

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



ПОТВЕРЖДАЮ:

Директор по научной работе и
инновациям

Шарафан М.В.

Подпись

28 » мая 2021 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
Б1.В.ДВ.02.02 МЕХАНИКА СМАРТ МАТЕРИАЛОВ
И СТРУКТУР

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 2021

Рабочая программа дисциплины «Механика смарт материалов и структур» 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 «Механика смарт материалов и структур» утверждена на заседании кафедры математического моделирования протокол № 10 «20» мая 2021 г.

Заведующий кафедрой математического моделирования
Бабешко В.А.



подпись

Рабочая программа дисциплины «Механика смарт материалов и структур» утверждена на заседании кафедры прикладной математики протокол № 10 «20» мая 2021 г.

Заведующий кафедрой прикладной математики
Уртенев М.Х.



подпись

Зав. отделом аспирантуры и докторантуры Звягинцева Н.Ю.



подпись

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 «Математика и механика», в рамках которой преподается дисциплина.

Целью освоения учебной дисциплины «Механика смарт материалов и структур» является освоение полуаналитических методов моделирования волновых полей и технологии создания на этой основе компьютерных моделей для материалов с пьезоэффектом.

1.2 Задачи дисциплины:

- знакомство с понятиями смарт материалов и пьезоупругости;
- освоение основных приемов решения практических задач по темам дисциплины;

1.3 Место учебной дисциплины в структуре ООП ВО

Дисциплина «Механика смарт материалов и структур» 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 к инженерно-технической практики, 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 «Механика смарт материалов и структур» читается обучающимся 3-го курса.

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

1.4. Компетенции, формируемые в результате освоения учебной дисциплины

В результате изучения дисциплины «Факторизационные методы и их приложения» обучающийся овладевает профессиональными компетенциями.

<i>Общепрофессиональные компетенции</i>	
ОПК-1	способностью самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий
<i>Профессиональные компетенции</i>	
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
<i>Профессиональные компетенции</i>	
ПК-2	готовностью к созданию и исследованию новых математических моделей процессов и явлений, постановке профессиональных задач в области научно-исследовательской и практической деятельности, развитию и совершенствованию методов их решения на базе современных достижений в области механики деформируемого твердого тела

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

Аспиранты, завершившие изучение дисциплины «Факторизационные методы и их приложения», должны:

шифр	Структура компетенции
<i>знать</i>	
ОПК-1	– закономерности развития и различные концепции современной логики и методологии научного исследования; состояние вопроса в исследуемой области, нерешенные актуальные задачи и перспективные способы их решения З(ОПК-1)-1
ПК-1	– основные понятия и гипотезы динамических задач теории упругости и исследуемых моделей волновых процессов З(ПК-1)-1
<i>уметь</i>	
ОПК-1	– выбрать подход к исследованию задачи в области изучения волновых

	процессов в упругих телах, обосновать выбор соответствующих методов и грамотно их использовать; У(ОПК-1)-1 ; – 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
ПК-2	– использовать и совершенствовать методы и программное обеспечение для расчета исследуемых характеристик объектов и процессов на базе современных достижений в области механики, прикладной математики и ИТ. У(ПК-2)-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)-1
ПК-1	– основами теории анализа динамики волновых процессов В(ПК-1)-1
ПК-2	– 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-2)-1

2. Структура и содержание дисциплины

2.1 Распределение трудоемкости дисциплины по видам работ

Общая трудоёмкость дисциплины составляет 3 зач.ед. (108 часов), их распределение по видам работ представлено в таблице (для аспирантов ОФО).

Вид учебной работы	Всего часов	Семестры
		5
Аудиторные занятия (всего)	44	44
В том числе:		
Занятия лекционного типа	8	8
Занятия семинарского типа (семинары, практические занятия, практикумы, лабораторные работы, коллоквиумы и иные аналогичные)	36	36

занятия)		
Самостоятельная работа (всего)	64	64
В том числе:		
<i>Выполнение домашних работ, типовых расчетов</i>	32	32
<i>Работа с математической литературой</i>	32	32
Вид промежуточной аттестации (зачет)		
Общая трудоемкость	час	108
	зач. ед.	3

2.2. Структура учебной дисциплины

Распределение видов учебной работы и их трудоемкости по разделам дисциплины.

