствии с уровнем аудитории	ПК-2.1: Умеет извлекать актуальную научно-техническую информацию из электронных библиотек, научных сайтов и т.д. ПК-2.2: Знает методы анализа полученной информации, умеет применять ее в научной работе ПК-2.3: Владеет навыками публичного представления полученных результатов в соответствии с уровнем аудитории	Задания Собеседование	Зачёт: Контрольные вопросы Задания

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная
Общая трудоемкость, з.е.	4
Часов по учебному плану	144
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	
- занятия лекционного типа	26
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	26
- КСР	1
самостоятельная работа	91

Промежуточная аттестация	0 зачёт
--------------------------	------------

3.2. Содержание дисциплины

(структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий)

Наименование разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	в том числе			
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них			Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа (практические занятия/лабораторные работы), часы	Всего	
	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0
1. Сведения из теории линейных волн и аналитической механики распределенных систем	21	2	3	5	16
2. Распространение упругих волн в безграничной среде и ограниченных телах	34	6	6	12	22
3. Продольные, крутильные и изгибные волны в стержнях. Математические модели и дисперсионные свойства	37	7	6	13	24
4. Продольные, крутильные и изгибные волны в стержнях. Математические модели и дисперсионные свойства	34	6	6	12	22
5. Волновая динамика пластин и оболочек	17	5	5	10	7
Аттестация	0				
КСР	1			1	
Итого	144	26	26	53	91

Содержание разделов и тем дисциплины

1. Сведения из теории линейных волн и аналитической механики распределенных систем: гармоническая волна, волна импульсной формы, волновой пакет; дисперсия волны (нормальная и аномальная); фазовая скорость; групповая скорость; формула Рэлея; вариационный принцип Гамильтона-Остроградского в динамике распределенных систем.
2. Распространение упругих волн в безграничной среде и ограниченных телах: уравнения Ламе; волны дилатации и сдвига; отражение волн от свободной поверхности полупространства; поверхностные волны Рэлея; нормальные волны в упругом слое; уравнение переноса энергии.
3. Продольные, крутильные и изгибные волны в стержнях. Математические модели и дисперсионные свойства: типы нормальных волн в стержнях; продольные волны: техническая теория Бернулли, уточненные теории Рэлея-Лява и Бишопа, теория Миндлина-Германа; крутильные волны: технические теории Кулона и Сен-Венана, уточненные теории Тимошенко и Власова; изгибные волны: техническая теория Бернулли-Эйлера, уточненные теории Рэлея и Тимошенко.
4. Волны в вязкоупругих стержнях: о внешнем, внутреннем и конструкционном трении; соотношения между напряжением, деформацией и временем деформации; стержни Фойхта-Кельвина и Максвелла; внутреннее трение как результат рассеяния волн на случайных неоднородностях материала.

5. Волновая динамика пластин и оболочек: основные гипотезы; математические модели; анализ дисперсионных и диссипативных свойств.

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа обучающихся включает в себя подготовку к контрольным вопросам и заданиям для текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведенным в п. 5.

Краткое содержание практических занятий

1. Сведения из теории линейных волн и аналитической механики распределенных систем: получение уравнений динамики распределенных систем по известным лагранжианам; графическое определение фазовых и групповых скоростей.
2. Распространение упругих волн в безграничной среде и ограниченных телах: вывод волновых уравнений из уравнения Ламе; вычисление средних плотностей потока энергии по известным значениям плотностей энергии и групповых скоростей; вычисление групповой скорости по известной фазовой скорости.
3. Продольные, крутильные и изгибные волны в стержнях. Математические модели и дисперсионные свойства: определение закона дисперсии, фазовых и групповых скоростей продольных, крутильных и изгибных волн, распространяющихся в упругих стержнях.
4. Волны в вязкоупругих стержнях: определение законов дисперсии и частотно-зависимого затухания волн, распространяющихся в вязкоупругих стержнях.
5. Волновая динамика пластин и оболочек: анализ дисперсионных и диссипативных свойств волн, распространяющихся в пластинах и оболочках.

5. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

5.1 Типовые задания, необходимые для оценки результатов обучения при проведении текущего контроля успеваемости с указанием критериев их оценивания:

5.1.1 Типовые задания (оценочное средство - Задания) для оценки сформированности компетенции ПК-2:

1. Представить классификацию волн в безграничных и ограниченных телах
2. Какова классификация волн в стержнях
3. Описать существующие модели, описывающие распространение упругих волн в стержнях
4. Описать существующие модели, описывающие распространение вязкоупругих волн в стержнях
5. Привести постановки задач распространения волн для пластин и оболочек
6. Выделить основные характеристики волновых процессов, определяемые в экспериментах
7. Описать основные схемы экспериментов по определению характеристик волн

Критерии оценивания (оценочное средство - Задания)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Ответ полный и правильный на основании изученной теории; теоретический материал и решение поставленных задач изложены в необходимой логической последовательности, грамотный научный язык; ответ самостоятельный. Могут быть допущены две-три несущественные ошибки, исправленные по требованию преподавателя.
не зачтено	Ответ обнаруживает непонимание студентом основного содержания учебного материала или допущены существенные ошибки, которые не могут быть исправлены при наводящих вопросах преподавателя.

