

Министерство науки и высшего образования  
Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Донецкий государственный университет»

Факультет математики и информационных технологий  
Кафедра теории упругости и вычислительной математики  
имени академика А.С. Космодамианского

УТВЕРЖДАЮ  
проректор



П.А. Машаров

« 29 » марта 2024 г.

МП

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

### МЕТОДЫ КОМПЬЮТЕРНО-МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ВОЛНОВОЙ МЕХАНИКЕ

Укрупненная группа направлений подготовки	01.00.00 Математика и механика
Программа высшего образования	Программа бакалавриата
Направление подготовки	01.03.02 Прикладная математика и информатика
Профиль подготовки / Магистерская программа	Прикладная математика и информатика
Квалификация	Бакалавр
Форма обучения	Очная

Рабочая программа адаптирована для лиц  
с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Донецк 2024

Рабочая программа дисциплины **«Методы компьютерно-математического моделирования в волновой механике»** для обучающихся по направлению подготовки 01.03.02 Прикладная математика и информатика (Профиль: Прикладная математика и информатика), составлена на основании Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования – бакалавриат по направлению подготовки 01.03.02 Прикладная математика и информатика, утвержденного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 10 января 2018 г. № 9 (с изм. и доп.), Порядка организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры, утвержденного приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 06 апреля 2021 г. № 245 (с изм. и доп.), в соответствии с учебным планом, утвержденным Ученым советом ФГБОУ ВО «ДонГУ» для набора 2024 года.

Разработчик:  
профессор кафедры теории упругости  
и вычислительной математики  
им. акад. А.С. Космодамианского,  
д-р физ.-мат. наук, проф.



В.И. Сторожев

Рабочая программа одобрена на заседании кафедры теории упругости и вычислительной математики им. акад. А.С. Космодамианского.  
Протокол от 26.03.2024 г. № 10

Врио заведующего кафедрой



Р.Н. Нескородев

СОГЛАСОВАНО:

Декан факультета математики и  
информационных технологий  
28.03.2024 г.



И.А. Моисеенко

Учебно-методическая комиссия факультета математики и информационных технологий.  
Протокол от 27.03.2024 г. № 3.  
Председатель



Л. И. Селякова

Руководитель основной профессиональной  
образовательной программы,  
д-р физ.-мат. наук, доцент  
26.03.2024 г.



Р.Н. Нескородев

## 1. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

1.1. Требования к предварительной подготовке обучающихся, предшествующие и сопутствующие дисциплины, на которых основывается изучение данной:

Математический анализ, Численные методы, Комплексный анализ, Дифференциальные уравнения, Уравнения математической физики, Математические модели механики твердого тела, Математические модели и методы теории упругости, Математические модели деформирования сред с усложненными свойствами, Модели вязкого и хрупкого разрушения.

1.2. Дисциплины, курсовые работы и практики, для которых освоение данной дисциплины необходимо как предшествующее:

Производственная практика: технологическая (проектно-технологическая) практика (обязательная), Производственная практика: преддипломная практика.

## 2. ОПИСАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 2.1. Общая характеристика

Наименование показателя	Значение показателя
Название образовательной программы	01.03.02 Прикладная математика и информатика (Профиль: Прикладная математика и информатика)
Шифр и название в соответствии с учебным планом	Б1.В.ОД.11 Методы компьютерно-математического моделирования в волновой механике
Часть образовательной программы	Вариативная часть: выбор вуза
Количество зачетных единиц / всего часов	4 / 144

### 2.2. Распределение часов по формам и периодам обучения

Форма обучения	курс	семестр	Общее количество часов					Форма контроля
			лекционных	лабораторных	практических	самостоятельной работы + контроль	всего	
Очная	4	7	34	34	–	76	144	экзамен

## 3. ЦЕЛИ ДИСЦИПЛИНЫ

Усвоение теоретических основ и практических навыков использования методов математического моделирования процессов волновой механики деформируемых сред и получение навыков в области исследования характеристик распространения, отражения, преломления и дифракционного рассеяния объемных поверхностных и нормальных волн в анизотропных упругих телах и элементах конструкций для применения результатов в технологиях неразрушающего ультразвукового контроля, сейсмоакустике и акустоэлектронике.

## 4. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ КОМПОНЕНТА ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ, ИХ ИНДИКАТОРЫ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

