

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования



**Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет**

**УТВЕРЖДАЮ**

Проректор по образовательной  
деятельности

 А.Б. Петроченков

« 15 » мая 20 23 г.

### **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Дисциплина:** Механика деформируемого твердого тела  
(наименование)

**Форма обучения:** очная  
(очная/очно-заочная/заочная)

**Уровень высшего образования:** магистратура  
(бакалавриат/специалитет/магистратура)

**Общая трудоёмкость:** 216 (6)  
(часы (ЗЕ))

**Направление подготовки:** 08.04.01 Строительство  
(код и наименование направления)

**Направленность:** Компьютерные технологии в проектировании и оценке  
безопасности зданий и сооружений  
(наименование образовательной программы)

## 1. Общие положения

### 1.1. Цели и задачи дисциплины

Цели: формирование фундаментальных знаний в области расчетов элементов строительных конструкций на прочность, жесткость и устойчивость; освоение методов расчета элементов конструкций.

Задачи: усвоение фундаментальных основ и понятий механики деформируемых тел; формирование знаний о характеристиках механического состояния деформируемых твердых тел; представлений о создании идеализированных расчетных моделей реальных конструкций; об основных свойствах решений задач механики деформируемых тел; освоение классических аналитических методов решения задач механики деформируемых тел, их достоинства и недостатки

### 1.2. Изучаемые объекты дисциплины

- строительные конструкции и их элементы из материалов, работающие под действием статических и динамических нагрузок;  
- математические модели деформирования элементов конструкций,  
- аналитические методы определения напряженно-деформированного состояния элементов конструкций

### 1.3. Входные требования

Не предусмотрены

## 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
-------------	-------------------	---	--	-----------------

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
ПК-2.10	ИД-1ПК-2.10	Знает основные теоретические и экспериментальные подходы к исследованию напряженно–деформированного и предельного состояния нагруженных конструкций и их элементов; основные типовые методики расчетов на прочность, жесткость и устойчивость основных характеристик конкретных механических объектов; физико-механические характеристики упругих тел; основные характеристики напряженно-деформированного состояния конструкций, необходимые для оценки их прочности и надежности; современные методы моделирования и исследование процессов в механике деформируемого твердого тела	Знает требования нормативных правовых актов, нормативно-технических и нормативно-методических документов по проектированию и строительству; процесс проектирования и строительства объекта капитального строительства, реконструкции, технического перевооружения и модернизации; методы и методики выполнения расчётного обоснования проектного решения зданий и сооружений, в т.ч. составление расчётной схемы;	Экзамен
ПК-2.10	ИД-2ПК-2.10	Умеет выбирать и модифицировать существующие типовые методики расчета прочности и жесткости нагруженных конструкций и их элементов; существующие определяющие соотношения для проектирования машин и конструкций с целью обеспечения их прочности и устойчивости	Умеет осуществлять сбор, обработку и анализ актуальной справочной и нормативной документации по проектированию объекта капитального строительства (строительство, реконструкция, капитальный ремонт); обобщать полученную информацию на основании анализа и составлять задания на проектирование объекта капитального строительства; организовывать работы по	Экзамен

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
			инженерно-техническому проектированию объектов строительной деятельности; осуществлять, выполнять расчеты конструкций зданий и сооружений; формировать конструктивные системы и расчетные схемы зданий и сооружений и их элементов, определять параметры численного анализа для производства работ по расчетному обоснованию проектирования строительных конструкций зданий и сооружений;	
ПК-2.10	ИД-ЗПК-2.10	Владеет навыками применения типовых инженерных методик оценки прочностных характеристик и предельного состояния в механике материалов и конструкций; навыками использования математических методов решения задач деформирования при проектировании конструкций с целью обеспечения их прочности и устойчивости	Владеет навыками подготовки исходных данных для проектирования объекта капитального строительства (строительство, реконструкция, капитальный ремонт); подготовки и утверждения заданий на выполнение работ на подготовку проектной документации объекта капитального строительства; контроля разработки проектной документации объектов промышленного и гражданского строительства; навыками выполнения расчетов для составления проектной и рабочей документации в сфере инженерно-технического проектирования объектов градостроительной деятельности; разработки технического предложения, эскизного и технического проекта, расчетного анализа и	Индивидуальное задание

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
			оценки технических решений объектов капитального строительства.	

