

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Косенок Сергей Михайлович  
Должность: ректор  
Дата подписания: 29.07.2024 12:09:13  
Уникальный программный ключ:  
e3a68f3eaa1e62674b54f4998099d3d6bfdcf836

**БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
ХАНТЫ-МАНСКИЙСКОГО АВТОНОМНОГО ОКРУГА-ЮГРЫ  
"Сургутский государственный университет"**

УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по учебно-методической работе  
Е.В.Коновалова

13 июня 2024 г., протокол УМС № 05

# Механика деформируемого твердого тела

## рабочая программа дисциплины (модуля)

Закреплена за кафедрой **Строительных технологий и конструкций**  
Шифр и наименование научной специальности **1.1.8. Механика деформируемого твердого тела**

Форма обучения **очная**

Часов по учебному плану 144 Вид контроля: **экзамен**  
в том числе:  
аудиторные занятия 48  
самостоятельная работа 60  
часов на контроль 36

### Распределение часов дисциплины

Курс	3	
	уп	рп
Вид занятий		
Лекции	16	16
Практические	32	32
Итого ауд.	48	48
Контактная работа	48	48
Сам. работа	60	60
Часы на контроль	36	36
Итого	144	144

Программу составил(и):

Д-р физ.-мат. наук, профессор, Горынин Г.Л.; канд. физ.-мат. наук, доцент, Галиев И.М.

Рабочая программа дисциплины

**Механика деформируемого твердого тела**

разработана в соответствии с ФГТ:

Приказ Минобрнауки России от 20.10.2021 г. №951 "Об утверждении федеральных государственных требований к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре), условиям их реализации, срокам освоения этих программ с учетом различных форм обучения, образовательных технологий и особенностей отдельных категорий аспирантов (адъюнктов)".

Рабочая программа одобрена на заседании кафедры

Строительных технологий и конструкций

Протокол от 17.04.2024 г. № 16

Заведующий кафедрой канд. физ.-мат. наук, доцент Галиев И.М.

Председатель УМС политехнического института

Ст. преп. Паук Е.Н.

Протокол от 14.05.2024 г. № 4/24

<b>1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ</b>	
1.1	Целью освоения дисциплины «Механика деформируемого твердого тела» является передача аспирантам теоретических знаний и формирование практических навыков и умений, позволяющих решать сложные задачи в области механики деформируемого твердого тела с единых методологических позиций на основе общесистемной проработки всего комплекса вопросов с использованием методов моделирования. Задачей изучения дисциплины является обоснованный выбор моделей, описывающих напряженно деформированное состояние (НДС) исследуемого объекта, аналитических и численных методов анализа этих моделей для конкретных взаимодействий и способом нагружения.

<b>2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП ВО</b>	
2.1	<b>Требования к предварительной подготовке обучающегося:</b>
2.1.1	Для успешного освоения дисциплины аспирант должен иметь глубокие фундаментальные знания и умения по основным разделам высшей математики, сопротивлению материалов, численных методов.
2.1.2	Предшествующими для изучения дисциплины являются:
2.1.3	результаты освоения дисциплин, направленных на подготовку к сдаче кандидатских экзаменов, «История и философия науки», «Иностранный язык», факультативных дисциплин «Механика композитных конструкций», «Вычислительная механика»;
	результаты научной (научно-исследовательской) деятельности аспирантов, направленной на подготовку диссертации к защите;
	результаты научной (научно-исследовательской) деятельности аспирантов, направленной на подготовку публикаций;
	результаты прохождения научно-исследовательской практики.
2.2	<b>Последующими к изучению дисциплины являются знания, умения и навыки, используемые аспирантами:</b>
2.2.1	в научной (научно-исследовательской) деятельности аспирантов, направленной на подготовку диссертации к защите;
	в научной (научно-исследовательской) деятельности аспирантов, направленной на подготовку публикаций;
	при прохождении итоговой аттестации.

