


МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт автоматизации и процессов управления
Дальневосточного отделения Российской академии наук
(ИАПУ ДВО РАН)

«СОГЛАСОВАНО»

Зам. директора по научно-образовательной деятельности, ученый секретарь, к.т.н.

 С.Б. Змеу

«29» декабря 2021 г.

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор ИАПУ ДВО РАН
член-корреспондент РАН

 Р.В. Ромашко

«29» декабря 2021 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ (РПУД)

Вычислительная механика

Группа научных специальностей 1.1 - «Математика и механика»
научная специальность «Механика деформируемого твердого тела»
Основная образовательная программа «Механика деформируемого твердого тела»

Форма подготовки (очная)

Междисциплинарная кафедра подготовки кадров высшей квалификации (МК ПКВК) ИАПУ ДВО РАН

курс 2 семестр 4
лекции 18 час. / 0.5 з.е.
практические занятия – 18 час. / 0.5 з.е.
лабораторные работы – нет
всего часов аудиторной нагрузки 36 (час.) / 1.0 з.е.
самостоятельная работа 20 (час.) / 0.56 з.е.
контрольные работы – нет
курсовая работа / курсовой проект не предусмотрены.
зачет 4 семестр
экзамен _____ семестр

Рабочая программа составлена в соответствии с федеральными государственными требованиями к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре, условиям их реализации и срокам освоения этих программ с учетом различных форм обучения, образовательных технологий и особенностей отдельных категорий обучающихся, утвержденными приказом Министерства науки и высшего образования РФ от 20 октября 2021 № 951.

Рабочая программа обсуждена на заседании МК ПКВК ИАПУ ДВО РАН, протокол № 3 от «17» ноября 2021 г.

Заведующий кафедрой: д-р физ.- мат. наук, профессор Н.Г. Галкин

Составитель (ли): чл.-корр. РАН, д-р физ.- мат. наук Л.В. Ковтанюк, кандидат физ.- мат. наук А.А. Манцыбора

Оборотная сторона титульного листа РПУД

I. Рабочая программа пересмотрена на заседании кафедры:

Протокол от « ____ » _____ 20__ г. № _____

Заведующий кафедрой _____
(подпись) (И.О. Фамилия)

II. Рабочая программа пересмотрена на заседании кафедры:

Протокол от « ____ » _____ 20__ г. № _____

Заведующий кафедрой _____
(подпись) (И.О. Фамилия)

АННОТАЦИЯ

Дисциплина «Вычислительная механика» предназначена для аспирантов, обучающихся по основной образовательной программе «Механика деформируемого твердого тела» и входит в число дисциплин по выбору вариативной части учебного плана.

При разработке рабочей программы учебной дисциплины использованы федеральные государственные требования к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (уровень подготовки кадров высшей квалификации) по группе научных специальностей 1.1 – «Математика и механика» и научной специальности 1.1.8 – «Механика деформируемого твердого тела» и учебный план подготовки аспирантов по научной специальности «Механика деформируемого твердого тела».

Цель - изучение численных методов инженерных расчётов и сопутствующего математического аппарата, применяемых при решении задач механики, а также освоение способов построения и компьютерной реализации математических моделей механических систем.

Задачи:

1. Изучение вопросов, связанных с получением математических моделей механических систем и их исследованием при помощи прикладных алгоритмов численного анализа.

2. Овладение важнейшими методами решения прикладных задач в области вычислительной механики.

3. Формирование устойчивых навыков по применению арсенала методов вычислительной механики при научном анализе ситуаций, с которыми инженеру приходится сталкиваться в ходе создания новой техники и новых технологий.

4. Ознакомление с историей и логикой развития вычислительной механики.

5. Формирование компетенций, соответствующих направлению подготовки по группе специальностей «Математика и механика».

Компетенции выпускника, формируемые в результате изучения дисциплины

Универсальные компетенции:

- УК - 1. Способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях.

Общепрофессиональные компетенции:

ОПК - 1 Способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий.

Профессиональные компетенции:

ПК - 1 Способность самостоятельно выполнять научные исследования в области механики деформируемого твердого тела, используя соответствующий физико-математический аппарат, вычислительные методы и компьютерные технологии, с целью установления законов деформирования, повреждения и разрушения материалов; выявлять новые связи между структурой материалов, характером внешних воздействий и процессами деформирования;

ПК - 2 Способность самостоятельно применять методы механики и вычислительной математики, теоретические, расчетные и экспериментальные методы исследований, методы математического и компьютерного моделирования к постановке и решению краевых задач механики деформируемого твердого тела;

ПК - 3 Способность овладевать новыми современными методами и средствами

проведения экспериментальных исследований процессов деформирования; планировать и проводить эксперименты; интерпретировать экспериментальные данные; обрабатывать, анализировать и обобщать результаты экспериментов.

