

Министерство науки и высшего образования РФ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

Б1.В.ДВ.01.02 Волновые движения деформируемых сред  
наименование дисциплины (модуля) в соответствии с учебным планом

Направление подготовки / специальность

02.04.01 Математика и компьютерные науки

Направленность (профиль)

02.04.01.01 Математическое и компьютерное моделирование

Форма обучения

очная

Год набора

2021

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Программу составили \_\_\_\_\_

д.ф.-м.н., профессор, Садовский В.М.

\_\_\_\_\_  
должность, инициалы, фамилия

## 1 Цели и задачи изучения дисциплины

### 1.1 Цель преподавания дисциплины

Целями освоения дисциплины являются:

- ознакомление с общими методами математического описания процессов распространения волн напряжений и деформаций в упругих, вязкоупругих и упругопластических средах;
- формирование умений и навыков применения изученного материала к анализу волновых явлений.

### 1.2 Задачи изучения дисциплины

Задачи изучения дисциплины заключаются в

- формировании знаний о современных математических методах описания волновых движений; общих подходах к построению определяющих уравнений реологически сложных сред; общих закономерностях распространения, отражения и преломления волн в деформируемых средах.
- отработке умений применять изученный материал к решению задач механики волновых движений; использовать специальную литературу, справочники, математические энциклопедии.
- овладении практическими навыками самостоятельной работы при постановке динамических задач теории упругости и пластичности, при их решении.

### 1.3 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

| Код и наименование индикатора достижения компетенции  | Запланированные результаты обучения по дисциплине  |
|---|--|
| <b>ПК-5: Способен создавать и исследовать новые математические модели в естественных науках, промышленности и бизнесе, с учетом возможностей современных информационных технологий, программирования и компьютерной техники</b> |  |
| ПК-5.1: Формулирует математические постановки классических моделей, применяемых в естественных науках, промышленности и бизнесе   | Классические математические модели волновых движений деформируемых сред<br>Формулировать постановки задач возникающих в классических моделях волновых движений деформируемых сред<br>Методами решения задач волновых движений деформируемых сред   |
| ПК-5.2: Создает, исследует и анализирует математические модели, применяемые в естественных науках, промышленности и бизнесе   | Текущие математические модели, применяемые для моделирования волновых движений деформируемых сред<br>Создавать и исследовать новые математические модели волновых движений деформируемых сред<br>Методами построения и анализа математических моделей волновых движений деформируемых сред |

|  |  |
|--|--|
| ПК-5.3: Применяет языки  | Современные языки программирования и пакеты  |
| программирования и пакеты прикладных программ для проведения математического моделирования при помощи компьютерной техники | прикладных программ для моделирования волновых движений деформируемых сред<br>Формулировать задачи волновых движений деформируемых сред для решения их специальными пакетами программ<br>Навыками решения задач волновых движений деформируемых сред с помощью языков программирования и пакетов прикладных программ |

#### **1.4 Особенности реализации дисциплины**

Язык реализации дисциплины: Русский.

Дисциплина (модуль) реализуется без применения ЭО и ДОТ.

## 2. Объем дисциплины (модуля)

| Вид учебной работы                         | Всего,<br>зачетных<br>единиц<br>(акад.час) | е |
|--|--|---|
|  |  | 1 |
| <b>Контактная работа с преподавателем:</b> | <b>1,42 (51)</b>                           |   |
| занятия лекционного типа                   | 0,47 (17)                                  |   |
| практические занятия                       | 0,94 (34)                                  |   |
| <b>Самостоятельная работа обучающихся:</b> | <b>2,58 (93)</b>                           |   |
| курсовое проектирование (КП)               | Нет  |   |
| курсовая работа (КР)                       | Нет  |   |
| <b>Промежуточная аттестация (Экзамен)</b>  | <b>1 (36)</b>                              |   |