<b>3. РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)</b>	
<b>В результате освоения дисциплины обучающийся должен</b>	
<b>3.1</b>	<b>Знать:</b>
3.1.1	основные модели механики деформируемого твердого тела;
3.1.2	классические задачи теории пластичности и упругости; базовые законы сохранения и положения механики деформируемого твердого тела;
3.1.3	основные аналитические методы решения краевых задач для бесконечных, полубесконечных и ограниченных тел;
3.1.4	основные модели механики деформируемого твердого тела, а именно: линейные и нелинейные модели, изотропные и анизотропные модели, упругие, вязкоупругие и пластические модели, модели контактных взаимодействий, модели разрушения и др.;
3.1.5	основы математического моделирования; методы моделирования основных моделей физики и механики; программные средства моделирования.
<b>3.2</b>	<b>Уметь:</b>
3.2.1	ставить задачи механики деформируемого твердого тела в перемещениях и напряжениях; выбрать метод решения поставленной задачи;
3.2.2	применять математические методы, физические законы и вычислительную технику для решения практических задач; использовать возможности вычислительной техники и программного обеспечения;
3.2.3	обрабатывать и интерпретировать полученные экспериментальные данные;
3.2.4	численно оценить напряженно-деформированное состояние элемента конструкции.
<b>3.3</b>	<b>Владеть:</b>
3.3.1	практическими навыками самостоятельной работы при постановке задач и их решении;
3.3.2	определенным набором аналитических и численных методов решения краевых задач МДТТ;
3.3.3	навыками работы с основными программными системами, предназначенными для математического моделирования;
3.3.4	методами математического и физического моделирования.

<b>4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)</b>					
Код занятия	Наименование разделов и тем /вид занятия/	Курс	Часов	Литература	Примечание

1.	Механика и термодинамика сплошных сред /Лек/	4	2	Л1.2 Л1.3 Л1.4 Л1.5 Л1.6 Л1.7	
1.1.	Механика и термодинамика сплошных сред /Пр/	4	4	Л1.2 Л1.3 Л1.4 Л1.5 Л1.6 Л1.7	
1.2.	Механика и термодинамика сплошных сред /Ср/	4	8	Л1.2 Л1.3 Л1.4 Л1.5 Л1.6 Л1.7	
2.	Теория упругости. /Лек/	4	2	Л1.2 Л1.3 Л1.4 Л1.5 Л1.6 Л1.7	
2.1.	Теория упругости. /Пр/	4	4	Л1.2 Л1.3 Л1.4 Л1.5 Л1.6 Л1.7	
2.2.	Теория упругости. /Ср/	4	8	Л1.2 Л1.3 Л1.4 Л1.5 Л1.6 Л1.7	
3.	Динамические задачи теории упругости /Лек/	4	2	Л1.2 Л1.3 Л1.4 Л1.5 Л1.6 Л1.7	
3.1.	Динамические задачи теории упругости /Пр/	4	4	Л1.2 Л1.3 Л1.4 Л1.5 Л1.6 Л1.7	
3.2.	Динамические задачи теории упругости /Ср/	4	8	Л1.2 Л1.3 Л1.4 Л1.5 Л1.6 Л1.7	
4.	Теория пластичности /Лек/	4	2	Л1.2 Л1.3 Л1.4 Л1.5 Л1.6 Л1.7	
4.1.	Теория пластичности /Пр/	4	4	Л1.2 Л1.3 Л1.4 Л1.5 Л1.6 Л1.7	
4.2.	Теория пластичности /Ср/	4	8	Л1.2 Л1.3 Л1.4 Л1.5 Л1.6 Л1.7	
5.	Пластическое плоское деформированное состояние /Лек/	4	2	Л1.2 Л1.3 Л1.4 Л1.5 Л1.6 Л1.7	
5.1.	Пластическое плоское деформированное состояние /Пр/	4	4	Л1.2 Л1.3 Л1.4 Л1.5 Л1.6 Л1.7	
5.2.	Пластическое плоское деформированное состояние /Ср/	4	7	Л1.2 Л1.3 Л1.4 Л1.5 Л1.6 Л1.7	
6.	Теория вязкоупругости и ползучести /Лек/	4	2	Л1.2 Л1.3 Л1.4 Л1.5 Л1.6 Л1.7	
6.1.	Теория вязкоупругости и ползучести /Пр/	4	4	Л1.2 Л1.3 Л1.4 Л1.5 Л1.6 Л1.7	
6.2.	Теория вязкоупругости и ползучести /Ср/	4	7	Л1.2 Л1.3 Л1.4 Л1.5 Л1.6 Л1.7	
7.	Неустановившаяся ползучесть /Лек/	4	2	Л1.2 Л1.3 Л1.4 Л1.5 Л1.6 Л1.7	
7.1.	Неустановившаяся ползучесть /Пр/	4	4	Л1.2 Л1.3 Л1.4 Л1.5 Л1.6 Л1.7	
7.2.	Неустановившаяся ползучесть /Ср/	4	7	Л1.2 Л1.3 Л1.4 Л1.5 Л1.6 Л1.7	
8.	Механика разрушения /Лек/	4	2	Л1.2 Л1.3 Л1.4 Л1.5 Л1.6 Л1.7	
8.1.	Механика разрушения /Пр/	4	4	Л1.2 Л1.3 Л1.4 Л1.5 Л1.6 Л1.7	
8.2.	Механика разрушения /Ср/	4	7	Л1.2 Л1.3 Л1.4 Л1.5 Л1.6 Л1.7	
9.	/Контр. работа/	4	7	Л1.2 Л1.3 Л1.4 Л1.5 Л1.6 Л1.7	Задание для контрольной работы
10.	/Экзамен/	4	36	Л1.2 Л1.3 Л1.4 Л1.5 Л1.6 Л1.7	Вопросы для подготовки к кандидатскому экзамену

