

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  
президиумом Ученого совета ННГУ  
протокол от  
«14» декабря 2021 г. № 4

**Рабочая программа дисциплины**

Колебания упругих тел

Уровень высшего образования  
бакалавриат

Направление подготовки  
02.03.01 Математика и компьютерные науки

Направленность образовательной программы  
Общий профиль

Форма обучения  
очная

Нижегород

2022 год

## 1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина относится к факультативным дисциплинам ФТД.01.

№ варианта	Место дисциплины в учебном плане образовательной программы	Стандартный текст для автоматического заполнения в конструкторе РПД
3	ФТД. Факультативы	Дисциплина ФТД.01. «Колебания упругих тел» является факультативом в ООП направления подготовки 02.03.01 Математика и компьютерные науки.

## 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**	
ОПК-1 Способен консультировать и использовать фундаментальные знания в области математического анализа, комплексного и функционального анализа алгебры, аналитической геометрии и топологии, дифференциальных уравнений, дискретной математики и математической логики, теории вероятностей, математической статистики и случайных процессов, численных методов, теоретической механики в профессиональной деятельности	ОПК -1.1. Обладает базовыми знаниями, полученными в области математических и (или) естественных наук	<b>Знает</b> методы решения задач из области колебаний упругих тел.	<i>Собеседование, практические задания</i>
	ОПК -1.2. Умеет решать типовые задачи, формулируемые в рамках математических и (или) естественных наук	<b>Умеет</b> применять фундаментальные знания, полученные в области математических и естественных наук, и использовать на занятиях предлагаемого факультатива.	<i>Собеседование, практические задания</i>
	ОПК -1.3. Имеет навыки использования основных понятий, теорем, законов математики и (или) естественных наук для решения задач профессиональной деятельности	<b>Владеет навыками</b> теоретического и экспериментального исследования объектов теории колебаний упругих тел.	<i>Собеседование, практические задания</i>

# 1. Структура и содержание дисциплины

## 3.1. Трудоемкость дисциплины

	очная форма обучения
<b>Общая трудоемкость</b>	<b>1 з.е.</b>
<b>Часов по учебному плану</b>	<b>36</b>
<b>в том числе</b>	
<b>аудиторные занятия (контактная работа):</b>	
- занятия лекционного типа	<b>16</b>
- занятия семинарского типа	<b>16</b>
- занятия лабораторного типа	
- текущий контроль (КСРИФ)	<b>1</b>
<b>самостоятельная работа</b>	<b>3</b>
<b>Промежуточная аттестация – зачет</b>	

## 3.2. Содержание дисциплины

Очная форма обучения							
№	Наименование разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	в том числе				СР <sup>1</sup> , часы
			Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы				
			из них			Всего	
З.Л.Т <sup>2</sup>	З.С.Т <sup>3</sup>	З.Л.Т <sup>4</sup>					
1.	Введение	1	1			1	
2.	Динамические задачи линейной теории упругости	10,5	4	6		10	0,5
3.	Волновые процессы и колебания линейно упругих тел	10	4	5		9	1
4.	Колебания струн, стержней, балок	8,5	4	4		8	0,5
5.	Колебания мембран, пластин, оболочек	2,5	1	1		2	0,5
6.	Численные методы определения частот и форм колебаний упругих тел	1,5	1			1	0,5
7.	Обзор курса	1	1			1	
	Текущий контроль (КСРИФ)	1				1	
	ИТОГО	36	16	16		33	3

1 Самостоятельная работа обучающегося.

2 Занятия лекционного типа.

3 Занятия семинарского типа.

4 Занятия лабораторного типа.

### Краткое содержание разделов и тем дисциплины

- Введение.** Математическое и компьютерное моделирование.
- Динамические задачи линейной теории упругости:** классификация динамических процессов: стационарные и нестационарные процессы; постановка задач в перемещениях.
- Волновые процессы и колебания линейно упругих тел:** волновое уравнение; продольные и поперечные волны, объемные волны и волны сдвига; волны в безграничной упругой среде; плоская, цилиндрическая, сферическая волна; поверхностные волны Рэлея; отражение волн; волны в плоском слое; волны в бесконечном стержне прямоугольного поперечного сечения. Практика: волновое уравнение, формула Даламбера, формула Пуассона, формула Кирхгофа, метод Фурье; волны в безграничной упругой среде; поверхностные волны Рэлея; отражение волн; волны в плоском слое; волны в бесконечном стержне прямоугольного поперечного сечения.
- Колебания струн, стержней, балок:** определение частот и форм собственных колебаний; свободные и вынужденные колебания; продольные, поперечные, крутильные, изгибные колебания.

