



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
**«Дальневосточный федеральный университет»**  
(ДФУ)

---

**ИНЖЕНЕРНАЯ ШКОЛА**

«СОГЛАСОВАНО»

Руководитель ОП  
«Прикладная механика»

  
(подпись) Г.П. Озерова  
(Ф.И.О. рук.ОП)  
«26» июня 2017 г.

«УТВЕРЖДАЮ»

Заведующий кафедрой  
Механики и математического моделирования

  
(подпись) А.А. Бочарова  
(Ф.И.О. зав. каф.)  
« 26 » июня 2017 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**  
**«Механика деформируемого твёрдого тела»**

**Направление подготовки: 15.03.03 Прикладная механика**

Профиль подготовки:

«Математическое и компьютерное моделирование механических систем и процессов»

**Форма подготовки очная**

курс 3,4 семестр 6,7  
лекции 72 час.  
практические занятия 36 час.  
лабораторные работы 0 час.  
всего часов аудиторной нагрузки 108 час.  
в том числе с использованием МАО 32 час.  
самостоятельная работа 72 час.  
из них на подготовку к экзамену 36 час.  
контрольные работы (количество) -  
курсовая работа / курсовой проект не предусмотрен  
зачет 6 семестр  
экзамен 7 семестр

Рабочая программа составлена в соответствии с требованиями федерального государственного образовательного стандарта высшего образования Дальневосточного федерального университета, принятый решением Ученого совета ДВФУ, протокол от 25.02.2016 № 02-16, введен в действие приказом ректора ДВФУ от 10.03.2016 № 12-13-391.

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры Механики и математического моделирования, протокол № 10 от «23» июня 2017 г.

Заведующий кафедрой  
Составитель

А.А. Бочарова  
Ю.Е. Иванова

**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 дисциплины «Механика деформируемого твердого тела»**

Дисциплина «Механика деформируемого твердого тела» разработана для студентов, обучающихся по направлению подготовки 15.03.03 «Прикладная механика», профиль «Математическое и компьютерное моделирование механических систем и процессов» и является обязательной дисциплиной вариативной части Блока 1 «Дисциплины (модули)» учебного плана (Б1.В.ОД.9).

Трудоемкость дисциплины составляет 180 часов (5 зачетных единиц). Учебным планом предусмотрены лекционные занятия (72 часа), практические занятия (36 часов), и самостоятельная работа студентов (72 часа, из них 36 часов на экзамен). Дисциплина реализуется на 3,4 курсе в 6,7 семестре. Форма промежуточной аттестации – зачет (6 семестр), экзамен (7 семестр).

Дисциплина «Механика деформируемого твердого тела» логически связана с дисциплинами «Соппротивление материалов», «Основы теории пластичности и ползучести», «Экспериментальная механика разрушений», «Механика композитов».

**Цель дисциплины:** дать студентам фундаментальные знания в области механики деформируемого твердого тела

### **Задачи дисциплины:**

- исследовать кинематику, статику и динамику сплошной среды;
- изучить уравнения состояния упругих и неупругих твёрдых деформируемых тел;
- рассмотреть постановки и схемы решения задач механики деформируемого твёрдого тела.

Для успешного изучения дисциплины «Механика деформируемого твердого тела» у обучающихся должны быть сформированы следующие предварительные компетенции:

- владение навыками работы с различными источниками информации: книгами, учебниками, справочниками, Интернет;
- знание научных основ и закономерностей физических явлений;

- умение использования базового физико-математического аппарата;
- владение терминологией и навыками работы с тензорными объектами;
- способность к аналитическому мышлению.

Планируемые результаты обучения по данной дисциплине (знания, умения, владения), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы, характеризуют этапы формирования следующих компетенций:

Код и формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции	
<p><b>ПК-3</b> готовность выполнять научно-исследовательские работы и решать научно-технические задачи в области прикладной механики на основе достижений техники и технологий, классических и технических теорий и методов, физико-механических, математических и компьютерных моделей, обладающих высокой степенью адекватности реальным процессам, машинам и конструкциям</p>	Знает	<ul style="list-style-type: none"> <li>- терминологию и закономерности механики деформируемого твердого тела;</li> <li>- 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.</li> </ul>
	Умеет	<ul style="list-style-type: none"> <li>- планировать и осуществлять научно-исследовательскую деятельность с применением современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий;</li> <li>- 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.</li> </ul>
	Владеет	<ul style="list-style-type: none"> <li>- навыками сбора, обработки, анализа и систематизации информации; выбора методов и средств решения задач исследования, навыками работы с вычислительной техникой;</li> <li>- современными методами и технологиями математики и механики, компьютерными технологиями, применяемыми в области механики деформируемого твердого тела;</li> <li>- навыками теоретического и численного анализа прикладных задач механики с учетом потребностей</li> </ul>

Код и формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции	
		промышленности; - навыками ставить задачи механики, выбирать адекватные способы и методы их решения, анализировать, интерпретировать, представлять и применять полученные результаты.
<b>ПК-12</b> способностью проектировать детали и узлы с использованием программных систем компьютерного проектирования на основе эффективного сочетания передовых технологий и выполнения многовариантных расчетов	знает	- 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.
	умеет	- использовать базовый физико-математический аппарат, расчетные и экспериментальные методы исследования для решения технологических проблем деформирования, разрушения и предупреждения недопустимых деформаций в конструкциях различного назначения.
	владеет	- 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.

Для формирования вышеуказанных компетенций в рамках дисциплины «Механика деформируемого твердого тела» применяются следующие методы активного/ интерактивного обучения: проблемные лекции, групповые консультации.

# **I. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА (72 часа)**

## **МОДУЛЬ 1. Общие сведения о МДТТ(20 часов)**

### **Раздел I. Основные понятия и определения (6 часов)**

**Тема 1. Деформированное состояние (2 часа).** 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. Линейный тензор деформаций (2 часа).** Тензор линейных (бесконечно малых) деформаций. Тензор линейного поворота. Вектор линейного поворота. Геометрический смысл компонент тензора линейных деформаций.

**Тема 3. Свойства тензора деформаций (2 часа).** Главные деформации. Девиатор тензора деформаций. Средняя (объемная) деформация. Уравнения совместности деформаций Сен-Венана. Плоское деформированное состояние.

### **Раздел II. Напряжения (8 часов)**

**Тема 1. Напряженное состояние (2 часа).** Связь тензора напряжений с вектором напряжения. Нормальные и касательные напряжения. Физический смысл компонент тензора напряжений.

**Тема 2. Тензор напряжений (2 часа).** Симметрия компонент тензора напряжения. Свойства тензора напряжений. Главные напряжения. Инварианты тензора напряжений. Девиатор напряжений.

**Тема 3. Касательные напряжения (4 часа).** Максимальные касательные напряжения. Круги Мора. Среднее (гидростатическое) напряжение. Плоское напряженное состояние.

### **Раздел III. Начала термодинамики (6 часов)**

**Тема 1. Законы сохранения (2 часа).** Закон сохранения массы. Закон сохранения количества движения. Закон сохранения момента количества

движения. Симметрия тензора напряжения. Закон сохранения механической энергии. Удельная внутренняя энергия. Первый закон термодинамики.

**Тема 2. Определяющие уравнения (2 часа).** Уравнения состояния среды. Второй закон термодинамики. Неравенство Клазиуса – Дюгема. Замкнутая система уравнений.

**Тема 3. Обратимость процессов (2 часа).** Обратимые и необратимые процессы. Абсолютная температура. Удельная энтропия.

## **МОДУЛЬ 2. Основы теории упругости (30 часов)**

### **Раздел I. Фундаментальные уравнения (14 часов)**

**Тема 1. Определяющие соотношения (4 часа).** Обобщённый закон Гука. Плотность энергии деформации. Изотропные и анизотропные среды. Модуль Юнга. Коэффициент Пуассона. Модуль сдвига и модуль объёмного сжатия.

**Тема 2. Основные уравнения и постановка задач (4 часа).** Система уравнений упругой однородной изотропной среды. Краевые условия. Уравнения Ламе. Единственность решения линейной задачи теории упругости. Уравнения совместности Бельтрами-Мичелла. Принцип Сен-Венана.