### 4.1. Компетенции

Компетенции	Индикаторы	Результаты обучения
ПК-7. Способен проводить исследования и получать научные и прикладные результаты самостоятельно и в составе научного коллектива.	ПК-7.2. Применяет основные положения теории моделирования волновых процессов в деформируемых упругих средах для решения задач научно-исследовательской и профессиональной деятельности.	<p>ПК-7.2.1. Знает основные определения теории упругих волн; типы волн и поляризации; понятие гармонической волны и ее фронта; плоские гармонические волны; амплитудно-модулированные гармонические упругие волны; понятие моды и дисперсии гармонической упругой волны; бездисперсные волны; обратные волны; структуру основной системы динамических уравнений теории упругости; основные классы анизотропии упругих сред; материалы моноклинной, орторомбической, гексагональной и кубической системы; тензорные уравнения движения; волновые потенциалы; уравнение Кристоффеля; преломление продольных и сдвиговых объемных упругих волн при нормальном падении на границу раздела разнородных изотропных полупространств; распространение импульсных упругих волн в изотропном слоистом полупространстве; отражение плоских упругих волн сдвига и продольных упругих волн; нормальные волны сдвига; нормальные волны Релея-Лэмба; симметричные и антисимметричные нормальные волны сдвига; асимптотические свойства нормальных волн сдвига; краевые стоячие волны и их физическую интерпретацию; базисные системы нормальных волн; ангармонические эффекты при распространении монохроматических объемных волн.</p> <p>ПК-7.2.2. Умеет находить фазовую скорость гармонических упругих волн; записывать комплексное и экспоненциальное представление гармонических упругих волн; записывать уравнения движения упругой среды; использовать векторную форму записи определяющих материальных соотношений, матрично-операторную форму равнений волнового деформирования для орторомбической среды, тензорную форму записи основных соотношений, векторную форму уравнений движения для изотропных сред; вычислять фазовые скорости нормальных волн сдвига в свободном изотропном слое; решать задачи о возбуждении нормальных волн сдвига в</p>

		<p>изотропном полуслое, задачи о распространении и свойствах поверхностных волн Лява в составном изотропном полупространстве, задачи о распространении и свойствах поверхностных волн Релея в изотропном полупространстве со свободной границей.</p> <p>ПК-7.2.3. Владеет навыками нахождения групповой скорости гармонических волн; построения диаграмм дисперсионных кривых; решения уравнения динамического деформирования в перемещениях; построения точечной диаграммы матриц упругих постоянных; решения задач о распространении объемных волн в среде с произвольной анизотропией; анализа изменений амплитуд импульсов-откликов с заданными траекториями; применения методики алгебраизации функциональных граничных условий; применения концепции последовательных приближений.</p>
--	--	--

## 5. ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Название темы	Краткое содержание темы (вопросы темы)
Раздел 1. Основные положения теории моделирования волновых процессов в деформируемых упругих средах.	
Сферы применения знаний в области волнового деформирования упругих сред. Неклассические области применения теории упругих волн – неразрушающий ультразвуковой контроль, сейсмоакустика, акустоэлектроника.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Основные положения теории моделирования волновых процессов в деформируемых упругих средах.</li> <li>2. Классические и неклассические сферы применения знаний в области волнового деформирования упругих сред.</li> <li>3. Неразрушающий ультразвуковой контроль.</li> <li>4. Сейсмоакустика.</li> <li>5. Акустоэлектроника.</li> </ol>
Основные определения теории упругих волн. Траектория и напряженность. Типы и поляризация. Ведущие классификационные признаки волновых процессов, линейность и нелинейность, стационарность и нестационарность. Фронт волны.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Основные положения теории моделирования волновых процессов в деформируемых упругих средах.</li> <li>2. Основные определения теории упругих волн.</li> <li>3. Понятия траектории и напряженности, типа и поляризации волн.</li> </ol>

	<p>4. Ведущие классификационные признаки волновых процессов – линейность и нелинейность, стационарность и нестационарность.</p> <p>5. Понятие фронта волны.</p>
<p>Понятие гармонической волны. Формирование представлений гармонических волн по заданным физико-геометрическим характеристикам</p>	<p>1. Основные положения теории моделирования волновых процессов в деформируемых упругих средах.</p> <p>2. Основные определения теории упругих волн.</p> <p>3. Понятия гармонической волны.</p> <p>4. Приемы формирования представлений гармонических волн по заданным физико-геометрическим характеристикам.</p>
<p>Фронт гармонической волны. Плоские гармонические волны. Фазовая скорость гармонических упругих волн. Комплексное экспоненциальное представление гармонических упругих волн.</p>	<p>1. Основные положения теории моделирования волновых процессов в деформируемых упругих средах.</p> <p>2. Основные определения теории упругих волн – понятия фронта гармонической волны, плоских гармонических волн.</p> <p>3. Понятие фазовой скорости гармонических упругих волн.</p> <p>4. Понятие комплексного экспоненциального представления гармонических упругих волн.</p>
<p>Амплитудно- модулированные гармонические упругие волны. Перенос энергии амплитудно- модулированными волнами. Групповая скорость гармонической волны.</p>	<p>1. Основные положения теории моделирования волновых процессов в деформируемых упругих средах.</p> <p>2. Основные определения теории упругих волн – понятия амплитудно-модулированных гармонических упругих волн.</p> <p>3. Перенос энергии амплитудно-модулированными волнами.</p> <p>4. Понятие групповой скорости гармонической волны.</p>
<p>Понятие моды гармонической упругой волны. Дисперсия гармонических волн. Диаграммы дисперсионных кривых. Бездисперсные волны. Обратные волны.</p>	<p>1. Основные положения теории моделирования волновых процессов в деформируемых упругих средах.</p> <p>2. Основные определения теории упругих волн.</p> <p>3. Понятия моды гармонических упругих волн.</p> <p>4. Понятие дисперсии гармонических волн.</p> <p>5. Диаграммы дисперсионных кривых.</p> <p>6. Понятие бездисперсных волн.</p>

