

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
«17» апреля 2025 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 |
| Направленность (профиль) образовательной программы | Прикладная математика и информатика |
| Квалификация | Бакалавр |
| Форма обучения | Очная |

Рабочая программа может быть адаптирована для лиц
с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Донецк 2025

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 2025 года.

Разработчик:

доцент кафедры теории упругости
и вычислительной математики
им. акад. А.С. Космодамианского,
канд. физ.-мат. наук

М. Н. Пачева

Рабочая программа одобрена на заседании кафедры теории упругости и вычислительной математики им. акад. А.С. Космодамианского.
Протокол от 03.04.2025 г. № 10.

И. о. заведующего кафедрой

И. А. Моисеенко

СОГЛАСОВАНО:

Декан факультета математики и
информационных технологий
16.04.2025 г.

И. А. Моисеенко

Учебно-методическая комиссия факультета математики и информационных технологий.
Протокол от 16.04.2025 г. № 3.
Председатель

Л. И. Селякова

Руководитель основной образовательной
программы, д-р физ.-мат. наук, доц.
03.04.2025 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:

дисциплины программы бакалавриата: 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 (далее – ОП) | 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 |

В случае предъявления от обучающегося или его родителя (законного представителя) заявления на обучение по адаптированной образовательной программе высшего образования, подкрепленного заключением психолого-медико-педагогической комиссии (ПМПК) или медико-социальной экспертизы (МСЭ) с рекомендациями создания индивидуальной программы реабилитации и абилитации (ИПРА), данная рабочая программа может быть адаптирована с учетом индивидуальных особенностей здоровья обучающегося.

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

| Компетенции | Индикаторы | Результаты обучения |
|--|---|--|
| ПК-5. Способен проводить исследования и получать научные и прикладные результаты самостоятельно и в составе научного коллектива | ПК-5.1. Применяет основные положения теории моделирования волновых процессов в деформируемых упругих средах для решения задач научно-исследовательской и профессиональной деятельности. | <p>ПК-5.1.1. Знает основные определения и понятия теории упругих волн; структуру основной системы динамических уравнений теории упругости; основные классы анизотропии упругих сред.</p> <p>ПК-5.1.2. Умеет записывать комплексное и экспоненциальное представление гармонических упругих волн; записывать уравнения движения упругой среды; использовать векторную форму записи определяющих материальных соотношений, матрично-операторную форму уравнений волнового деформирования для орторомбической среды, тензорную форму записи основных соотношений.</p> <p>ПК-5.1.3. Владеет навыками вычисления фазовой и 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; применения методики алгебраизации функциональных граничных условий.</p> |

5. ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

| Название темы | Краткое содержание темы (вопросы темы) |
|--|--|
| Раздел 1. | |
| Основные положения теории моделирования волновых процессов в деформируемых упругих средах. | <ol style="list-style-type: none"> 1. Сферы применения знаний в области волнового деформирования упругих сред. 2. Основные определения теории упругих волн. 3. Понятие гармонической упругой волны. 4. Фазовая скорость гармонической волны. 5. Понятие моды гармонической упругой волны. 6. Диаграммы дисперсионных кривых. 7. Амплитудно-модулированные гармонические упругие волны. 8. Групповая скорость гармонической волны. 9. Комплексное экспоненциальное представление гармонических упругих волн. |