**Тема 3. Плоская задача теории упругости (6 часов).** Плоская деформация. Плоское напряжённое состояние. Обобщенное плоское напряжённое состояние. Функция напряжений Эри. Комплексное представление решения. Формулы Колосова-Мусхелишвили.

### **Раздел II. Задачи сопротивления материалов (16 часов)**

**Тема 1. Балка на двух опорах (2 часа).** Точное решение задачи полуобратным методом.

**Тема 2. Кручение призматических тел (4 часа).** Кручение призматических стержней. Решение Сен-Венана.

**Тема 3. Задачи динамики (8 часов).** Одномерные линейные задачи динамической теории упругости. Численный метод Годунова. Двумерные линейные задачи динамической теории упругости. Плоская и осесимметричная задачи. Уравнения упругой среды в цилиндрических координатах.

**Тема 4. Линейная термоупругость (2 часа).** Соотношения Дюгамеля-Неймана. Закон теплопроводности Фурье. Метод Галёркина.

### **МОДУЛЬ 3. Основы теории пластичности и ползучести (22 часа)**

#### **Раздел I. Критерии пластичности (12 часов)**

**Тема 1. Условие пластичности (4 часа).** Условие (критерий) текучести. Критерий текучести Треска (теория максимального касательного напряжения). Предел текучести на сдвиг и растяжение.

**Тема 2. Деформационная теория пластичности (4 часа).** Теория течения. Теория упругопластической деформации. Параметр Генки. Теория пластического течения. Уравнения Прандтля – Рейсса.

**Тема 3. Плоская задача теории пластичности (4 часа).** Линии скольжения и их свойства. Уравнения Генки. Телеграфное уравнение.

#### **Раздел II. Критерии ползучести (10 часов)**

**Тема 1. Теория наследственности (4 часа).** Ползучесть при одномерном и сложном напряжённом состоянии. Диаграммы ползучести и релаксации. Наследственные модели. Линейные модели вязкоупругого поведения материала. Ядро релаксации и ядро ползучести. Модель Максвелла. Модель Кельвина – Фойхта. Обобщенные модели. Принцип соответствия Вольтера.

**Тема 2. Нелинейные наследственные модели (2 часа).** Модели вязкопластических сред. Определяющие уравнения Шведова – Бингама. Теории старения, течения и упрочнения при ползучести.

**Тема 3. Ползучесть элементов конструкций (4 часа).** Ползучесть стержневой системы. Время разрушения стержня при ползучести. Система двух стержней.

## **II. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА (36 ЧАС.)**

### **Практические занятия (36 часов)**

#### **Занятие 1. Основные понятия и определения (4 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 2. Решение задач теории упругости. Часть 1. (4 часа).**

1. Задача о полой цилиндрической трубе.

2. Задача о сплошной сфере под влиянием собственного гравитационного поля.

**Занятие 3. Решение задач теории упругости. Часть 2. (2 часа).**

Определение напряжений в неограниченной пластине с круглым отверстием, подвергаемой на бесконечности одноосному растяжению.

**Занятие 4. Решение плоской задачи об изгибе балки на двух опорах (2 часа).**

1. Постановка задачи.

2. Выбор функции напряжений.

3. Нахождение значений функции на контуре.

**Занятие 5. Решение задачи о кручении призматических тел (2 часа).**

1. Постановка задачи.

2. Решение задачи.

**Занятие 6. Задачи термоупругости (4 часа).**

1. Напряжения в нагретом диске.

2. Напряжения в цилиндре.

3. Напряжения в шаре.

**Занятие 7. Вариационные методы в теории упругости (2 часа).**

1. Принцип возможных перемещений Лагранжа.

2. Принцип возможных сил Кастильяно.

3. Вариационный метод Рэлея-Ритца.

4. Метод Бубнова-Галеркина.

5. Метод Ритца-Лагранжа.

**Занятие 8. Решение задач теории пластичности. Часть 1. (4 часа).**

1. Задача об упруго-пластическом равновесии полого шара.

2. Задача об упруго-пластическом растяжении длиной трубы.

### **Занятие 9. Решение задач теории пластичности. Часть 2. (4 часа).**

1. Упруго-пластическое кручение призмы произвольного поперечного сечения.
2. Упруго-пластическое кручение овального стержня.
3. Задача о вдавливании твердого штампа с плоским основанием.

### **Занятие 10. Решение задач теории ползучести. Часть 1. (4 часа).**

1. Вывод определяющих уравнений при различных моделях ползучей среды.
2. Определение ядра релаксации для различных моделей ползучих сред.

### **Занятие 11. Решение задач теории ползучести. Часть 2. (4 часа).**

1. Определение релаксации напряжений в болтах фланцевого соединения.
2. Установившаяся ползучесть изгибаемых балок, сечение которых имеет две оси симметрии.

**Лабораторные работы не предусмотрены.**

## **I. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ**

Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся по дисциплине «Механика деформируемого твёрдого тела» представлено в Приложении 1 и включает в себя:

- план-график выполнения самостоятельной работы по дисциплине, в том числе примерные нормы времени на выполнение по каждому заданию;
- характеристика заданий для самостоятельной работы студентов и методические рекомендации по их выполнению;
- требования к представлению и оформлению результатов самостоятельной работы;
- критерии оценки выполнения самостоятельной работы.

## II. КОНТРОЛЬ ДОСТИЖЕНИЯ ЦЕЛЕЙ КУРСА

№ п/п	Контролируемые модули/ разделы / темы дисциплины	Коды и этапы формирования компетенций		Оценочные средства - наименование	
				текущий контроль	промежуточная аттестация
1	Общие сведения о МДТТ	ПК-3	<p>знает терминологию и закономерности механики деформируемого твердого тела;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 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</li> </ul>	Конспект (ПР-7)	Вопросы к экзамену 1-15
			<p>Умеет планировать и осуществлять научно-исследовательскую деятельность с применением современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 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</li> </ul>	Собеседование (УО-1)	Вопросы к экзамену 1-15
			<p>Владет навыками сбора, обработки, анализа и систематизации информации; выбора методов и средств решения задач исследования, навыками работы с вычислительной техникой;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- современными методами и технологиями математики и механики, компьютерными технологиями, применяемыми в области механики деформируемого твердого тела;</li> <li>- навыками теоретического и численного анализа прикладных задач механики с учетом потребностей промышленности;</li> <li>- навыками ставить задачи механики, выбирать адекватные способы и методы их решения,</li> </ul>	Разноуровневые задачи и задания (ПР-11)	Задачи тип I

			анализировать, интерпретировать, представлять и применять полученные результаты		
2	Основы теории упругости	ПК-3	знает терминологию и закономерности механики деформируемого твердого тела; - 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	Конспект (ПР-7)	Вопросы к экзамену 16-26
			Умеет 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	Собеседование (УО-1)	Вопросы к экзамену 16-25
			Владет навыками сбора, обработки, анализа и систематизации информации; выбора методов и средств решения задач исследования, навыками работы с вычислительной техникой; - современными методами и технологиями математики и механики, компьютерными технологиями, применяемыми в области механики деформируемого твердого тела; - навыками теоретического и численного анализа прикладных задач механики с учетом потребностей промышленности; - навыками ставить задачи механики, выбирать адекватные способы и методы их решения, анализировать, интерпретировать, представлять и применять полученные результаты	Разноуровневые задачи и задания (ПР-11)	Задачи тип II
3	Основы теории	ПК-13	знает научные основы и зако-	Конспект	Вопросы к

пластичности и ползучести	номерности механических явлений, применяемые для изучения законов деформирования, повреждения и разрушения материалов, выявления новых связей между структурой материалов;	(ПР-7)	экзамену 27-33
	- научные основы и закономерности механических явлений, применяемые при постановке и решении краевых задач для прогноза поведения деформируемых твердых тел различной природы при разнообразных воздействиях		
	Умеет использовать базовый физико-математический аппарат, расчетные и экспериментальные методы исследования для решения технологических проблем деформирования, разрушения и предупреждения недопустимых деформаций в конструкциях различного назначения	Собеседование (УО-1)	Вопросы к экзамену 27-33
	Владеет 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	Разноуровневые задачи и задания (ПР-11)	Задачи тип III

Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений и навыков и (или) опыта деятельности, а также критерии и показатели, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и характеризующие этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы представлены в Приложении 2.