### 3 Содержание дисциплины (модуля)

#### 3.1 Разделы дисциплины и виды занятий (тематический план занятий)

|                          |  | Контактная работа, ак. час.    |                          |   |                          |  |                          |                                     |                          |
|--------------------------|--|--------------------------------|--------------------------|---|--------------------------|--|--------------------------|-------------------------------------|--------------------------|
| №<br>п/п                 | Модули, темы (разделы) дисциплины  | Занятия<br>лекционного<br>типа |                          | Занятия семинарского типа                 |                          |  |                          | Самостоятельная<br>работа, ак. час. |                          |
|                          |  |                                |                          | Семинары и/или<br>Практические<br>занятия |                          | Лабораторные<br>работы и/или<br>Практикумы |                          |                                     |                          |
|                          |  | Всего                          | В том<br>числе в<br>ЭИОС | Всего                                     | В том<br>числе в<br>ЭИОС | Всего                                      | В том<br>числе в<br>ЭИОС | Всего                               | В том<br>числе в<br>ЭИОС |
| <b>1. Общие сведения</b> |  |                                |                          |   |                          |  |                          |                                     |                          |
|                          | 1. Основы механики деформируемых сред. Напряжение. Деформация. Упругость. Пластичность. Ползучесть. Релаксация. Простейшие модели одноосного растяжения–сжатия. Состояние чистого сдвига. Простейшие математические модели. Удельная работа. Потенциальная (упругая) энергия. Пластическая диссипация. | 1                              |                          |   |                          |  |                          |                                     |                          |
|                          | 2. Основы механики деформируемых сред. Напряжение. Деформация. Упругость. Пластичность. Ползучесть. Релаксация. Простейшие модели одноосного растяжения–сжатия.  |                                |                          | 1   |                          |  |                          |                                     |                          |
|                          | 3. Состояние чистого сдвига. Простейшие математические модели. Удельная работа. Потенциальная (упругая) энергия. Пластическая диссипация.  |                                |                          | 1   |                          |  |                          |                                     |                          |

|  |   |  |   |  |  |  |  |  |
|--|---|--|---|--|--|--|--|--|
| 4. Наследственная теория упругости. Модель Максвелла. Модель Кельвина–Фойхта. Описание ползучести, релаксации, диссипации в рамках этих моделей. Обобщенная модель вязкоупругой среды Больцмана. Ядро релаксации. Ядро ползучести. Определяющие уравнения Поинтинга–Томсона. | 1 |  |   |  |  |  |  |  |
| 5. Наследственная теория упругости. Модель Максвелла. Модель Кельвина–Фойхта. Описание ползучести, релаксации, диссипации в рамках этих моделей.   |   |  | 1 |  |  |  |  |  |
| 6. Обобщенная модель вязкоупругой среды Больцмана. Ядро релаксации. Ядро ползучести. Определяющие уравнения Поинтинга–Томсона.   |   |  | 1 |  |  |  |  |  |
| 7. Преобразование Лапласа. Принцип соответствия Вольтера. Плоские упругие волны. Основные уравнения. Приведение системы к безразмерному виду. Инварианты Римана. Интегрирование уравнений для инвариантов. Задача распада разрыва.   | 1 |  |   |  |  |  |  |  |
| 8. Преобразование Лапласа. Принцип соответствия Вольтера.  |   |  | 1 |  |  |  |  |  |
| 9. Плоские упругие волны. Основные уравнения. Приведение системы к безразмерному виду. Инварианты Римана. Интегрирование уравнений для инвариантов. Задача распада разрыва.  |   |  | 1 |  |  |  |  |  |
| 10. Модельное уравнение Хопфа. Общее решение. Коллапс. Ударная волна. Волна разрежения. Метод характеристик. Задача Римана. Распространение и отражение плоских волн. Принцип суперпозиции. Волны напряжений от действия П-образного импульса.                               | 1 |  |   |  |  |  |  |  |

|   |   |  |   |  |  |  |   |  |
|---|---|--|---|--|--|--|---|--|
| 11. Модельное уравнение Хопфа. Общее решение. Коллапс. Ударная волна. Волна разрежения.   |   |  | 1 |  |  |  |   |  |
| 12. Метод характеристик. Задача Римана. Распространение и отражение плоских волн. Принцип суперпозиции. Волны напряжений от действия П-образного импульса.  |   |  | 1 |  |  |  |   |  |
| 13. Вычисление резонансных частот для упругого слоя заданной толщины. Бегущие волны. Монохроматические волны. Частота. Волновое число. Фазовая скорость. Дисперсия.   | 1 |  |   |  |  |  |   |  |
| 14. Вычисление резонансных частот для упругого слоя заданной толщины.   |   |  | 1 |  |  |  |   |  |
| 15. Бегущие волны. Монохроматические волны. Частота. Волновое число. Фазовая скорость. Дисперсия.   |   |  | 1 |  |  |  |   |  |
| 16. Примеры построения дисперсионных уравнений для различных моделей (упругие волны в стержне с учетом поперечной инерции, плоские волны в среде Максвелла и Кельвина–Фойхта). Задача о прохождении плоской волны через границу раздела двух упругих сред. Акустический импеданс. Коэффициент отражения. Коэффициент прохождения. | 1 |  |   |  |  |  |   |  |
| 17. Примеры построения дисперсионных уравнений для различных моделей (упругие волны в стержне с учетом поперечной инерции, плоские волны в среде Максвелла и Кельвина–Фойхта).  |   |  | 1 |  |  |  |   |  |
| 18. Задача о прохождении плоской волны через границу раздела двух упругих сред. Акустический импеданс. Коэффициент отражения. Коэффициент прохождения.  |   |  | 1 |  |  |  |   |  |
| 19. Изучение теоретического курса (ТО)  |   |  |   |  |  |  | 7 |  |