	7. Понятие обратных волн.
Раздел 2. Основные соотношения моделей динамического деформирования анизотропных упругих сред.	
Структура основной системы динамических уравнений теории упругости. Уравнения движения упругой среды. Векторная форма записи определяющих материальных соотношений. Уравнения динамического деформирования в перемещениях.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Основные соотношения моделей динамического деформирования анизотропных упругих сред.</li> <li>2. Структура основной системы динамических уравнений теории упругости.</li> <li>3. Уравнения движения упругой среды.</li> <li>4. Векторная форма записи определяющих материальных соотношений.</li> <li>5. Уравнения динамического деформирования в перемещениях.</li> </ol>
Основные классы анизотропии упругих сред. Точечные диаграммы матриц упругих постоянных. Материалы моноклинной, орторомбической, гексагональной и кубической системы.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Основные соотношения моделей динамического деформирования анизотропных упругих сред.</li> <li>2. Основные классы анизотропии упругих сред, основные классы анизотропии упругих сред.</li> <li>3. Точечные диаграммы матриц упругих постоянных.</li> <li>4. Материалы моноклинной, орторомбической, гексагональной и кубической системы.</li> </ol>
Матрично-операторная форма уравнений волнового деформирования для орторомбической среды. Тензорная форма записи соотношений основной системы динамического деформирования. Тензорные уравнения движения.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Основные соотношения моделей динамического деформирования анизотропных упругих сред.</li> <li>2. Структура основной системы динамических уравнений теории упругости.</li> <li>3. Матрично-операторная форма уравнений волнового деформирования для орторомбической среды.</li> <li>4. Тензорная форма записи соотношений основной системы динамического деформирования.</li> <li>5. Тензорные уравнения движения.</li> </ol>
Векторная форма уравнений движения для изотропных сред. Волновые потенциалы.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Основные соотношения моделей динамического деформирования анизотропных упругих сред.</li> <li>2. Структура основной системы динамических уравнений теории упругости.</li> <li>3. Векторная форма уравнений движения для</li> </ol>

	изотропных сред. 4. Теория волновых потенциалов.
Раздел 3. Теоретические модели процессов распространения, отражения и преломления объемных упругих волн.	
Объемные упругие волны в изотропных и гексагональных средах. Решение задачи об объемных волнах в среде с произвольной анизотропией на основе тензорных уравнений движения. Уравнение Кристоффеля.	1. Теоретические модели процессов распространения, отражения и преломления объемных упругих волн. 2. Проблемы расчета скоростей объемных упругих волн в изотропных и гексагональных средах. 3. Решение задачи об объемных волнах в среде с произвольной анизотропией на основе тензорных уравнений движения. 4. Получение уравнения Кристоффеля.
Преломление продольных и сдвиговых объемных упругих волн при нормальном падении на границу раздела разнородных изотропных полупространств. Волновые сопротивления упругих сред.	1. Теоретические модели процессов распространения, отражения и преломления объемных упругих волн. 2. Проблемы анализа процессов преломления продольных и сдвиговых объемных упругих волн при нормальном падении на границу раздела разнородных изотропных полупространств. 3. Волновые сопротивления упругих сред.
Распространение импульсных упругих волн в изотропном слоистом полупространстве. Траектории и задержки импульсов-откликов. Анализ изменений амплитуд импульсов-откликов с заданными траекториями.	1. Теоретические модели процессов распространения, отражения и преломления объемных упругих волн. 2. Задачи распространения импульсных упругих волн в изотропном слоистом полупространстве. 3. Теоретико-экспериментальная методика волновой диагностики строения слоистого упругого полупространства. 4. Методики расчета траекторий и задержки импульсов-откликов. 5. Анализ изменений амплитуд импульсов-откликов с заданными траекториями.
Теоретико-экспериментальная методика волновой диагностики строения слоистого упругого полупространства.	1. Теоретические модели процессов распространения, отражения и преломления объемных упругих волн. 2. Задачи распространения импульсных упругих волн в изотропном слоистом полупространстве. 3. Теоретико-экспериментальная методика



