

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

(факультет / институт / филиал)

УТВЕРЖДЕНО
решением Ученого совета ННГУ
протокол от
«30» ноября 2022 г. № 13

Рабочая программа дисциплины
Волновые процессы в механических системах

(наименование дисциплины (модуля))

Уровень высшего образования
Бакалавриат

(бакалавриат / магистратура / специалитет)

Направление подготовки / специальность
01.03.03 Механика и математическое моделирование

(указывается код и наименование направления подготовки / специальности)

Направленность образовательной программы
Математическое моделирование и компьютерный инжиниринг

(указывается профиль / магистерская программа / специализация)

Форма обучения
Очная

(очная / очно-заочная / заочная)

Нижний Новгород
2023 год

1. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина «Волновые процессы в механических системах» относится к части, формируемой участниками образовательных отношений.

№ варианта	Место дисциплины в учебном плане образовательной программы	Стандартный текст для автоматического заполнения в конструкторе РПД
2	Блок 1. Дисциплины (модули) Часть, формируемая участниками образовательных отношений	Дисциплина Б1.В.02, «Волновые процессы в механических системах» относится к части ООП направления подготовки 01.03.03 Механика и математическое моделирование формируемой участниками образовательных отношений.

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**	
ПК-6 Владение навыками самостоятельного анализа поставленной задачи, выбора корректного метода ее решения, построения алгоритма и его реализации	ПК-6.1. Умеет самостоятельно анализировать задачу, выбирать методы решения, создавать алгоритм решения и реализовывать его.	Умеет самостоятельно применять полученные знания для анализа объекта исследования, создавать алгоритм решения и реализовывать его при решении задач волновых процессов в механических системах	Собеседование. Контрольная работа
	ПК-6.2. Владеет навыками решения практических задач, анализа результатов решения	Владеет навыками решения практических задач волновых процессов в механических системах, анализа результатов решения волнового уравнения	Контрольная работа

3. Структура и содержание дисциплины

3.1. Трудоемкость дисциплины

	очная форма обучения
Общая трудоемкость	4 з.е.
Часов по учебному плану	144
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	
- занятия лекционного типа	26
- занятия семинарского типа	26
- занятия лабораторного типа	

- текущий контроль (КСР)	1
самостоятельная работа	91
Промежуточная аттестация – зачет	

3.2. Содержание дисциплины

Очная форма обучения							
№	Наименование разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	в том числе				СР ¹ часы
			Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы				
			из них				
			ЗЛеТ ²	ЗСеТ ³	ЗЛаТ ⁴	Всего	
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.	Волны в вязкоупругих стержнях	34	6	6		12	22
5.	Волновая динамика пластин и оболочек	17	5	5		10	7
	Текущий контроль (КСР)	1				1	
	ИТОГО	144	26	26	0	53	91
¹ Самостоятельная работа обучающегося. ² Занятия лекционного типа. ³ Занятия семинарского типа. ⁴ Занятия лабораторного типа.							

Краткое 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 Бишоп, 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.

Краткое содержание практических занятий

6. Сведения из теории линейных волн и аналитической механики распределенных систем: получение уравнений динамики распределенных систем по известным лагранжианам; графическое определение фазовых и групповых скоростей.
7. 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.
8. 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.
9. Волны в вязкоупругих стержнях: определение законов дисперсии и частотно-зависимого затухания волн, распространяющихся в вязкоупругих стержнях.
10. Волновая динамика пластин и оболочек: анализ дисперсионных и диссипативных свойств волн, распространяющихся в пластинах и оболочках.

Занятия семинарского типа реализуются в форме, которая предусматривает выполнение обучающимися элементов работ, коррелированных с будущей профессиональной деятельностью.

На проведение занятий семинарского типа отводится 26 часов.

Занятия семинарского типа направлены на формирование и развитие:

- практических навыков в соответствии с профилем ОП: решения прикладных задач волновой динамики для элементов конструкций и анализа результатов решения.
- компетенций – ПК-6.

Текущий контроль успеваемости реализуется в рамках занятий семинарского типа. Промежуточная аттестация проходит в традиционных формах (зачет).