### 3. Объем и виды учебной работы

Вид учебной работы	Всего часов	Распределение по семестрам в часах	
		Номер семестра	
		1	2
1. Проведение учебных занятий (включая проведение текущего контроля успеваемости) в форме:	63	36	27
1.1. Контактная аудиторная работа, из них:			
- лекции (Л)	18	9	9
- лабораторные работы (ЛР)			
- практические занятия, семинары и (или) другие виды занятий семинарского типа (ПЗ)	41	25	16
- контроль самостоятельной работы (КСР)	4	2	2
- контрольная работа			
1.2. Самостоятельная работа студентов (СРС)	117	72	45
2. Промежуточная аттестация			
Экзамен	36	36	
Дифференцированный зачет			
Зачет	9		9
Курсовой проект (КП)			
Курсовая работа (КР)			
Общая трудоемкость дисциплины	216	144	72

### 4. Содержание дисциплины

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
1-й семестр				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
Раздел 1. Уравнения механики деформируемого твердого тела.	3	0	9	20
Тема 1. Краткий исторический очерк развития механики деформирования твердого тела (МДТТ). Гипотезы, принципы и допущения, лежащие в основе теории. Тема 2. Сведения из тензорного анализа Тензоры в декартовом и произвольном базисе, преобразование тензоров, инварианты, дифференцирование тензорных полей. Тема 3. Определение напряженного состояния. Определение тензора напряжений, уравнения движения и равновесия в произвольной и декартовой системе координат. Симметрия тензора напряжений. Определение главных направлений и напряжений. Инварианты тензора напряжений. Шаровой тензор и девиатор. Тема 4. Теория деформаций. Тензор больших и малых деформаций и представление его в декартовой и в произвольной системе координат. Инварианты, главные значения и направления. Уравнения совместности. Тема 5. Физические уравнения теории упругости. Анизотропные, ортотропные и изотропные материалы. Связь тензора напряжений и деформаций в форме Коши и Грина. Влияние упругой симметрии на форму записи обобщенного закона Гука. Потенциальная энергия упругого деформирования.				
Раздел 2. Общая постановка задач деформирования.	2	0	8	18
Тема 6. Постановка основных задач теории упругости. Полная система уравнений теории упругости. Прямая и обратная задачи. Решение задач в перемещениях и напряжениях. Уравнения совместности в напряжениях для изотропного тела (уравнения Бельтрами-Митчелла). Тема 7. Кручение и изгиб призматических стержней. Постановка задачи о деформировании стержня силами, распределенными по торцам. Кручение стержня произвольного сечения. Возможность использования различных методов решения, новые результаты решения в рамках теории упругости по сравнению с сопротивлением материалов. Аналоговые методы Кручение тонкостенных стержней. Изгиб призматических стержней.				
Раздел 3. Плоские задачи механики упругого деформирования	2	0	4	18
Тема 8. Плоские задачи теории упругости.				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
Плоско-деформированное и плоско-напряженное состояние. Основные уравнения. Решение плоских задач с помощью функции напряжений. Нахождение функции напряжений в виде алгебраических и тригонометрических рядов. Тема 9. Плоские задачи в криволинейной системе координат. Задачи о клине и определение поля напряжений полуплоскости под действием сосредоточенной нагрузки (задача Фламана).				
Раздел 4. Осесимметричные задачи теории упругости.	2	0	4	16
Тема 10. Осесимметричные задачи теории упругости. Основные уравнения, решения в перемещениях и напряжениях. Задача осесимметричного деформирования толстостенной трубы или диска (задача Ляме).				
ИТОГО по 1-му семестру	9	0	25	72
2-й семестр				
Вариационные принципы механики деформирования.	3	0	6	16
Тема 11. Вариационные принципы механики деформирования. Замена дифференциальных уравнений механики деформирования вариационным аналогом. Теорема о минимуме потенциальной энергии. Теорема Клайперона. Теорема взаимности Бетти. Вариационные принципы Лагранжа, Кастильяно, Рейснера. Вариационные методы решения задач теории упругости. Методы Релея-Ритца, Бубнова-Галеркина, Канторовича-Крылова, Треффца. Тема 11. Термоупругие задачи деформирования. Температурные задачи теории упругости. Основные соотношения и методы решения.				
Статика пластин и оболочек.	3	0	6	20
Тема 12. Изгиб и осесимметричное растяжение пластин. Основные определения и допущения. Перемещения, деформации и напряжения в пластинках. Усилия в пластинках. Уравнения равновесия. Граничные условия. Тема 13. Теория тонких упругих оболочек. Полная система уравнения деформирования оболочек и способы ее решения. Краевой эффект. Моментное и безмоментное состояние. Частные деформирования: определение напряженного состояния безмоментных оболочек, оболочек вращения, цилиндрических оболочек.				
Нелинейные задачи механики деформируемого	3	0	4	9

