



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  
твёрдого 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)  
Механика деформируемого твёрдого тела**

**Направление подготовки 01.06.01 - «Математика и механика»  
профиль «Механика деформируемого твёрдого тела»  
Образовательная программа «Механика деформируемого твёрдого 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 36 час. / 1 з.е.  
практические занятия 36 час. / 1 з.е.  
всего часов аудиторной нагрузки 72 (час.) / 2 з.е.  
самостоятельная работа 50 (час.) / 1.39 з.е.  
экзамен 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. В.Е. Рагозина

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 «Механика деформируемого твердого тела» 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** - формирование расширенных представлений в области механики деформируемого твердого тела.

### **Задачи:**

1. Исследовать кинематику, статику и динамику сплошной среды;
2. Изучить уравнения состояния упругих и неупругих твёрдых деформируемых тел;
3. Рассмотреть постановки и схемы решения задач механики деформируемого твёрдого тела.

**Интерактивные формы обучения** составляют 8 часов практических занятий в форме семинара с представлением и обсуждением докладов.

**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.

УК -3 Готовность участвовать в работе российских и международных исследовательских коллективов по решению научных и научно-образовательных задач.

Общепрофессиональные компетенции:

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

ОПК - 2 Готовность к преподавательской деятельности по основным образовательным программам высшего образования;

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 для изучения законов деформирования, повреждения и разрушения материалов, выявления новых связей между структурой материалов;

- 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, вычислительные методы и методы компьютерного моделирования для выявления новых связей между структурой материалов, характером внешних воздействий и процессами деформирования и разрушения;

- 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, компьютерными технологиями, применяемыми в области механики деформируемого твердого тела;

- 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 тензорного исчисления (6 час.)**

#### **Тема 1. Основы тензорной алгебры (4 час.)**

Соглашение о суммировании. Преобразование координат. Векторы базиса. Преобразование векторов базиса при переходе от одной системы координат к другой. Ковариантные и контравариантные величины. Определение вектора. Полиадные произведения векторов базиса. Определение тензора. Симметричные и антисимметричные тензоры. Сложение, умножение и свертывание тензоров. Метрический тензор.

Скалярные инварианты тензора. Тензорная поверхность. Определение главных компонент и главных осей тензора.

## **Тема 2. Основные операции тензорного анализа (2 час.)**

Ковариантное дифференцирование. Свойства ковариантных производных. Символы Кристоффеля. Дифференциальные операторы (градиент, дивергенция, ротор, оператор Лапласа). Физические компоненты тензоров.

## **МОДУЛЬ 2. Общие сведения о МДТТ (14 час.)**

### **Тема 1. Введение (2 час.)**

Сплошная среда. Однородность. Изотропность. Точка и частица сплошной среды. Деформация. Начальная и текущая конфигурации твердого тела. Лагранжево и Эйлерово описание движения твёрдого тела. Вектор перемещения. Мера деформации. Тензоры конечной деформации Грина и Альманси.

### **Тема 2. Свойства деформаций (4 час.)**

Тензор линейных (бесконечно малых) деформаций. Тензор линейного поворота. Вектор линейного поворота. Геометрический смысл компонент тензора линейных деформаций. Главные деформации. Девиатор тензора деформаций. Средняя (объемная) деформация. Уравнения совместности деформаций Сен-Венана. Плоское деформированное состояние.

### **Тема 3 Напряжения. (4 час.)**

Связь тензора напряжений с вектором напряжения. Нормальные и касательные напряжения. Физический смысл компонент тензора напряжений. Симметрия компонент тензора напряжения. Свойства тензора напряжений. Главные напряжения. Инварианты тензора напряжений. Девиатор напряжений. Максимальные касательные напряжения. Круги Мора. Среднее (гидростатическое) напряжение. Плоское напряженное состояние.

### **Тема 4. Начала термодинамики (4 час.)**

Закон сохранения массы. Закон сохранения количества движения. Закон сохранения момента количества движения. Закон сохранения механической

энергии. Удельная внутренняя энергия. Первый закон термодинамики. Уравнения состояния среды. Второй закон термодинамики. Неравенство Клазиуса – Дюгема. Замкнутая система уравнений. Обратимые и необратимые процессы. Абсолютная температура. Удельная энтропия.

### **МОДУЛЬ 3. Основы теории упругости (16 час.)**

#### **Тема 1. Фундаментальные уравнения (4 час.)**

Обобщённый закон Гука. Плотность энергии деформации. Изотропные и анизотропные среды. Модуль Юнга. Коэффициент Пуассона. Модуль сдвига и модуль объёмного сжатия.). Система уравнений упругой однородной изотропной среды. Краевые условия. Уравнения Ламе. Единственность решения линейной задачи теории упругости. Уравнения совместности Бельтрами-Мичелла. Принцип Сен-Венана.

#### **Тема 2. Плоская задача теории упругости (2 час.)**

Плоская деформация. Плоское напряжённое состояние. Обобщенное плоское напряжённое состояние. Функция напряжений Эри. Комплексное представление решения. Формулы Колосова-Мусхелишвили.

#### **Тема 3. Стержни, пластины и оболочки (4 час.)**

Уравнение равновесия пластинки. Продольные деформации пластинок. Деформации оболочек. Кручение стержней. Изгиб стержней. Уравнения равновесия стержней. Устойчивость упругих систем.

#### **Тема 4. Упругие волны в изотропной среде (4 час.)**

Система уравнений линейной теории упругости в случае адиабатических процессов. Одномерные продольные и поперечные плоские волны. Пространственные волны сдвига и расширения. Двумерные линейные задачи динамической теории упругости. Плоская и осесимметричная задачи. Поверхностные волны Рэлея. Волны Лява.