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

В рамках дисциплины предусмотрены следующие виды самостоятельной работы (порядок их выполнения, форма контроля):

- повторение материала, пройденного на занятиях лекционного типа (в течение всего семестра, опрос на занятиях лекционного и семинарского типа),
- самостоятельное изучение отдельных вопросов программы (1 раз в семестр, опрос на занятиях семинарского типа),
- подготовка к занятиям семинарского типа, решение задач по списку, представленному преподавателем (в течение всего семестра, опрос на занятиях семинарского типа),
- подготовка к промежуточному контролю успеваемости (зачет).

Контрольные вопросы и задания для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведены в п. 5.2.

5. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

Фонд оценочных средств включает: контрольные материалы для проведения текущего контроля в форме *задач (практических заданий), контрольных работ* и контрольные материалы для проведения промежуточной аттестации в форме вопросов и заданий к *зачёту*.

5.1. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине

Шкала оценивания сформированности компетенций	Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)		
	<u>Знания</u>	<u>Умения</u>	<u>Навыки</u>

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

Шкала оценки при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно»
	отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «отлично»

Оценка		Уровень подготовки
Не зачтено	очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «очень хорошо»
	хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «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»
	неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо»
	плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

5.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения

5.2.1. Контрольные вопросы

№	Вопрос	Код формируемой компетенции
1.	Проверить правильность формулы Рэлея для струны, лежащей на упругом основании.	ПК-6
2.	Проверить правильность формулы Рэлея для стержня, совершающего изгибные колебания.	ПК-6
3.	Вывести волновое уравнение для волны дилатации из уравнения Ламе.	ПК-6
4.	Вывести волновое уравнение для волны сдвига из уравнения Ламе.	ПК-6
5.	Показать, что энергия изгибных колебаний стержня переносится с групповой скоростью.	ПК-6
6.	Могут ли изгибные волны в стержне распространяться быстрее, чем продольные (ответ обосновать).	ПК-6
7.	Каковы характерные особенности и различия постановок задач распространения волн в пластинах и оболочках	ПК-6
8.	Описать основные схемы экспериментов по определению характеристик волн в пластинах и оболочках	ПК-6

5.2.2. Типовые задания/задачи для оценки сформированности компетенции ПК-6

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).

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература:

1. Виноградова М. Б., Руденко О. В., Сухоруков А. П. - Теория волн: [учеб. пособие для физ. специальностей ун-тов]. - М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1979. - 383 с. (44 экз.)
2. Рабинович М.И., Трубецков Д.И. Введение в теорию колебаний и волн. М.: Наука, 1984. 432 с. (18 экз.)
3. Ерофеев В.И., Кажаяев В.В., Семерикова Н.П. Волны в стержнях. Дисперсия. Диссипация. Нелинейность. М.: Физматлит. 2002. 208 с. (3 экз.)

б) дополнительная литература:

1. Артоболовский И.И., Бобровницкий Ю.И., Генкин М.Д. Введение в акустическую динамику машин. М.: Наука, 1979. 295 с. (1 экз.)
2. Весницкий А. И., Лисенкова Е. Е., Уткин Г. А - Волновые процессы в одномерных механических системах с движущимися вдоль них объектами: учеб. пособие. - Н. Новгород: Изд-во Нижегород. ун-та, 1998. - 75 с. (1 экз.)
3. Гринченко В.Т., Мелешко В.В. Гармонические колебания и волны в упругих телах. Киев: Наукова думка, 1981. 283 с. (1 экз.)
4. Исакович М.А. Общая акустика. М.: Наука, 1973. 496 с. (1 экз.)

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы

(в соответствии с содержанием дисциплины)

не требуются

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Помещения представляют собой учебные аудитории для проведения учебных занятий лекционного и семинарского типа, оснащенные оборудованием и техническими средствами обучения: мультимедийная техника (компьютер, проектор, экран).

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 ОС ННГУ 01.03.03 Механика и математическое моделирование.

Автор(ы) д.ф.-м.н., профессор Ерофеев В.И.

Заведующий кафедрой
теоретической,
компьютерной и
экспериментальной
механики

д.ф.-м.н., профессор Игумнов Л.А.

Программа одобрена на заседании методической комиссии института информационных технологий, математики и механики от 30 ноября 2022 года, протокол № 3.