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
твердого тела.				
Тема 14. Элементы нелинейной теории упругости. Тензор конечных деформаций. Потенциальная энергия деформаций. Различные способы описания свойств нелинейно-упругого материала. Основные методы решения нелинейных задач теории упругости. Тема 15. Уравнения теории пластичности. Теорема Ильюшина А.А. о простом нагружении. Частные случаи пластичности. Простейшие задачи пластичности.				
ИТОГО по 2-му семестру	9	0	16	45
ИТОГО по дисциплине	18	0	41	117

### Тематика примерных практических занятий

№ п.п.	Наименование темы практического (семинарского) занятия
1	Базисные вектора и их преобразование. Действия над тензорами
2	Определение поля напряжений и деформаций в различных системах координат. Граничные условия. Постановка задач деформирования.
3	Решение простейших задач теории упругости
4	Решение задачи о кручении призматического стержня произвольного сечения. Выбор наилучшего метода, сопоставление с решениями сопромата
5	Использование функции напряжений для решения плоских задач. Определение поля напряжений по заданным внешним нагрузкам для прямоугольных областей. Определение НДС треугольной под-порной стенки
6	Задача о клине. Определение поля напряжений полуплоскости под действием сосредоточенной нагрузки на границе.
7	Задача Ляме и задача горячей посадки. Определение НДС вращающихся дисков. Различные способы отыскания решения.
8	Решение задачи о растяжении прямоугольной области под действием заданной системы сил вариационным методом.
9	Определение поля напряжений цилиндра под действием заданного поля температур
10	Решение задач деформирования пластин и оболочек (изгиб прямоугольной, круглой и эллиптической пластинки, деформирование цилиндрической оболочки).
11	Деформирование элементов конструкций в рамках упруго-пластического деформирования.

## 5. Организационно-педагогические условия

### 5.1. Образовательные технологии, используемые для формирования компетенций

Проведение лекционных занятий по дисциплине основывается на активном методе обучения, при которой учащиеся не пассивные слушатели, а активные участники занятия, отвечающие на вопросы преподавателя. Вопросы преподавателя нацелены на активизацию процессов усвоения материала, а также на развитие логического мышления. Преподаватель заранее намечает список вопросов, стимулирующих ассоциативное мышление и установления связей с ранее освоенным материалом.

Практические занятия проводятся на основе реализации метода обучения действием: определяются проблемные области, формируются группы. При проведении практических занятий преследуются следующие цели: применение знаний отдельных дисциплин и креативных методов для решения проблем и принятия решений; отработка у обучающихся навыков командной работы, межличностных коммуникаций и развитие лидерских качеств; закрепление основ теоретических знаний.

При проведении учебных занятий используются интерактивные лекции, групповые дискуссии, ролевые игры, тренинги и анализ ситуаций и имитационных моделей.