Разделы дисциплины, изучаемые на 3 курсе (для аспирантов ОФО)

№	Наименование разделов	Количество часов				
		Всего	Аудиторная работа			Внеаудиторная работа
			Л	ПЗ	ЛР	
1	2	3	4	5	6	7
1.	Основные соотношения и уравнения для связанных задач электроупругости	12	2	–	4	6
2.	Методы построения матрицы-символа Грина для стратифицированного пьезоупругого волновода	18	–	6	2	10
3.	Упругие волны в пьезоупругих слоистых средах	14	–	–	4	10
4.	Бегущие волны в упругих структурах с пьезопокрытием	31	3	8	4	16
5.	Взаимодействие пьезоактивного сенсора со слоистой средой	33	3	4	4	22
Итого по дисциплине:		108	8	18	18	64

2.3 Содержание разделов дисциплины:

2.3.1 Занятия лекционного типа

№ раздела	Наименование раздела	Содержание раздела	Форма текущего контроля
3 курс			
1	Основные соотношения и уравнения для связанных задач электроупругости	<i>Уравнения связанных задач электроупругости. Начальные и граничные условия. Некоторые классы связанных динамических начально-краевых задач. Классы симметрии пьезокристаллов.</i>	Устный опрос по лекционному материалу и дополнительно изученной литературе
4	Бегущие волны в упругих структурах с пьезопокрытием	<i>Поверхностные и псевдоповерхностные волны в упругих структурах с пьезопокрытием; Волны Релея, Сезавы и высшие моды в смарт-структурах с пьезопокрытием;</i>	Устный опрос по лекционному материалу и дополнительно изученной литературе
5	Взаимодействие пьезоактивного сенсора со слоистой средой	<i>Полные уравнения движения для поверхностного пьезоэлемента. Механические и электрические граничные условия на поверхности среды и в зоне контакта. Построение упрощенной модели для пленочного актуатора/сенсора. Анализ волновой динамики системы актуатор-упругая подложка</i>	Устный опрос по лекционному материалу и дополнительно изученной литературе

2.3.2 Лабораторные занятия

№ раздела	Наименование раздела	Наименование лабораторных работ	Форма текущего контроля
1	2	3	4
V семестр			
2.	Методы построения матрицы-символа Грина для стратифицированного пьезоупругого волновода	<i>Программная реализация алгоритмов построения Фурье-символа матрицы Грина для пьезоупругого полупространства и слоя. Особенности программной реализации алгоритмов построения Фурье-символа матрицы Грина для многослойной пьезоупругой среды.</i>	Задание для самостоятельной работы
4.	Бегущие волны в упругих структурах с пьезопокрытием	<i>Численное решение дисперсионных уравнений для слоистых упругих структур с пьезопокрытиями. Параметрический анализ дисперсионных характеристик волн Релея, Сезавы и высших мод в смарт-структурах с</i>	Задание для самостоятельной работы

№ раздела	Наименование раздела	Наименование лабораторных работ	Форма текущего контроля
1	2	3	4
V семестр			
		<i>пъезопокрытием.</i>	
5.	Взаимодействие сенсора со слоистой средой	<i>Реализация алгоритмов расчета контактного взаимодействия пленочного пьезоактуатора с упругой подложкой в случае плоской деформации</i>	Задание для самостоятельной работы

2.3.3 Занятия семинарского типа

№ раздела	Наименование раздела	Тематика практических занятий	Форма текущего контроля
1	2	3	4
V семестр			
1.	Основные соотношения и уравнения для связанных задач электроупругости	<i>Уравнения связанных задач электроупругости. Начальные и граничные условия. Классификации смарт-материалов. Некоторые классы связанных динамических начально-краевых задач. Механические условия. Тепловые граничные условия. Электрические граничные условия</i>	Доклад-сообщение
2.	Методы построения матрицы-символа Грина для стратифицированного пьезоупругого волновода	<i>Алгоритмы построения Фурье-символа матрицы Грина для пьезоупругого полупространства и слоя. Алгоритмы построения Фурье-символа матрицы Грина для многослойной пьезоупругой среды: метод глобальной матрицы, метод матриц-переноса</i>	Доклад-сообщение
3.	Упругие волны в пьезоупругих слоистых средах	<i>Отражение и преломление волн в пьезокристаллах. Коэффициенты прохождения, отражения и трансформации. Каустики. Вывод дисперсионного уравнения для пьезоупругих слоистых волноводов. Дисперсионные кривые. пьезоэлектрического полупространства и слоя. Волны Гуляева-Блюстейна.</i>	устный опрос
4	Бегущие волны в упругих структурах с пьезопокрытием	<i>Методы возбуждения поверхностных волн в смарт-структурах с пьезопокрытиями. Дисперсионные уравнения для многослойных упругих структур с пьезопокрытием. Основы классификации поверхностных и псевдоповерхностных волн.</i>	устный опрос