5. **Колебания мембран, пластин, оболочек:** определение частот и форм собственных колебаний; свободные и вынужденные колебания.
6. **Численные методы определения частот и форм колебаний упругих тел:** численные методы модального анализа, численные решение задач определение частот и форм собственных колебаний стержней, пластин, трехмерных тел.
7. Обзор курса. Подготовка к промежуточной аттестации.

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 *сообщений* 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)		
		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	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.

Шкала оценивания сформированности компетенций		Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)		
		Знания	Умения	Навыки
			объеме, но некоторые с недочетами.	
	<b>очень хорошо</b>	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.
	<b>отлично</b>	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.
	<b>превосходно</b>	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»
	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»
не зачтено	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.	Постановка задачи динамики линейно упругого тела в перемещениях.	ОПК-1
2.	Волновое уравнение.	ОПК-1
3.	Продольная волна.	ОПК-1
4.	Поперечная волна.	ОПК-1
5.	Гармоническая волна. Характеристики гармонической волны.	ОПК-1
6.	Плоская волна.	ОПК-1
7.	Сферическая волна.	ОПК-1
8.	Цилиндрическая волна.	ОПК-1
9.	Влияние границы раздела сред на волновые процессы.	ОПК-1
10.	Поверхностные волны.	ОПК-1
11.	Колебания стержней.	ОПК-1
12.	Колебания пластин и оболочек.	ОПК-1

### 5.2.2. Типовые задания/задачи для оценки сформированности компетенции ОПК-1

#### Практические задания для оценки сформированности компетенции ОПК-1

Сформулировать физическую постановку задачи. Сформулировать математическую постановку задачи: уравнение колебаний, начальные условия, граничные условия. Описать схему получения аналитического решения. Используя систему ANSYS: построить геометрическую модель, построить конечно элементную модель, задать свойства конечных элементов, задать начальные условия, задать граничные условия, получить частоты и формы колебаний, сравнить численное и аналитическое решение (если аналитическое решение известно), обосновать достоверность полученных численных результатов.

Задания, выполняемые в ходе освоения дисциплины (конкретизируются преподавателем индивидуально или для группы обучающихся):

1. Свободные продольные колебания призматических стержней
2. Крутильные колебания круглых валов
3. Свободные поперечные колебания призматических стержней без учёта поперечного сдвига
4. Свободные поперечные колебания призматических стержней с учётом поперечного сдвига
5. Колебания мембран
6. Колебания пластин
7. Колебания прямоугольных пластин
8. Колебания квадратной пластины с эллиптическим отверстием
9. Колебания круглых пластин
10. Колебания круглой пластины с квадратным отверстием
11. Колебания сферического сегмента
12. Колебания сферического сегмента с отверстием

13. Колебания сферического сектора
14. Колебания сферического сектора с отверстием
15. Колебания цилиндрической панели
16. Колебания цилиндрической панели с отверстием
17. Колебания стержня при ударе
18. Колебания пластины при ударе

### **5.2.3. Темы сообщений на занятиях семинарского типа для оценки сформированности компетенции ПК-13**

1. Свободные продольные колебания призматического стержня.
2. Свободные поперечные колебания призматического стержня.
3. Крутильные колебания стержня.
4. Продольный удар по призматическому стержню.
5. Поперечный удар по призматическому стержню.
6. Колебания круглых мембран.
7. Колебания прямоугольных мембран.
8. Колебания круглых пластин.
9. Колебания прямоугольных пластин.