### 5.2. Методические указания для обучающихся по изучению дисциплины

При изучении дисциплины обучающимся целесообразно выполнять следующие рекомендации:

1. Изучение учебной дисциплины должно вестись систематически.
2. После изучения какого-либо раздела по учебнику или конспектным материалам рекомендуется по памяти воспроизвести основные термины, определения, понятия раздела.
3. Особое внимание следует уделить выполнению отчетов по практическим занятиям, лабораторным работам и индивидуальным комплексным заданиям на самостоятельную работу.
4. Вся тематика вопросов, изучаемых самостоятельно, задается на лекциях преподавателем. Им же даются источники (в первую очередь вновь изданные в периодической научной литературе) для более детального понимания вопросов, озвученных на лекции.

## 6. Перечень учебно-методического и информационного обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

### 6.1. Печатная учебно-методическая литература

№ п/п	Библиографическое описание (автор, заглавие, вид издания, место, издательство, год издания, количество страниц)	Количество экземпляров в библиотеке
<b>1. Основная литература</b>		
1	Иосилевич Г. Б. Прикладная механика : учебник для втузов / Г. Б. Иосилевич, П. А. Лебедев, В. С. Стреляев. - Москва: Альянс, 2017.	11
2	Кожаринова Л. В. Основы теории упругости и пластичности : учебное пособие для вузов / Л. В. Кожаринова. - Москва: Изд-во АСВ, 2010.	9
3	Черкасов В. Д. Введение в теорию упругости : учебное пособие / В. Д. Черкасов, В. А. Карташов, Е. В. Киселев. - Саранск: Изд-во МГУ им. Н.П. Огарева, 2003.	6
<b>2. Дополнительная литература</b>		
<b>2.1. Учебные и научные издания</b>		

1	Амензаде Ю. А. Теория упругости : учебник для вузов / Ю. А. Амензаде. - Москва: Высшая школа, 1976.	20
2	Горшков А.Г. Теория упругости и пластичности : учебник для вузов / А.Г. Горшков, Э.И. Старовойтов, Д.В. Тарлаковский. - М.: Физматлит, 2002.	55
3	Кац А. М. Теория упругости : учебник для вузов / А. М. Кац. - СПб: Лань, 2002.	28
4	Липовцев Ю. В. Прикладная теория упругости : учебное пособие / Ю. В. Липовцев, М. Ю. Русин. - М.: Дрофа, 2008.	3
5	Николаенко В. Л. Основы расчета типовых элементов конструкций в примерах и задачах : учебное пособие для вузов / В. Л. Николаенко. - Минск: Технопринт, 2004.	12
6	Хан Х. Г. Теория упругости. Основы линейной теории и её применения : пер. с нем. / Х. Г. Хан. - Москва: Мир, 1988.	19
<b>2.2. Периодические издания</b>		
	Не используется	
<b>2.3. Нормативно-технические издания</b>		
	Не используется	
<b>3. Методические указания для студентов по освоению дисциплины</b>		
	Не используется	
<b>4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студента</b>		
	Не используется	

## 6.2. Электронная учебно-методическая литература

Вид литературы	Наименование разработки	Ссылка на информационный ресурс	Доступность (сеть Интернет / локальная сеть; авторизованный / свободный доступ)
Дополнительная литература	Молотников В. Я. Теория упругости и пластичности / Молотников В. Я., Молотникова А. А. - Санкт-Петербург: Лань, 2017.	<a href="http://elib.pstu.ru/Record/lan94741">http://elib.pstu.ru/Record/lan94741</a>	локальная сеть; свободный доступ

## 6.3. Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение, используемое при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

Вид ПО	Наименование ПО
Операционные системы	Windows 10 (подп. Azure Dev Tools for Teaching)