	волновой диагностики строения слоистого упругого полупространства.
Отражение плоских упругих волн сдвига и продольных упругих волн при нормальном и наклонном падении на свободную границу изотропного полупространства.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Теоретические модели процессов распространения, отражения и преломления объемных упругих волн.</li> <li>2. Проблемы анализа процессов отражения плоских упругих волн сдвига и продольных упругих волн при нормальном и наклонном падении на свободную границу изотропного полупространства.</li> </ol>
Раздел 4. Теоретические модели процессов возбуждения и распространения нормальных упругих волн в слое.	
Распространение нормальных упругих волн в изотропном слое. Нормальные волны сдвига. Нормальные волны Релея-Лэмба.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Теоретические модели процессов возбуждения и распространения нормальных упругих волн в слое.</li> <li>2. Распространение нормальных упругих волн в изотропном слое.</li> <li>3. Распространения нормальных волн сдвига.</li> <li>4. Распространения нормальных волн Релея-Лэмба.</li> </ol>
Симметричные и антисимметричные нормальные волны сдвига в свободном изотропном слое. Диаграммы дисперсионных кривых.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Теоретические модели процессов возбуждения и распространения нормальных упругих волн в слое.</li> <li>2. Распространение симметричных и антисимметричных нормальных волн сдвига в свободном изотропном слое.</li> <li>3. Построение диаграмм дисперсионных кривых.</li> </ol>
Асимптотические свойства нормальных волн сдвига в свободном изотропном слое. Фазовые скорости нормальных волн сдвига в свободном изотропном слое. Краевые стоячие волны и их физическая интерпретация.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Теоретические модели процессов возбуждения и распространения нормальных упругих волн в слое.</li> <li>2. Асимптотические свойства нормальных волн сдвига в свободном изотропном слое.</li> <li>3. Вопросы определение фазовых скоростей нормальных волн сдвига в свободном изотропном слое.</li> <li>4. Описания краевых стоячих волн и их физическая интерпретация.</li> </ol>
Симметричные и антисимметричные нормальные волны сдвига в закрепленном на гранях изотропном слое. Диаграммы дисперсионных	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Теоретические модели процессов возбуждения и распространения нормальных упругих волн в слое.</li> <li>2. Симметричные и антисимметричные</li> </ol>

кривых.	нормальные волны сдвига в закрепленном на гранях изотропном слое. 3. Вопросы построения диаграмм дисперсионных кривых
Задачи о возбуждении нормальных волн сдвига в изотропном полуслое. Базисные системы нормальных волн. Методики алгебраизации функциональных граничных условий.	1. Теоретические модели процессов возбуждения и распространения нормальных упругих волн в слое. 2. Диаграммы дисперсионных кривых нормальных волн сдвига в изотропном слое. 3. Вопросы физической интерпретации краевых стоячих волн. 4. Методы исследования задач о возбуждении нормальных волн сдвига в изотропном полуслое.
Раздел 5. Теоретические модели процессов распространения поверхностных упругих волн.	
Задача о распространении и свойствах поверхностных волн Лява в составном изотропном полупространстве.	1. Теоретические модели процессов распространения поверхностных упругих волн Лява в составном изотропном полупространстве.
Задача о распространении и свойствах поверхностных волн Релея в изотропном полупространстве со свободной границей.	1. Теоретические модели процессов распространения поверхностных упругих волн Релея в изотропном полупространстве со свободной границей.
Раздел 6. Теоретические модели процессов распространения слабо нелинейных упругих волн.	
Теория исследования малых ангармонических эффектов при распространении упругих волн. Концепция последовательных приближений.	1. Основные соотношения теории исследования малых ангармонических эффектов при распространении упругих волн. 2. Концепция применения алгоритма последовательных приближений для описания нелинейных ангармонических возмущений.
Ангармонические эффекты при распространении монохроматических объемных волн.	1. Решение задачи об ангармонических эффектах при распространении монохроматических объемных волн сдвига в упругой среде кубической системы.
Нелинейное ангармоническое взаимодействие объемных упругих волн.	1. Решение задачи о нелинейном ангармоническом взаимодействии пары объемных упругих волн сдвига в упругой среде кубической системы.

## 6. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

## 6.1. Форма обучения – очная, курс – 4, семестр – 7

Наименования разделов и тем	Количество часов				
	Лекц.	Лабор.	Практ.	СРС+К	Всего
Раздел 1. Основные положения теории моделирования волновых процессов в деформируемых упругих средах.	<b>7</b>	<b>7</b>	–	<b>14</b>	<b>28</b>
Сферы применения знаний в области волнового деформирования упругих сред. Неклассические области применения теории упругих волн – неразрушающий ультразвуковой контроль, сейсмоакустика, акустоэлектроника.	1	1	–	2	4
Основные определения теории упругих волн. Траектория и напряженность. Типы и поляризация. Ведущие классификационные признаки волновых процессов, линейность и нелинейность, стационарность и нестационарность. Фронт волны.	2	2	–	4	8
Понятие гармонической волны. Формирование представлений гармонических волн по заданным физико-геометрическим характеристикам	1	1	–	2	4
Фронт гармонической волны. Плоские гармонические волны. Фазовая скорость гармонических упругих волн. Комплексное экспоненциальное представление гармонических упругих волн.	1	1	–	2	4
Амплитудно-модулированные гармонические упругие волны. Перенос энергии амплитудно-модулированными волнами. Групповая скорость гармонической волны.	1	1	–	2	4
Понятие моды гармонической упругой волны. Дисперсия гармонических волн. Диаграммы дисперсионных кривых. Бездисперсные волны. Обратные волны.	1	1	–	2	4
Раздел 2. Основные соотношения моделей динамического деформирования анизотропных упругих сред.	<b>4</b>	<b>4</b>	–	<b>12</b>	<b>20</b>
Структура основной системы динамических уравнений теории упругости. Уравнения движения упругой среды. Векторная форма записи определяющих материальных соотношений. Уравнения динамического деформирования в перемещениях.	1	1	–	3	5
Основные классы анизотропии упругих сред. Точечные диаграммы матриц упругих постоянных. Материалы моноклинной, орторомбической, гексагональной и кубической системы.	1	1	–	3	5
Матрично-операторная форма уравнений волнового деформирования для орторомбической среды. Тензорная форма	1	1	–	3	5