## 5. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА

### 5.1. Контрольные вопросы и задания

Проведение текущего контроля успеваемости

Тема 1. Механика и термодинамика сплошных сред.

Перечень вопросов для устного опроса:

1. Что изучает механика деформируемого твердого тела?

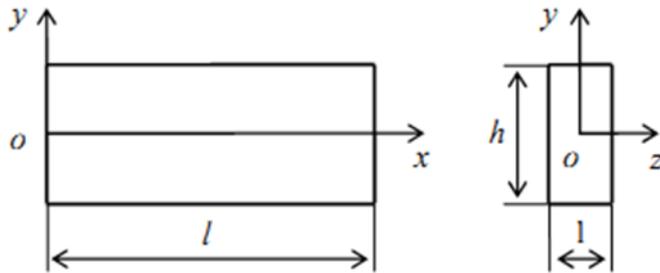
2. В чем заключается основное отличие механики деформируемого твердого тела от теоретической механики?

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?

Варианты задач для практических и самостоятельных работ:

Дана прямоугольная полоса-балка длиной  $l$ , высотой  $h$  и толщиной, равной 1. Выражения для функции напряжений  $\phi(x, y)$  и числовые значения выбрать из табл. Объемными силами пренебречь. Требуется:

- 1) проверить, можно ли предложенную функцию  $\phi(x, y)$  принять для решения плоской задачи теории упругости;
- 2) найти выражения для напряжений  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$  и  $\tau_{xy}$ ;
- 3) построить эпюры напряжений  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$  и  $\tau_{xy}$  для сечений  $x = x_c$  и  $y = y_c$ ;
- 4) определить внешние силы (нормальные и касательные), приложенные ко всем четырём граням полосы-балки, дать их изображение на рисунке полосы-балки;
- 5) выполнить статическую проверку для найденных внешних сил.



№ строки	Функция напряжений $\phi(x, y)$	$a$	$b$	$l$	$h$	$x_c$	$y_c$
		M					
1	$a(x^4 - y^4) + bx^3y + xy^3$	1	1	5	1	1	0,2
2	$ax(x^2 + y^2) + bx^2y + xy$	2	1	6	1	2	0,3
3	$ay(x^2 + y^2) + bxy^2 + xy$	2	1	5	2	2	0,4
4	$ax^3 + bx^2y + xy^2 + xy$	1	2	6	1	2	0,3
5	$a(y^4 - x^4) + bxy^3 + x^2y$	1	2	6	2	2	0,5
6	$ax^4 - 3ax^2y^2 + bxy^3$	2	2	4	2	1	0,5
7	$ax^3y - 3bx^2y^2 + by^4$	2	1	4	2	1	0,5
8	$ax^4 - 3(a+b)x^2y^2 + by^4$	2	1	6	1	3	0,3
9	$axy^3 + x^3 + y^3 - bxy$	1	2	5	1	2	0,2
0	$ax^3y + 3bx^2y^2 - by^4$	2	1	5	2	2	0,4
e		Д					