## 6.4. Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

Наименование	Ссылка на информационный ресурс

Наименование	Ссылка на информационный ресурс
Научная библиотека Пермского национального исследовательского политехнического университета	<a href="http://lib.pstu.ru/">http://lib.pstu.ru/</a>
Электронно-библиотечная система Лань	<a href="https://e.lanbook.com/">https://e.lanbook.com/</a>
Электронно-библиотечная система IPRbooks	<a href="http://www.iprbookshop.ru/">http://www.iprbookshop.ru/</a>
Информационные ресурсы Сети КонсультантПлюс	<a href="http://www.consultant.ru/">http://www.consultant.ru/</a>

### **7. Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине**

Вид занятий	Наименование необходимого основного оборудования и технических средств обучения	Количество единиц
Лекция	Ноутбук, проектор, экран	1
Практическое занятие	Ноутбук	1

### **8. Фонд оценочных средств дисциплины**

Описан в отдельном документе
------------------------------

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет**

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**  
для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине  
**«Механика деформируемого твердого тела»**  
*Приложение к рабочей программе дисциплины*

<b>Направление подготовки:</b>	08.04.01 Строительство
<b>Направленность (профиль) программы магистратуры:</b>	Компьютерные технологии в проектировании и оценке безопасности зданий и сооружений
<b>Квалификация выпускника:</b>	магистр
<b>Выпускающая кафедра:</b>	Строительные конструкции и вычислительная механика
<b>Форма обучения:</b>	очная

**Курс:** 1

**Семестр:** 1, 2

**Трудоёмкость:**

Кредитов по рабочему учебному плану: 6 ЗЕ  
Часов по рабочему учебному плану: 216 ч.

**Виды промежуточного контроля:** Экзамен(1 сем), Зачет(2сем)

Пермь  
2023.

**Фонд оценочных средств** для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине является частью (приложением) к рабочей программе дисциплины. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине разработан в соответствии с общей частью фонда оценочных средств для проведения промежуточной аттестации основной образовательной программы, которая устанавливает систему оценивания результатов промежуточной аттестации и критерии выставления оценок. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине устанавливает формы и процедуры текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине.

## **1. Перечень формируемых частей компетенций, этапы их формирования и контролируемые результаты обучения**

### **1.1. Формируемые компетенции**

Согласно КМВ ОП, учебная дисциплина «Механика деформирования твердого тела» участвует в формировании одной компетенции обучающегося. В рамках учебного плана образовательной программы в 1 семестре на этапе освоения данной учебной дисциплины формируются следующие дисциплинарные части компетенций:

ПК-2.10 Способен разрабатывать проектные решения и организовывать работы по проектированию, осуществлять и контролировать выполнение расчетного обоснования проектных решений в сфере инженерно-технического проектирования.

### **1.2. Этапы формирования дисциплинарных частей компетенций, объекты оценивания и виды контроля.**

Согласно РПД, освоение учебного материала дисциплины запланировано в течение двух семестров (1 и 2 семестров базового учебного плана) и состоит из 5 учебных модулей. В каждом модуле предусмотрены аудиторские лекционные, практические занятия, а также самостоятельная работа студентов. В рамках освоения учебного материала дисциплины формируются результаты обучения "знание", "умение", "владение", указанные в РПД (табл. 1.1).

Контроль уровня усвоенных знаний, усвоенных умений и приобретенных владений осуществляется в рамках промежуточного и рубежного и промежуточной аттестации при изучении теоретического материала, выполнении практических заданий, сдаче экзамена, сдаче зачета. Виды контроля сведены в таблицу 1.1.

Таблица 1.1. Контролируемые результаты обучения по дисциплине

Контролируемые результаты обучения по дисциплине (ЗУВы)	Вид контроля			
	Текущий	Рубежный	Промежуточный	
			1 сем	2 сем
<b>Знает</b> основные теоретические и экспериментальные подходы к исследованию напряженно–деформированного и предельного состояния нагруженных конструкций и их элементов; основные типовые методики расчетов на прочность, жесткость и устойчивость основных характеристик конкретных механических объектов; физико-механические характеристики упругих тел; основные характеристики напряженно-деформированного состояния конструкций, необходимые для оценки их прочности и надежности; современные методы моделирования и исследование процессов в механике деформируемого твердого тела	ТО	ТО	ТВ	По результатам текущего и рубежного контроля
<b>Умеет</b> выбирать и модифицировать существующие типовые методики расчета прочности и жесткости нагруженных конструкций и их элементов; существующие определяющие соотношения для проектирования машин и конструкций с целью обеспечения их прочности и устойчивости		КР	ТВ	По результатам текущего и рубежного контроля