### **5.2.4. Вопросы для собеседования для оценки сформированности компетенции ПК-13**

1. Понятие волнового (колебательного) процесса.
2. Виды волн.
3. Характеристики гармонических волн.
4. Особенности продольных волн.
5. Особенности поперечных волн.
6. Особенности поверхностных волн.
7. Влияние границы раздела сплошных сред.
8. Уравнения движения линейно упругого тела.
9. Закон Гука.
10. Уравнения Ламе.
11. Векторное поле.
12. Виды решений волнового уравнения.
13. Описание продольной волны.
14. Описание поперечной волны.
15. Описание поверхностной волны.
16. Продольные колебания стержней.
17. Поперечные колебания стержней.
18. Крутильные колебания стержней.
19. Колебания мембран.
20. Колебания пластин.
21. Колебания оболочек.
22. Распространение волн при ударе.

### **5.3. Пример заданий (оценочные средства), выносимых на зачет**

1. Свободные продольные колебания призматического стержня.
2. Крутильные колебания стержня.

## 6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

№	а) основная литература:	К-во <sup>1</sup>
1.	Применение системы ANSYS к решению задач механики сплошной среды. Практическое руководство / Под ред. Проф. А.К.Любимова. – Нижний Новгород: Изд-во Нижегородского госуниверситета, 2006. – 227 с. (55 экз.)	55
2.	Пфейффер П. Колебания упругих тел / Пер. с нем. под ред. А.И.Лурье. Изд. 2-е, стереотипное. – М.: КомКнига, 2006. – 152 с. (1934 <a href="http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=86118&amp;DB=1">http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=86118&amp;DB=1</a> )	Э+1
3.	Тимошенко С.П. Янг Д.Х. Уивер У. Колебания в инженерном деле. – М.: Машиностроение, 1985. – 472 с. <a href="http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=300814&amp;DB=1">http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=300814&amp;DB=1</a> – 1 экз, 1967 <a href="http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=300815&amp;DB=1">http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=300815&amp;DB=1</a> – 11 экз.	Э+12
4.	Горшков А.Г. Медведский А.Л. Рабинский Л.Н. Тарлаковский Д.В. Волны в сплошных средах: Учеб. пособ.: Для вузов. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. – 472 с. ( <a href="https://e.lanbook.com/book/47545?category_pk=930#book_name">https://e.lanbook.com/book/47545?category_pk=930#book_name</a> )	Э
5.	Ерофеев В.И. Кажаяев В.В. Семерикова Н.П. Волны в стержнях. Дисперсия. Диссипация. Нелинейность. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002. – 208 с. ( <a href="http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/books/ErofeevKazhaevSemerikova2002ru.djvu">http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/books/ErofeevKazhaevSemerikova2002ru.djvu</a> ).	Э

№	б) дополнительная литература:	К-во <sup>1</sup>
1.	Стретт Дж.В. (лорд Рэлей) Теория звука, Т.1 / Пер. с англ. Изд. 2-е. – М.: ГИТТЛ, 1955. – 503 с. ( <a href="http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/books/Relej_t1_1955ru.djvu">http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/books/Relej_t1_1955ru.djvu</a> ) (4 экз.).	Э+4
2.	Губанова И.И. Пановко Я.Г. Устойчивость и колебания упругих систем: Современные концепции, парадоксы и ошибки Изд. 5-е / 6-е, стереотип. – М.: КомКнига, 2007. – 352 с. (1967-1, 1979-2, 1987-3)	Э+6

№	в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины)	«Л» или «С» <sup>2</sup>
1.	ANSYS	Л
2.	<a href="http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/mechanics.htm">http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/mechanics.htm</a>	С

## 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 ФГОС ВО (3++) 02.03.01 Математика и компьютерные науки

Автор(ы)	_____	к.т.н., доцент Жидков А.В.
Рецензент(ы)	_____	
Заведующий кафедрой	_____	д.ф.-м.н., профессор Игумнов Л.А.

<sup>1</sup> Указывается количество экземпляров в библиотеке ННГУ. Если издание доступно в электронном виде (указана ссылка), указывается буква «Э».

<sup>2</sup> Указывается буква «Л», если программное обеспечение – лицензионное, или «С» – в свободном доступе.

теоретической,  
компьютерной и  
экспериментальной  
механики

---

---

Программа одобрена на заседании методической комиссии института информационных технологий, математики и механики от 01.12.2021 №2.