

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
 Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ МОСКОВСКИЙ
 ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

Шифр	Наименование дисциплины (модуля)
Б1.В.ОД.8	Теория упругости

Код направления подготовки	01.03.04
Направление подготовки	Прикладная математика
Наименование ОПОП (профиль)	Применение математических методов к решению инженерных и экономических задач
Год начала подготовки	2013
Уровень образования	бакалавриат
Форма обучения*	очная

Разработчики:

должность	ученая степень, звание	подпись	ФИО
Профессор кафедры Сопротивления материалов	Кандидат техн. наук, доцент		Леонтьев А.Н.

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры Сопротивления материалов:

должность	подпись		ученая степень и звание, ФИО	
Зав. кафедрой Сопротивления материалов			Доктор техн. наук, профессор Андреев Владимир Игоревич	
Год обновления	2014	2015	2016	
Номер протокола	№ 12	№ 1		
Дата заседания кафедры	2.07.2014	31.08.15		

Рабочая программа утверждена и согласована:

Подразделение / комиссия	Должность	ФИО	подпись	Дата
Методическая комиссия	Председатель	Широкова О.Л.		
НТБ	Директор	Ерофеева О.Р.		
ЦОСП	Начальник	Беспалов А.Е.		

1. Цель освоения дисциплины

Целью освоения дисциплины «Теория упругости» является подготовка будущего бакалавра к проведению самостоятельных расчетов конструкций, основанных на грамотном анализе напряжённо-деформированного состояния тел при различных воздействиях.

2. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Компетенция по ФГОС	Код компетенции по ФГОС	Основные показатели освоения (показатели достижения результата)	Код показателя освоения
способностью использовать современные математические методы и современные прикладные программные средства и осваивать современные технологии программирования	ОПК-2	Знает современные методы расчета строительных конструкций.	31
		Умеет проводить расчеты элементов конструкций с помощью программных систем компьютерного инжиниринга.	У1
способностью выявить естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, готовностью использовать для их решения соответствующий естественнонаучный аппарат	ПК-9	Знает основные законы механики, теоремы об упругих системах.	32
		Умеет применять различные методы расчета реальных конструкций и их элементов на силовые и температурные воздействия.	У2
готовностью применять математический аппарат для решения поставленных задач, способностью применить соответствующую процессу математическую модель и проверить ее адекватность, провести анализ результатов моделирования, принять решение на основе полученных результатов	ПК-10	Знает соответствующий физико-математический аппарат, основные уравнения, изучаемые в курсе теории упругости, основные классические задачи, решенные выдающимися учеными.	33
		Умеет составлять расчетные схемы, ставить граничные условия, выбирать метод определения компонент напряженно-деформированного состояния, в том числе, используя современную вычислительную технику.	У3
способностью самостоятельно изучать новые разделы фундаментальных наук	ПК-12	Имеет навыки работы с литературой и Интернет-источниками.	Н1

3. Указание места дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы

Дисциплина «Теория упругости» относится к вариативной части Блока 1 основной профессиональной образовательной программы бакалавриата по направлению 01.03.04 «Прикладная математика» и является обязательной к изучению.

Дисциплина базируется на знаниях, умениях и навыках, приобретенных студентами в ходе изучения дисциплин:

«Линейная алгебра и аналитическая геометрия», «Физика», «Теоретическая механика», «Программирование для ЭВМ»,
разделов дисциплин: «Математический анализ», «Механика материалов», «Дифференциальные уравнения».

Требования к входным знаниям, умениям студентов.

Для освоения дисциплины "Теория упругости" студент должен:

Знать: основные разделы высшей математики, современные средства вычислительной техники, основные законы классической механики, основные положения и гипотезы сопротивления материалов.

Уметь: самостоятельно использовать необходимый математический аппарат – производить точное и приближённое интегрирование дифференциальных уравнений, описывающих напряжённое и деформированное состояние линейно упругого тела; работать на персональном компьютере.

Владеть:

– умением анализировать напряженно-деформированное состояние стержней и простейших плоских стержневых систем при различных нагрузках с помощью теоретических методов;

– навыками использования теорий прочности;

– основными методами практического использования современных компьютеров для выполнения математических расчетов, оформления результатов расчета.

Дисциплины, для которых дисциплина «Теория упругости» является предшествующей:

«Строительная механика»,

«Строительные конструкции»,

«Безопасность жизнедеятельности»,

и две из дисциплин по выбору:

«Метод конечных элементов»,

«Основы теории надежности строительных конструкций»,

или «Основы проектирования современных строительных конструкций»,

«Численно-аналитические методы».

4. Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества академических или астрономических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных единиц 180 акад. часов.
(1 зачетная единица соответствует 36 академическим часам)

Структура дисциплины:

Форма обучения - очная

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу обучающихся и трудоемкость (в часах)					Самостоятельная работа	Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра) Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
				Контактная работа с обучающимися						
				Лекции	Практико-ориентированные занятия			КСР		
					Лабораторный практикум	Практические занятия	Групповые консультации по КП/КР			
1	Введение. Теория напряжений. Теория деформаций. Связь между напряжениями и деформациями.	3	1-10	10		10		4	14	Защита РГР №1 в форме тестирования – 9-11 недели.
2	Постановка задач теории упругости. Уравнения теории упругости в цилиндрических и сферических координатах. Плоская задача теории упругости.	3	11-18	8		8		5	13	Проведение контрольной работы №1 – 13 неделя.
	Итого:	3	18	18		18		9	27	Зачет
3	Плоская задача теории упругости. Кручение стержней. Теория подобия и размерностей.	4	1-8	16		16		4	20	Защита РГР №2 в форме тестирования – 9-11 недели.
4	Численные методы решения задач теории упругости.	4	9-16	16		16		5	15	Проведение контрольной работы №2 – 15 неделя.
	Итого:	4	16	32		32		9	35	Зачет
	ИТОГО:	3,4	34	50		50		18	62	Зачет, зачет

5. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

5.1. Содержание лекционных занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Тема и содержание занятия	Кол-во акад. часов
1	Введение. Теория	1.1. Введение. Теория упругости, история развития, цель и	10

	<p>напряжений. Теория деформаций. Связь между напряжениями и деформациями.</p>	<p>задачи курса, связь с другими дисциплинами. Основные понятия, гипотезы и принципы. <i>1.2. Теория напряжений.</i> Силы и напряжения. Напряженное состояние в окрестности точки тела. Граничные условия. Тензор напряжений. Инварианты тензора напряжений. Октаэдрические напряжения. Дифференциальные уравнения равновесия. <i>1.3. Теория деформаций.</i> Перемещения и деформации. Соотношения Коши. Тензор деформации. Уравнения совместности (неразрывности) деформаций в декартовой системе координат. <i>1.4. Связь между напряжениями и деформациями.</i> Обобщенный закон Гука. Закон Гука в форме Ляме. Закон Гука для шаровых тензоров и девиаторов. Работа внешних сил и потенциальная энергия деформации.</p>	
2	<p>Постановка задач теории упругости. Уравнения теории упругости в цилиндрических и сферических координатах. Плоская задача теории упругости.</p>	<p><i>2.1. Постановка задач теории упругости.</i> Полная система уравнений теории упругости в декартовых координатах. <i>2.2. Постановка задач теории упругости.</i> Граничные условия в напряжениях, в перемещениях; смешанные граничные условия. <i>2.3. Постановка задач теории упругости.</i> Постановка задачи теории упругости в перемещениях. Постановка задачи теории упругости в напряжениях. <i>2.4. Уравнения теории упругости в цилиндрических и сферических координатах.</i> Основные соотношения теории упругости в цилиндрических координатах. Осесимметричные задачи теории упругости. <i>2.5. Плоская задача теории упругости в декартовых координатах.</i> Плоская деформация. <i>2.6. Плоская задача теории упругости в декартовых координатах.</i> Плоское напряженное состояние. <i>2.7. Плоская задача теории упругости в декартовых координатах.</i> Функция напряжений Эри. <i>2.8. Плоская задача теории упругости в декартовых координатах.</i> Решение плоской задачи в полиномах. <i>2.9. Плоская задача теории упругости в декартовых координатах.</i> Решение плоской задачи с помощью тригонометрических рядов. <i>2.10. Плоская задача теории упругости в полярных координатах.</i> Основные соотношения плоской задачи в полярных координатах. <i>2.11. Плоская задача теории упругости в полярных координатах.</i> Полярно симметричное распределение напряжений. <i>2.12. Плоская задача теории упругости в полярных координатах.</i> Радиальное напряженное состояние. Действие сосредоточенной силы на полуплоскость.</p>	8
3	<p>Плоская задача теории упругости. Кручение стержней. Теория подобия и размерностей.</p>	<p><i>3.1. Кручение стержней.</i> Кручение стержней с некруглым поперечным сечением (Задача Сен-Венана). Теорема о циркуляции касательных напряжений. <i>3.2. Теория подобия и размерностей.</i> Теория подобия. Подобие геометрических фигур. Пропорциональное подобие. Аффинное подобие. Функциональное подобие. Метод масштабов. Критерии подобия. <i>3.3. Теория подобия и размерностей.</i> Анализ размерностей. Размерные и безразмерные величины. Основные (первичные) и производные (вторичные) величины. Формула размерности. Размерные постоянные. π-теорема. Возможные пути увеличения количества основных единиц измерения.</p>	16
4	<p>Численные методы решения задач теории упругости.</p>	<p><i>4.1.-4.2. Численные методы решения задач теории упругости.</i> Понятие о расчете балок с помощью вариационных методов.</p>	16

		4.3.-4.4. Численные методы решения задач теории упругости. Метод конечных разностей. 4.5.-4.6. Численные методы решения задач теории упругости. Метод конечных элементов.	
--	--	--	--

5.2. Лабораторный практикум

Учебным планом лабораторный практикум не предусмотрены.