<b>Владеет навыками</b> применения типовых инженерных методик оценки прочностных характеристик и предельного состояния в механике материалов и конструкций; навыками использования математических методов решения задач деформирования при проектировании конструкций с целью обеспечения их прочности и устойчивости		КР	ПЗ	По результатам текущего и рубежного контроля
---	--	----	----	--

Условные обозначения: ОПЗ – отчет о практическом занятии; РТ – рубежное тестирование; КР – контрольная работа (рубежная), ТО – коллоквиум (теоретический опрос); ТВ – теоретический вопрос; ПЗ – практическое задание зачета.

Итоговой оценкой освоения дисциплинарных частей компетенций (результатов обучения по дисциплине) является промежуточная аттестация в виде экзамена (1 семестр) и зачета (2 семестр), проводимая с учетом результатов промежуточного и рубежного контроля.

## **2. Описание критериев и показателей оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания.**

### **2.1. Текущий и промежуточный контроль**

Текущий и промежуточный контроль для оценивания компонента знаний дисциплинарных частей компетенций (табл. 1.1) проводится в форме защиты отчета о практическом занятии. Результаты по 4-балльной шкале оценивания заносятся в книжку преподавателя и учитываются в виде интегральной оценки при проведении промежуточной аттестации.

#### **2.1.1. Защита отчета о практическом занятии**

Всего запланировано 15 практических занятий. Типовые темы практических занятий приведены в РПД. Защита отчета о практическом занятии проводится индивидуально каждым студентом.

### **2.2. Рубежный контроль**

Рубежный контроль для комплексного оценивания усвоенных знаний, усвоенных умений и приобретенных владений дисциплинарных частей компетенций (табл. 1.1) проводится согласно графику учебного процесса, приведенного в РПД, в форме теоретического опроса и контрольных работ после изучения каждого раздела учебной дисциплины.

#### **2.2.2. Рубежная контрольная работа**

Согласно РПД, запланировано 2 рубежные контрольные работы в 1 и 2 семестрах после освоения студентами соответствующих разделов учебных модулей дисциплины. Первая КР1 по разделу «Основные соотношения механики деформируемого», вторая КР2 – по разделу «Методы решения задач деформирования».

#### **Типовые задания КР1:**

1. Теория напряжений. Определение тензора напряжений, Симметрия тензора напряжений.
2. Уравнения движения и равновесия в произвольной криволинейной и декартовой системе координат.
3. Определение главных направлений и напряжений. Инварианты тензора напряжений. Шаровой тензор и девиатор.
4. Теория деформаций. Тензор больших и малых деформаций
5. Представление тензора деформаций в произвольной криволинейной и декартовой системе координат.
6. Инварианты, главные значения и направления тензора деформаций. Уравнения совместности.
7. Физические уравнения теории упругости. Анизотропные, ортотропные и изотропные материалы.
8. Связь тензора напряжений и деформаций в форме Коши и Грина. Влияние упругой симметрии на форму записи обобщенного закона Гука.
9. Постановка основных задач механики деформируемого твердого тела. Основные гипотезы и определение внешних и внутренних сил. Основные отличия и сходства с сопротивлением материалов. Полная система уравнений теории упругости.

10. Прямая и обратная задачи механики.

