

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Кубанский государственный университет»
Факультет компьютерных технологий и прикладной математики

УТВЕРЖДАЮ:
Проректор по научной работе и
инновациям
Барышев М.Г.
2018 г.



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
Б1.В.ДВ.1.2 МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И КОМПЬЮТЕРНОЕ
МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЛНОВЫХ ПРОЦЕССОВ

Направление подготовки **01.06.01 Математика и механика**

Направленность 01.02.04 Механика деформируемого твердого тела

Форма обучения очная

Квалификация (степень) выпускника Исследователь. Преподаватель-исследователь

Краснодар 2018

Рабочая программа дисциплины «Математическое и компьютерное моделирование волновых процессов» составлена в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования (ФГОС ВО) по направлению подготовки 01.06.01 математика и механика (уровень подготовки кадров высшей квалификации), приказ № 866 от 30 июля 2014 г.

Программу составил(и):

Глушков Е.В., доктор физико-математических наук, профессор кафедры прикладной математики



подпись

Рабочая программа дисциплины «Математическое и компьютерное моделирование волновых процессов» утверждена на заседании кафедры математического моделирования
протокол № 11 «16» апреля 2018 г.

Заведующий кафедрой математического моделирования
Бабешко В.А.



подпись

Рабочая программа дисциплины «Математическое и компьютерное моделирование волновых процессов» утверждена на заседании кафедры прикладной математики
протокол № 7 «18» апреля 2018 г.

Заведующий кафедрой прикладной математики
Урtenов М.Х.



подпись

Зав. отделом аспирантуры и докторантуры Строганова Е.В.



подпись

Рецензенты:

Евдокимова О.В., д-р физ.-мат. наук, зав. лаб. математики и механики ЮНЦ РАН

Щербаков Е.А., д-р физ.-мат. наук, проф. кафедры теории функций КубГУ

1. Цели и задачи учебной дисциплины

1.1 Цели изучения дисциплины определены государственным образовательным стандартом высшего профессионального образования и соотнесены с общими целями ООП ВО по направлению подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре по направлению подготовки 01.06.01 Математика и механика, в рамках которой преподается дисциплина.

Целью дисциплины «Математическое и компьютерное моделирование волновых процессов» является освоение полуаналитических методов моделирования волновых полей и приемов создания на этой основе компьютерных моделей, овладение современными технологиями математического и компьютерного моделирования волновых процессов и явлений с применением пакетов и средств компьютерного анализа и автоматизированного расчетного проектирования.

1.2 Задачи дисциплины:

- изучение теории и методов анализа волновой динамики упругих слоистых материалов;
- освоение и совершенствование навыков применения полуаналитических численных методов и прикладного программного обеспечения для расчета характеристик волновых процессов на базе прикладных пакетов, языков и сред программирования.

1.3 Место учебной дисциплины в структуре ООП ВО

Дисциплина «Математическое и компьютерное моделирование волновых процессов» относится к вариативной части профессионального цикла и является дисциплиной по выбору обучающегося. Она имеет логическую и содержательно – методическую взаимосвязь с дисциплинами основной образовательной программы. Дисциплина базируется на компетенциях, сформированных на предыдущем уровне образования. Для изучения математического и компьютерного моделирования волновых процессов требуется качественное знание основных разделов высшей математики и современных физических концепций, также знание основных математических моделей механики сплошных сред.

Освоение данной дисциплины необходимо обучающимся для успешного освоения дисциплины ООП направления подготовки «Механика смарт материалов и структур», а также при проведении исследований, связанных с тематикой диссертационной работы.

В совокупности изучение этой дисциплины готовит обучающихся к различным видам научно-исследовательской деятельности в области фундаментальной и прикладной математики, механики, естественных наук, преподавательской деятельности в области математики, механики, информатики.

Курс «Математическое и компьютерное моделирование волновых процессов» читается обучающимся 2-го курса (4-й семестр).

1.4 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

В результате изучения дисциплины обучающийся должен овладеть рядом профессиональных компетенций.