записи соотношений основной системы динамического деформирования. Тензорные уравнения движения.					
Векторная форма уравнений движения для изотропных сред. Волновые потенциалы.	1	1	–	3	5
Раздел 3. Теоретические модели процессов распространения, отражения и преломления объемных упругих волн.	<b>5</b>	<b>5</b>	–	<b>14</b>	<b>24</b>
Объемные упругие волны в изотропных и гексагональных средах. Решение задачи об объемных волнах в среде с произвольной анизотропией на основе тензорных уравнений движения. Уравнение Кристоффеля.	1	1	–	3	5
Преломление продольных и сдвиговых объемных упругих волн при нормальном падении на границу раздела разнородных изотропных полупространств. Волновые сопротивления упругих сред.	1	1	–	3	5
Распространение импульсных упругих волн в изотропном слоистом полупространстве. Траектории и задержки импульсов-откликов. Анализ изменений амплитуд импульсов-откликов с заданными траекториями.	1	1	–	2	4
Теоретико-экспериментальная методика волновой диагностики строения слоистого упругого полупространства.	1	1	–	3	5
Отражение плоских упругих волн сдвига и продольных упругих волн при нормальном и наклонном падении на свободную границу изотропного полупространства.	1	1	–	3	5
Раздел 4. Теоретические модели процессов возбуждения и распространения нормальных упругих волн в слое.	<b>8</b>	<b>8</b>	–	<b>16</b>	<b>32</b>
Распространение нормальных упругих волн в изотропном слое. Нормальные волны сдвига. Нормальные волны Релея-Лэмба.	1	1	–	2	4
Симметричные и антисимметричные нормальные волны сдвига в свободном изотропном слое. Диаграммы дисперсионных кривых.	1	1	–	2	4
Асимптотические свойства нормальных волн сдвига в свободном изотропном слое. Фазовые скорости нормальных волн сдвига в свободном изотропном слое. Краевые стоячие волны и их физическая интерпретация.	2	2	–	4	8
Симметричные и антисимметричные нормальные волны сдвига в закрепленном на гранях изотропном слое. Диаграммы дисперсионных кривых.	2	2	–	4	8
Задачи о возбуждении нормальных волн сдвига в изотропном полуслое. Базисные системы нормальных волн. Методики алгебраизации функциональных граничных	2	2	–	4	8

условий.					
Раздел 5. Теоретические модели процессов распространения поверхностных упругих волн.	<b>4</b>	<b>4</b>	–	<b>8</b>	<b>16</b>
Задача о распространении и свойствах поверхностных волн Лява в составном изотропном полупространстве.	2	2	–	4	8
Задача о распространении и свойствах поверхностных волн Релея в изотропном полупространстве со свободной границей.	2	2	–	4	8
Раздел 6. Теоретические модели процессов распространения слабо нелинейных упругих волн.	<b>6</b>	<b>6</b>	–	<b>12</b>	<b>24</b>
Теория исследования малых ангармонических эффектов при распространении упругих волн. Концепция последовательных приближений.	2	2	–	4	8
Ангармонические эффекты при распространении монохроматических объемных волн.	2	2	–	4	8
Нелинейное ангармоническое взаимодействие объемных упругих волн.	2	2	–	4	8
<b>ИТОГО ПО КОМПОНЕНТУ ОПОП</b>	<b>34</b>	<b>34</b>	–	<b>76</b>	<b>144</b>

## 7. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ (СРЕДСТВА) ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

### 7.1. Контрольные вопросы

#### Раздел 1.

1. Определение понятия упругой волны (волны деформаций).
2. Понятие траектории (направления распространения волны).
3. Понятие продольных и поперечных волн, поляризация поперечных волн.

Символьные обозначения типов волн.

4. Понятия волнового импульса, волнового пакета, стационарной гармонической волны;

5. Понятие фронта стационарной и нестационарной волны.

6. Понятие о сферических, цилиндрических, плоских и квазиплоских волнах.

7. Система обозначений и физические размерности в системе СИ для характеристик волновых движений.

8. Общие формы записи функций напряженности трехмерных векторных гармонических упругих волн в действительной и комплексной экспоненциальной форме.

9. Понятия циклической частоты, технической частоты и периода волны.

10. Понятия длины волны и волнового числа.

11. Понятие фазы гармонической волны.

12. Формула для фазовой скорости гармонической упругой волны.

13. Формула для групповой скорости гармонических волн. Физический смысл групповой скорости гармонических волн, являющихся несущей компонентой амплитудно-модулированного сигнала.