| | |
|--|---|
| Основные соотношения моделей динамического деформирования анизотропных упругих сред. | <ol style="list-style-type: none"> 1. Структура основной системы динамических уравнений теории упругости. 2. Основные классы анизотропии упругих сред. Точечные диаграммы матриц упругих постоянных. 3. Матрично-операторная форма уравнений волнового деформирования для орторомбической среды. 4. Тензорная форма записи соотношений основной системы динамического деформирования. 5. Векторная форма уравнений движения для изотропных сред. |
| Теоретические модели процессов распространения, отражения и преломления объемных упругих волн. | <ol style="list-style-type: none"> 1. Объемные упругие волны в изотропных и гексагональных средах. 2. Решение задачи об объемных волнах в среде с произвольной анизотропией. 3. Преломление продольных и сдвиговых объемных упругих волн при нормальном падении на границу раздела разнородных изотропных полупространств. 4. Распространение импульсных упругих волн в изотропном слоистом полупространстве. 5. Теоретико-экспериментальная методика волновой диагностики строения слоистого упругого полупространства. 6. Отражение плоских упругих волн сдвига и продольных упругих волн при нормальном и наклонном падении на свободную границу изотропного полупространства. |
| Теоретические модели процессов возбуждения и распространения нормальных упругих волн в слое. | <ol style="list-style-type: none"> 1. Распространение нормальных упругих волн в изотропном слое. 2. Симметричные и антисимметричные нормальные волны сдвига в свободном изотропном слое. 3. Симметричные и антисимметричные нормальные волны сдвига в закрепленном на гранях изотропном слое. 4. Задачи о возбуждении нормальных волн сдвига в изотропном полуслое. |
| Теоретические модели процессов распространения поверхностных упругих волн. | <ol style="list-style-type: none"> 1. Задача о распространении и свойствах поверхностных волн Лява в составном изотропном полупространстве. 2. Задача о распространении и свойствах поверхностных волн Релея в изотропном полупространстве со свободной границей. |

| | |
|---|--|
| Теоретические модели процессов распространения слабо нелинейных упругих волн. | 1. Основные соотношения теории исследования малых ангармонических эффектов при распространении упругих волн. 2. Концепция применения алгоритма последовательных приближений для описания нелинейных ангармонических возмущений. 3. Ангармонические эффекты при распространении монохроматических объемных волн. 4. Нелинейное ангармоническое взаимодействие объемных упругих волн. |
|---|--|

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. | 34 | 34 | – | 76 | 144 |
| Основные положения теории моделирования волновых процессов в деформируемых упругих средах. | 8 | 8 | – | 14 | 30 |
| Основные соотношения моделей динамического деформирования анизотропных упругих сред. | 4 | 4 | – | 12 | 20 |
| Теоретические модели процессов распространения, отражения и преломления объемных упругих волн. | 6 | 6 | – | 14 | 26 |
| Теоретические модели процессов возбуждения и распространения нормальных упругих волн в слое | 8 | 8 | – | 16 | 32 |
| Теоретические модели процессов распространения поверхностных упругих волн. | 4 | 4 | – | 8 | 16 |
| Теоретические модели процессов распространения слабо нелинейных упругих волн. | 4 | 4 | – | 12 | 20 |
| ИТОГО ПО КОМПОНЕНТУ ОПОП | 34 | 34 | – | 76 | 144 |

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.
16. Состав полной системы уравнений динамического деформирования, отличие уравнений движения упругой среды от уравнений равновесия.
17. Тензорная форма записи соотношений динамической теории упругости анизотропного тела.
18. Векторная форма уравнений движения в перемещениях для изотропной упругой среды.
19. Выражение вектора упругих перемещений через волновые потенциалы.
20. Эквивалентная векторная форма для системы динамических уравнений Ламе.
21. Два типа объемных упругих волн в изотропной среде.
22. Выражения для скоростей объемных упругих волн продольного и сдвигового типа в изотропных средах.
23. Какой вид имеют соотношения связи углов падения и отражения для случаев падения продольной и поперечной волн?
24. Зависят ли углы отражения от частоты либо длины падающей волны?
25. Какое явление называется полным превращением мод Релея?
26. В чем заключается принцип суперпозиции средних потоков мощности, уносимых отдельными типами волновых движений?
27. Способ вывода дисперсионных уравнений для нормальных волн Релея-Лэмба в упругом слое.
28. Структура диаграмм дисперсионных кривых для нормальных волн сдвига в изотропном упругом слое.
29. Асимптотические свойства нормальных волн сдвига в изотропном упругом слое в высокочастотном коротковолновом диапазоне.
30. Вид дисперсионных уравнений для симметричных и антисимметричных нормальных сдвиговых волн в слое.
31. Какой является диаграмма дисперсионных кривых для нормальных сдвиговых волн в слое - классической или расширенной?
32. К какому типу относятся поверхностные волны Релея?
33. Обладают ли волны Релея свойством дисперсии?
34. Из какого соотношения определяются скорости волн Релея?
35. Какую форму имеют траектории движения колеблющихся частиц в волнах Релея?
36. К какому типу относятся поверхностные волны Лява?
37. Обладают ли волны Лява свойством дисперсии?
38. Из какого соотношения определяются скорости волн Лява?
39. Как формулируется условие существования волн Лява?
40. Понятие ангармонических эффектов
41. 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 (при наличии экзамена по дисциплине)