Методические указания

Предложенная для решения плоской задачи теории упругости функция  $\phi(x, y)$  должна удовлетворять бигармоническому уравнению

$$\frac{\partial^4 \phi}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 \phi}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 \phi}{\partial y^4} = 0$$

Выражения для напряжений  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$  и  $\tau_{xy}$  решаемой задачи получают по следующим формулам:

$$\sigma_x = \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} \quad \sigma_y = \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} \quad \tau_{xy} = \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x \partial y}$$

Для определения внешних сил (нормальных и касательных), приложенных ко всем четырем граням полосы-балки используют условия на поверхности тела (условия на контуре тела или статические граничные условия):

$$p_{xv} = \sigma_x \cos(x, v) + \tau_{xy} \cos(y, v) ;$$

$$p_{yv} = \tau_{yx} \cos(x, v) + \sigma_y \cos(y, v)$$

Здесь –  $p_{xv}$ ,  $p_{yv}$  – проекции на оси  $Ox$  и  $Oy$  внешних сил, действующих на гранях полосы-балки;  $v$  – нормаль к грани;  $\cos(x, v)$ ,  $\cos(y, v)$  – направляющие косинусы нормали  $v$ .

Для проверки найденных внешних сил можно использовать условия равновесия полосы-балки под их действием:  $\sum X = 0$ ;  $\sum Y = 0$ ;  $\sum M_0 = 0$ .

Решить такую же задачу, только при условии заделки по контуру.

Круглая сплошная пластинка радиуса  $R$  шарнирно оперта по контуру и нагружена изгибающим моментом  $M$ , равномерно распределенным по контуру. Найти:

- уравнение срединной поверхности;
- выражения изгибающих моментов.

Тема 2. Теория упругости.

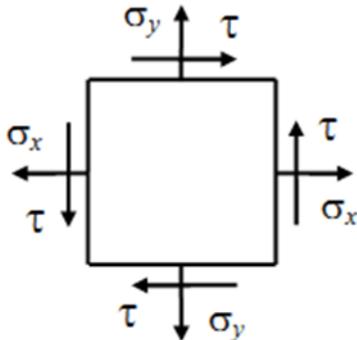
Перечень вопросов для устного опроса:

- Чем отличается сила от нагрузки?
- В чем заключается сущность метода сечений?
- С какой целью вводится в механику деформируемых сред принцип отвердевания?
- Что такое напряжение?
- Что такое напряженное состояние в точке?
- На какие составляющие раскладывается полное напряжение?
- Что понимается под перемещением деформируемого тела?
- На какие составляющие раскладывается полное перемещение точки?
- Что такое деформация?
- Какие виды деформации тела выделяются в окрестности произвольной точки?

Варианты задач для практических и самостоятельных работ:

Стальной кубик находится под действием сил, создающих плоское напряженное состояние. Требуется найти:

- главные напряжения и направления главных площадок;
- максимальные касательные напряжения;
- относительные деформации  $\epsilon_x$ ,  $\epsilon_y$ ,  $\epsilon_z$ ;
- относительное изменение объема;
- удельную потенциальную энергию деформации. Данные взять из табл.



№ строки	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\tau$	№ строки	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\tau$
	МПа				МПа		
1	10	10	10	6	-60	-60	-60
2	20	20	20	7	-70	-70	-70
3	30	30	30	8	-80	-80	-80
4	40	40	40	9	-90	-90	-90
5	50	50	50	0	-100	-100	-100
	а	б	в		а	б	в

Методические указания

Угол наклона главных площадок находят по формуле

$$tg 2\alpha = \frac{2\tau}{\sigma_x - \sigma_y}$$

Эта формула дает два взаимно перпендикулярных направления с углами. Здесь положительное направление для отсчета углов принято против часовой стрелки.