### **III. СПИСОК УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

**Основная литература**  
(электронные и печатные издания)

1. Зубчанинов, В.Г. Механика процессов пластических сред [Электронный ресурс]/В.Г. Зубчанинов. - Электрон. дан. – М.: Физматлит, 2010. - 352 с.

2. Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/59586>.

3. Пикуль, В.В. Механика деформируемого твердого тела [Электронный ресурс]: учебник для вузов. – Владивосток: Изд. дом Дальневосточного федерального университета, 2012. – 333 с. Режим доступа:

<http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:822154&theme=FEFU>

4. Ханефт, А.В. Основы теории упругости [Электронный ресурс]: учебное пособие / А.В. Ханефт. - Электрон. дан. - Кемерово: КемГУ, 2009. - 99 с.

<https://e.lanbook.com/book/30185>

5. Ханефт, А.В. Основы механики сплошных сред в примерах и задачах. Ч. 2: Теория упругости [Электронный ресурс]: учебное пособие / А.В. Ханефт. - Электрон. дан. - Кемерово: КемГУ, 2011.- 103 с.

<https://e.lanbook.com/book/30184>

6. Маковкин, Г. А. Применение МКЭ к решению задач механики деформируемого твердого тела. Часть 1 [Электронный ресурс] : учебное пособие / Г. А. Маковкин, С. Ю. Лихачева. — Электрон. текстовые данные. — Нижний Новгород : Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2012. — 71 с. — 2227-8397.

<http://www.iprbookshop.ru/16043.html>

### **Дополнительная литература**

1. Димитриенко, Ю.И. Механика сплошной среды: в 4 т. Т 1 [Электронный ресурс]: учебное пособие / Ю.И. Димитриенко. - Электрон. дан. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. - 463 с. Режим доступа:

<https://e.lanbook.com/book/106596> .

Бровко, Г.Л. Элементы математического аппарата механики сплошной среды [Электронный ресурс]: учебное пособие / Г.Л. Бровко. - Электрон. дан. – М.: Физматлит, 2015. - 424 с. Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/71990>.

3. Димитриенко, Ю.И. Механика сплошной среды: в 4 т. Т 4 [Электронный ресурс]: учебное пособие / Ю.И. Димитриенко.- Электрон. дан. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2013. -623 с. Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/106598>

## **Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»**

### **Перечень информационных технологий и программного обеспечения**

## **IV. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

На изучение дисциплины отводится 108 часов аудиторных занятий и 144 часа самостоятельной работы.

На практических занятиях преподаватель контролирует работу студентов, отвечает на возникающие вопросы, подсказывает ход и метод решения. Если полученных в аудитории знаний окажется недостаточно, студент может самостоятельно повторно прочесть лекцию или соответствующую литературу, просмотреть практикум с разобранными примерами. После выполнения задания, студент защищает его преподавателю в назначенное время.

## **V. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

- Акустическая система Extron SI 3CT LP (3 шт),
- врезной интерфейс TLS ТАМ 201 Standart III,
- документ-камера Avervision CP355AF,

- матричный коммутатор Extron DXP 44 DVI PRO,
- микрофонная петличная радиосистема Sennheiser EW 122 G3,
- мультимедийный проектор Mitsubishi EW330U,
- расширение для контроллера управления Extron IPL T CR48,
- сетевая видеокамера Multipix MP-HD718,
- стойка металлическая для ЖК-дисплея,
- усилитель мощности Extron XPA 2001-100V,
- усилитель-распределитель DVI сигнала Extron DVI DA2,
- цифровой аудиопроцессор Extron DMP 44 LC,
- экран проекционный ScreenLine Trim White Ice.

Приложение 1



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Дальневосточный федеральный университет»  
(ДВФУ)

---

ИНЖЕНЕРНАЯ ШКОЛА

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ  
РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ**

**по дисциплине «Механика деформируемого твердого тела»**  
**Направление подготовки – 15.04.03 «Прикладная механика»**  
профиль «Математическое и компьютерное моделирование механических систем и процессов»  
**Форма подготовки очная**

**Владивосток**  
**2016**

**План-график выполнения самостоятельной работы по дисциплине**

<b>№п/п, тема ра- боты</b>	<b>Дата/сроки вы- полнения</b>	<b>Вид СРС</b>	<b>Примерные нормы вре- мени на вы- полнение</b>	<b>Форма кон- троля</b>
1.	8 неделя семестра	Подготовка к устному опросу и решению задач по разделу «Основные понятия и определения»	5 час.	УО-1, ПР-11
2.	14 неделя семестра	Подготовка к устному опросу и решению задач по разделу «Напряжения»	5 час.	УО-1, ПР-11
3.	Зачетная неделя	Подготовка к зачету за первый семестр	8 час.	Зачет
4.	2 неделя семестра	Подготовка к устному опросу и решению задач по разделу «Начала термодинамики»	10 час.	УО-1, ПР-11

5.	5 неделя семестра	Подготовка к устному опросу и решению задач по разделу «Основы теории упругости»	11 час.	УО-1, ПР-11
6.	9 неделя семестра	Подготовка к устному опросу и решению задач по разделу «Задачи сопротивления материалов»	12 час.	УО-1, ПР-11
7.	14 неделя семестра	Подготовка к устному опросу и решению задач по разделу «Критерии пластичности»	10 час.	УО-1, ПР-11
8.	17 неделя семестра	Подготовка к устному опросу и решению задач по разделу «Критерии ползучести»	11 час.	УО-1, ПР-11
9.	Экзаменационная сессия	Подготовка к экзамену	36 час.	Экзамен
Итого:			108 час.	

### **Разноуровневые задачи и задания**

Разноуровневые задачи и задания решаются на практических занятиях во время изучения соответствующего раздела курса. Типовые разноуровневые задачи и задания приведены в Приложении 2.

### **Устные опросы**

Устные опросы осуществляется преподавателем по завершению изучения каждого раздела. Вопросы приведены в Приложении 2. Для подготовки используется основная и дополнительная литература по дисциплине «Механика деформируемого твердого тела».

Вопросы, возникающие в процессе подготовки, студент может задать преподавателю на консультациях.

### **Критерии оценки выполнения самостоятельной работы**

Самостоятельная работа студентов включает подготовку к устным опросам, подготовку к зачету и экзамену. Критерии оценки каждого вида работы приведены в приложении 2.



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«Дальневосточный федеральный университет»**  
(ДФУ)

---

**ИНЖЕНЕРНАЯ ШКОЛА**

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**  
**по дисциплине «Механика деформируемого твёрдого тела»**  
**Направление подготовки – 15.03.03 «Прикладная механика»**  
**профиль «Математическое и компьютерное моделирование механических**  
**систем и процессов»**  
**Форма подготовки очная**

**Владивосток**  
**2016**

## Паспорт ФОС

Код и формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции	
<p>ПК-3 - готовностью выполнять научно-исследовательские работы и решать научно-технические задачи в области прикладной механики на основе достижений техники и технологий, классических и технических теорий и методов, физико-механических, математических и компьютерных моделей, обладающих высокой степенью адекватности реальным процессам, машинам и конструкциям</p>	Знает	<ul style="list-style-type: none"> <li>- терминологию и закономерности механики деформируемого твердого тела;</li> <li>- 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.</li> </ul>
	Умеет	<ul style="list-style-type: none"> <li>- планировать и осуществлять научно-исследовательскую деятельность с применением современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий;</li> <li>- 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.</li> </ul>
	Владеет	<ul style="list-style-type: none"> <li>- навыками сбора, обработки, анализа и систематизации информации; выбора методов и средств решения задач исследования, навыками работы с вычислительной техникой;</li> <li>- современными методами и технологиями математики и механики, компьютерными технологиями, применяемыми в области механики деформируемого твердого тела;</li> <li>- навыками теоретического и численного анализа прикладных задач механики с учетом потребностей промышленности;</li> <li>- навыками ставить задачи механики, выбирать адекватные способы и методы их решения, анализировать, интерпретировать, представлять и применять полученные результаты.</li> </ul>
<p>ПК-13 - готовностью участвовать в проектировании машин и конструкций с целью обеспечения их прочности, устойчивости, долговечности и безопасно-</p>	Знает	<ul style="list-style-type: none"> <li>- научные основы и закономерности механических явлений, применяемые для изучения законов деформирования, повреждения и разрушения материалов, выявления новых связей между структурой материалов;</li> <li>- научные основы и закономерности механических явлений, применяемые при постановке и решении</li> </ul>

сти, обеспечения надежности и износостойкости узлов и деталей машин		краевых задач для прогноза поведения деформируемых твердых тел различной природы при разнообразных воздействиях.
	Умеет	- использовать базовый физико-математический аппарат, расчетные и экспериментальные методы исследования для решения технологических проблем деформирования, разрушения и предупреждения недопустимых деформаций в конструкциях различного назначения.
	Владеет	- 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.