5.3. Перечень практических занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Тема и содержание занятия	Кол-во акад. часов
1	Введение. Теория напряжений. Теория деформаций. Связь между напряжениями и деформациями.	1.1. Теория напряжений. Напряженное состояние в окрестности точки тела при пространственном напряженном состоянии. Определение главных напряжений и положения главных площадок. 1.2. Теория напряжений. Эллипсоид Ляме. Наибольшие касательные напряжения. 1.3. Теория напряжений. Определение напряжений с помощью круга Мора. 1.4. Теория напряжений. Напряженное состояние в окрестности точки тела при плоском напряженном состоянии. Определение главных напряжений и положения главных площадок. 1.5. Теория деформаций. Тензор деформации. Чистая деформация и элементарное вращение. 1.6. Теория деформаций. Определение линейных и угловых деформаций по произвольному направлению. Определение главных деформаций. 1.7. Связь между напряжениями и деформациями. Определение линейных и угловых деформаций с использованием обобщенного закона Гука. 1.8. Потенциальная энергия деформации. Энергия изменения объема и энергия изменения формы.	10
2	Постановка задач теории упругости. Уравнения теории упругости в цилиндрических и сферических координатах. Плоская задача теории упругости.	2.1. Постановка задач теории упругости. Полная система уравнений теории упругости в декартовых координатах. 2.2. Постановка граничных условий. Граничные условия в напряжениях, в перемещениях. Смешанные граничные условия. Интегральные граничные условия. 2.3. Постановка задач теории упругости. Уравнения Бельтрами–Митчелла. Теорема Кирхгофа о единственности решения задачи теории упругости. 2.4. Уравнения теории упругости в цилиндрических и сферических координатах. Оператор Лапласа в цилиндрических координатах. Функция напряжений в случае осесимметричных задач. 2.5. Уравнения теории упругости в цилиндрических и сферических координатах. Цилиндрический сосуд под действием внутреннего и внешнего давлений. 2.6. Плоская задача теории упругости в декартовых координатах. Примеры решения плоской задачи с помощью функции напряжений в полиномах. 2.7. Плоская задача теории упругости в декартовых координатах. Чистый изгиб балки. Изгиб балки под действием поперечной нагрузки. 2.8. Плоская задача теории упругости в полярных координатах. Полярно симметричное распределение напряжений. Задача Ляме.	8
3	Плоская задача теории упругости.	3.1. Плоская задача теории упругости в полярных координатах. Задача о клине, нагруженном	16

	Кручение стержней. Теория подобия и размерностей.	сосредоточенной силой. 3.2. <i>Плоская задача теории упругости в полярных координатах.</i> Действие сосредоточенной силы и распределенной нагрузки на полуплоскость. 3.3. <i>Кручение стержней.</i> Мембранная аналогия. 3.4. <i>Кручение стержней.</i> Кручение стержня с поперечным сечением в форме эллипса. 3.5. <i>Теория подобия и размерностей.</i> Подобные явления (процессы) и подобные преобразования. Критерии подобия. Размерные и безразмерные величины. Основные (первичные) и производные (вторичные) величины. 3.6. <i>Теория подобия и размерностей.</i> Применение анализа размерностей. Некоторые возможные пути увеличения количества основных единиц измерения. π -теорема.	
4	Численные методы решения задач теории упругости.	4.1. <i>Численные методы решения задач теории упругости.</i> Пример расчета балок с помощью метода Рунге. 4.2. <i>Численные методы решения задач теории упругости.</i> Пример расчета балок с помощью метода Бубнова-Галеркина. 4.3. <i>Численные методы решения задач теории упругости.</i> Решение плоской задачи с помощью метода конечных разностей.	16

5.4. *Групповые консультации по курсовым работам/курсовым проектам (при наличии выделенных часов контактной работы в учебном плане)*

Учебным планом курсовые работы и курсовые проекты не предусмотрены.

5.5. *Самостоятельная работа*

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Содержание работы	Кол-во акад. часов
1	Введение. Теория напряжений. Теория деформаций. Связь между напряжениями и деформациями.	1.1. <i>Введение. Теория напряжений.</i> Поверхность напряжений Коши. Построение круга Мора при плоском напряженном состоянии. 1.2. <i>Теория деформаций.</i> Аналогия между напряженным и деформированным состояниями. 1.3. <i>Работа по выполнению РГР №1.</i>	14
2	Постановка задач теории упругости. Уравнения теории упругости в цилиндрических и сферических координатах. Плоская задача теории упругости.	2.1. <i>Уравнения теории упругости в цилиндрических и сферических координатах.</i> Основные соотношения теории упругости в сферических координатах. 2.1. <i>Подготовка к контрольной работе №1.</i>	13
3	Плоская задача теории упругости. Кручение стержней. Теория подобия и размерностей.	3.1. <i>Плоская задача теории упругости в декартовых координатах.</i> Теорема М. Леви-Митчелла. 3.2. <i>Плоская задача теории упругости в полярных координатах.</i> Напряжения во вращающихся дисках. Растяжение пластины с круговым отверстием. 3.3. <i>Работа по выполнению РГР №2.</i> 3.4. <i>Подготовка к контрольной работе №2.</i> 2.3. <i>Кручение стержней.</i> Кручение стержня прямоугольного поперечного сечения. 2.4. <i>Подготовка к контрольной работе №2.</i> 2.5. <i>Теория подобия и размерностей.</i> Метод нормализации уравнений. Аксиоматическая теория размерностей.	20
4	Численные методы решения задач теории упругости.	4.1. <i>Численные методы.</i> Расчет конструкций методом конечных элементов с использованием ПК «Лира». 4.2. <i>Подготовка к зачету.</i>	15

6. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)

Самостоятельная работа по курсу является залогом усвоения знаний и прохождения промежуточных аттестаций, предусмотренных рабочей программой по дисциплине. Ключевые цели самостоятельных внеаудиторных занятий заключаются в закреплении, расширении знаний, формировании умений и навыков самостоятельного умственного труда, развитии самостоятельного мышления и способностей к самоорганизации.