Требования к уровню усвоения содержания дисциплины.

Аспиранты должны приобрести следующие знания и умения:

знать:

- методы реализации научно-исследовательской деятельности в области математики и механики, а также методы генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач с использованием информационно-коммуникационных технологий;

- научные основы и закономерности механических явлений, применяемые при постановке и решении краевых задач для прогноза поведения деформируемых твердых тел различной природы при разнообразных воздействиях;

- современные методы экспериментальной механики деформируемого твердого тела, методы планирования экспериментов и обработки экспериментальных данных.

уметь:

- планировать и осуществлять научно-исследовательскую деятельность с применением современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий

- использовать базовый физико-математический аппарат, расчетные и экспериментальные методы исследования для решения технологических проблем деформирования, разрушения и предупреждения недопустимых деформаций в конструкциях различного назначения.

- использовать экспериментальные методы исследований процессов деформирования, повреждения и разрушения материалов, в том числе объектов, испытывающих фазовые структурные превращения при внешних воздействиях.

владеть:

- навыками сбора, обработки, анализа и систематизации информации; выбора методов и средств решения задач исследования, навыками работы с вычислительной техникой

- современными методами и технологиями вычислительной математики и механики, теоретическими, расчетными и экспериментальными методами исследований, применяемыми для прогноза поведения деформируемых твердых тел различной природы при разнообразных воздействиях

- современными методами экспериментальных исследований в области механики деформируемого твердого тела, методами обработки, анализа и обобщения результатов экспериментов.

I. СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА (18 час.)

МОДУЛЬ 1. Элементы вычислительной и линейной алгебры (6 час.)

Тема 1. Предмет вычислительной механики и ее разделы. Решение систем линейных алгебраических уравнений (СЛАУ). Сравнение и анализ методов и способов решений СЛАУ. (2 часа)

Матричная запись СЛАУ. Векторные и матричные нормы. Прямые методы решения СЛАУ. Итерационные методы решения СЛАУ. Решение нелинейных уравнений: метод половинного деления, метод простой итерации, метод Ньютона, метод секущих, метод парабол, метод Зейделя.

Тема 2. Постановка основной задачи интерполяции. (2 часа)

Уравнения интерполяции; вид этих уравнений в задаче о монотонной интерполяции по трём узлам. Линейные алгоритмы интерполяции; обобщённые многочлены. Системы Чебышева.

Тема 3. Методы и способы решения задачи интерполяции. (2 часа)

Теорема о существовании и единственности решения задачи интерполяции обобщёнными многочленами. Построение интерполяционного многочлена в форме Лагранжа; его существование и единственность. Линейная интерполяция по двум узлам. Рекуррентное соотношение Эйткена; схема Эйткена. Различные варианты записи интерполяционного многочлена Лагранжа. Алгоритмы вычисления значений интерполяционного многочлена Лагранжа. Кусочно-многочленная интерполяция. Сплаины.

МОДУЛЬ 2. Численные методы решения задач механики деформируемого твердого тела. (6 часов)

Тема 1. Метод конечных разностей. (2 часа)

Метод конечных разностей. Типичные разностные схемы для параболических, эллиптических и гиперболических уравнений. Метод конечных разностей для дифференциальных уравнений теории упругости.

Тема 2. Вариационные принципы. (2 часа)

Вариационный принцип минимума полной потенциальной энергии упругого тела. Методы Релея-Ритца, Бубнова-Галеркина и градиентного спуска в задачах минимизации функционала полной потенциальной энергии.

Тема 3. Численные методы решения задач теории пластичности и волновой динамики. (2 часа)

Формула Сомильяны и метод граничных интегральных уравнений (метод граничных элементов). Метод характеристик в двумерных задачах теории пластичности. Область определенности и область зависимости решения гиперболической краевой задачи. Метод лучевых разложений для решения гиперболических задач теории пластичности и волновой динамики. Понятие о вычислительном эксперименте. Использование вычислительного эксперимента для решения задач механики деформируемого твердого тела.

МОДУЛЬ 3. Средства компьютерного моделирования (6 час.)

Тема 1. Современные аспекты системы компьютерного моделирования. (2 часа)

Современные системы автоматизации инженерных расчётов. Применяемые методы решения расчетов, анализа и симуляции физических процессов. Создание систем мультидисциплинарных исследований.