Общепрофессиональные компетенции	
ОПК-1	способностью самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий
Профессиональные компетенции	
ПК-1	способностью к комплексному анализу результатов научно-исследовательских работ и грамотному использованию на практике основных принципов, концепций и методов механики деформируемого твердого тела на уровне современного развития науки, техники и технологий

1.5. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Аспиранты, завершившие изучение дисциплины «Дополнительные главы функционального анализа и топологии», должны:

шифр	Структура компетенции
знать	
ОПК-1	– состояние вопроса в исследуемой области, нерешенные актуальные задачи и перспективные способы их решения и тематические информационные ресурсы З(ОПК-1)-1
ПК-1	– основные понятия и гипотезы динамических задач теории упругости и исследуемых моделей волновых процессов З(ПК-1)-1
уметь	
ОПК-1	– выбрать подход к исследованию задачи в области изучения волновых процессов в упругих телах, обосновать выбор соответствующих методов и грамотно их использовать; применять полуаналитические и прямые численные методы, и пакеты прикладных программ для решения динамических волновых задач У(ОПК-1)-1;
ПК-1	– формулировать динамические краевые задачи; строить интегральное

	представление решения с помощью преобразования Фурье; У(ПК-1)-1 – выделять объемные и бегущие волны из интегрального представления; реализовывать полученные решения в виде компьютерных программ У(ПК-1)-1
владеть	
ОПК-1	– навыками работы с информацией из различных источников для решения профессиональных задач; основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации В(ОПК-1)-1 ; – навыками профессионального участия в научных дискуссиях, обсуждения полученных результатов и их представления в виде научных публикаций и отчетов В(ОПК-1)-2 ;
ПК-1	– основами теории анализа динамики волновых процессов; техникой применения полуаналитических методов; навыками использования и совершенствования численных методов и программного обеспечения для расчета характеристик волновых процессов на базе прикладных пакетов, языков и сред программирования (Mathematica, Comsol, Matlab, Fortran). В(ПК-1)-1

2. Структура и содержание дисциплины

2.1 Распределение трудоемкости дисциплины по видам работ

Общая трудоёмкость дисциплины составляет 4 зач.ед. (144 часа), их распределение по видам работ представлено в таблице (для аспирантов ОФО).

Вид учебной работы	Всего часов	Семестр
		4
Аудиторные занятия (всего)	20	20
В том числе:		
Занятия лекционного типа	8	8
Лабораторные работы	12	12
Самостоятельная работа (всего)	97	97
В том числе:		
Самоподготовка (проработка и повторение лекционного материала и материала учебников и учебных пособий, подготовка к лабораторным работам)	45	45
Самостоятельное изучение разделов	52	52
Вид промежуточной аттестации (экзамен)	27	27
Общая трудоемкость	144	144

час	4	4
зач.ед.		

2.2 Структура учебной дисциплины

Распределение видов учебной работы и их трудоемкости по разделам дисциплины.

Разделы дисциплины, изучаемые во 4 семестре (для аспирантов ОФО)

1.5. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

№	Наименование разделов	Количество часов				
		Всего	Аудиторная работа		Внеаудиторная работа	
			Л	ЛР	СР	контроль
1	2	3	4	5	6	7
1.	Краевые задачи динамической теории упругости для стратифицированных сред	18	2	2	14	3
2.	Вопросы единственности и разрешимости динамических задач для упругом стратифицированного волновода	10	-		10	3
3.	Методы решения интегральных уравнений динамических смешанных задач	17	-	2	13	4
4.	Анализ волновых полей, возбуждаемых гармоническими поверхностными источниками в упругом стратифицированном волноводе	16	2	2	12	4
5.	Нестационарные волны	14	2	2	12	4
6.	Энергия упругих волн, возбуждаемых в стратифицированном упругом волноводе поверхностными источниками	18	2	2	14	4
7.	Внутренние источники	10	-	2	10	5
Итого по дисциплине:		144	8	12	97	27

2.3 Содержание разделов дисциплины:

2.3.1 Занятия лекционного типа

№ раздела	Наименование раздела	Содержание раздела	Форма текущего контроля
IV семестр			
1	Краевые задачи динамической теории упругости для стратифицированных сред	<i>Постановка динамических краевых задач для полугораниченных вертикально-неоднородных упругих сред при наличии источников колебаний. Условия излучения. Правила выбора контура интегрирования и ветвей радикалов. Методы построения матрицы Грина для упругого полупространства и упругого слоя.</i>	Устный вопрос по лекционному материалу и дополнительно изученной литературе
4	Анализ волновых полей, возбуждаемых гармоническими поверхностными источниками в упругом стратифицированном упругом волноводе	<i>Интегральное представление волновых полей, ближняя зона. Асимптотический анализ в дальней от источника зоне, объемные, поверхностные и каналовые волны. Волны Лэмба и SH-волны.</i>	Устный вопрос по лекционному материалу и дополнительно изученной литературе
5	Нестационарные волны	<i>Общие свойства интегральных представлений нестационарных волн. Анализ нестационарных волн в дальней зоне. Нестационарный импульс в многослойном полупространстве.</i>	Устный вопрос по лекционному материалу и дополнительно изученной литературе
6	Энергия упругих волн, возбуждаемых в стратифицированном упругом волноводе поверхностными источниками	<i>Энергия упругих волн. Мощность поверхностного источника. Поток энергии через плоскость, параллельную поверхности среды. Поток энергии в дальней зоне. Энергетический баланс стратифицированного полупространства и многослойной среды конечной толщины. Энергия нестационарного импульса.</i>	Устный вопрос по лекционному материалу и дополнительно изученной литературе

2.3.2 Занятия семинарского типа

Семинарские занятия не предусмотрены.

2.3.3 Лабораторные занятия

№ раздела	Наименование раздела	Наименование лабораторных работ	Форма текущего контроля
1	2	3	4
IV семестр			
1.	Краевые задачи динамической теории упругости для стратифицированных сред	<i>Разработка численного алгоритма построения Фурье-символа матрицы Грина для многослойного упругого волновода.</i>	доклад-сообщение
3.	Методы решения интегральных уравнений динамических смешанных задач	<i>Численная реализация метода Галеркина для упругого волновода со смешанными граничными условиями</i>	Задание для самостоятельной работы
		<i>Разработка численного алгоритма решения интегральных уравнений типа Винера-Хопфа методом бесконечных систем с последующей регуляризацией.</i>	Задание для самостоятельной работы
4.	Анализ волновых полей, возбуждаемых гармоническими поверхностными источниками в упругом стратифицированном волноводе	<i>Построение асимптотического представления волновых полей в дальней зоне в случае упругого полупространства</i>	устный опрос
		<i>Построение асимптотического представления волновых полей в дальней зоне в виде суммы бегущих волн в случае упругого слоя</i>	устный опрос
5.	Нестационарные волны	<i>Разработка и реализация алгоритма для решения нестационарной волновой задачи</i>	доклад-сообщение
6.	Энергия упругих волн, возбуждаемых в стратифицированном упругом волноводе поверхностными источниками	<i>Численный расчет потока энергии через плоскость параллельную поверхности среды для упругого волновода</i>	доклад-сообщение
		<i>Проверка энергетического баланса упругого полупространства</i>	доклад-сообщение
		<i>Построение линий тока для упругого слоя конечной толщины</i>	доклад-сообщение
7.	Внутренние источники	<i>Метод фундаментальных решений для слоистого упругого волновода. Метод слоистых элементов.</i>	Задание для самостоятельной работы

2.3 Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)

№	Наименование раздела
1	2
1	Краевые задачи динамической теории упругости для стратифицированных сред
2	Вопросы единственности и разрешимости динамических задач для упругого стратифицированного волновода
3	Методы решения интегральных уравнений динамических смешанных задач
4	Анализ волновых полей, возбуждаемых гармоническими поверхностными источниками в упругом стратифицированном волноводе
5	Нестационарные волны
6	Энергия упругих волн, возбуждаемых в стратифицированном упругом волноводе поверхностными источниками
7	Внутренние источники

Целью самостоятельной работы является углубление знаний, полученных в результате аудиторных занятий. Содержание приведенной основной и дополнительной литературы позволяет охватить широкий круг задач и методов механики деформируемого твердого тела.

При проведении самостоятельной работы для решения и исследования задач могут применяться пакеты Matlab и/или COMSOL Multiphysics.