В ходе организации самостоятельной работы студентов преподавателем решаются следующие задачи:

- 1) углублять и расширять их профессиональные знания;
- 2) формировать у них интерес к учебно-познавательной деятельности;
- 3) научить студентов овладевать приемами процесса познания;
- 4) развивать у них самостоятельность, активность, ответственность;
- 5) развивать познавательные способности будущих специалистов.

Самостоятельная работа включает, как изучение текущих и дополнительных теоретических вопросов, так и совершенствование навыков по решению практических задач.

На практических занятиях решаются задачи по темам лекционного курса. Часть задач выносятся на самостоятельное решение. Самостоятельное решение задач также необходимо при подготовке к текущей аттестации.

Студент должен обладать основными методами исследования и решения различного типа задач. Необходима выработка первичных навыков решения инженерных задач, то есть замена элементов реальной конструкции расчетными схемами, выбор нужного метода расчета, интерпретация и оценка полученного результата.

Большое значение для активизации самостоятельной работы студентов имеет выполнение расчетно-графических работ (РГР) и дальнейшая проверка этих работ преподавателем. Согласно результатам проверки преподаватель отмечает ошибки и дает рекомендации студенту.

Последовательность выполнения расчетно-графических работ:

– проработка учебного материала по теме расчетно-графической работы по конспекту лекций и практических занятий, а также по учебнику, учебному пособию и методическим указаниям.

– решение задач, входящих в расчетно-графическую работу, на черновике с достаточно аккуратным его оформлением.

– проведение консультаций с преподавателем (1-3 консультации на расчетно-графическую работу – консультации проводятся во внеаудиторное время);

– исправление ошибок (если они имеются), указанных преподавателем во время консультаций.

– оформление расчетно-графической работы в виде пояснительной записки, содержащей расчетный и графический материал. Работа аккуратно оформляется от руки или в виде компьютерного набора на листах формата А-4;

– получение подписи преподавателя с указанием даты.

При подготовке к сдаче зачета рекомендуется пользоваться записями, сделанными на практических и лекционных занятиях, а также в ходе текущей самостоятельной работы.

При выполнении самостоятельной работы обучающиеся используют учебники и учебные пособия, указанные в разделе 8.

7. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине (модулю)

7.1. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы

Код компетенции по ФГОС	Этапы формирования компетенций (разделы теоретического обучения)			
	1	2	3	4
ОПК-2	+	+	+	+
ПК-9	+	+	+	+
ПК-10	+	+	+	+
ПК-12	+	+	+	+

7.2. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

7.2.1. Описание показателей и форм оценивания компетенций

Код компетенции по ФГОС	Показатели освоения (Код показателя освоения)	Форма оценивания						Обеспеченность оценивания компетенции
		Текущий контроль				Промежуточная аттестация		
		Защита РГР №1	Контрольная работа №1	Защита РГР №2	Контрольная работа №2	Зачет1	Зачет 2	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
ОПК-2	31	+	+	+	+	+	+	+
	У1	+		+				+
ПК-9	32	+	+	+	+	+	+	+
	У2	+	+	+	+	+	+	+
ПК-10	33	+		+	+	+	+	+
	У3	+		+	+	+	+	+
ПК-12	Н1	+		+				+
ИТОГО		+	+	+	+	+	+	+

7.2.2. Описание шкалы и критериев оценивания для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине (модулю) в форме Экзамена/Дифференцированного зачета

Учебным планом экзамен и дифференцированный зачет не предусмотрены.

7.2.3. Описание шкалы и критериев оценивания для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине (модулю) в форме Защиты курсовой работы/проекта

Учебным планом курсовые работы и курсовые проекты не предусмотрены.

7.2.4. Описание шкалы и критериев оценивания для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине (модулю) в форме Зачета

Код показателя оценивания	Оценка	
	Не зачтено	Зачтено
31	Плохо знает современные методы расчета строительных конструкций.	Отлично знает современные методы расчета строительных конструкций.

32	Обучающийся не знает значительной части законов и формул механики, не в состоянии понять математический аппарат теории упругости.	Обучающийся знает основные гипотезы, понятия дисциплины и применяет полученные знания на практике, в том числе при решении различного вида задач, анализе результатов.
У2	Не отработаны в достаточной степени навыки решения задач с использованием изученных в курсе методов расчета элементов конструкций.	Владеет навыками постановки задач теории упругости, выбора метода определения компонент напряженно-деформированного состояния, не испытывает затруднений в применении методов расчета
33	Обучающийся не знает значительной части базовых понятий, методов для составления расчетных схем и последующего осуществления расчетов.	Обучающийся твердо знает усвоенный им материал, грамотно и по существу применяет полученные знания, при этом выбирает оптимальные методы расчета.
У3	Обучающийся не может осуществить переход от реальной конструкции к расчетной схеме.	Обучающийся знает, как составить расчетные схемы с учетом соответствующего типа реальной конструкции и условий ее работы, умеет анализировать неточности в выполнении задания и самостоятельно исправлять ошибки.

7.3. *Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций*

7.3.1. Текущий контроль

Контролируется посещение лекций и практических занятий, выполнение и защита расчетно-графических работ.

Текущий контроль проводится в виде компьютерного или устного тестирования по расчетно-графическим работам, а также письменных контрольных работ. Ниже приведено содержание контрольных мероприятий по семестрам.