№ п/п	Контролируемые модули/ разделы / темы дисциплины	Коды и этапы формирования компетенций		Оценочные средства - наименование	
				текущий контроль	промежуточная аттестация
1	Общие сведения о МДТТ	ПК-3	знает терминологию и закономерности механики деформируемого твердого тела; - 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	Конспект (ПР-7)	Вопросы к экзамену 1-15
			Умеет планировать и осуществлять научно-исследовательскую деятельность с применением современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий;	Собеседование (УО-1)	Вопросы к экзамену 1-15

			<p>- 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</p>		
			<p>Владеет навыками сбора, обработки, анализа и систематизации информации; выбора методов и средств решения задач исследования, навыками работы с вычислительной техникой;</p> <p>- современными методами и технологиями математики и механики, компьютерными технологиями, применяемыми в области механики деформируемого твердого тела;</p> <p>- навыками теоретического и численного анализа прикладных задач механики с учетом потребностей промышленности;</p> <p>- навыками ставить задачи механики, выбирать адекватные способы и методы их решения, анализировать, интерпретировать, представлять и применять полученные результаты</p>	Разноуровневые задачи и задания (ПР-11)	Задачи тип I
2	Основы теории упругости	ПК-3	<p>знает терминологию и закономерности механики деформируемого твердого тела;</p> <p>- методы реализации научно-исследовательской деятельности в области математики и механи-</p>	Конспект (ПР-7)	Вопросы к экзамену 16-26

		ки, а также методы генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач с использованием информационно-коммуникационных технологий		
		<p>Умеет планировать и осуществлять научно-исследовательскую деятельность с применением современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий;</p> <p>- 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</p>	Собеседование (УО-1)	Вопросы к экзамену 16-25
		<p>Владет навыками сбора, обработки, анализа и систематизации информации; выбора методов и средств решения задач исследования, навыками работы с вычислительной техникой;</p> <p>- современными методами и технологиями математики и механики, компьютерными технологиями, применяемыми в области механики деформируемого твердого тела;</p> <p>- навыками теоретического и численного анализа прикладных задач механики с учетом потребностей промышленности;</p>	Разноуровневые задачи и задания (ПР-11)	Задачи тип II

			- навыками ставить задачи механики, выбирать адекватные способы и методы их решения, анализировать, интерпретировать, представлять и применять полученные результаты		
3	Основы теории пластичности и ползучести	ПК-13	знает научные основы и закономерности механических явлений, применяемые для изучения законов деформирования, повреждения и разрушения материалов, выявления новых связей между структурой материалов;	Конспект (ПР-7)	Вопросы к экзамену 27-33
			- научные основы и закономерности механических явлений, применяемые при постановке и решении краевых задач для прогноза поведения деформируемых твердых тел различной природы при разнообразных воздействиях	Собеседование (УО-1)	Вопросы к экзамену 27-33
			Умеет использовать базовый физико-математический аппарат, расчетные и экспериментальные методы исследования для решения технологических проблем деформирования, разрушения и предупреждения недопустимых деформаций в конструкциях различного назначения		
			Владеет современными методами и технологиями вычислительной математики и механики, теоретическими, расчетными и экспериментальными методами исследований, применяемыми для прогноза поведения деформируемых твердых тел раз-	Разноуровневые задачи и задания (ПР-11)	Задачи тип III

			личной природы при разнообразных воздействиях		
--	--	--	---	--	--

## Шкала оценивания уровня сформированности компетенций

Код и формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции		критерии	показатели
ПК-3 - готовностью выполнять научно-исследовательские работы и решать научно-технические задачи в области прикладной механики на основе достижений техники и технологий, классических и технических теорий и методов, физико-механических, математических и компьютерных моделей, обладающих высокой степенью адекватности реальным процессам, машинам и конструкциям	знает (пороговый уровень)	терминологию и закономерности механики деформируемого твердого тела; 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.	- знание терминологии и закономерностей механики деформируемого твердого тела; - знание основных методов реализации научно-исследовательской деятельности в области математики и механики, а также методов генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач с использованием информационно-коммуникационных технологий.	- способность дать определения основных понятий и записать основные формулы механики деформируемого твердого тела; - способность рассказать об основных методах реализации научно-исследовательской деятельности в области математики и механики и методах генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач с использованием информационно-коммуникационных технологий.
	умеет (продвинутый)	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	- умение планировать и осуществлять научно-исследовательскую деятельность в области механики деформируемого твердого тела с применением современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий; - умение применять базовый физико-математический аппарат, вычислительные методы и методы компьютерного моделирования в задачах механики деформируемого твердого тела.	- способность осуществлять научно-исследовательскую работу в рамках базового курса «Механики деформируемого твердого тела»; - способность применять базовый физико-математический аппарат, вычислительные методы и методы компьютерного моделирования в задачах механики деформируемого твердого тела.

		между структурой материалов, характером внешних воздействий и процессами деформирования и разрушения.		
	владелец (высокий)	<p>навыками сбора, обработки, анализа и систематизации информации; выбора методов и средств решения задач исследования, навыками работы с вычислительной техникой;</p> <p>современными методами и технологиями математики и механики, компьютерными технологиями, применяемыми в области механики деформируемого твердого тела;</p> <p>навыками теоретического и численного анализа прикладных задач механики с учетом потребностей промышленности;</p> <p>навыками ставить задачи механики, выбирать адекватные способы и методы их решения, анализировать, интерпретировать, представлять и применять полученные результаты.</p>	<p>- владение навыками сбора, обработки, анализа и систематизации информации; выбора методов и средств решения задач исследования, навыками работы с вычислительной техникой; современными методами и технологиями математики и механики, компьютерными технологиями, применяемыми в области механики деформируемого твердого тела;</p> <p>- владение навыками теоретического и численного анализа прикладных задач механики с учетом потребностей промышленности;</p> <p>- владение навыками ставить задачи механики, выбирать адекватные способы и методы их решения, анализировать, интерпретировать, представлять и применять полученные результаты.</p>	<p>- способность бегло и точно применять терминологический аппарат механики деформируемого твердого тела в устных ответах на вопросы и в письменных работах;</p> <p>- способность систематически применять анализ методологических проблем, возникающих при решении исследовательских и практических задач;</p> <p>- способность использовать современные математический аппарат и методы в механики, компьютерные технологии для решения исследовательских и практических задач в области механики деформируемого твердого тела;</p> <p>- способность теоретически и численно анализировать прикладные задачи механики;</p> <p>- способность ставить задачи механики, выбирать адекватные способы и методы их решения, анализировать, интерпретировать, представлять и применять полученные результаты.</p>
ПК-13 - готовностью участвовать в проектировании	знает (пороговый)	научные основы и закономерности механические	- знание научных основ и закономерностей механических явлений, применя-	- способность изложить научные основы и закономерности механические