**11. Типовые задания КР2:**

1. . Смягчение граничных условий (принцип Сен - Венана и использование его для решения задач изгиба и кручения призматических стержней).
2. Уменьшение размерности задачи. Осесимметричные и плоские задачи. Использование дополнительных гипотез (например, гипотезы Кирхгоффа-Лява для задач деформирования пластин и оболочек).
3. Замена дифференциальных уравнений вариационным аналогом. Вариационные принципы (Лагранжа, Кастилиано).
4. Прямые методы решения вариационных задач (Ритца, Галеркина).
5. Задачи кручения призматических стержней - возможность использования различных методов решения, новые результаты решения в рамках теории упругости по сравнению с сопротивлением материалов.
6. Плоские задачи теории упругости. Плоско-деформированное и плоско-напряженное состояние. Основные уравнения.
7. Решение плоских задач с помощью функции напряжений в декартовой системе координат.
8. Плоские задачи в криволинейной системе координат. Задачи о клине и определение поля напряжений полуплоскости под действием сосредоточенной нагрузки (задача Фламана).
9. Осесимметричные задачи теории упругости. Задача осесимметричного деформирования толстостенной трубы или диска (задача Ляме).
10. Температурные задачи теории упругости. Основные соотношения и методы решения.

Результаты рубежных контрольных работ по 4-балльной шкале оценивания заносятся в книжку преподавателя и учитываются в виде интегральной оценки при проведении промежуточной аттестации.

**2.3. Промежуточная аттестация**

Промежуточная аттестация, согласно РПД, проводится в виде экзамена (1 семестр) и зачета (2 семестр).

Допуск к промежуточной аттестации осуществляется по результатам текущего и рубежного контроля. Условиями допуска являются успешная сдача всех практических работ и положительная интегральная оценка по результатам текущего и рубежного контроля.

Промежуточная аттестация в виде экзамена проводится по билетам. Билет для экзамена содержит теоретические вопросы (ТВ) для проверки усвоенных знаний и умений, практические задания (ПЗ) для проверки освоенных владений.

Билет формируется таким образом, чтобы в него попали вопросы и практические задания, контролирующие уровень сформированности *всех* заявленных дисциплинарных компетенций. Форма билета представлена в общей части ФОС магистерской программы.

Форма билета для экзамена приводится в общей части ФОС программы магистратуры.

Промежуточная аттестация в виде зачета (2 семестр) проводится по результатам текущего и рубежного контроля. Условиями допуска являются успешная сдача отчета по выполнению комплексного индивидуального задания, защита отчетов по практическим работам и положительная интегральная оценка по результатам текущего и рубежного контроля.

**2.3.1. Типовые контрольные вопросы и задания на экзамене по дисциплине**

**Вопросы для контроля усвоенных знаний:**

1. Сколько разных составляющих тензора напряжений надо определить, чтобы полностью охарактеризовать поле напряжений.
2. Назовите размерность в системе СИ относительной деформации при сдвиге.
3. Какой коэффициент, характеризующий свойство материала, определяет отношение поперечной и продольной относительных деформаций при растяжении.
4. Запишите условия закрепления торца стержня, если перемещение и угол поворота в этом сечении равны нулю.
5. Определение изотропных и анизотропных материалов.
6. Приведите постановку задачи деформирования в перемещениях.

7. Методы решения задач деформирования конструкций.
8. Какие напряжения равны нулю в осесимметричных задачах.
9. Определение тензора напряжений.
10. Полная система уравнений теории упругости.
11. Назовите гипотезы, которые используются при постановке задач деформирования пластин или оболочек.
12. Инварианты, главные значения и направления тензора деформаций.

**Вопросы для контроля усвоенных умений:**

1. Учет неравномерного поля температур при деформировании. Основные соотношения задач термоупругости.
2. Прямой, обратный и полуобратный методы решения задач деформирования. Оцените из возможности.
3. Замена дифференциальных уравнений вариационным аналогом.
4. Функции напряжений и использования их при решении задач деформирования.
5. Задачи кручения призматических стержней - возможность использования различных методов решения.
6. Записать в индексной форме и в декартовой системе координат геометрические уравнения теории упругости.
7. Какое состояние можно назвать плоско-деформированным.
8. Безмоментное состояние оболочек.
9. Граничные условия для жестко-защемленного контура пластин.
10. Постановка основных задач механики деформируемого твердого тела. Основные гипотезы и определение внешних и внутренних сил.
11. Каково влияние плоскостей упругой симметрии.
12. Решение задачи деформирования полуплоскости под действием сосредоточенной нагрузки.