Назначение расчетно-графических работ.

Расчетно-графические работы составляют часть самостоятельной работы студентов. Они предназначены для закрепления учебного материала, излагаемого на лекциях и практических занятиях.

Расчетно-графические работы способствуют развитию у студентов навыков самостоятельного решения задач, поиску оптимальных решений, научного подхода к решению поставленных задач с привлечением INTERNET-ресурсов, умению пользоваться учебной и справочной литературой.

Расчетно-графические работы выдаются преподавателем, проводящим практические занятия в группе, индивидуально каждому студенту. Варианты работ могут быть также получены студентами через сайт кафедры при распечатке титульного листа каждой работы.

Защита расчетно-графических работ.

Защита расчетно-графических работ проходит в виде компьютерного тестирования. Для проведения компьютерного тестирования на кафедре имеется компьютерный класс и большое количество тестов по проверке знаний студентов. Тест по каждой расчетно-графической работе содержит пять вопросов. Для успешной защиты работы студент должен правильно ответить на три вопроса.

3 Семестр

РГР №1 «Напряженно-деформированное состояние в окрестности точки».

Задача № 1

При заданных компонентах тензора напряжений в окрестности точки тела по строке № ____ для $\sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy}$ и строке № ____ для $\sigma_z, \tau_{yz}, \tau_{zx}$ требуется:

- изобразить на гранях элементарного параллелепипеда, выделенного в окрестности рассматриваемой точки тела, заданные напряжения.
- вычислить инварианты тензора напряжений, величины главных напряжений и проверить правильность вычислений.
- определить величины направляющих косинусов нормалей к трем главным площадкам и проверить условия их ортогональности.
- построить на чертеже единичные векторы нормалей к главным площадкам и показать главные напряжения.
- определить наибольшее по абсолютной величине касательное напряжение.
- определить линейные $\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z$, угловые $\gamma_{xy}, \gamma_{yz}, \gamma_{zx}$ и объемную деформации, приняв модуль упругости стали $E = 2,1 \cdot 10^5$ МПа, коэффициент Пуассона $\nu = 0,3$ (модуль сдвига $G = 0,8 \cdot 10^5$ МПа).
- показать на рисунке примерное деформированное состояние элементарного параллелепипеда отдельно для линейных $\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z$ и каждой из угловых деформаций $\gamma_{xy}, \gamma_{yz}, \gamma_{zx}$.
- определить полную удельную потенциальную энергию деформации и энергию изменения формы в окрестности рассматриваемой точки тела.
- проверить прочность тела в окрестности рассматриваемой точки по энергетической теории прочности, приняв расчетное сопротивление стали $R = 210$ МПа и коэффициент условий работы $\gamma_c = 0,9$.

Задача № 2

При заданных компонентах тензора напряжений в окрестности точки тела при $\sigma_z = \tau_{yz} = \tau_{zx} = 0$ и по строке № ____ для σ_x , строке № ____ для σ_y , строке № ____ для τ_{xy} требуется:

- изобразить на гранях элементарного параллелепипеда, выделенного в окрестности рассматриваемой точки, заданные напряжения.
- определить величины главных напряжений, углы наклона нормалей к главным площадкам и проверить правильность вычислений. Показать на рисунке главные площадки и главные напряжения.
- определить величину наибольших касательных напряжений и показать на рисунке площадки, на которых они действуют. Определить нормальные напряжения на этих площадках.
- определить нормальные и касательные напряжения на взаимно перпендикулярных площадках с нормальными v и t , составляющими угол $\alpha = 15^\circ$ с осями Ox и Oy , и показать их на рисунке.
- определить найденные выше значения напряжений и углы наклона нормалей к площадкам, на которых они действуют, графически с помощью круга Мора и сравнить полученные результаты с результатами аналитического расчета.
- определить линейные $\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z$, угловую γ_{xy} и объемную деформации, приняв модуль упругости стали $E = 2,1 \cdot 10^5$ МПа, коэффициент Пуассона $\nu = 0,3$.
- показать на рисунках примерное деформированное состояние элементарного параллелепипеда отдельно для линейных $\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z$ и угловой деформации γ_{xy} .
- определить полную удельную потенциальную энергию деформации и энергию изменения формы в окрестности рассматриваемой точки тела.
- проверить прочность тела в окрестности рассматриваемой точки по энергетической теории прочности, приняв расчетное сопротивление стали $R = 210$ МПа и коэффициент условий работы $\gamma_c = 0,9$.

Контрольная работа №1. «Напряженно-деформированное состояние в окрестности точки. Постановка задач теории упругости».

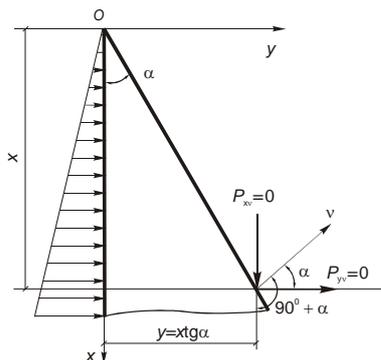
Примерные вопросы к контрольной работе №1.