Уравнения для главных напряжений на соответствующих площадках имеют вид

$$\sigma_\alpha = \sigma_x \cos^2 \alpha + \sigma_y \sin^2 \alpha + \sigma_z \sin 2\alpha$$

$$\sigma_{\alpha+90^\circ} = \sigma_x \sin^2 \alpha + \sigma_y \cos^2 \alpha - \tau \sin 2\alpha$$

Значения главных напряжений можно найти иначе:

$$\sigma_{\max/\min} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau^2}$$

Максимальные касательные напряжения возникают на площадках, наклоненных под углом 45 к главным, и равны половине разности главных напряжений:

$$\tau_{\max} = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau^2}$$

Для вычисления деформаций  $\varepsilon_x$ ,  $\varepsilon_y$ ,  $\varepsilon_z$  по известным нормальным напряжениям  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$  используют обобщенный закон Гука. При  $\sigma_z = 0$  имеем

$$\varepsilon_x = \frac{1}{E}(\sigma_x - \mu\sigma_y), \quad \varepsilon_y = \frac{1}{E}(\sigma_y - \mu\sigma_x), \quad \varepsilon_z = -\frac{\mu}{E}(\sigma_x + \sigma_y)$$

Относительное изменение объема

$$\theta = \varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z$$

Удельная потенциальная энергия деформации

$$u = \frac{1}{2E}(\sigma_{\max}^2 + \sigma_{\min}^2 - \mu\sigma_{\max}\sigma_{\min})$$

Тема 3. Динамические задачи теории упругости.

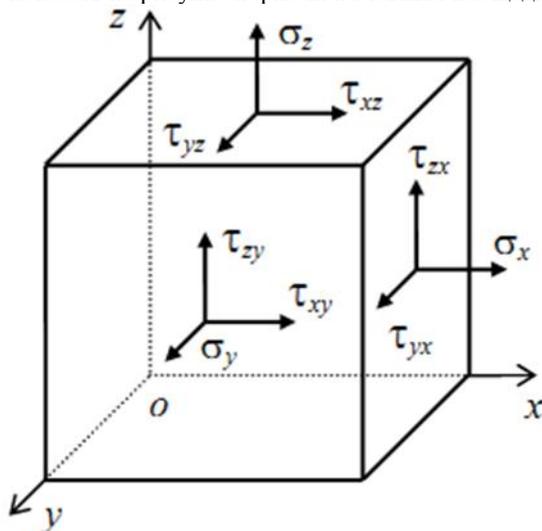
Перечень вопросов для устного опроса:

1. Что такое деформированное состояние в точке?
2. Какие механические свойства материала деформируемых тел Вы знаете?
3. В чем заключается способ Лагранжа изучения движения деформируемых сред и что понимается под лагранжевыми координатами?
4. В чем заключается способ Эйлера изучения движения деформируемых сред и что понимается под эйлеровыми координатами?
5. Изменяются ли во времени лагранжевы координаты движущейся сплошной среды?
6. Изменяются ли во времени эйлеровы координаты движущейся сплошной среды?
7. Что такое относительная линейная деформация сплошной среды в точке и зависит ли она от выбранного направления?
8. Изменяются ли направления линейных элементов деформируемого тела при его деформации?
9. Изменяются ли углы между направлениями линейных элементов деформируемого тела при его деформации?
10. Что такое тензор деформаций Грина и чем он отличается от тензора деформаций Альманси?

Варианты задач для практических и самостоятельных работ:

Напряженное состояние в точке тела задано девятью компонентами: Требуется:

- 1) определить главные напряжения и проверить правильность их нахождения; 2) определить положение одной из главных площадок (вычислить направляющие косинусы нормали к этой площадке);
- 3) определить положения двух других главных площадок (вычислить направляющие косинусы нормалей к этим площадкам).
- 4) показать на рисунке нормали к главным площадкам. Числовые данные взять из табл.



строки	МПа					
1	30	-30	30	-30	30	-30
2	40	-40	40	-40	40	-40
3	50	-50	50	-50	50	-50
4	60	-60	60	-60	60	-60
5	70	-70	70	-70	70	-70
6	80	-80	80	-80	80	-80
7	90	-90	90	-90	90	-90
8	100	-100	100	-100	100	-100
9	110	-110	110	-110	110	-110
0	120	-120	120	-120	120	-120
	а	б	в	г	д	е

Методические указания

Главные напряжения в задаче на исследование напряженного состояния в точке тела находят, решая кубическое уравнение

$$\sigma^3 - J_1\sigma^2 + J_2\sigma - J_3 = 0 \quad (*)$$

Здесь коэффициенты являются инвариантами преобразования координат:

$$J_1 = \sigma_x + \sigma_y + \sigma_z = const;$$

$$J_2 = \sigma_x\sigma_y + \sigma_y\sigma_z + \sigma_z\sigma_x - \tau_{xy}^2 - \tau_{yz}^2 - \tau_{zx}^2 = const;$$

$$J_3 = \sigma_x\sigma_y\sigma_z + 2\tau_{xy}\tau_{yz}\tau_{zx} - \sigma_x\tau_{yz}^2 - \sigma_y\tau_{zx}^2 - \sigma_z\tau_{xy}^2 = const$$