№ раздела	Наименование раздела	Тематика практических занятий	Форма текущего контроля
1	2	3	4
V семестр			
5	Взаимодействие пьезоактивного сенсора со слоистой средой	<i>Алгоритмы формирования направленного излучения системой пленочных пьезоактуаторов, взаимодействующих с упругим полупространством. Алгоритмы селективного возбуждения нормальных мод группой пленочных пьезоактуаторов</i>	Доклад-сообщение

2.4. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

№ раздела	Наименование разделов
1	2
1	Основные соотношения и уравнения для связанных задач термоэластостатики
2	Методы построения матрицы-симбола Грина для стратифицированного пьезоупругого волновода
3	Упругие волны в пьезоупругих слоистых средах
4	Бегущие волны в упругих структурах с пьезопокрытием
5	Взаимодействие пьезоактивного сенсора со слоистой средой

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. Уравнения связанных задач электроупругости.
2. Формулировка начальных и граничных условий для уравнений электроупругости. Механические условия.
3. Формулировка начальных и граничных условий для уравнений электроупругости. Электрические граничные условия.
4. Основные классы симметрии пьезоматериалов.

Раздел 3.

1. Дисперсионное уравнение для пьезоупругого полупространства.
2. Дисперсионное уравнение для пьезоупругого слоя.
3. Волны Гуляева-Блюстейна.
4. Особенности прохождения волн через границу раздела двух пьезоупругих полупространств, связанные с анизотропией упругих свойств пьезоматериалов.

Раздел 4.

1. Понятие поверхностной и псевдоповерхностной волны
2. Волны Релея.
3. Волны Сезавы.

Раздел 5

1. Точечная модель актуатора. Построение, условия применимости.
2. Модель пленочного пьезоэлемента.
3. Методы решения контактной задачи в системе пленочный пьезоактуатор-упругая подложка.
4. Собственные частоты и собственные формы колебаний системы пленочный пьезоактуатор-упругая подложка.

Примерные темы для докладов-сообщений

Раздел 1

1. Уравнения движения для задач электроупругости.
2. Виды анизотропии (без учета пьезоэффекта).
3. Классы симметрии пьезоматериалов.

Раздел 2

1. Алгоритм построения Фурье-символа матрицы Грина для пьезоупругого полупространства.
2. Алгоритм построения Фурье-символа матрицы Грина для термоэлектроупругого полупространства (антиплоская задача).

Примерные задания для самостоятельной работы

Раздел 1.

Задача 1.

Получить общее представление SH-волн в ортотропной пьезоупругой среде на плоскости и разработать алгоритм вычисления характеристических чисел и собственных решений системы связанных дифференциальных уравнений в символах преобразования Фурье.

Раздел 2.

Задача 2.

Разработать математическую модель и компьютерный алгоритм для вычисления символа Фурье матрицы Грина для задачи об антиплоских колебаниях двухслойной среды: пьезоупругая полоса – упругая полуплоскость. Колебания

возбуждаются некоторой гармонической нагрузкой и/или приложенным электрическим напряжением на дневной поверхности двухслойной структуры.

Раздел 3.

Задача 3.

Вывести соотношения для расчета асимптотик и энергий объемных волн в упругом и пьезоупругом полупространстве. На основе компьютерной программы, разработанной для задачи 2, провести анализ направленности излучения объемных волн в нижней полуплоскости.

Раздел 4.

Задача 4.

Получить дисперсионное уравнение для бегущих волн в среде пьезоупругая полоса – упругая полуплоскость и разработать компьютерный алгоритм для решения дисперсионного уравнения, построения графиков фазовых и групповых скоростей, а также амплитудно-частотных характеристик бегущих волн.

Раздел 5.

Задача 5.

Разработать математическую и компьютерную модель взаимодействия пьезоактивной накладки с жестко закрепленной упругой полосой при антиплоских колебаниях. Рассмотреть два подхода к моделированию пьезонакладки: инженерный (модель разнонаправленных тангенциальных точечных источников) и решение контактной задачи с помощью вариационно-разностного метода или метода бесконечных систем. Сопоставить модели и дать заключения о границах применимости инженерного подхода.