1. Что такое координатные площадки и какие напряжения на них действуют.
2. Закон парности касательных напряжений.
3. Условия на поверхности (напряжения на наклонной площадке).
4. Какие площадки называются главными.
5. Величина наибольших касательных напряжений.
6. Дифференциальные уравнения равновесия.
7. Обозначение перемещений в декартовой, цилиндрической, сферической системах координат.
8. Что такое линейная деформация, угловая деформация. Что такое объемная деформация и чему она равна.
9. Соотношения Коши для линейных и угловых деформаций в декартовой системе координат.
10. Уравнения неразрывности деформаций в декартовой системе координат.
11. Соотношения Коши для линейных деформаций в цилиндрической системе координат.
12. Закон Гука для линейных и угловых деформаций в декартовой, цилиндрической, сферической системах координат.
13. Закон Гука для нормальных и касательных напряжений, для шаровых тензоров и девiatorов.
14. Закон упругого изменения объема. Постоянные Ляме.
15. Сколько и какие уравнения составляют полную систему уравнений теории упругости.
16. Уравнения неразрывности деформаций (условия совместности деформаций Сен-Венана), их физический смысл.
17. Граничные условия.

4 Семестр

РГР №2 «Плоская задача теории упругости».

Задача №1



Для плотины треугольного поперечного сечения (рис.10.1) при $\gamma = 10 \text{ кН/м}^3$, заданном значении угла α по столбцу №____ и γ_1 по столбцу №____ таблицы 10.1 для сечения, находящегося на расстоянии x от вершины, определить напряжения $\sigma_x, \sigma_y, \tau_{yx}$ по формулам теории упругости и формулам сопротивления материалов.

Построить эпюры напряжений и сравнить результаты двух решений.

Задача №2

Для толстостенного цилиндра в случае граничных условий по строке №____ таблицы 10.2 значения параметров $k = a/b$ выбрать по столбцу №____ таблицы 10.1. Значения параметров $m = p_1/p_2$ выбрать по столбцу №____ или $n = u_1/u_2$ выбрать по столбцу №____ таблицы 10.1. При этих данных построить эпюры изменения радиальных σ_r и тангенциальных σ_θ напряжений и радиальных перемещений u по толщине стенки цилиндра

Контрольная работа №2 «Использование функции напряжений при решении плоской задачи теории упругости в декартовых координатах».

Контрольная работа №2 предполагает решение задачи определения напряженного состояния в прямоугольной области по заданной функции напряжений.

Компьютерные тестирования проводятся в компьютерном классе на кафедре «Сопротивление материалов» и содержат 5 заданий (2 теоретических вопроса и 3 задачи) с вариантами ответа. Тестирование считается пройденным студентом, если он выполнил 3 задания из 5 возможных.

Самостоятельные и контрольные работы проводятся в учебной аудитории на текущих занятиях. Каждому студенту предоставляется индивидуальный вариант задания. Задание считается выполненным, если студент выполняет основную его часть с небольшими недочетами, в противном случае - мероприятие проводится повторно.

7.3.2. *Промежуточная аттестация*

Промежуточная аттестация проводится в соответствии с Положением о текущем контроле и промежуточной аттестации обучающихся в НИУ МГСУ.

Промежуточная аттестация в третьем семестре, как комплексное мероприятие, представляет сумму положительных результатов по выполнению и защите расчетно-графической работы, успешного написания контрольной работы и сдаче зачета в устной форме.

Вопросы к зачету в третьем семестре

1. Гипотезы о строении материала, принятые в классической теории упругости.
2. На каких двух гипотезах базируется классическая (линейная) теория упругости.
3. Что такое физическая нелинейность, геометрическая нелинейность.
4. Какие системы координат используются в теории упругости. Что такое круговая подстановка.
5. Какие методы, кроме аналитических, используются для решения задач теории упругости.
6. В чем состоит обратный метод решения задач теории упругости.
7. Принцип независимости действия сил. Принцип Сен-Венана (2 формулировки).
8. Какой материал называется изотропным, ортотропным, анизотропным.
9. Что такое полное напряжение, нормальное напряжение, касательное напряжение.
10. Что такое координатные площадки и какие напряжения на них действуют.
11. Закон парности касательных напряжений.
12. Условия на поверхности (напряжения на наклонной площадке).
13. Почему напряженное состояние в точке называется тензором (второго ранга).
14. Что такое шаровой тензор напряжений, девиатор напряжений.
15. Что такое инварианты тензора напряжений, три вида напряженного состояния.
16. Изменение компонентов вектора при повороте осей.
17. Изменение компонентов тензора второго ранга при повороте осей.
18. Что показывает эллипсоид Ламе, круги Мора.
19. Что такое октаэдрические площадки, напряжения на октаэдрических площадках.
20. Дифференциальные уравнения равновесия, записанные в декартовой системе координат.
21. Что такое объемная деформация и чему она равна.
22. Соотношения Коши для линейных и угловых деформаций в декартовой системе координат.
23. Уравнения неразрывности деформаций в декартовой системе координат.

24. Почему деформированное состояние в точке называется тензором (второго ранга). Что такое тензор деформаций, тензор вращения, шаровой тензор, девиатор деформаций.
25. Закон упругого изменения объема. Постоянные Ляме.
26. Энергия упругой деформации. Энергия изменения объема, энергия изменения формы.
27. Закон Гука для анизотропного тела.
28. Что такое I-ая, II-ая основная задача теории упругости.
29. Теорема Кирхгофа о единственности решения.
30. Что означает: «Постановка задачи теории упругости в перемещениях», уравнения Ляме.
31. Что означает: «Постановка задачи теории упругости в напряжениях». Уравнения Бельтрами.