|  |   |  |   |  |  |  |   |  |
|--|---|--|---|--|--|--|---|--|
| 20. Выполнение домашних работ  |   |  |   |  |  |  | 7 |  |
| <b>2. Модели механики деформируемых сред</b>   |   |  |   |  |  |  |   |  |
| 1. Эквивалентные определения тензора. Формулы преобразования ковариантных и контравариантных компонент. Операции над тензорами. Примеры тензоров. Метрический тензор. Тензор дисторсии. Тензоры напряжений и деформации. Тензор поворота. Инварианты тензоров. | 1 |  |   |  |  |  |   |  |
| 2. Эквивалентные определения тензора. Формулы преобразования ковариантных и контравариантных компонент. Операции над тензорами. Примеры тензоров. Метрический тензор. Тензор дисторсии.  |   |  | 1 |  |  |  |   |  |
| 3. Тензоры напряжений и деформации. Тензор поворота. Инварианты тензоров.  |   |  | 1 |  |  |  |   |  |
| 4. Закон Гука для пространственного состояния среды. Модуль Юнга, коэффициент Пуассона, модуль объемного сжатия, параметры Ламе. Принцип отвердевания. Дифференциальные уравнения движения. Система уравнений Ламе.  | 1 |  |   |  |  |  |   |  |
| 5. Закон Гука для пространственного состояния среды. Модуль Юнга, коэффициент Пуассона, модуль объемного сжатия, параметры Ламе.   |   |  | 1 |  |  |  |   |  |
| 6. Принцип отвердевания. Дифференциальные уравнения движения. Система уравнений Ламе.  |   |  | 1 |  |  |  |   |  |
| 7. Представление поля перемещений в виде суперпозиции потенциального и соленоидального полей. Уравнения продольных и поперечных волн в безграничной среде. Симметрическая форма уравнений динамической теории упругости.                                       | 1 |  |   |  |  |  |   |  |

|  |   |  |   |  |  |  |    |  |
|--|---|--|---|--|--|--|----|--|
| 8. Представление поля перемещений в виде суперпозиции потенциального и соленоидального полей. Уравнения продольных и поперечных волн в безграничной среде.                                   |   |  | 1 |  |  |  |    |  |
| 9. Симметрическая форма уравнений динамической теории упругости.   |   |  | 1 |  |  |  |    |  |
| 10. Теория упругопластического течения. Приведение основных соотношений к вариационному неравенству. Соотношения сильного разрыва. Упругие и пластические ударные волны. Контактные разрывы. | 1 |  |   |  |  |  |    |  |
| 11. Теория упругопластического течения. Приведение основных соотношений к вариационному неравенству.   |   |  | 1 |  |  |  |    |  |
| 12. Соотношения сильного разрыва. Упругие и пластические ударные волны. Контактные разрывы.  |   |  | 1 |  |  |  |    |  |
| 13. Изучение теоретического курса (ТО)   |   |  |   |  |  |  | 14 |  |
| 14. Выполнение домашних работ  |   |  |   |  |  |  | 15 |  |
| <b>3. Волны в упругих и пластических средах</b>  |   |  |   |  |  |  |    |  |
| 1. Пространственное волновое уравнение. Функционально-инвариантные решения Смирнова–Соболева. Задача об отражении продольной волны от свободной границы полупространства.                    | 2 |  |   |  |  |  |    |  |
| 2. Пространственное волновое уравнение. Функционально-инвариантные решения Смирнова–Соболева.  |   |  | 2 |  |  |  |    |  |
| 3. Задача об отражении продольной волны от свободной границы полупространства.   |   |  | 2 |  |  |  |    |  |
| 4. Задача об отражении поперечной волны. Случай полного внутреннего отражения поперечной волны.  | 1 |  |   |  |  |  |    |  |