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

4.2 Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации

Примерный перечень вопросов к зачету

1. Уравнения движения для задач электроупругости. Начальные условия. Граничные условия.
2. Матрица Грина электроупругого полупространства.
3. Матрица Грина электроупругого слоя.
4. Применение преобразования Фурье для задач электроупругости.
5. Вывод дисперсионных соотношений для электроупругого полупространства и слоя. Групповые и фазовые скорости.
6. Волны Гуляева-Блюстейна.
7. Методы построения Фурье-символа матрицы Грина для слоистых упругих смарт-структур с пьезопокрытиями.
8. Поверхностные и псевдоповерхностные волны в упругих структурах с пьезопокрытием.

9. Волны Релея и Сезавы.
10. Основные математические модели для поверхностных пьезоактивных элементов.
11. Формирование направленного излучения в системе «пленочные пьезоактуаторы – упругая подложка».
12. Селективное возбуждение нормальных мод набором пленочных пьезоактуаторов.

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

5.1 Основная литература:

1. Головнин В.А. Физические основы, методы исследования и практическое применение пьезоматериалов / В.А. Головнин, И.А. Каплунов, О.В. Малышкина, Б.Б. Педько, А.А. Мовчикова. М.: Техносфера, 2013. 272 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=233464>.
2. Шляхин Д. А. Нестационарная механика электроупругих полей в элементах конструкций / Шляхин Д.А. Самара: Самарский государственный архитектурно-строительный университет, 2012. 190 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=143522>.
3. Пинчука Л.С. Введение в систематику умных материалов. Минск: Белорусская наука, 2013. 400 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=231488>.

5.2 Дополнительная литература:

1. Богуш М.В. Проектирование пьезоэлектрических датчиков на основе пространственных электротермоупругих моделей. М.: Техносфера, 2014. 324 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=273785>.
2. Ворович И. И. Динамика массивных тел и резонансные явления в деформируемых средах / И.И. Ворович, В.А. Бабешко, О.Д. Пряхина. М.: Научный мир, 1999. 248 с.
3. Физические основы, методы исследования и практическое применение пьезоматериалов / В.А. Головнин, И.А. Каплунов, О.В. Малышкина и др. М.: Техносфера, 2013. 272 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=233464>.

5.3. Периодические издания:

При подготовке докладов-сообщений может использовать научные статьи

соответствующей тематики из следующих периодических изданий, хранящихся в библиотеке КубГУ, или к которым имеется доступ в электронной форме:

1. «Прикладная математика и механика» (ISSN: 0032-8235, издатель: Федеральное государственное унитарное предприятие "Академический научно-издательский, производственно-полиграфический и книгораспространительский центр Российской академии наук "Издательство "Наука")
2. «Прикладная механика и техническая физика» (ISSN: 0869-5032, издатель: Федеральное государственное унитарное предприятие "Издательство Сибирского отделения Российской академии наук")
3. «Акустический журнал» (ISSN: 0320-7919, издатель: Федеральное государственное унитарное предприятие "Академический научно-издательский, производственно-полиграфический и книгораспространительский центр Российской академии наук "Издательство "Наука")
4. Computational Mechanics (ISSN: 0178-7675, издатель: Springer).

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

<http://www.biblioclub.ru>

<http://eqworld.impnet.ru/ru/library/mechanics/solid.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 А4. 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 (при необходимости)

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. Математические пакеты Matlab, COMSOL Multiphysics

8.2 Перечень необходимых информационных справочных систем

Электронная библиотечная система eLIBRARY.RU (<http://www.elibrary.ru>).

8.2 Перечень необходимых информационных справочных систем

Не предусмотрено

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

Реализация курса предполагает наличие минимально необходимого для реализации данной программы перечня материально-технического обеспечения:

№	Наименование специальных* помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень оборудования и технических средств обучения
1.	Аудитория, для лекционных занятий	Учебная мебель, компьютерная техника, стационарное или переносное мультимедийное оборудование (129, 131, 133, А305, А307, А508, 239А)
2.	Аудитория, для лабораторных занятий	Аудитория для семинарских занятий, укомплектованная необходимой мебелью (доска, столы, стулья) компьютерами с лицензионным программным обеспечением и выходом в интернет (106, 106а, А301, А504, 239А)
3.	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, А301б, А512, А508, 239А)

№	Наименование специальных* помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень оборудования и технических средств обучения
4.	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)
5.	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, А301б, А512, А508), компьютерами с лицензионным программным обеспечением и выходом в интернет (106, 106а, А301, А504, 239А)
6.	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)