Тема 2. Применение современных программных комплексов в исследованиях, разработках, проектах. (2 часа)

Критерии инженерного анализа и оптимизации. Оптимизация конструкции с учетом конструктивных, технологически и эксплуатационных требований.

Тема 3. Метод конечных элементов. Принципы расчетов с использованием конечно-элементных пакетов (Ansys, Fidesys) и расчетных математических пакетов (Mathcad, Mathematica). (2 часа)

Основы метода конечных элементов. Реализация метода конечных элементов в современных прикладных программных пакетах и расчетных комплексах, средства и инструменты.

II. ПРАКТИЧЕСКИЕ РАБОТЫ (18 час.)

1. Интерполяция. Сплаины. (4 часа)

Построить интерполяционный многочлен по всей совокупности заданных узлов интерполяции и соответствующих значений сеточной функции в них. Найти кубический сплайн, используя ранее построенный интерполяционный многочлен. Вычислить приближенные значения функции в точках, принадлежащих отрезку интерполяции, с применением найденного кубического сплайна.

2. Метод Рунге-Кутты решения задачи Коши для обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка. (4 часа)

Разработать алгоритм решения задачи Коши для обыкновенного дифференциального уравнения одним из методов Рунге-Кутты и написать программу, реализующую его. Отладить программу и провести расчеты до достижения заданной точности. При разработке алгоритма необходимо предусмотреть возможность: изменения области интегрирования; задания других начальных условий; проведения расчетов на последовательно удваиваемых сетках.

3. Решение смешанной задачи для уравнения переноса методом конечных разностей. (4 часа)

Найти аналитическое решение дифференциальной задачи и построить след в выбранном конечномерном пространстве. Получить дополнительные разностные уравнения, где это необходимо. Исследовать разностную схему на аппроксимацию и спектральную устойчивость. Разработать алгоритм решения разностной задачи и написать программу, реализующую его. Отладить программу с учетом вычисленных значений следа аналитического решения. Провести исследования вычислительных свойств используемой разностной схемы на последовательно удваиваемых сетках.

4. Расчет МКЭ упругого изгиба элемента конструкции (консольная балка, стойка автомобиля, продольное сечение капота и т.п.) с первоначальной прямой формой, один из концов которого жестко закреплен, а другой конец отогнут вниз под действием некоторой силы. (6 часов)

Разбить заданную область на n заданных конечных элементов. Составить глобальную матрицу жесткости конечно-элементного аналога. Построить и решить систему уравнений с заданными граничными условиями. Построить график – форму деформированной конструкции.

III. КОНТРОЛЬ ДОСТИЖЕНИЯ ЦЕЛЕЙ КУРСА ВОПРОСЫ К ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОМУ ЗАЧЕТУ

1. Основные понятия теории приближенных вычислений.
2. Методы приближенного решения вычислительных задач.
3. Метод Гаусса. Обращение матрицы по методу Гаусса.
4. Метод прогонки.
5. Итерационные методы решения нелинейных уравнений. Метод Ньютона.
6. Метод простой итерации и сжимающих отображений.

7. Интерполяция и аппроксимация полиномами. Достоинства и недостатки.
8. Постановки простейших задач интерполирования.
9. Интерполяционный многочлен Лагранжа.
10. Интерполяционный полином Ньютона для неравных промежутков.
11. Конечные разности и интерполяционные полиномы Ньютона для равноотстоящих узлов.
12. Элементы численного интегрирования. Постановка задач.
13. Квадратурные формулы Ньютона-Котеса и их частные случаи.
14. Квадратурная формула трапеции. Геометрический смысл трапеции.
15. Квадратурная формула Симпсона.
16. Элементы численного решения дифференциальных уравнений. Постановка задачи.
17. Разностная аппроксимация дифференциальных операторов. Метод первого порядка точности.
18. Методы решения обыкновенных дифференциальных уравнений. Методы второго порядка точности.
19. Методы решения обыкновенных дифференциальных уравнений. Методы четвертого порядка точности (метод Рунге-Кутты).
20. Краевые задачи. Вариационно-разностные схемы для краевых задач.
21. Сеточная аппроксимация.
22. Метод Эйлера для системы уравнений.
23. Погрешность и устойчивость метода Эйлера.
24. Элементы численного дифференцирования. Постановка задачи.
25. Формула численного дифференцирования для неравноотстоящих узлов.
26. Полная погрешность при численном дифференцировании.
27. Метод наименьших квадратов.
28. Элементы теории исследования операций.
29. Математическое программирование.
30. Элементы линейного программирования. Разобрать на примере решения транспортной задачи.
31. Каноническая задача линейного программирования.
32. Геометрический смысл системы линейных неравенств.
33. Геометрический смысл двумерной задачи линейного программирования.
34. Идея Симплекс-метода.
35. Симплекс-таблицы.
36. Геометрические характеристики в задачах и методах линейного программирования.
37. Взаимно-двойственные задачи линейного программирования.
38. Элементы нелинейного программирования.
39. Метод неопределенных множителей Лагранжа.
40. Методы Релея-Ритца, Бубнова-Галеркина и градиентного спуска.
41. Формула Сомильяны и метод граничных интегральных уравнений.
42. Метод характеристик в двумерных задачах теории пластичности.
43. Метод лучевых разложений для решения гиперболических задач теории пластичности и волновой динамики.
44. Использование вычислительного эксперимента для решения задач механики деформируемого твердого тела.

