



ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО НАУЧНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
**«Институт автоматки и процессов управления  
Дальневосточного отделения Российской академии наук»**  
(ИАПУ ДВО РАН)

**«СОГЛАСОВАНО»**

Руководитель направления  
подготовки аспирантов  
01.06.01 «Механика деформируемого  
твердого тела»

 Л.В.Ковтанюк

«14» августа 2014 г.

**«УТВЕРЖДАЮ»**

Заместитель директора по научно-  
образовательной и инновационной  
деятельности, д.ф.-м.н.

 Н.Г. Галкин

«14» августа 2014 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ (РПУД)**

**Вычислительная механика**

**Направление подготовки 01.06.01 - «Математика и механика»  
профиль «Механика деформируемого твердого тела»**

**Образовательная программа «Механика деформируемого твердого тела»**

**Форма подготовки (очная)**

Институт автоматки и процессов управления ДВО РАН (ИАПУ ДВО РАН)  
Междисциплинарная кафедра подготовки кадров высшей квалификации (МК ПКВК)

курс 2 семестр 3  
лекции 18 час. / 0.5 з.е.  
лабораторные работы 18 час. / 0.5 з.е.  
всего часов аудиторной нагрузки 36 (час.) / 1 з.е.  
самостоятельная работа 50 (час.) / 1.39 з.е.  
зачет с оценкой 3 семестр

Рабочая программа составлена в соответствии с требованиями федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (уровень подготовки кадров высшей квалификации), утвержденного приказом министерства образования и науки РФ от 30 июля 2014 № 866

Рабочая программа обсуждена на заседании МК ПКВК, протокол № 1 от «14» августа 2014 г.  
Заведующий (ая) кафедрой: д-р физ.- мат. наук, профессор Н.Г. Галкин  
Составитель(ли): д-р физ.- мат. наук, зав. лаб. Л.В. Ковтанюк, к.ф.-м.н. А.А. Манцыбора, к.ф.-м.н. А.А. Лаптева

Владивосток  
2014

**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 образовательной программе «Механика деформируемого твердого тела» и входит в вариативную часть учебного плана.

При разработке рабочей программы учебной дисциплины использованы Федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования (уровень подготовки кадров высшей квалификации) по направлению подготовки 01.06.01 Математика и механика, учебный план подготовки аспирантов по профилю «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.

**Интерактивные формы обучения** составляют 6 часов лекционных занятий (лекция-визуализация).

**Компетенции выпускника, формируемые в результате изучения дисциплины**

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. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА**

### **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 Чебышёва.

#### **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. Сплайны.

## **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) (лекция-визуализация)**

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) (лекция-визуализация)**

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

#### **Тема 1. Метод конечных элементов. Принципы расчетов с использованием конечно-элементных пакетов (Ansys, Fidesys) и расчетных математических пакетов (Mathcad, Mathematica). (2 часа) (лекция-визуализация)**

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

## **II. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА**

*Структура и содержание практической части курса включает в себя тематику и содержание практических занятий, семинаров, лабораторных работ.*

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3

### **Лабораторные работы (18 час.)**

Лабораторные работы основаны на использовании ЭВМ при решении задач по основным разделам дисциплины с самостоятельным составлением, отладкой и тестированием программ, реализованных на одном из алгоритмических языков высокого уровня.



### **Лабораторная работа № 1. Интерполяция. Сплаины. (4 часа)**

1. Построить интерполяционный многочлен по всей совокупности заданных узлов интерполяции и соответствующих значений сеточной функции в них.

2. Найти кубический сплайн, используя ранее построенный интерполяционный многочлен.

3. Вычислить приближенные значения функции в точках, принадлежащих отрезку интерполяции, с применением найденного кубического сплайна.

### **Лабораторная работа № 2. Метод Рунге-Кутты решения задачи Коши для обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка. (4 часа)**

1. Разработать алгоритм решения задачи Коши для обыкновенного дифференциального уравнения одним из методов Рунге-Кутты и написать программу, реализующую его.

2. Отладить программу и провести расчеты до достижения заданной точности.

При разработке алгоритма необходимо предусмотреть возможность:

1. изменения области интегрирования;

2. задания других начальных условий;

3. проведения расчетов на последовательно удваиваемых сетках.

### **Лабораторная работа № 3. Решение смешанной задачи для уравнения переноса методом конечных разностей. (4 часа)**

1. Найти аналитическое решение дифференциальной задачи и построить след в выбранном конечномерном пространстве.

2. Получить дополнительные разностные уравнения, где это необходимо.

3. Исследовать разностную схему на аппроксимацию и спектральную устойчивость.

4. Разработать алгоритм решения разностной задачи и написать программу, реализующую его.
5. Отладить программу с учетом вычисленных значений следа аналитического решения.
6. Провести исследования вычислительных свойств используемой разностной схемы на последовательно удваиваемых сетках.

**Лабораторная работа № 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)**

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

### **III. КОНТРОЛЬ ДОСТИЖЕНИЯ ЦЕЛЕЙ КУРСА**

Фонд оценочных средств прилагается.

### **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/>

3. Корнюшин П.Н. Численные методы: Учебное пособие, Владивосток 2002, 104с.

<http://window.edu.ru/catalog/pdf2txt/958/40958/18263>

4. 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/>

5. Мартыанова А.Е. Компьютерные вычисления в пакете MathCAD: Учебно-методическое пособие, Астрахань 2005

<http://window.edu.ru/catalog/pdf2txt/084/24084/6594>

6. 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/>

7. 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. Лисейкин В.Д. Разностные сетки. Теория и приложения. Новосибирск. СО РАН. 2014, 253 с.

<http://www.rfbr.ru/rffi/ru/books/>

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/>