|   |    |  |    |  |  |  |    |  |
|---|----|--|----|--|--|--|----|--|
| 5. Задача об отражении поперечной волны.  |    |  | 1  |  |  |  |    |  |
| 6. Случай полного внутреннего отражения поперечной волны.   |    |  | 1  |  |  |  |    |  |
| 7. Поверхностные волны Рэлея и Лява. Сферические и цилиндрические упругие волны.  | 2  |  |    |  |  |  |    |  |
| 8. Поверхностные волны Рэлея и Лява.  |    |  | 2  |  |  |  |    |  |
| 9. Сферические и цилиндрические упругие волны.  |    |  | 2  |  |  |  |    |  |
| 10. Распространение упругих волн в неоднородных средах. Лучевой метод. Волны в плоскостной среде в приближении геометрической оптики. | 1  |  |    |  |  |  |    |  |
| 11. Распространение упругих волн в неоднородных средах. Лучевой метод.  |    |  | 1  |  |  |  |    |  |
| 12. Волны в плоскостной среде в приближении геометрической оптики.  |    |  | 1  |  |  |  |    |  |
| 13. Плоские пластические волны. Волны нагружения и разгрузки. Сферические и цилиндрические волны в пластической среде.                | 1  |  |    |  |  |  |    |  |
| 14. Плоские пластические волны. Волны нагружения и разгрузки.   |    |  | 1  |  |  |  |    |  |
| 15. Сферические и цилиндрические волны в пластической среде.  |    |  | 1  |  |  |  |    |  |
| 16. Изучение теоретического курса (ТО)  |    |  |    |  |  |  | 25 |  |
| 17. Выполнение домашних работ   |    |  |    |  |  |  | 25 |  |
| Всего   | 17 |  | 34 |  |  |  | 93 |  |

#### **4 Учебно-методическое обеспечение дисциплины**

##### **4.1 Печатные и электронные издания:**

1. Бреховских Л. М., Годин О. А., Чепурин Ю. А., Гончаров В. В., Селиванов В. Г. Акустика неоднородных сред: Т. 1. Основы теории отражения и распространения звука: в 2-х томах(Москва: Наука).
2. Седов Л. И. Механика сплошной среды: Т. 2: [в 2 томах](Москва: Наука).
3. Бреховских Л. М., Годин О. А. Акустика неоднородных сред: Том 2. Звуковые поля в слоистых и трехмерно- неоднородных средах: в 2-х томах(Москва: Наука).
4. Мейз Д. Э. Теория и задачи механики сплошных сред(Москва: Мир).
5. Седов Л. И. Механика сплошной среды: Т. 1: [в 2 томах](Москва: Наука).
6. Клаербоут Д. Ф. Теоретические основы обработки геофизической информации с приложением к разведке нефти: перевод с английского (Москва: Недра).
7. Петрашень Г. И. Распространение волновых полей сигнального типа в упругих сейсмических средах: учебник(Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский университет [СпбГУ]).
8. Шемякин Е. И. Динамические задачи теории упругости и пластичности: [курс лекций](Новосибирск: Новосибирский университет [НГУ]).
9. Ватульян А. О. Обратные задачи в механике деформируемого твердого тела(Москва: Физматлит).
10. Садовский В.В. Волновые движения деформируемых сред: [учеб-метод. материалы к изучению дисциплины для ...02.04.01.01 Математическое и компьютерное моделирование, 02.04.01.02 Вычислительная математика] (Красноярск: СФУ).

##### **4.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение, в том числе отечественного производства (программное обеспечение, на которое университет имеет лицензию, а также свободно распространяемое программное обеспечение):**

1. Использование программного обеспечения не предусмотрено.

##### **4.3 Интернет-ресурсы, включая профессиональные базы данных и информационные справочные системы:**

1. Использование информационных справочных систем не предусмотрено.

#### **5 Фонд оценочных средств**

Оценочные средства находятся в приложении к рабочим программам дисциплин.

#### **6 Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)**

Лекционная аудитория.