<p>машин и конструкций с целью обеспечения их прочности, устойчивости, долговечности и безопасности, обеспечения надежности и износостойкости узлов и деталей машин</p>	уровень)	<p>ских явлений, применяемые для изучения законов деформирования, повреждения и разрушения материалов, выявления новых связей между структурой материалов;</p> <p>научные основы и закономерности механических явлений, применяемые при постановке и решении краевых задач для прогноза поведения деформируемых твердых тел различной природы при разнообразных воздействиях.</p>	<p>емых для изучения законов деформирования, повреждения и разрушения материалов, выявления новых связей между структурой материалов;</p> <p>- знание научных основ и закономерностей механических явлений, применяемые при постановке и решении краевых задач для прогноза поведения деформируемых твердых тел различной природы при разнообразных воздействиях.</p>	<p>ских явлений.</p>
	умеет (продвинутый)	<p>использовать базовый физико-математический аппарат, расчетные и экспериментальные методы исследования для решения технологических проблем деформирования, разрушения и предупреждения недопустимых деформаций в конструкциях различного назначения.</p>	<p>- умение применять базовый физико-математический аппарат, расчетные и экспериментальные методы исследования для решения задач механики.</p>	<p>- способность применять базовый физико-математический аппарат, расчетные и экспериментальные методы исследования для решения стандартных задач механики, предложенных в курсе «Механика деформируемого твердого тела».</p>
	владеет (высокий)	<p>современными методами и технологиями вычислительной математики и механики, теоретическими, расчетными и экспериментальными</p>	<p>- владение современными методами и технологиями вычислительной математики и механики, теоретическими, расчетными и экспериментальными методами исследований, применяемыми для решения задач механики.</p>	<p>- способность использовать современные методы и технологии вычислительной математики и механики, теоретические, расчетные и экспериментальные методы исследований для решения задач механики, вы-</p>

		ми методами исследований, применяемыми для прогноза поведения деформируемых твердых тел различной природы при разнообразных воздействиях.		ходящих за рамки курса «Механика деформируемого твердого тела».
--	--	---	--	---

**Методические рекомендации, определяющие процедуры оценивания результатов освоения дисциплины**

**Текущая аттестация студентов.** Текущая аттестация студентов по дисциплине «Механика деформируемого твердого тела» проводится в соответствии с локальными нормативными актами ДВФУ и является обязательной.

Текущая аттестация по дисциплине «Механика деформируемого твердого тела» проводится в форме контрольных мероприятий (собеседование, конспект, разноуровневые задачи) по оцениванию фактических результатов обучения студентов и осуществляется ведущим преподавателем.

Объектами оценивания выступают:

– учебная дисциплина (активность на занятиях, своевременность выполнения различных видов заданий, посещаемость всех видов занятий по аттестуемой дисциплине);

– степень усвоения теоретических знаний (активность в ходе обсуждений материалов лекций, активное участие в дискуссиях с аргументами из дополнительных источников, внимательность, способность задавать встречные вопросы в рамках дискуссии или обсуждения, заинтересованность изучаемыми материалами);

– уровень овладения практическими умениями и навыками по всем видам учебной работы (определяется по результатам контрольных работ, практических занятий, ответов на тесты);

– результаты самостоятельной работы (задания и критерии оценки размещены в Приложении 1).

**Промежуточная аттестация студентов.** Промежуточная аттестация

студентов по дисциплине «Механика деформируемого твердого тела» проводится в соответствии с локальными нормативными актами ДВФУ и является обязательной.

**Вид промежуточной аттестации – зачет** (6 семестр), состоящий из устного опроса в форме собеседования.

**Краткая характеристика процедуры применения используемого оценочного средства.** В результате посещения лекций, лабораторных занятий, семинаров и круглых столов студент последовательно осваивает материалы дисциплины и изучает ответы на вопросы к зачету, представленные в структурном элементе ФОС IV.1. В ходе промежуточной аттестации студент готовит индивидуальное творческое зачетное задание (индивидуальное творческое зачетное задание размещено в структурном элементе ФОС IV.2). Критерии оценки студента на зачете представлены в структурном элементе ФОС IV.3. Критерии оценки текущей аттестации – контрольная проверка знаний (собеседование, конспект, разноуровневые задачи) представлены в структурном элементе ФОС V.

### **Оценочные средства для промежуточной аттестации**

#### **Вопросы к зачёту**

1. Лагранжев и эйлеров способы описания движения сплошной среды. Траектория частицы. Закон движения. Перемещение, скорость, ускорение. Полная, частная и конвективная производные по времени.

2. Меры деформаций Коши и Грина. Лагранжев и эйлеров тензоры конечных деформаций. Их связь с перемещениями. Тензор малых деформаций. Тензор вращения. Дисторсия. Вектор линейного поворота. Соотношения Коши.

3. Перемещение абсолютно твёрдого тела. Условия совместности деформаций в интегральной форме. Условия совместности Сен-Венана. Условия сплошности многосвязных и неоднородных тел.

4. Физический смысл компонент тензора деформаций. Главные деформации и главные направления и их физический смысл.

5. Определение тензора скоростей деформаций.

6. Объёмные, массовые и поверхностные силы. Главный вектор и главный момент сил. Равновесие элементарного тетраэдра. Вектор напряжений. Тензор напряжений Коши. Распределение усилий на поверхности элементарного кубика. Нормальное и касательное напряжения на площадке. Главные напряжения и главные площадки в точке.

7. Закон сохранения массы в дифференциальной и интегральной формах. Уравнение неразрывности.

8. Закон сохранения количества движения (импульса). Уравнения движения сплошной среды. Закон сохранения момента количества движения. Симметрия тензора напряжений.

9. Максимальные касательные напряжения и площадки, на которых они реализуются. Круги Мора. Октаэдрические площадки. Среднее (гидростатическое) напряжение. Интенсивность напряжений. Частные случаи напряжённого состояния.

10. Поверхность напряжений.

11. Тензор Пиола-Кирхгофа. Тензор Кирхгофа.

12. Закон сохранения механической энергии. Теорема "живых сил". Массовый приток тепла. Вектор потока тепла. Удельная внутренняя энергия. Первый закон термодинамики. Локальное уравнение энергии.

13. Обратимые и необратимые процессы. Абсолютная температура. Удельная энтропия. Второй закон термодинамики. Неравенство Клаузиуса-Дюгамеля. Закон Фурье.

14. Зависимые и независимые термодинамические параметры состояния. Удельная свободная энергия Гельмгольца.

15. Термодинамика неравновесных процессов. Изотермический и адиабатический неравновесные процессы. Гипотеза локального равновесия. Локальное представление законов термодинамики.

16. Определяющие соотношения линейно упругого тела. Обобщённый закон Гука. Плотность энергии деформации. Изотропные и анизотропные среды. Модуль Юнга. Коэффициент Пуассона. Модуль сдвига и модуль объём-

ёмного сжатия.

17. Закон Гука для изотропного тела в прямой и обратной формах. Физический смысл упругих постоянных и область их изменения. Статические, квазистатические и динамические постановки начально-краевых задач теории упругости. Теорема единственности статической задачи.

18. Уравнения Ламе. Постановка в перемещениях. Уравнения Бельтрами – Мичелла.

19. Плоская задача теории упругости. Плоское деформированное состояние. Функция Эйри. Плоское напряжённое и обобщённое плоское напряжённое состояния.

20. Применение теории функций комплексной переменной. Формулы Лява. Комплексные потенциалы. Формула Колосова – Мусхелишвили.

21. Линейная термоупругость. Соотношения Дюгамеля-Неймана. Закон теплопроводности Фурье. Метод Галёркина.

22. Динамические задачи теории упругости. Теорема Гельмгольца. Волновые уравнения для потенциалов. Два типа волн в неограниченной упругой среде. Плоские волны. Решение Даламбера.

23. Отражение плоской волны от свободной поверхности и от жесткой стенки.

24. Поверхностные волны Релея. Волны Лява.

25. Поверхности разрывов. Ударные волны. Геометрические, кинематические и динамические условия совместности. Соотношение Адамара.

26. Плоская автомодельная задача.