3. Образовательные технологии

В процессе освоения данной учебной дисциплины используются следующие образовательные технологии: проблемная лекция, лекция-диалог с элементами группового взаимодействия, структурированная дискуссия, аналитический семинар, компьютерное моделирование на лабораторных занятиях, презентации и командная работа.

4. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации

4.1 Фонд оценочных средств для проведения текущей аттестации

Перечень вопросов для устного опроса

Раздел 1.

1. Дайте постановку краевой задачи в случае колебаний упругого полупространства под действием гармонических поверхностных нагрузок.
2. Кратко опишите этапы решения системы уравнений Ляме для упругого свободного слоя, под действием гармонических поверхностных нагрузок, используя преобразование Фурье.
3. Сформулируйте условия излучения. Чем вызвана необходимость их использования?

4. Чем вызвана необходимость выбора специального вида для экспонент в представлении решения?
5. Каким образом и для чего необходимо деформировать контур интегрирования при вычислении обратного преобразования Фурье при решении модельной задачи?
6. Как правильно выбрать направление замыкания контура интегрирования?

Раздел 4.

1. Запишите интегральное представление волновых полей в ближней зоне.
2. Какие сложности возникают при численной реализации интегрального представления волновых полей в ближней зоне, как их можно преодолеть?
3. Асимптотика объемных волн в дальней зоне. Вклад стационарных функций.
4. Асимптотика поверхностных и каналовых волн в дальней зоне.
5. Выделение волн Лэмба и SH-волн.

Раздел 5.

1. Каким условиям должна удовлетворять функция, чтобы к ней было применимо преобразование Лапласа?
2. Постановка задачи для нестационарных колебаний с произвольной зависимостью от времени.
3. Интегральное преобразование Лапласа, основные свойства преобразования.
4. Принцип суперпозиции для линейных колебательных систем: разложение нестационарного решения на гармонические составляющие.
5. Физическая интерпретация картин волновых фронтов, получающихся при анализе нестационарных волн в дальней зоне.

Раздел 6.

1. Что определяет вектор Умова?
2. Энергия поверхностного источника.
3. Особенности выбора контура интегрирования при расчете потока энергии через плоскость, параллельную поверхности среды.
4. Поток энергии через боковую поверхность цилиндра радиуса r .
5. Поток энергии через нижнюю полусферу радиуса R .
6. Диаграммы направленности энергии объемных волн.

Примерные темы для докладов-сообщений

Раздел 1

1. Алгоритм построения Фурье-символа матрицы Грина для трансверсально-изотропного полупространства (двумерный случай)
2. Алгоритм построения Фурье-символа матрицы Грина для трансверсально-изотропного полупространства (трехмерный случай)
3. Алгоритм построения Фурье-символа матрицы Грина для трансверсально-изотропного слоя (двумерный случай)

4. Алгоритм построения Фурье-символа матрицы Грина для трансверсально-изотропного слоя (трехмерный случай)

Раздел 5

1. Методы расчета и визуализации нестационарных волновых полей
2. Особенности решения нестационарной задачи в случае резонансной локализации колебаний возле препятствия в слоистом упругом волноводе.

Раздел 6

1. Методики визуализации линий тока энергии с использованием современных пакетов прикладных программ.
2. Формирование вихрей энергии при взаимодействии упругих волн с препятствиями в слоистых упругих волноводах/

Примерные задания для самостоятельной работы

Раздел 3.

Задача 1. С использованием проекционного метода Галеркина (базисную и проекторную систему функций выбрать самостоятельно) или метода бесконечных систем решить смешанные краевые задачи для упругого волновода толщины H (1-5) (рассмотреть случай плоской деформации).

Граничные условия имеют следующий вид:

$$z = 0 : a) |x| > a : \tau(x, z) = 0, |x| \leq a : u(x, z) = q(x)$$

$$b) |x| > a : u(x, z) = 0, |x| \leq a : \tau(x, z) = q(x)$$

$$c) |x| > a : \tau(x, z) = \delta(x - x_0), \text{ где } x_0 \notin [-a, a] |x| \leq a : u(x, z) = 0$$

$$z = -H : d) u(x, z) = 0; e) \tau(x, z) = 0$$

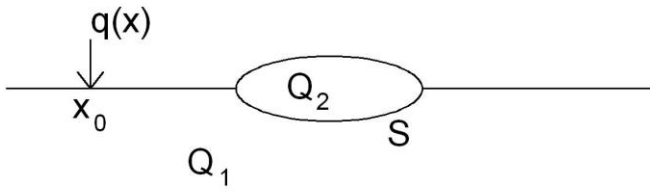
Возможные варианты: 1) a,d; 2) b,d; 3) c,e.