Уравнение (\*) подстановкой приводим к виду

$$y^3 + py + q = 0$$

Здесь новые коэффициенты соответственно равны:

$$p = J_2 - \frac{J_1^2}{3}, \quad q = -\frac{2}{27}J_1^3 + \frac{1}{3}J_1J_2 - J_3$$

Корни кубического уравнения выражаем через вспомогательный угол  $\varphi$ , определяемый из равенства,  $\cos \varphi = \left| \frac{q}{2r^3} \right|$ ,

где  $r = \sqrt{|p|/3}$ . Получаем:

$$y_1 = -2r \cos \frac{\varphi}{3}; \quad y_2 = 2r \cos \left( 60^\circ - \frac{\varphi}{3} \right); \quad y_3 = 2r \cos \left( 60^\circ + \frac{\varphi}{3} \right).$$

Проверка

$$y_1 + y_2 + y_3 = 0$$

Главные напряжения равны:

$$\sigma' = y_1 + \frac{J_1}{3}, \quad \sigma'' = y_2 + \frac{J_1}{3}, \quad \sigma''' = y_3 + \frac{J_1}{3}$$

Этим трем главным напряжениям в дальнейшем присваиваем обозначения  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ , где  $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$ .

Контроль правильности решения кубического уравнения проводим, используя инвариантность коэффициентов  $J_1, J_2, J_3$ :

$$J_1 = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3; \quad J_2 = \sigma_1\sigma_2 + \sigma_2\sigma_3 + \sigma_3\sigma_1; \quad J_3 = \sigma_1\sigma_2\sigma_3$$

Для определения положения главных площадок вычисляем направляющие косинусы нормалей к главным площадкам l, m, n. Соответствующую систему однородных уравнений

$$(\sigma_x - \sigma)l + \tau_{xy}m + \tau_{xz}n = 0;$$

$$\tau_{yx}l + (\sigma_y - \sigma)m + \tau_{yz}n = 0;$$

$$\tau_{zx}l + \tau_{zy}m + (\sigma_z - \sigma)n = 0$$

Удобно представить в виде

$$(\sigma_x - \sigma) \frac{l}{n} + \tau_{xy} \frac{m}{n} + \tau_{xz} = 0;$$

$$\tau_{yx} \frac{l}{n} + (\sigma_y - \sigma) \frac{m}{n} + \tau_{yz} = 0;$$

$$\tau_{zx} \frac{l}{n} + \tau_{zy} \frac{m}{n} + (\sigma_z - \sigma) = 0$$

В системе из трех уравнений только два независимы, поэтому, определив  $l/n$ ,  $m/n$  из решения двух уравнений, третье уравнение используем для контроля найденных отношений  $l/n$  и  $m/n$ . Решение системы в общем виде

$$\frac{l}{n} = \frac{(\sigma_y - \sigma)\tau_{xz} - \tau_{xy}\tau_{yz}}{\tau_{xy}^2 - (\sigma_x - \sigma)(\sigma_y - \sigma)},$$

$$\frac{m}{n} = \frac{(\sigma_x - \sigma)\tau_{yz} - \tau_{xy}\tau_{xz}}{\tau_{xy}^2 - (\sigma_x - \sigma)(\sigma_y - \sigma)}$$

Вычислив  $l/n$  и  $m/n$ , далее, из соотношения между квадратами направляющих косинусов

$$(l/n)^2 + (m/n)^2 + 1 = 1/n^2$$

находим два корня  $\pm n$ . Для дальнейшего расчета достаточно оставить только один корень, например,  $+n$ .