#### **Тема 5. Линейная термоупругость (2 час.)**

Соотношения Дюгамеля-Неймана. Закон теплопроводности Фурье. Метод Галёркина.



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

### **Практические занятия (36 час.)**

#### **Занятие 1. Основы тензорного исчисления (4 часа).**

1. Преобразование векторов базиса при переходе от одной системы координат к другой.
2. Вычисление главных компонент и главных осей тензоров.
3. Вычисление инвариантов тензоров.
4. Вычисление метрического тензора, символов Кристоффеля и дифференциальных операторов (градиент, дивергенция, ротор, оператор Лапласа) в цилиндрической и сферической системах координат.
5. Вычисление ковариантных производных тензоров.

#### **Занятие 2. Основные понятия и определения (2 часа).**

1. Вычисление перемещений в материальной и пространственной форме.
2. Вычисление компонент различных тензоров деформации.
3. Определение главных деформаций и главных осей.
4. Определение вектора напряжения в точке.

#### **Занятие 3. Решение задач теории упругости (семинар с представлением докладов) (4 часа).**

##### **Темы докладов**

1. Задача о полой цилиндрической трубе.
2. Задача о сплошной сфере под влиянием собственного гравитационного поля.
3. Определение напряжений в неограниченной пластине с круглым отверстием, подвергаемой на бесконечности одноосному растяжению.

#### **Занятие 4. Решение задачи о кручении призматических тел (семинар с представлением докладов) (4 часа).**

1. Постановка задачи.
2. Решение задачи.

#### **Занятие 5. Задачи термоупругости (4 часа).**

1. Напряжения в нагретом диске.
2. Напряжения в цилиндре.
3. Напряжения в шаре.

#### **Занятие 6. Вариационные методы в теории упругости (6 часов).**

1. Принцип возможных перемещений Лагранжа.
2. Принцип возможных сил Кастильяно.
3. Вариационный метод Рэлея-Ритца.
4. Метод Бубнова-Галеркина.
5. Метод Ритца-Лагранжа.

#### **Занятие 7. Решение задач теории пластичности (6 часов).**

1. Задача об упруго-пластическом равновесии полого шара.
2. Задача об упруго-пластическом растяжении длиной трубы.
3. Упруго-пластическое кручение призмы произвольного поперечного сечения.
4. Упруго-пластическое кручение овального стержня.
5. Задача о вдавливании твердого штампа с плоским основанием.

#### **Занятие 8. Решение задач теории ползучести. (6 часов).**

1. Вывод определяющих уравнений при различных моделях ползучей среды.
2. Определение ядра релаксации для различных моделей ползучих сред.
3. Определение релаксации напряжений в болтах фланцевого соединения.
4. Установившаяся ползучесть изгибаемых балок, сечение которых имеет две оси симметрии.

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

Фонд оценочных средств прилагается.

#### **IV. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

##### **Основная литература**

(печатные и электронные издания)

1. Пикуль В. В., Синявский А.Л. Прикладная механика деформируемого твёрдого тела. / В. В. Пикуль. – Владивосток: Издательство: М. Наука 1989, 221с.

Справочно-информационный фонд ИАПУ ДВО РАН

2. Кошелев А.И. , Нарбут М.А. Механика деформируемого твёрдого тела: Электронный учебник, Санкт-Петербург 2012, 287с.

<http://window.edu.ru/resource/046/30046>

3. Циглер Ф. Механика твердых тел и жидкостей. Ижевск: НИЦ Регулярная и хаотическая динамика. 2002. – 912 с.

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

4. Работнов Ю.Н., Механика деформируемого твёрдого тела, М. Наука 1979, 739с.

Справочно-информационный фонд ИАПУ ДВО РАН

5. Алдошкин Ю.Г. Введение в механику твердого тела: Основные понятия и общий метод составления уравнений движения. Москва: Мир 2003, 304с.

Справочно-информационный фонд ИАПУ ДВО РАН

6. Бауэр С.М., Смирнов А.Л., Товстик П.Е., Филиппов С.Б. Асимптотические методы в механике твердого тела [Электронный ресурс]/ С.М. Бауэр [и др.].— Электрон. текстовые данные.— Москва, Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика, Ижевский институт компьютерных исследований, 2007.— 356 с.

<http://www.iprbookshop.ru/>

**Дополнительная литература**

(печатные и электронные издания)

1. Проблемы механики [Электронный ресурс]: сборник статей. К 90-летию со дня рождения А.Ю. Ишлинского/ Л.Д. Акуленко [и др.].— Электрон. текстовые данные.— М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003.— 830 с.

Справочно-информационный фонд ИАПУ ДВО РАН,

<http://www.iprbookshop.ru/>

2. Быковцев Г.И. Избранные проблемные вопросы механики деформируемых сред, Владивосток Дальнаука 2002, 565 с.

Справочно-информационный фонд ИАПУ ДВО РАН

3. Нетребко В.П. Задачи механики твердого деформируемого тела, Издательство: Москва Издательство Московского университета 1985. 108с.

Справочно-информационный фонд ИАПУ ДВО РАН

4. Проблемы механики деформируемых твердых тел и горных пород [Электронный ресурс]: сборник статей к 75-летию Е.И. Шемякина/ Е.И. Шемякин [и др.].— Электрон. текстовые данные.— М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006.— 864 с.

<http://www.iprbookshop.ru/>

5. Андрианов И., Аврейтевич Я. Методы асимптотического анализа и синтеза в нелинейной динамике и механике деформируемого твердого тела [Электронный ресурс]/ Андрианов И., Аврейтевич Я.— Электрон. текстовые данные.— Москва, Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика, Ижевский институт компьютерных исследований, 2013.— 276 с.

<http://www.iprbookshop.ru/>