IV. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Основная литература

(печатные и электронные издания)

1. Куликовский А.Г., Погорелов Н.В., Семёнов А.Ю. Математические вопросы численного решения гиперболических систем уравнений [Электронный ресурс]/ Куликовский А.Г., Погорелов Н.В., Семёнов А.Ю.— Электрон. текстовые данные. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2012. <http://www.iprbookshop.ru/>
2. Фомин В.М. Численные методы решения задач теории упругости и пластичности. Новосибирск: Параллель, 2009. - 267 с. Справочно-информационный фонд ИАПУ ДВО РАН
3. Фаддев М.А., Марков К.А. Численные методы: Учебное пособие. -Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2010. - 158 с. <http://window.edu.ru/>
4. Корнюшин П.Н. Численные методы: Учебное пособие, Владивосток 2002, 104 с. <http://window.edu.ru/catalog/pdf2txt/958/40958/18263>
5. Тухфатуллин, Б.А. Численные методы расчета строительных конструкций. Метод конечных элементов (теория и практика) [Текст] : учебное пособие / Б.А. Тухфатуллин. - Томск: Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2013. - 100 с. <http://window.edu.ru/>
6. Мартыанова А.Е. Компьютерные вычисления в пакете MathCAD: Учебно-методическое пособие, Астрахань 2005 <http://window.edu.ru/catalog/pdf2txt/084/24084/6594>
7. Бахвалов Н.С. Численные методы [Электронный ресурс]/ Бахвалов Н.С., Жидков Н.П., Кобельков Г.М.— Электрон. текстовые данные.— М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012.— 635 с. <http://www.iprbookshop.ru/>
8. Седов Е.С. Основы работы в системе компьютерной алгебры Mathematica [Электронный ресурс]/ Седов Е.С.— Электрон. текстовые данные.— М.: Интернет-Университет Информационных Технологий (ИНТУИТ), 2012.— 207 с. <http://www.iprbookshop.ru/>

Дополнительная литература

(печатные и электронные издания)

1. Богульский И.О., Кургузов В.Д., Иванов Г.В., Анисимов С.А., Волчков Ю.М. Численное решение динамических задач упругопластического деформирования твердых тел, Новосибирск: Сиб. унив. изд-во, 2002. – 352 с. <http://www.rfbr.ru/rffi/ru/books/>
2. Конюхов А.В. Основы анализа конструкций в ANSYS: Учебное пособие, Казань 2001 <http://window.edu.ru/catalog/pdf2txt/054/53054/25960>
3. Марчук Г.И. Методы вычислительной математики. – Санкт-Петербург [и др.]: Лань, 1980. Справочно-информационный фонд ИАПУ ДВО РАН
4. Осипов В.В. Моделирование линейных динамических систем/ В. В. Осипов. - Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2000. <http://rsl.ru/>
5. Черный А.А. Исследования тепловых процессов с применением моделирования: Учебное пособие, Пенза 2008, 48с. <http://window.edu.ru/resource/763/59763>
6. Вервейко Н.Д., Семькина Т.Д., Гребенников Д.Ю., Яковлев А.Ю. Применение метода конечных элементов в механике сплошных сред: Учебно-методическое пособие, Воронеж 2003, 51с. <http://window.edu.ru/resource/152/27152>
7. Котович А.В. Решение задач теории упругости методом конечных элементов [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Котович А.В., Станкевич И.В.— Электрон. текстовые данные.— М.: Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, 2012.— 112 с. <http://www.iprbookshop.ru/>
8. Маковкин Г.А. Применение МКЭ к решению задач механики деформируемого твердого тела. Часть 1 [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Маковкин Г.А., Лихачева С.Ю. — Электрон. текстовые данные.— Нижний Новгород: Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2012.— 71 с. <http://www.iprbookshop.ru/>