14. Понятие моды гармонической упругой волны, диаграммы дисперсионных кривых (классических и расширенных)

15. Понятие о бездисперсных модах, критических частотах мод бегущих волн, модах обратных упругих волн.

#### Раздел 2.

1. Состав полной системы уравнений динамического деформирования, отличие уравнений движения упругой среды от уравнений равновесия.
2. Тензорная форма записи соотношений динамической теории упругости анизотропного тела.
3. Векторная форма уравнений движения в перемещениях для изотропной упругой среды. Интегрирование векторных уравнений в волновых потенциалах.
4. Выражение вектора упругих перемещений через волновые потенциалы.
5. Вид дифференциальных уравнений для каждого из волновых потенциалов.
6. Эквивалентная векторная форма для системы динамических уравнений Ламе.

### Раздел 3.

1. Два типа объемных упругих волн в изотропной среде.
2. Число мод гармонических объемных упругих волн в изотропных и анизотропных телах.
3. Выражения для скоростей объемных упругих волн продольного и сдвигового типа в изотропных средах.
  1. Какой вид имеют соотношения связи углов падения и отражения для случаев падения продольной и поперечной волн?
  2. Зависят ли углы отражения от частоты либо длины падающей волны?
  3. Какое явление называется полным превращением мод Релея?
  4. В чем заключается принцип суперпозиции средних потоков мощности, уносимых отдельными типами волновых движений?

### Раздел 4.

1. Определение понятия нормальные волны или нормальные моды в волноводе.
2. Способ вывода дисперсионных уравнений для нормальных волн Релея-Лэмба в упругом слое.
3. Структура диаграмм дисперсионных кривых для нормальных волн сдвига в изотропном упругом слое.
4. Асимптотические свойства нормальных волн сдвига в изотропном упругом слое в высокочастотном коротковолновом диапазоне.
5. Вид дисперсионных уравнений для симметричных и антисимметричных нормальных сдвиговых волн в слое.
6. Какой является диаграмма дисперсионных кривых для нормальных сдвиговых волн в слое - классической или расширенной?

### Раздел 5.

1. К какому типу относятся поверхностные волны Релея?
2. Обладают ли волны Релея свойством дисперсии?
3. Из какого соотношения определяются скорости волн Релея?
4. Какую форму имеют траектории движения колеблющихся частиц в волнах Релея?
5. К какому типу относятся поверхностные волны Лява?
6. Обладают ли волны Лява свойством дисперсии?
7. Из какого соотношения определяются скорости волн Лява?
8. Как формулируется условие существования волн Лява?

### Раздел 6.

1. Понятие ангармонических эффектов
2. Что такое вторые гармоники стационарных упругих волн?
3. Что такое ангармонические взаимодействия?

Контрольная работа по проверке теоретических знаний – по всем темам, с использованием указанных выше контрольных вопросов.

## 7.2. Образец содержания экзаменационного билета

### ФГБОУ ВО «ДОНЕЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

#### Факультет математики и информационных технологий

Направление подготовки: **01.03.02 Прикладная математика и информатика**  
 Программа подготовки: **бакалавриат**  
 Семестр: **7**  
 Учебная дисциплина: **Методы компьютерно-математического моделирования в волновой механике**

#### БИЛЕТ № xx

1. Понятие дисперсии гармонических волн, связь термина «дисперсия» с особенностями распространения волновых импульсов по модам с дисперсией и без дисперсии. Понятие о диаграммах дисперсионных кривых (классических и расширенных), дисперсионных кривых.

2. Записать представление гармонической волны, которая распространяется вдоль оси  $Ox_2$  ох?, является продольной, имеет амплитуду  $|u_0| = 1 \text{ мк}$  период  $T = 1$  миллисекунда и принадлежит моде  $\omega = 2k$ .

3. По данным о времени задержки трех низких откликов волновых, диагональных импульс продольного типа в сложном массиве  $\Delta t_1 = 1$ ,  $\Delta t_2 = 2$ ,  $\Delta t_3 = 5$  и по величинам коэффициентов изменения амплитуд двух откликов:  $A_1 = 0.6$ ,  $A_2 = 0.2$ ; найти толщины  $h_1 h_2 h_3$  1,2,3 слоев и волновые сопротивления 2 и 3 слоев, если для всех слоев  $\rho = 1$ , а также для первого слоя  $\lambda^{(1)} = 2$ ,  $\mu^{(1)} = 1$ .

Утверждено на заседании кафедры теории упругости и вычислительной математики им. акад. А.С. Космодамианского, протокол № \_\_\_ от \_\_\_\_\_ года

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_  
 (подпись)

**Сторожев В.И.**  
 (фамилия и инициалы)

Экзаменатор \_\_\_\_\_  
 (подпись)

**Сторожев В.И.**  
 (фамилия и инициалы)

В случае ведения учебного процесса с использованием электронного обучения и дистанционных образовательных технологий, содержание билета может отличаться от приведенного.