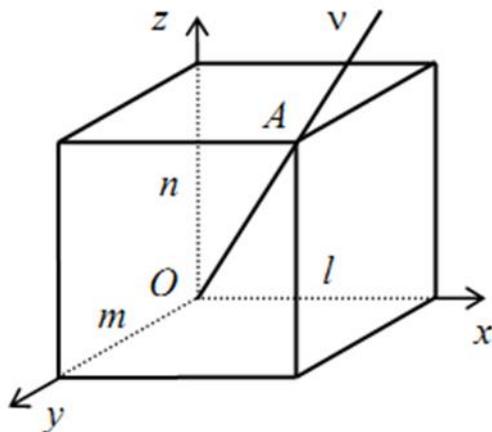
Соответствующие знаки и величины  $l$  и  $m$  определяем из отношений  $l/n$  и  $m/n$ . Полученные  $l$ ,  $m$ ,  $n$  можно рассматривать как координаты некоторой точки  $A$ , лежащей на нормали  $\nu$  к соответствующей главной площадке.

Если направляющие косинусы нормали  $\nu_1$  к площадке главного напряжения  $\sigma_1$  обозначить через  $l_1, m_1, n_1$ , а нормаль  $\nu_2, \nu_3$  – соответственно через  $l_2, m_2, n_2$  и  $l_3, m_3, n_3$ , то из условия взаимной перпендикулярности нормалей к главным площадкам получим три контрольных равенства:

$$l_1 l_2 + m_1 m_2 + n_1 n_2 = 0;$$

$$l_2 l_3 + m_2 m_3 + n_2 n_3 = 0;$$

$$l_3 l_1 + m_3 m_1 + n_3 n_1 = 0$$



Тема 4. Теория пластичности.

Перечень вопросов для устного опроса:

1. Определите понятие главных компонент тензора деформаций, главных деформаций и главных осей деформаций.
2. Какие существуют виды деформированного состояния в точке?
3. Что такое инварианты тензора деформаций?
4. Определите понятие объемной деформации?
5. Каким образом деформируются координатные площадки?
6. Задано поле перемещений  $u_1 = x_1 + ax_2$ ,  $u_2 = x_2 + ax_3$ ,  $u_3 = x_3 + ax_1$  в лагранжевой системе координат, которая в начальный момент времени является прямоугольной декартовой системой. Считая деформации малыми, определите поле тензора деформаций.
7. Какой физический смысл шарового тензора деформаций?
8. Какой физический смысл девиатора тензора деформаций?
9. Разложите тензор деформаций на шаровую и девиаторную части.
10. Что понимается под уравнениями совместности деформаций и в чем заключается смысл этих уравнений?

Варианты задач для практических и самостоятельных работ:

Задача 1

Найти предельную нагрузку, соответствующую наступлению общей текучести, для заданной статически неопределимой системы стержней, нагруженной заданной нагрузкой.

Задача 2

Построить поверхность текучести для заданной статически неопределимой системы стержней.

Задача 3

Определить остаточные деформации и напряжения в заданной системе стержней, нагруженной заданной нагрузкой, если она была выведена в упругопластическую стадию, а потом разгружена.

Задача 4

Определить положение пластических шарниров в заданной статически неопределимой балке, нагруженной заданной нагрузкой.

Задача 5

Построить поверхность текучести для заданной статически неопределимой балки, нагруженной заданным образом.

Тема 5. «Пластическое плоское деформированное состояние»

Перечень вопросов для устного опроса:

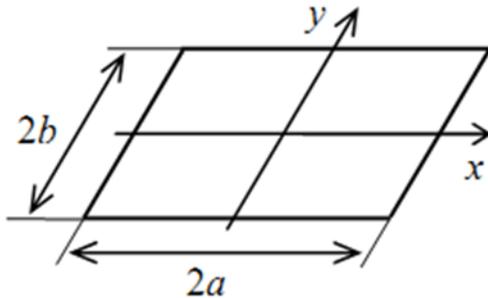
1. Почему компоненты тензора деформаций в сплошном теле не могут быть совершенно произвольными функциями координат, а должны быть связаны между собой уравнениями совместности деформаций?
2. Каковы условия сплошности многосвязных и неоднородных тел и почему для обеспечения их сплошности не достаточно одних лишь уравнений совместности деформаций?
3. Что такое скорости деформаций и в чем смысл их введения?
4. Какую информацию о характере движения в окрестности произвольной точки несет в себе тензор скоростей деформации?
5. Что такое напряженное состояние в точке деформируемого тела?
6. Каким образом вводится в механику тензор условных напряжений, характеризующий напряженное состояние в точке деформируемого тела?
7. Как определяется истинное напряжение в произвольной точке на произвольной площадке через компоненты условного тензора напряжений?
8. Каким образом вводятся в рассмотрение тензоры напряжений Коши и Пиола-Кирхгофа?
9. Определите понятия главных напряжений, главных площадок и главных осей тензора напряжений.
10. Сформулируйте принцип определения главных напряжений и главных осей напряжений.