### **Принцип составления билета на зачет**

В билет входит два теоретических вопроса. Таблица для составления билетов на зачет по фонду оценочных средств:

<b>Номер вопроса</b>	<b>Билет</b>
1	вопросы 1 – 13
2	вопросы 14 – 26

**Критерии выставления оценки студенту на зачете  
по дисциплине «Механика деформируемого твердого тела»:**

<b>Баллы (рейтинговой оценки)</b>	<b>Оценка зачета (стандартная)</b>	<b>Требования к сформированным компетенциям</b>
61-100	«зачтено»	Оценка «зачтено» выставляется студенту, если он твердо знает программный материал по механике деформируемого твердого тела, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос, справляется с задачами, вопросами, причем не затрудняется с ответом при видоизменении заданий, правильно обосновывает принятое решение, владеет разносторонними навыками и приемами выполнения практических задач, связанных с профессиональной деятельностью в области механики.
0-60	«не зачтено»	Оценка «не зачтено» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала по механике деформируемого твердого тела, допускает существенные ошибки, неуверенно, с большими затруднениями выполняет практические работы по механике. Оценка «незачтено» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.

**Вопросы к экзамену**

1. Лагранжев и эйлеров способы описания движения сплошной среды. Траектория частицы. Закон движения. Перемещение, скорость, ускорение. Полная, частная и конвективная производные по времени.
2. Меры деформаций Коши и Грина. Лагранжев и эйлеров тензоры конечных деформаций. Их связь с перемещениями. Тензор малых деформаций. Тензор вращения. Дисторсия. Вектор линейного поворота. Соотношения Коши.
3. Перемещение абсолютно твёрдого тела. Условия совместности деформаций в интегральной форме. Условия совместности Сен-Венана. Условия сплошности многосвязных и неоднородных тел.
4. Физический смысл компонент тензора деформаций. Главные деформации и главные направления и их физический смысл.
5. Определение тензора скоростей деформаций.
6. Объёмные, массовые и поверхностные силы. Главный вектор и глав-

ный момент сил. Равновесие элементарного тетраэдра. Вектор напряжений. Тензор напряжений Коши. Распределение усилий на поверхности элементарного кубика. Нормальное и касательное напряжения на площадке. Главные напряжения и главные площадки в точке.

7. Закон сохранения массы в дифференциальной и интегральной формах. Уравнение неразрывности.

8. Закон сохранения количества движения (импульса). Уравнения движения сплошной среды. Закон сохранения момента количества движения. Симметрия тензора напряжений.

9. Максимальные касательные напряжения и площадки, на которых они реализуются. Круги Мора. Октаэдрические площадки. Среднее (гидростатическое) напряжение. Интенсивность напряжений. Частные случаи напряженного состояния.

10. Поверхность напряжений.

11. Тензор Пиола-Кирхгофа. Тензор Кирхгофа.

12. Закон сохранения механической энергии. Теорема "живых сил". Массовый приток тепла. Вектор потока тепла. Удельная внутренняя энергия. Первый закон термодинамики. Локальное уравнение энергии.

13. Обратимые и необратимые процессы. Абсолютная температура. Удельная энтропия. Второй закон термодинамики. Неравенство Клаузиуса-Дюгамеля. Закон Фурье.

14. Зависимые и независимые термодинамические параметры состояния. Удельная свободная энергия Гельмгольца.

15. Термодинамика неравновесных процессов. Изотермический и адиабатический неравновесные процессы. Гипотеза локального равновесия. Локальное представление законов термодинамики.

16. Определяющие соотношения линейно упругого тела. Обобщенный закон Гука. Плотность энергии деформации. Изотропные и анизотропные среды. Модуль Юнга. Коэффициент Пуассона. Модуль сдвига и модуль объемного сжатия.

17. Закон Гука для изотропного тела в прямой и обратной формах. Физический смысл упругих постоянных и область их изменения. Статические, квазистатические и динамические постановки начально-краевых задач теории упругости. Теорема единственности статической задачи.

18. Уравнения Ламе. Постановка в перемещениях. Уравнения Бельтрами – Мичелла.

19. Плоская задача теории упругости. Плоское деформированное состояние. Функция Эйри. Плоское напряжённое и обобщённое плоское напряжённое состояния.

20. Применение теории функций комплексной переменной. Формулы Лява. Комплексные потенциалы. Формула Колосова – Мусхелишвили.

21. Линейная термоупругость. Соотношения Дюгамеля-Неймана. Закон теплопроводности Фурье. Метод Галёркина.

22. Динамические задачи теории упругости. Теорема Гельмгольца. Волновые уравнения для потенциалов. Два типа волн в неограниченной упругой среде. Плоские волны. Решение Даламбера.

23. Отражение плоской волны от свободной поверхности и от жесткой стенки.

24. Поверхностные волны Релея. Волны Лява.

25. Поверхности разрывов. Ударные волны. Геометрические, кинематические и динамические условия совместности. Соотношение Адамара.

26. Плоская автомодельная задача.

27. Условие (критерий) текучести. Критерий текучести Треска (теория максимального касательного напряжения). Предел текучести на сдвиг и растяжение.

28. Теория течения. Теория упругопластической деформации. Параметр Генки. Теория пластического течения. Уравнения Прандтля – Рейса.

29. Плоская задача теории пластичности. Линии скольжения и их свойства. Уравнения Генки. Телеграфное уравнение.

30. Теория наследственности. Ползучесть при одномерном и сложном

напряжённом состоянии. Диаграммы ползучести и релаксации. Наследственные модели. Линейные модели вязкоупругого поведения материала.

31. Теория наследственности. Ядро релаксации и ядро ползучести. Модель Максвелла. Модель Кельвина – Фойхта. Обобщенные модели. Принцип соответствия Вольтера.

32. Модели вязкопластических сред. Определяющие уравнения Шведова – Бингама. Теории старения, течения и упрочнения при ползучести.

33. Ползучесть элементов конструкций.

### Перечень типовых экзаменационных задач

На экзамен выносятся одна задача, соответствующая одному из разделов курса. Примеры решения типовых задач рассматриваются на практических занятиях.

#### Примеры типовых задач по разделу «Основы теории упругости» (тип I)

1. Тензор напряжений  $[\sigma] = \sigma_{ij} r_i r_j$  в точке задан матрицей

$$[\sigma_{ij}] = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 0 \\ 2 & 3 & 5 \\ 0 & 5 & 1 \end{bmatrix}. \text{ Определите нормальные напряжения в данной точке на}$$

площадке с единичным вектором нормали  $\bar{n} = n^k \bar{r}_k = \frac{1}{\sqrt{2}} \bar{r}_1 + \frac{1}{\sqrt{2}} \bar{r}_2$ .

2. Определите первый и второй основные инварианты тензора напряжений, заданного в декартовой прямоугольной системе координат матрицей

$$[\sigma_{ij}] = \begin{bmatrix} 6 & -3 & 0 \\ -3 & 6 & 0 \\ 0 & 0 & 8 \end{bmatrix}. \text{ Найдите главные напряжения и покажите, что диаго-}$$

нальная матрица приводит к тем же значениям инвариантов.

3. Некоторый объем сплошной среды испытывает деформацию

$$x_1 = \xi_1, \quad x_2 = \xi_2 + A\xi_3, \quad x_3 = \xi_3 + A\xi_2, \quad A = \text{const.}$$

Вычислить лагранжев тензор конечных деформаций.

4. Какой вид должны иметь компоненты массовой силы, если при распределении напряжений

$$\sigma_{ij} = \begin{pmatrix} 4x_1 & 2x_2 & x_1 \\ 2x_2 & 0 & 7x_2^2 \\ x_1 & 7x_2^2 & 0 \end{pmatrix}$$

всюду выполнены уравнения равновесия?

### Примеры типовых задач по разделу «Основы теории упругости» (тип II)

1. В некотором изотропном теле задан вектор перемещения

$$\bar{u} = yz\bar{e}_1 - xz\bar{e}_2 + 3x^3y^2\bar{e}_3.$$

Определить напряжения, возникающие в теле, и потенциальную энергию.