Четвертый семестр завершается зачетом, к которому допускаются студенты, имеющие зачет за 3-й семестр и положительные результаты по выполнению всех контрольных мероприятий.

Зачет проводится в устной форме, включает подготовку, ответы студента на теоретические вопросы и решение задач; по его итогам выставляется оценка.

Вопросы к зачету в четвертом семестре

1. Основные положения, гипотезы и принципы теории упругости.
2. Силы и напряжения. Метод сечения. Напряженное состояние в окрестности точки. Напряжения на координатных площадках. Напряжения на наклонной площадке.
3. Тензор напряжений. Шаровой тензор и девиатор напряжений. Инварианты тензора напряжений. Три вида напряженного состояния.
4. Перемещения и деформации. Виды деформации. Формула для объемной деформации.
5. Тензор деформаций. Шаровой тензор и девиатор деформаций.
6. Полная система уравнений теории упругости в декартовых координатах.
7. Постановка задачи теории упругости в перемещениях.
8. Постановка задачи теории упругости в напряжениях. Теорема М.Леви.
9. Плоское напряженное состояние и плоская деформация.
10. Плоская задача теории упругости в декартовых координатах. Уравнения равновесия. Граничные условия в напряжениях. Соотношения Коши. Уравнение неразрывности деформаций. Закон Гука в прямой и обратной форме.
11. Двухосное напряженное состояние.
12. Постановка плоской задачи теории упругости в напряжениях. Функция напряжений.
13. Решение плоской задачи теории упругости в полиномах.
14. Решение плоской задачи теории упругости с помощью тригонометрических рядов.
15. Плоская задача теории упругости в полярных координатах. Уравнения равновесия. Соотношения Коши. Закон Гука в прямой и обратной форме.
16. Полярно-симметричное распределение напряжений. Задача Ляме.
17. Радиальное распределение напряжений. Клинь, нагруженный в вершине сосредоточенной силой. Изгиб клина, сжатие клина.
18. Действие силы, приложенной к границе полуплоскости. Задача Фламана.
19. Подобие процессов и явлений. Метод масштабов.
20. Метод нормализации уравнений.
21. Критерии подобия.
22. Анализ размерностей. Теоретические основы метода размерностей. Единицы измерения и размерности. Размерные и безразмерные величины.

23. Основные (первичные) и производные (вторичные) величины. Формула размерности.
24. Размерные постоянные. π -теорема.

7.4. *Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций*

Процедура промежуточной аттестации проходит в соответствии с Положением о текущем контроле и промежуточной аттестации обучающихся в НИУ МГСУ.

Аттестационные испытания проводятся преподавателем, ведущим занятия по данной дисциплине. Присутствие посторонних лиц в ходе проведения аттестационных испытаний без разрешения ректора или проректора не допускается (за исключением работников университета, выполняющих контролирующие функции в соответствии со своими должностными обязанностями). В случае отсутствия ведущего преподавателя аттестационные испытания проводятся преподавателем, назначенным письменным распоряжением по кафедре.

Инвалиды и лица с ограниченными возможностями здоровья, имеющие нарушения опорно-двигательного аппарата, допускаются на аттестационные испытания в сопровождении ассистентов-сопровождающих.

Во время аттестационных испытаний обучающиеся могут пользоваться программой учебной дисциплины, а также с разрешения преподавателя, справочной литературой и калькуляторами.

Время подготовки ответа при сдаче зачета в устной форме должно составлять не менее 40 минут (по желанию обучающегося ответ может быть досрочным). Время ответа – не более 15 минут.

При подготовке к устному зачету экзаменуемый, как правило, ведет записи в листе устного ответа, который затем (по окончании зачета) сдается преподавателю.

Преподавателю предоставляется право задавать обучающимся дополнительные вопросы в рамках программы дисциплины текущего семестра, а также, помимо теоретических вопросов, давать задачи, которые изучались на практических занятиях.

Оценка результатов устного аттестационного испытания объявляется обучающимся в день его проведения.

8. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)

№ п/п	Наименование дисциплины (модуля) в соответствии с учебным планом	Автор, название, место издания, издательство, год издания учебной и учебно-методической литературы, количество страниц	Количество экземпляров печатных изданий	Число обучающихся, одновременно изучающих дисциплину (модуль)
1	2	3	4	5
<i>Основная литература:</i>				
		НТБ НИУ МГСУ		
1	Теория упругости	Сопrotивление материалов с основами теории упругости и пластичности [Текст] : учебник для вузов / Г. С. Варданян [и др.] ; под ред. Г. С. Варданяна, Н. М. Атарова. - 2-е изд., испр. и доп. - Москва : Инфра-М, 2013. - 637 с.	205	20