## 8. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ БАЛЛОВ, КОТОРЫЕ ПОЛУЧАЮТ ОБУЧАЮЩИЕСЯ

Общая оценка знаний обучающихся по дисциплине проводится по 100-балльной шкале исходя из максимума, приведенного в таблице ниже. Организационно-учебная работа в аудитории оценивается на основе таких критериев как посещаемость занятий, своевременное и качественное выполнение домашних заданий, активность во время проведения лекционных и практических занятий (участие в обсуждении текущего и пройденного материала, решение задач и т.п.).

Номера разделов	Виды работ	Максимальное количество баллов
1	Организационно-учебная работа в аудитории	1
	Самостоятельная работа	9
2	Организационно-учебная работа в аудитории	1
	Самостоятельная работа	7
3	Организационно-учебная работа в аудитории	1
	Самостоятельная работа	6
4	Организационно-учебная работа в аудитории	1
	Самостоятельная работа	6
5	Организационно-учебная работа в аудитории	1
	Самостоятельная работа	3
	Контрольная работа	60
6	Организационно-учебная работа в аудитории	1
	Самостоятельная работа	3
ИТОГО		100
Экзамен		100
Общий итог за семестр		100

### Соответствие баллов оценке

Количество баллов из 100	ECTS	Оценка по пятибалльной шкале	
		Экзамен, дифференцированный зачет	Зачет
90-100	A	отлично	зачтено
80-89	B	хорошо	зачтено
75-79	C		зачтено
70-74	D		зачтено
60-69	E	удовлетворительно	зачтено
35-59	FX	неудовлетворительно	не зачтено
0-34	F		не зачтено

## 9. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ДЛЯ ЛИЦ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ И ИНВАЛИДОВ

В ходе реализации дисциплины используются следующие дополнительные методы обучения, текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся в зависимости от их индивидуальных особенностей:

- 1) для слепых и слабовидящих:
  - лекции оформляются в виде электронного документа, доступного с помощью компьютера со специализированным программным обеспечением;
  - для выполнения задания при необходимости предоставляется увеличивающее устройство; возможно также использование собственных увеличивающих устройств;



- письменные задания оформляются увеличенным шрифтом.
- 2) для глухих и слабослышащих:
  - лекции оформляются в виде электронного документа;
  - письменные задания выполняются на компьютере в письменной форме;
  - экзамен проводится в письменной форме на компьютере; возможно проведение в форме тестирования.
- 3) для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:
  - лекции оформляются в виде электронного документа, доступного с помощью компьютера со специализированным программным обеспечением;
  - письменные задания выполняются на компьютере;
  - экзамен и зачёт проводятся в устной форме или выполняются в письменной форме на компьютере.

При необходимости предусматривается увеличение времени для подготовки ответа.

Процедура проведения промежуточной аттестации для обучающихся устанавливается с учётом их индивидуальных психофизических особенностей. Промежуточная аттестация может проводиться в несколько этапов.

Проведение процедуры оценивания результатов обучения допускается с использованием дистанционных образовательных технологий.

Обеспечивается доступ к информационным и библиографическим ресурсам в сети Интернет для каждого обучающегося в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации:

- 1) для слепых и слабовидящих:
  - в печатной форме увеличенным шрифтом;
  - в форме электронного документа;
- 2) для глухих и слабослышащих:
  - в печатной форме;
  - в форме электронного документа.
- 3) для обучающихся с нарушениями опорно-двигательного аппарата:
  - в печатной форме;
  - в форме электронного документа.

## 10. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОГО ПРОЦЕССА

Учебные занятия проводятся в Главном корпусе ДонГУ (г. Донецк, пр. Гурова, 6), в Учебно-практическом вычислительном центре ДонГУ (г. Донецк, пр. Гурова, 6, корпус 12).

Для проведения лекций требуется аудитория, оборудованная меловой или маркерной доской / сенсорным экраном / мультимедийный проектор с экраном и ноутбуком, комплект учебной мебели для студентов, рабочее место преподавателя.

Для проведения практических занятий требуется аудитория, оборудованная меловой или маркерной доской / сенсорным экраном / мультимедийный проектор с экраном и ноутбук, комплект учебной мебели для студентов, рабочее место преподавателя.

Для проведения лабораторных занятий требуется аудитория, оборудованная маркерной доской или сенсорным экраном / мультимедийный проектор с экраном и ноутбук, персональные компьютеры, комплект учебной мебели для студентов, рабочее место преподавателя, выход в Интернет – проводной или с использованием Wi-Fi.

Для самостоятельной работы используются текстовые и электронные ресурсы Научной библиотеки университета и других электронных библиотечных баз данных, учебно-методическое обеспечение, представленное в аудиториях Главного корпуса (ауд. 511, 605, 610).

Обучающиеся имеют возможность использовать учебные материалы по дисциплине, размещенные на платформе Moodle Центра дистанционного образования ФГБОУ ВО «ДонГУ». При изучении дисциплины применяются электронное обучение и дистанционные образовательные технологии.