Раздел 7.

Задача 2. Решить гармонические и нестационарные краевые задачи для уравнения Ламе в случае плоской деформации, используя метод фундаментальных решений или метод слоистых элементов (по выбору обучающегося); геометрия задачи представлена на Рисунках 1-12. Верхняя и нижняя плоскопараллельные границы волновода свободны от напряжений. Каждой подобласти Q_i соответствует свои значения констант Ламе. В области контакта подобластей Q_i использовать условия указанные под рисунком. В качестве оконной функции для нестационарной задачи использовать функцию вида:

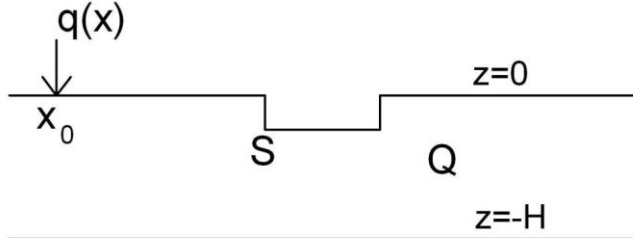
$$F(\omega) = \begin{cases} \cos^2 \pi \left(\frac{\omega - \omega_0}{2\Delta\omega} \right), & |\omega - \omega_0| \leq \Delta\omega \\ 0, & |\omega - \omega_0| > \Delta\omega. \end{cases}$$

1)



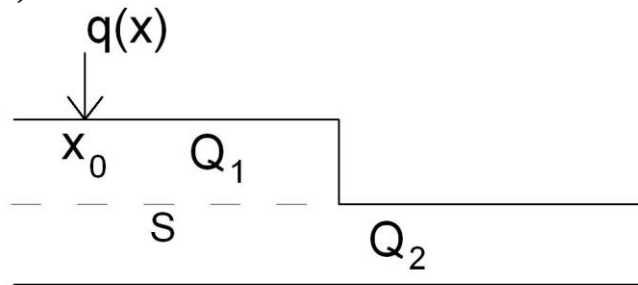
$$S : \mathbf{u}_1(x, z) = \mathbf{u}_2(x, z); \quad \boldsymbol{\tau}_1(x, z) = \boldsymbol{\tau}_2(x, z)$$

2)



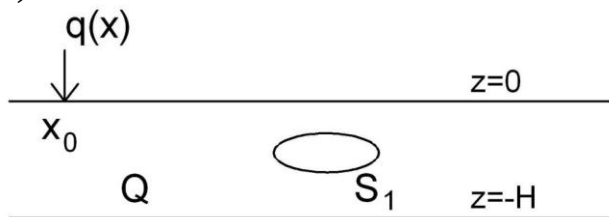
$$S : \boldsymbol{\tau}(x, z) = 0$$

3)



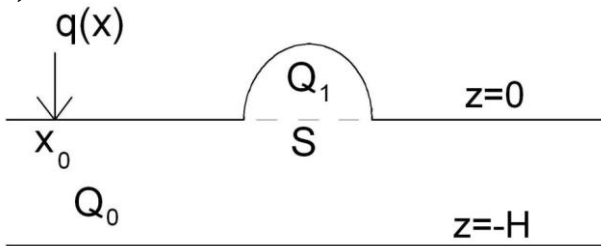
$$S : \mathbf{u}_1(x, z) = \mathbf{u}_2(x, z); \quad \boldsymbol{\tau}_1(x, z) = \boldsymbol{\tau}_2(x, z)$$

4)