5.1.2 Типовые задания (оценочное средство - Собеседование) для оценки сформированности компетенции ПК-2:

1. Проверить правильность формулы Рэлея для струны, лежащей на упругом основании.
2. Проверить правильность формулы Рэлея для стержня, совершающего изгибные колебания.
3. Вывести волновое уравнение для волны дилатации из уравнения Ламе.
4. Вывести волновое уравнение для волны сдвига из уравнения Ламе.
5. Показать, что энергия изгибных колебаний стержня переносится с групповой скоростью.
6. Могут ли изгибные волны в стержне распространяться быстрее, чем продольные (ответ обосновать).
7. Каковы характерные особенности и различия постановок задач распространения волн в пластинах и оболочках

Критерии оценивания (оценочное средство - Собеседование)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Ответ полный и правильный на основании изученной теории; теоретический материал и решение поставленных задач изложены в необходимой логической последовательности, грамотный научный язык; ответ самостоятельный. Могут быть допущены две-три несущественные ошибки, исправленные по требованию преподавателя.
не зачтено	Ответ обнаруживает непонимание студентом основного содержания учебного материала или допущены существенные ошибки, которые не могут быть исправлены при наводящих вопросах преподавателя.

5.2. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине при промежуточной аттестации

Шкала оценивания сформированности компетенций

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	не зачтено		зачтено				
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Ошибок нет.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
<u>Умения</u>	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с отдельными и несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие базовых навыков. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов	Продemonстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов	Продemonстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

Шкала оценивания при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне выше предусмотренного программой

	отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично».
	очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»
	хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо».
	удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
не зачтено	неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно».
	плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

5.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения на промежуточной аттестации с указанием критериев их оценивания:

5.3.1 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-2

1. Вывод уравнений динамики распределенных систем по известным лагранжианам; графическое
2. Определение фазовых и групповых скоростей.
3. Вывод волновых уравнений из уравнения Ламе;
4. Нахождение средних плотностей потока энергии по известным значениям плотностей энергии и групповых скоростей;
5. Определение групповой скорости по известной фазовой скорости.
6. Определение закона дисперсии, фазовых и групповых скоростей продольных, крутильных и изгибных волн, распространяющихся в упругих стержнях.
7. Нахождение законов дисперсии и частотно-зависимого затухания волн, распространяющихся в вязкоупругих стержнях.
8. Дисперсионные и диссипативные свойства волн, распространяющихся в пластинах и оболочках.

Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок
не зачтено	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки.

5.3.2 Типовые задания (оценочное средство - Задания) для оценки сформированности компетенции ПК-2

1. Схема получения уравнений динамики распределенных систем по известным лагранжианам;

2. Графическое определение фазовых и групповых скоростей.
3. Алгоритм вывода волновых уравнений из уравнения Ламе;
4. Нахождение средних плотностей потока энергии по известным значениям плотностей энергии и групповых скоростей;
5. Нахождение групповой скорости по известной фазовой скорости.
6. Определение закона дисперсии, фазовых и групповых скоростей продольных, крутильных и изгибных волн, распространяющихся в упругих стержнях.
7. Определение законов дисперсии и частотно-зависимого затухания волн, распространяющихся в вязкоупругих стержнях.
8. Сформулировать дисперсионные и диссипативные свойства волн, распространяющихся в пластинах и оболочках.
9. Привести основные характеристики волновых процессов, определяемые в экспериментах
10. Привести возможные схемы экспериментов по определению основных характеристик волн

Критерии оценивания (оценочное средство - Задания)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Ответ полный и правильный на основании изученной теории; теоретический материал и решение поставленных задач изложены в необходимой логической последовательности, грамотный научный язык; ответ самостоятельный. Могут быть допущены две-три не существенные ошибки, исправленные по требованию преподавателя.
не зачтено	Ответ обнаруживает непонимание студентом основного содержания учебного материала или допущены существенные ошибки, которые не могут быть исправлены при наводящих вопросах преподавателя.

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

Основная литература:

1. Виноградова Марианна Брониславовна. Теория волн : [учеб. пособие для физ. специальностей ун-тов] . - М. : Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1979. - 383 с. : ил. - 1.10., 145 экз.
2. Рабинович Михаил Израилевич. Введение в теорию колебаний и волн : учеб. пособие для физ. специальностей вузов. - М. : Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1984. - 432 с. : ил. - 1.30., 161 экз.
3. Ерофеев Владимир Иванович. Волны в стержнях. Дисперсия. Диссипация. Нелинейность. - М. : Физматлит, 2002. - 208 с. - ISBN 5-9221-0294-X : 21.00., 3 экз.

Дополнительная литература:

1. Артоболевский И. И. Введение в акустическую динамику машин. - М. : Наука, 1979. - 295 с. : ил. - 2.10., 1 экз.
2. Весницкий Александр Иванович. Волновые процессы в одномерных механических системах с движущимися вдоль них объектами : учеб. пособие. - Н. Новгород : Изд-во Нижегород. ун-та, 1998. - 75 с. : ил. - 7.00., 1 экз.
3. Гринченко Виктор Тимофеевич. Гармонические колебания и волны в упругих телах / АН УССР, Ин-т механики. - Киев : Наукова думка, 1981. - 283 с. : ил. - 3.10., 1 экз.

Программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины):

.

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 15.03.03 - Прикладная механика.

Автор(ы): Ерофеев Владимир Иванович, доктор физико-математических наук, профессор.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 10.10.2023 г., протокол № 2.