**Вопросы для контроля усвоенных владений:**

1. Использование физических соотношений в форме Грина для решения задач деформирования при больших деформациях.
2. Каков план решения задач деформирования в напряжениях.
3. Как меняется график зависимости напряжения от деформаций образца при переходе материала от упругого в пластическое.
4. Разложение тензора напряжений на шаровой и девиатор. Их физический смысл и инварианты.
5. Чем отличается напряженное состояние двух одинаковых дисков, к наружному контуру которых приложены одинаковые равномерно распределенные растягивающие усилия, если один из них имеет центральное отверстие, а другой не имеет.
6. В чем смысл принципа смягчения граничных условий и каково его значение при решении задач деформирования.
7. Как выглядят диаграммы нагружения ( $\sigma - \varepsilon$ ) без упрочнения и с упрочнением.
8. Решение плоской задачи теории упругости с помощью функции напряжений.
9. Моментное и безмоментное состояние оболочек (отличие, условия реализации).
10. Сколько констант надо найти из эксперимента, чтобы описать свойства ортотропного материала.
11. Как формулируются критерии пластичности.
12. Определение главных деформаций.

**2.3.2. Процедура промежуточной аттестации с проведением аттестационного испытания**

Промежуточная аттестация с проведением аттестационного испытания в виде экзамена проводится по билетам. Билет содержит один теоретический вопрос для проверки усвоенных знаний и один теоретический вопрос или одно практическое задание для проверки усвоенных умений и приобретенного владения заявленными дисциплинарными частями компетенций.

Зачет по дисциплине выставляется по итогам проведенного текущего и рубежного

контроля и сдачи отчета по практическим занятиям, которые обеспечивают необходимый уровень сформированности заявленных дисциплинарных частей компетенций.

### **2.3.3. Процедура промежуточной аттестации без дополнительного аттестационного испытания.**

В отдельных случаях (например, в случае переаттестации дисциплины) промежуточная аттестация в виде экзамена и зачета по дисциплине может проводиться без проведения аттестационного испытания.

## **3. Критерии оценивания уровня сформированности дисциплинарных частей компетенций**

### **3.1. Оценка уровня сформированности компонентов дисциплинарных частей компетенций**

При оценке уровня сформированности дисциплинарных частей компетенций в рамках выборочного контроля при сдаче экзамена или на зачете считается, что полученная оценка проверяемой в билете дисциплинарной части компетенции обобщается на соответствующий компонент всех дисциплинарных частей компетенций, формируемых в рамках данной учебной дисциплины.

Общая оценка уровня сформированности всех дисциплинарных частей компетенций проводится путем агрегирования оценок, полученных студентом за каждый компонент формируемых компетенций, с учетом результатов промежуточного и рубежного контроля в виде интегральной оценки по 4-балльной шкале. Все результаты контроля заносятся в оценочный лист и заполняются преподавателем по итогам промежуточной аттестации.

Типовые критерии и шкалы оценивания уровня сформированности компонентов дисциплинарных частей компетенций приведены в общей части ФОС программы магистратуры.

### **3.2. Оценка уровня сформированности дисциплинарных компетенций**

Общая оценка уровня сформированности всех дисциплинарных компетенций проводится путем агрегирования оценок, полученных студентом за каждый компонент формируемых компетенций, с учетом результатов текущего и рубежного контроля в виде интегральной оценки по 4-х балльной шкале. Все результаты контроля заносятся в оценочный лист и заполняются преподавателем по итогам промежуточной аттестации.

Форма оценочного листа и требования к его заполнению приведены в общей части ФОС программы магистратуры.

При формировании итоговой оценки промежуточной аттестации в виде экзамена и ли зачета используются типовые критерии, приведенные в общей части ФОС программы магистратуры.