2. Пусть функции  $\varphi(x_1, x_2, x_3)$ , ( $i=1,2,3$ ) и  $\psi(x_1, x_2, x_3)$  являются гармоническими. При каком условии следующие формулы:

$$u_i = \varphi_i + (r^2 - a^2) \frac{\partial \psi}{\partial x_i}, \quad r^2 = x_1^2 + x_2^2 + x_3^2, \quad a = const$$

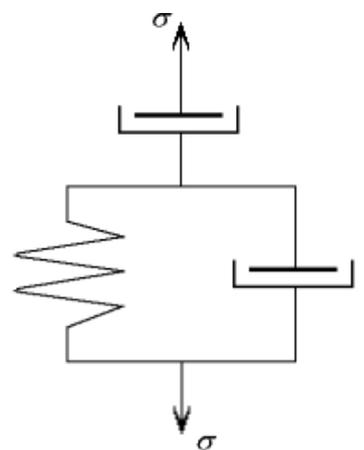
определяют решение однородных уравнений Ламе?

3. При каком распределении температуры напряжённое состояние внутри односвязного тела, не нагруженного массовыми и поверхностными силами, отсутствует?

4. Величина  $\theta = e_{11} + e_{22} + e_{33}$  представляет собой объёмную деформацию элементарного параллелепипеда. Используя закон Гука, найдите зависимость  $\theta$  от средних напряжений  $\sigma = \frac{1}{3}(\sigma_{11} + \sigma_{22} + \sigma_{33})$ .

### Примеры типовых задач по разделу «Основы теории пластичности и ползучести» (тип III)

1. На рисунке приведена реологическая схема модели Лесерсича, которая применялась к описанию деформации битума. Построить определяющее уравнение такой среды. Коэффициенты вязкости демпферов обозначить через  $\eta_0$  и  $\eta$ , соответственно, а модуль Юнга упругого элемента – через  $E$ .



2. Упругопластическая среда, подчиняющаяся критерию текучести Мизеса, движется в условиях плоской деформации в

декартовой плоскости  $(x_1, x_2)$ . Считая начальное состояние ненапряженным, показать, что:

- 1) во все время движения выполнено  $\sigma_{13} = \sigma_{23} = 0$ ;
- 2) если среда несжимаема, то выполнено  $\sigma_{33} = \frac{\sigma_{11} + \sigma_{22}}{2}$ ;

и критерий текучести Мизеса принимает вид  $(\sigma_{11} - \sigma_{22})^2 + 4\sigma_{12}^2 = 4k^2$ ,  $k = \sigma_s / \sqrt{3}$ .

3. Для напряженного состояния,  $\sigma_{11} = \sigma$ ,  $\sigma_{12} = \tau$ ,  $\sigma_{22} = \sigma_{33} = \sigma_{13} = \sigma_{23} = 0$ , которое возникает при испытании на растяжение - кручение тонкостенной трубы, получить кривые текучести в плоскости  $(\sigma, \tau)$  в соответствии с критериями Мизеса и Треска. Предел текучести при простом растяжении равен  $k_s$ .

4. Вычислить преобразование Лапласа ядра ползучести для среды Кельвина-Фойхта.

### Образец экзаменационного билета

1. Поверхность напряжений.
2. Плоская задача теории пластичности. Линии скольжения и их свойства.
3. Определите главные деформации для тензора деформаций заданного в прямоугольной декартовой системе координат следующим образом

$$[e_{ij}] = 10^{-3} \begin{bmatrix} 1 & -2 & 2 \\ -2 & 3 & 0 \\ 2 & 0 & -5 \end{bmatrix}$$

### Принцип составления билета на экзамен

В билет входит два теоретических вопроса и задача. Таблица для составления билетов на зачет по фонду оценочных средств:

Номер вопроса	Билет	Билет	Билет
1	Вопросы 16 – 26	Вопросы 1 – 15	Вопросы 1 – 15
2	Вопросы 27 – 33	Вопросы 27 – 33	Вопросы 16 – 26
3	Задача типа I	Задача типа II	Задача типа III

## Критерии выставления оценки студенту на экзамене по дисциплине

### «Механика деформируемого твердого тела»

Баллы (рейтинговой оценки)	Оценка экзамена (стандартная)	Требования к сформированным компетенциям
86-100	«отлично»	Оценка «отлично» выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал по «Механике деформируемого твердого тела»; исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, свободно справляется с задачами, вопросами и другими видами применения знаний, причем не затрудняется с ответом при видоизменении заданий, использует в ответе материал монографической литературы, правильно обосновывает принятое решение, владеет разносторонними навыками и приемами выполнения практических задач.
76-85	«хорошо»	Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твердо знает материал по «Механике деформируемого твердого тела», грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос, правильно применяет теоретические положения при решении практических вопросов и задач, владеет необходимыми навыками и приемами их выполнения.
61-75	«удовлетворительно»	Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала в области «Механики деформируемого твердого тела», но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, испытывает затруднения при выполнении практических работ.
0-60	«неудовлетворительно»	Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала по «Механике деформируемого твердого тела», допускает существенные ошибки, неуверенно, с большими затруднениями выполняет практические работы. Оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине

## **.Оценочные средства для текущей аттестации**

Перечень тем «Конспекта» соответствует темам лекционных и практических занятий.

### **Критерии оценки конспекта:**

✓ 100-85 баллов – есть подробный конспект всех лекционных и практических занятий, разобраны все дополнительные необязательные вопросы.

✓ 85-76 баллов – есть краткий конспект всех лекционных и практических занятий.

✓ 75-61 балл – есть неполный конспект лекционных и практических занятий, в котором отсутствует несколько тем.

✓ 60-50 баллов – есть неполный конспект лекционных и практических занятий, в котором отсутствует более половины тем.

### **Вопросы для собеседований по дисциплине «Механика деформируемого твердого тела»**

1. Что изучает механика деформируемого твердого тела?
2. В чем заключается основное отличие механики деформируемого твердого тела от теоретической механики?
3. Каковы общие свойства твердых деформируемых тел?
4. Что понимается под сплошностью тела?
5. Что понимается под однородностью материала?
6. В чем отличие неоднородного тела от однородного?
7. Что понимается в механике деформируемого твердого тела под внешней силой?
8. Чем отличаются друг от друга сосредоточенные, поверхностные и объемные силы?
9. Как классифицируются внешние силы по продолжительности воздействия, характеру изменения величины и направлению линии действия по отношению к элементу сооружения?
10. Чем отличается сила от нагрузки?

11. В чем заключается сущность метода сечений?
12. С какой целью вводится в механику деформируемых сред принцип отвердевания?
13. Что такое напряжение?
14. Что такое напряженное состояние в точке?
15. На какие составляющие раскладывается полное напряжение?
16. Что понимается под перемещением деформируемого тела?
17. На какие составляющие раскладывается полное перемещение точки?
18. Что такое деформация?
19. Какие виды деформации тела выделяются в окрестности произвольной точки?
20. Что такое деформированное состояние в точке?
21. Какие механические свойства материала деформируемых тел Вы знаете?
22. В чем заключается способ Лагранжа изучения движения деформируемых сред и что понимается под лагранжевыми координатами?
23. В чем заключается способ Эйлера изучения движения деформируемых сред и что понимается под эйлеровыми координатами?
24. Изменяются ли во времени лагранжевы координаты движущейся сплошной среды?
25. Изменяются ли во времени эйлеровы координаты движущейся сплошной среды?
26. Что такое относительная линейная деформация сплошной среды в точке и зависит ли она от выбранного направления?
27. Изменяются ли направления линейных элементов деформируемого тела при его деформации?
28. Изменяются ли углы между направлениями линейных элементов деформируемого тела при его деформации?
29. Что такое тензор деформаций Грина и чем он отличается от тензора деформаций Альманси?