2	Теория упругости	Сопrotивление материалов [Текст] : учебное пособие для студентов, обучающихся по направлению 270800 "Строительство" : [в 3 ч.] / Н. М. Атаров [и др.] ; Московский государственный строительный университет ; [рец.: С. Н. Кривошaпко, Н. Н. Шапошников]. - Москва : МГСУ, 2012 - 2014. Ч. 3 / под общ. ред. Н. М. Атарова. - 2-е изд., испр. и доп. - 2014. - 73 с.	300	20
3	Теория упругости	Бахвалов, Н. С. Численные методы в задачах и упражнениях [Текст] : учебное пособие для вузов / Н. С. Бахвалов, А. В. Лапин, Е. В. Чижонков. - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. - 240 с.	30	20
ЭБС АСВ				
<i>Дополнительная литература:</i>				
НТБ НИУ МГСУ				
1	Теория упругости	Трушин, С. И. Метод конечных элементов. Теория и задачи [Текст] : учеб. пособие для вузов / С.И. Трушин. - М. : Изд-во АСВ, 2008. - 256 с	55	20
2	Теория упругости	Габбасов Р.Ф. Численное построение разрывных решений задач строительной механики: учеб. пособие. – М.: АСВ, 2008. – 277 с.	50	20
3	Теория упругости	Партон, В. З. Механика разрушения. От теории к практике [Текст] / В. З. Партон ; [рец. Л. И. Слепян]. - Изд. 3-е. - Москва : ЛКИ, 2010. - 239 с	30	20
4	Теория упругости	Численные и аналитические методы расчета строительных конструкций [Текст] : монография / А. Б. Золотов [и др.]. - М. : МГСУ : Изд-во АСВ, 2009. - 336 с.	305	20

9. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» (далее – сеть «Интернет»), необходимых для освоения дисциплины (модуля)

Наименование ресурса сети «Интернет»	Электронный адрес ресурса
«Российское образование» - федеральный портал	http://www.edu.ru/index.php
Научная электронная библиотека	http://elibrary.ru/defaultx.asp?
Федеральная университетская компьютерная сеть России	http://www.runnet.ru/
Информационная система «Единое окно доступа к образовательным ресурсам»	http://window.edu.ru/
Научно-технический журнал по строительству и архитектуре «Вестник МГСУ»	http://www.vestnikmgsu.ru/
Научно-техническая библиотека НИУ МГСУ	http://www.mgsu.ru/resources/Biblioteka/
Сайт кафедры «Сопrotивление материалов»	http://www.sopromat-mgsu.ru

10. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

Студенту рекомендуется:

1. Найти соответствующий материал по данному разделу в учебнике и методических пособиях, проработать этот раздел совместно с конспектами лекций и практических занятий.

2. Определить наиболее трудные теоретические вопросы рассматриваемой темы, обсудить эти вопросы с преподавателем на занятиях. Далее закрепить усвоенный материал на примере решения несложных задач и составления дополнительных конспектов по наиболее трудным темам.

3. Решить задачи, входящие в расчетно-графические работы. Оформить эти работы в соответствии с требованиями.

4. Сформулировать оставшиеся неувоенные по данному разделу вопросы для совместного их решения на индивидуальных и групповых консультациях с преподавателем.

5. После проверки преподавателем расчетно-графической работы проанализировать ошибки и исправить их.

6. Осуществить соответствующие расчеты по экспериментальному определению напряжений, деформаций, перемещений, полученные опытные данные сравнить с результатами аналитических расчетов.

7. Проработать учебный материал по текущему разделу для защиты расчетно-графических и контрольных работ.

8. Конспектировать темы, заданные для самостоятельного изучения.

11. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

11.1. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса

Организация взаимодействия с обучающимися посредством электронной почты:

- консультации по конкретным вопросам,
- проверка решенных задач.

Использование кафедрального сайта:

- размещение заданий по РГР,
- размещение расписания консультаций,
- размещение типовых задач, вопросов к зачету.

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Тема	Информационные технологии	Степень обеспеченности (%)
1	Введение. Теория напряжений. Теория деформаций. Связь между напряжениями и деформациями.	РГР 1. Напряженно-деформированное состояние в окрестности точки.	Компьютерное тестирование	100%

3	Плоская задача теории упругости. Кручение стержней. Теория подобия и размерностей.	РГР 2. Плоская задача теории упругости.	Компьютерное тестирование	100%
---	--	---	---------------------------	------

11.2. Перечень программного обеспечения, используемого при осуществлении образовательного процесса

1. Программа исследования напряженно-деформированного состояния в точке.
2. Программный комплекс Лира 9.
3. Информационно-справочные системы Google и Yandex.

11.3. Перечень информационных справочных систем

Информационно-библиотечные системы

Наименование ИБС	Электронный адрес ресурса
Научная электронная библиотека	http://elibrary.ru/defaultx.asp?
Электронная библиотечная система IPRbooks	http://www.iprbookshop.ru/
Научно-техническая библиотека НИУ МГСУ	http://www.mgsu.ru/resources/Biblioteka/

12. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю):

Учебные занятия по дисциплине проводятся в следующих оборудованных учебных кабинетах, оснащенных соответствующим оборудованием и программным обеспечением:

№ п/п	Вид учебного занятия	Наименование оборудования	№ и наименование оборудованных учебных кабинетов, объектов для проведения практических занятий
1	Лекция	Проектор/тип № 3, интерактивная доска IQBoard PS S100, компьютер/тип № 2.	104г УЛБ, Компьютерный класс №1.
2	Практическое занятие	Проектор/тип № 3, интерактивная доска IQBoard PS S100, компьютер/тип № 2.	104г УЛБ, Компьютерный класс №1.

Программа составлена в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования с учетом рекомендаций и примерной основной образовательной программой высшего образования по направлению 01.03.04 «Прикладная математика».