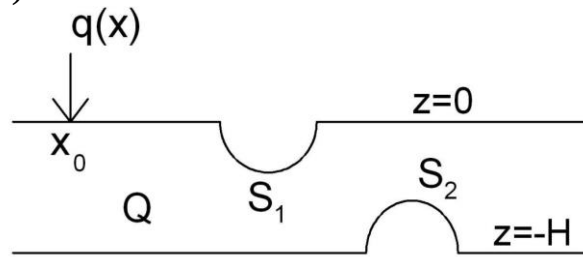
$$S : \boldsymbol{\tau}(x, z) = 0$$

5)



$$S : \mathbf{u}_1(x, z) = \mathbf{u}_2(x, z); \quad \boldsymbol{\tau}_1(x, z) = \boldsymbol{\tau}_2(x, z)$$

6)



$$S_1 : \tau(x, z) = 0; \quad S_2 : \tau(x, z) = 0$$

4.2 Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации

Примерный перечень вопросов к экзамену

1. Основные определения и постановка задачи динамической теории упругости для полупространства и слоя.
2. Матрица Грина упругого полупространства.
3. Матрица Грина упругого слоя.
4. Основные свойства интегральных операторов динамических контактных задач.
5. Системы интегральных операторов для поверхностных источников колебаний.
6. Теоремы единственности. Доказательство.
7. Проекционный метод Галеркина.
8. Метод бесконечных систем.
9. Интегральное представление волновых полей в ближней зоне.
10. Метод стационарной фазы. Вклад невырожденной стационарной точки.
11. Асимптотическое представление объемных волн в дальней зоне.
12. Асимптотическое представление поверхностных и каналовых волн в дальней зоне.
13. Бегущие волны в упругом слое: волны Лэмба, SH-волны.
14. Нестационарные волны. Представление решения нестационарной задачи через решение гармонической задачи.
15. Представление нестационарных волн в дальней зоне.
16. Энергия упругих волн. Вектор Умова.
17. Мощность поверхностного источника.
18. Энергия объемных волн, проходящих через плоскость, параллельную поверхности среды.

19. Энергия поверхностных и каналовых волн, переносимых через плоскость, параллельную поверхности среды.
20. Энергия, переносимая волнами Лэмба.
21. Поток энергии в дальней зоне.
22. Баланс энергии стратифицированного полупространства и упругого слоя.
23. Перераспределение энергии в неоднородной среде.
24. Фундаментальное решение для внутреннего источника.
25. Внутренние источники в полупространстве.
26. Внутренние источники в упругом слое. Метод слоистых элементов.

5. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

5.1 Основная литература:

1. Алдошин Г.Т. Теория линейных и нелинейных колебаний. СПб.: Лань, 2013. 320 с. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/4640>.
2. Гурбатов С.Н., Руденко О.В., Саичев А.И. Волны и структуры в нелинейных средах без дисперсии. Приложения к нелинейной акустике. М.: Физматлит, 2011. 496 с. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/2171>.
3. Карлов, Н.В. Колебания, волны, структуры / Н.В. Карлов, Н.А. Кириченко. М.: Физматлит, 2008. 498 с. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/2192>.

5.2 Дополнительная литература:

4. Александров В.М. Аналитические методы в контактных задачах теории упругости/ В.М. Александров, М.И. Чебаков. М.: Физматлит, 2004. 299 с. + [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/48233>.
5. Бабешко В.А. Динамика неоднородных линейно-упругих сред./ В.А. Бабешко, Е.В. Глушков, Ж.Ф. Зинченко. М.: Наука, 1989. 343 с.
6. Бабешко В.А. Обобщенный метод факторизации в пространственных динамических смешанных задачах теории упругости / В.А. Бабешко. М.: Наука, 1984. 254 с.
7. Глушков Е.В. Интегральные преобразования в задачах теории упругости / Е.В. Глушков, Н.В. Глушкова. Краснодар: КубГУ, 1990. 72 с.
8. Князев П.Н. Интегральные преобразования. М.: URSS, 2014. 197 с.

9. Горшков А.Г. Волны в сплошных средах / А.Г. Горшков, А. Л. Медведовский, Л. Н. Рабинский, Д. В. Тарлаковский. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. 467 с.
10. Моделирование ударно-волновых процессов в упругопластических материалах на различных (атомный, мезо и термодинамический) структурных уровнях. М.; Ижевск: изд-во Института компьютерных исследований, 2014. 295 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=468342>

5.3. Периодические издания:

Использование периодических изданий не предусматривается.

6. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины (модуля)

<http://e.lanbook.com/>

<http://znanium.com/>

<http://www.biblioclub.ru>

<http://eqworld.impnet.ru/ru/library/mechanics/silid.htm>.

7. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

В рамках освоения курса аспирант готовит доклад-сообщение, который представляет собой презентацию на заданную тематику, подготовленную средствами MS PowerPoint (или open-source аналоги) или в системе верстки LaTeX. В зависимости от выбранной тематики доклада презентация может содержать постановку задачи, краткое описание методики решения, а также основные результаты в графической форме.

По итогам выполнения заданий для самостоятельной работы необходимо представить текстовый отчет, содержащий постановку задачи, описание метода решения и особенностей его численной реализации. Кроме того в графическом виде должны быть представлены результаты проверки граничных условий, а также результаты расчета волновых полей. Отчеты выполняются на листах формата A4. Страницы текста, рисунки, формулы нумеруют, рисунки снабжают подрисуночными надписями. Текст следует печатать шрифтом №14 с интервалом между строками в 1,5 интервала, без недопустимых сокращений. В конце отчета должны быть сделаны выводы. Отчет должен быть подписан студентом с указанием даты ее оформления. Отчеты, выполненные без соблюдения перечисленных требований, возвращаются на доработку. Для подготовки отчета допускается использование редактора MS Word (или его open-source аналогов) или системы верстки LaTeX.

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

8.1 Перечень необходимого программного обеспечения

1. Операционная система MS Windows.
2. Интегрированное офисное приложение MS Office.
3. Программное обеспечение для организации управляемого коллективного и безопасного доступа в Интернет.
4. Matlab.
5. COMSOL Multiphysics

8.2 Перечень необходимых информационных справочных систем

1. Электронная библиотечная система издательства “Лань” (www.e.lanbook.com)
2. Электронная библиотечная система “Университетская Библиотека онлайн” (www.biblioclub.ru)
3. Электронная библиотечная система “ZNANIUM.COM” (www.znanium.com)
4. База данных Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU <https://elibrary.ru/>
5. База данных Всероссийского института научной и технической информации (ВИНИТИ) РАН <http://www2.viniti.ru/>
6. Базы данных в сфере интеллектуальной собственности, включая патентные базы данных www.rusnano.com
7. Базы данных и аналитические публикации «Университетская информационная система РОССИЯ» <https://uisrussia.msu.ru/>

9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине

№	Наименование специальных* помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень оборудования и технических средств обучения
	Аудитория, для лекционных занятий	Учебная мебель, компьютерная техника, стационарное или переносное мультимедийное оборудование (129, 131, 133, А305, А307, А508, 239А)
	Аудитория, для лабораторных занятий	Аудитория для семинарских занятий, укомплектованная необходимой мебелью (доска, столы, стулья) компьютерами с лицензионным программным обеспечением и

№	Наименование специальных* помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень оборудования и технических средств обучения
		выходом в интернет (106, 106а, А301, А504, 239А)
	Аудитория, для практических занятий	Аудитория для семинарских занятий, укомплектованная необходимой мебелью (доска, столы, стулья), презентационной техникой (аудитории: 129, 131, А305, А307, 239А) или переносным демонстрационным оборудованием (аудитории: 133, 147, 148, 149, 150, 100С, А3016, А512, А508, 239А)
	Аудитория для групповых и индивидуальных консультаций	Аудитория, оснащенная компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет», обеспеченный доступом в электронную информационно-образовательную среду университета, лицензионное программное обеспечение (А504, А506, 239А)
	Текущий контроль, промежуточная аттестация	Аудитория для семинарских занятий, текущего контроля и промежуточной аттестации, укомплектованная необходимой мебелью (доска, столы, стулья) (аудитории: 129, 131, 133, А305, А307, 147, 148, 149, 150, 100С, А3016, А512, А508), компьютерами с лицензионным программным обеспечением и выходом в интернет (106, 106а, А301, А504, 239А)
	Аудитория для самостоятельной работы	Аудитория, оснащенная компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет», обеспеченный доступом в электронную информационно-образовательную среду университета, лицензионное программное обеспечение (А 504, 102А)