30. Определите понятие главных компонент тензора деформаций, главных деформаций и главных осей деформаций.
31. Какие существуют виды деформированного состояния в точке?
32. Что такое инварианты тензора деформаций?
33. Определите понятие объёмной деформации?
34. Каким образом деформируются координатные площадки?
35. Какой физический смысл шарового тензора деформаций?
36. Какой физический смысл девиатора тензора деформаций?
37. Что понимается под уравнениями совместности деформаций и в чем заключается смысл этих уравнений?
38. Почему компоненты тензора деформаций в сплошном теле не могут быть совершенно произвольными функциями координат, а должны быть связаны между собой уравнениями совместности деформаций?
39. Каковы условия сплошности многосвязных и неоднородных тел и почему для обеспечения их сплошности недостаточно одних лишь уравнений совместности деформаций?
40. Что такое скорости деформаций и в чем смысл их введения?
41. Какую информацию о характере движения в окрестности произвольной точки несет в себе тензор скоростей деформации?
42. Что такое напряженное состояние в точке деформируемого тела?
43. Каким образом вводится в механику тензор условных напряжений, характеризующий напряженное состояние в точке деформируемого тела?
44. Как определяется истинное напряжение в произвольной точке на произвольной площадке через компоненты условного тензора напряжений?
45. Каким образом вводятся в рассмотрение тензоры напряжений Коши и Пиола-Кирхгофа?
46. Определите понятия главных напряжений, главных площадок и главных осей тензора напряжений.
47. Сформулируйте принцип определения главных напряжений и главных

осей напряжений.

48. Какие виды напряженного состояния могут быть в произвольной точке деформируемого тела?
49. Как выглядят выражения инвариантов тензора напряжений, выраженные через компоненты тензора напряжений  $\sigma_{ij}$  и через главные напряжения  $\sigma_1, \sigma_2$  и  $\sigma_3$ ?
50. Каким образом определяются экстремальные значения касательных напряжений?
51. В чем заключается физический смысл шарового тензора и девиатора тензора напряжений?
52. В чем заключается физический смысл интенсивности напряжений?
53. Сформулируйте общие законы физики, управляющие процессами деформирования сплошных сред.
54. Запишите закон сохранения массы сплошной среды в локальной форме.
55. Запишите закон сохранения количества движения в локальной форме в проекциях на вектора локального единичного базиса недеформированной лагранжевой системы координат.
56. Запишите закон сохранения момента количества движения в локальной форме.
57. Какие вы знаете локальные формы записи уравнений равновесия при малых деформациях?
58. Чем отличаются уравнения движения сплошных сред от уравнений равновесия деформируемых тел?
59. Назовите основные параметры состояния твердых деформируемых тел. Какие из них могут быть приняты в качестве независимых?
60. Что такое уравнения состояния и для чего они нужны?
61. В чем заключается сущность постулата макроскопической определенности?
62. Каким образом в механике деформируемого твердого тела учитывают-

- ся температура и всевозможные физические поля?
63. Чем отличаются простые модели материала твердых тел от сложных?
64. Какие ветви механики деформируемого твердого тела вы знаете?
65. Что изучает термодинамика?
66. В чем заключается сущность первого начала термодинамики?
67. В чем заключается сущность второго начала термодинамики?
68. Какие существуют механизмы воздействия внешней среды на деформируемое тело?
69. Какие преимущества дает применение тензорного анализа в механике деформируемых тел?
70. Сформулируйте правило суммирования по повторяющимся немим индексам и поясните, чем отличаются индексы суммирования от свободных индексов на примере  $w_{ij}$ ,  $u_j$ ?
71. Сколько различных соотношений содержит выражение  $\sigma_{ij} = E_{ijkl} e_{kl}$ , если  $i, j, k, l = 1, 2, 3$ ?
72. Сколько различных соотношений содержит выражение  $\sigma_{\alpha\beta} = E_{\alpha\beta kl} e_{kl}$ , если  $\alpha, \beta = 1, 2$ , а  $k, l = 1, 2, 3$ ?
73. Запишите в развернутом виде выражение  $V = C_{\alpha\beta} a_\alpha b_\beta$  при условии, что  $\alpha, \beta = 1, 2$ .
74. Назовите главный признак упругого состояния материала.
75. Происходит ли диссипация энергии при деформировании упругого тела?
76. Как выражаются компоненты тензора напряжений через упругий потенциал?
77. Чему равен упругий потенциал при адиабатическом и изотермическом процессах деформирования упругого тела?
78. Что такое потенциал деформаций и каким образом выражаются через него компоненты тензора деформаций?
79. Запишите закон Гука для общего случая анизотропии материала.

80. Запишите выражения упругого потенциала и потенциала деформаций при общей анизотропии материала.
81. Укажите количество коэффициентов, характеризующих упругие свойства материала, в общем случае анизотропии, при наличии одной плоскости упругой симметрии, для ортотропного и изотропного материалов.
82. Запишите закон Гука для ортотропного материала.
83. Запишите известные вам формы закона Гука для изотропного материала.
84. Запишите закон Гука для объемной деформации и для девиатора тензора деформаций.
85. Запишите уравнения закона Дюгамеля-Неймана.
86. Сформулируйте основные задачи теории упругости.
87. В каком случае решение задачи теории упругости является единственным?
88. Каким образом уравнения теории упругости сводятся к уравнениям в перемещениях? Сколько уравнений включает в себя полная система уравнений теории упругости в перемещениях и каков общий порядок её дифференциальных уравнений?
89. Сколько уравнений включает в себя полная система дифференциальных уравнений теории упругости в напряжениях и какой её общий порядок?
90. Назовите главный признак пластического состояния материала.
91. Запишите условия начала пластичности для изотропного материала.
92. Чем отличается условие начала пластичности от условия пластичности?
93. Какие меры упрочнения материала вводятся в условия пластичности изотропного материала?
94. Сформулируйте постулат Друкера.
95. Запишите принцип максимума работы пластической деформации.

96. Запишите ассоциированный закон течения материала.
97. Запишите условия существования нагружения материала, разгрузки и нейтрального типа нагружения.
98. Сформулируйте гипотезы теории течения при пластическом деформировании материала.
99. Что такое простое нагружение? Запишите уравнения состояния теории малых упруго пластических деформаций.
100. Назовите главный признак состояния ползучести материала.
101. Сформулируйте основные принципы построения технических теорий ползучести.
102. Сформулируйте принцип построения уравнений наследственной теории ползучести при сложном напряженном состоянии

#### **Критерии оценки устного опроса:**

✓ 100-85 баллов - если ответ показывает прочные знания основных положений изучаемого раздела механики, отличается глубиной и полнотой раскрытия темы; владение терминологическим аппаратом; умение объяснять сущность, явлений, процессов, событий, делать выводы и обобщения, давать аргументированные ответы, приводить примеры; свободное владение монологической речью, логичность и последовательность ответа; умение приводить примеры современных проблем изучаемой области.

✓ 85-76 - баллов - ответ, обнаруживающий прочные знания основных положений изучаемого раздела механики, отличается глубиной и полнотой раскрытия темы; владение терминологическим аппаратом; умение объяснять сущность, явлений, процессов, событий, делать выводы и обобщения, давать аргументированные ответы, приводить примеры; свободное владение монологической речью, логичность и последовательность ответа. Однако допускается одна - две неточности в ответе.

✓ 75-61 - балл - оценивается ответ, свидетельствующий в основном о знании основных положений изучаемого раздела механики, отличающийся недостаточной глубиной и полнотой раскрытия темы; знанием основных во-

просов теории; слабо сформированными навыками анализа явлений, процессов, недостаточным умением давать аргументированные ответы и приводить примеры; недостаточно свободным владением монологической речью, логичностью и последовательностью ответа. Допускается несколько ошибок в содержании ответа; неумение привести пример развития ситуации, провести связь с другими аспектами изучаемой области.

✓ 60-50 баллов - ответ, обнаруживающий незнание основных положений изучаемого раздела механики, отличающийся неглубоким раскрытием темы; незнанием основных вопросов теории, сформированными навыками анализа явлений, процессов; неумением давать аргументированные ответы, слабым владением монологической речью, отсутствием логичности и последовательности. Допускаются серьезные ошибки в содержании ответа; незнание современной проблематики изучаемой области.

Перечень разноуровневых задач и заданий соответствует типовым экзаменационным задачам.

#### **Критерии оценки решения разноуровневых задач и заданий:**

✓ 100-85 баллов – студент без помощи преподавателя строит решение предложенных заданий по новой тематике.

✓ 85-76 баллов – студент с помощью преподавателя строит решение предложенных заданий по новой тематике.

✓ 75-61 балл – студент без помощи преподавателя строит решение предложенных заданий по разобранному шаблону.

✓ 60-50 баллов – студент с помощью преподавателя строит решение предложенных заданий по разобранному шаблону.