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 , является продольной, имеет амплитуду $|u_0|=1$, период $T = 1$ миллисекунд и принадлежит моде $\omega = 2k$.

3. По данным о времени задержки трех низких откликов волновых, диагональных импульсов 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 $\lambda^{(1)} = 2, \mu^{(1)} = 1$.

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.).

Самостоятельная работа оценивается на основе предоставленных на проверку выполненных домашних, индивидуальных заданий с учетом своевременности их предоставления и соответствия требованиям к их выполнению.

Количество баллов за контрольную работу вычисляется как сумма баллов за все входящие в её состав задания. Каждое задание оценивается исходя из максимально возможного количества баллов с учетом правильности выполнения задания, полноты приводимых обоснований.

По результатам работы в семестре обучающийся, набравший не менее 60 баллов, имеет право получить оценку. Те, кто претендует на более высокий балл, проходят промежуточную аттестацию. Максимальное количество баллов на промежуточной аттестации – 100. Общее количество баллов за семестр вычисляется как максимальная из полученных за семестр и на промежуточной аттестации и выставляется согласно принятому порядку.

| Номера разделов | Виды работ | Максимальное количество баллов |
|------------------------------------|---|--------------------------------|
| 1 | Организационно-учебная работа в аудитории | 10 |
| | Самостоятельная работа | 30 |
| | Контрольная работа | 60 |
| ИТОГО | | 100 |
| Промежуточная аттестация (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 | удовлетворительно | зачтено |
| 60-69 | E | | зачтено |
| 35-59 | FX | неудовлетворительно | не зачтено |
| 0-34 | F | | не зачтено |

9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОГО ПРОЦЕССА

Учебные занятия проводятся в Главном корпусе ДонГУ (г. Донецк, пр. Гурова, 6). Для проведения занятий требуется аудитория, оборудованная меловой или маркерной доской, мультимедийный проектор и экран, ноутбук, 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 учебно-методическом кабинете Главного корпуса (ауд. 605).

Обучающиеся имеют возможность использовать учебные материалы по дисциплине, размещенные на платформе Moodle Центра дистанционного образования ФГБОУ ВО «ДонГУ». При изучении дисциплины могут применяться 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.

10. РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

10.1. 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.

10.2. 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.

11. 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: 31.03.2025). – 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: 31.03.2025). – Режим доступа: для авторизов. пользователей. – Текст: электронный.
3. Научная электронная библиотека **«КиберЛенинка»:** сайт / Ассоциация «Открытая наука». – Москва, 2014- . – URL: <https://cyberleninka.ru/> (дата обращения: 31.03.2025). – Режим доступа: свободный. – Текст: электронный.
4. Электронно-библиотечная система **«Лань»:** [сайт]. – URL: <https://e.lanbook.com> (дата обращения: 31.03.2025). – Режим доступа: издания Сетевой электронной библиотеки, для авторизов. пользователей. – Текст: электронный.
5. **ЭБС Юрайт:** электронная библиотечная система: сайт. – Москва, 2013. – URL: <https://urait.ru/library/svobodnyy-dostup/> (дата обращения: 31.03.2025). – Режим доступа: издания свободного доступа, для авторизов. пользователей. – Текст: электронный.
6. **Электронно-библиотечная система ДонГУ:** сайт / ФГБОУ ВО «ДонГУ». – Донецк, 2016- . – URL: <http://library.donnu.ru/> (дата обращения: 31.03.2025). – 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: 31.03.2025). – 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: 31.03.2025). – Режим доступа: свободный.

12. 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).