С использованием ресурсов платформы дистанционного образования осуществляется текущий контроль знаний обучающихся на основе тестирования и проверки результатов самостоятельной работы.

## 11. РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

### 11.1. Основная литература

1. Гордиенко В.А. Векторно-фазовые методы в акустике / В.А. Гордиенко. – Москва: Физматлит, 2007. – 480 с.
2. Поль Р.Р. Механика, акустика и учение о теплоте: [лекции для студентов вузов] / Р.Р. Поль; пер. с 16-го нем. изд. К.А. Леонтьева и В.М. Южакова; под ред. Н.П. Суворова. – Москва: Наука, 1971. – 479 с.
3. Гузь А.Н., Махорт Ф.Г., Гушак И. Введение в акустоупругость. – К.: Наукова думка, 1977. – 151 с.
4. Шутилов В.А. Основы физики ультразвука. – Л.: ЛГУ, 1980. – 280 с.
5. Болнокин В.Е., Сторожев В.П., Зыонг Минь Хай. Исследование систем гидроакустического экранирования для подводных транспортных средств. – Воронеж: Изд-во «Научная книга», 2016. – 196 с.
6. Руденко О.В. Нелинейная акустика в задачах и примерах : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по специальностям 010701 – Физика, 010802 – Фундаментальная радиофизика и физическая электроника / О.В. Руденко, С.Н. Гурбатов, К.М. Хедберг. – Москва: Физматлит, 2007. – 175 с.
7. Тимошенко С.П. Теория упругости / С.П. Тимошенко, Д. Гудьер; Пер. с англ. Г.С. Рейтмана; Под ред. Г.С. Шапиро. – М.: Наука, 1975. – 575 с.
8. Лившиц М.С. Операторы, колебания, волны; Открытые системы / М.С. Лившиц. – М.: Наука, 1966. – 298 с.

### 11.2. Дополнительная литература

9. Завадский В.Ю. Вычисление волновых полей в открытых областях и волноводах. – М.: Наука, 1972. – 558 с.
10. Васильева В.А., Карабутов А.А., Лапшин Е.А., Руденко О.В. Взаимодействие одномерных волн в средах без дисперсии. – М.: МГУ, 1983. – 151 с.
11. Белишев, М.И. Динамические обратные задачи теории волн / М.И. Белишев, А.С. Благовещенский; С.-Петербург. гос. ун-т. – СПб.: Изд-во СПбГУ, 1999. – 268 с.

## 12. ИНФОРМАЦИОННЫЕ РЕСУРСЫ

1. **Национальная электронная библиотека (НЭБ):** федеральная государственная информационная система / Министерство Культуры РФ; Российская государственная библиотека. – Москва, 2019- . – URL: <https://rusneb.ru/> (дата обращения: 01.09.2023). – Режим доступа: свободный, подписка. Необходима установка программного обеспечения. – Текст: электронный.
2. **eLIBRARY.RU:** научная электронная библиотека: сайт. – Москва, 2000- . – URL: <https://elibrary.ru> (дата обращения: 01.09.2023). – Режим доступа: для авторизов. пользователей. –Текст: электронный.
3. Научная электронная библиотека **«КиберЛенинка»:** сайт / Ассоциация «Открытая наука». – Москва, 2014- . – URL: <https://cyberleninka.ru/>. – Режим доступа: свободный. – Текст: электронный.

4. Электронно-библиотечная система «Лань»: [сайт]. – URL: <https://e.lanbook.com> (дата обращения: 01.09.2023). – Режим доступа: для авторизов. пользователей. – Текст: электронный.
5. ЭБС Юрайт: электронная библиотечная система: сайт. – Москва, 2013. – URL: <https://biblio-online.ru> (дата обращения: 01.09.2023). – Режим доступа: для авторизов. пользователей. – Текст: электронный.
6. Электронно-библиотечная система ДонГУ: сайт / ФГБОУ ВО «ДонГУ». – Донецк, 2016- . – URL: <http://library.donnu.ru/> (дата обращения: 01.09.2023). – Режим доступа: свободный. – Текст: электронный.
7. Электронный каталог Научной библиотеки ДонГУ: раздел сайта / НБ ДонГУ. – Текст: электронный // ЭБС ДонГУ: сайт. – URL: <http://library.donnu.ru/catalog/> (дата обращения: 01.09.2023). – Режим доступа: поиск свободный, электронные документы – для пользователей ДонГУ.
8. Электронный архив ДонГУ: раздел сайта / НБ ДонГУ. – Текст: электронный // ЭБС ДонГУ: сайт. – URL: <http://repo.donnu.ru/> (дата обращения: 01.09.2023). – Режим доступа: свободный.

### 13. ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

1. Windows 7 PRO (корпоративная лицензия ДонГУ № 46484614)
2. Microsoft Office (корпоративная лицензия ДонГУ № 46472919)
3. Microsoft Visual Studio (лицензия программы Dream Spark для высших учебных заведений)
4. Антивирус Касперского, Adobe Acrobat Reader, xPDF (лицензии GPL, Apache, BSD для свободного программного обеспечения).