Варианты задач для практических и самостоятельных работ:

Пластинка изгибается под действием поперечной нагрузки. Задано уравнение упругой поверхности пластинки  $w(x, y)$ .

Требуется:

- 1) установить, каким граничным условиям удовлетворяет предложенное уравнение упругой поверхности  $w(x, y)$ ;
- 2) определить постоянный коэффициент  $C$ , используя дифференциальное уравнение изогнутой срединной поверхности пластинки;
- 3) составить выражения моментов и поперечных сил;
- 4) построить эпюры моментов и поперечных сил в сечениях  $x_c$ ,  $y_c$ . Числовые данные взять из табл.



2	$C \cos \frac{\pi x}{2a} \sin \frac{\pi y}{b}$	$q_0 \cos \frac{\pi x}{2a} \sin \frac{\pi y}{b}$	4	4	0,2	1	1	0,30
3	$C \sin \frac{2\pi x}{a} \cos \frac{\pi y}{2b}$	$q_0 \sin \frac{2\pi x}{a} \cos \frac{\pi y}{2b}$	5	5	0,1	1	1	0,35
4	$C \cos \frac{\pi x}{2a} \sin \frac{2\pi y}{b}$	$q_0 \cos \frac{\pi x}{2a} \sin \frac{2\pi y}{b}$	6	6	0,2	1	1	0,25
5	$C \sin \frac{\pi x}{2a} \cos \frac{\pi y}{2b}$	$q_0 \sin \frac{\pi x}{2a} \cos \frac{\pi y}{2b}$	3	3	0,1	2	2	0,30
6	$C \cos \frac{3\pi x}{2a} \sin \frac{\pi y}{2b}$	$q_0 \cos \frac{3\pi x}{2a} \sin \frac{\pi y}{2b}$	4	4	0,2	2	2	0,35
7	$C \sin \frac{\pi x}{2a} \cos \frac{3\pi y}{2b}$	$q_0 \sin \frac{\pi x}{2a} \cos \frac{3\pi y}{2b}$	5	5	0,1	2	2	0,25
8	$C \cos \frac{\pi x}{2a} \sin \frac{\pi y}{2b}$	$q_0 \cos \frac{\pi x}{2a} \sin \frac{\pi y}{2b}$	6	6	0,2	2	2	0,30
9	$C \sin \frac{3\pi x}{2a} \cos \frac{\pi y}{2b}$	$q_0 \sin \frac{3\pi x}{2a} \cos \frac{\pi y}{2b}$	4	4	0,1	3	3	0,35
0	$C \cos \frac{\pi x}{2a} \sin \frac{3\pi y}{2b}$	$q_0 \cos \frac{\pi x}{2a} \sin \frac{3\pi y}{2b}$	5	5	0,2	3	3	0,25
	e	e	a	б	в	а	б	г

Методические указания

Уравнение изогнутой срединной поверхности пластинки

$$D \left( \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} \right) = q(x, y)$$

Изгибающие моменты:

$$M_x = -D \left( \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \mu \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right),$$

$$M_y = -D \left( \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \mu \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right).$$

Крутящий момент

$$M_{xy} = -D(1 - \mu) \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y}.$$

Поперечные силы:

$$Q_x = -D \left( \frac{\partial^3 w}{\partial x^3} + \frac{\partial^3 w}{\partial x \partial y^2} \right),$$

$$Q_y = -D \left( \frac{\partial^3 w}{\partial y^3} + \frac{\partial^3 w}{\partial y \partial x^2} \right).$$

Тема 6. Теория вязкоупругости и ползучести.

Перечень вопросов для устного опроса:

1. Как формулируются условия пластичности Сен-Венана и Мизеса?
2. Назовите и объясните основные законы теории малых упругопластических деформаций?
3. Сколько неизвестных функций подлежит определению при решении задач пластичности и какими уравнениями мы для этого располагаем?
4. Объясните явления ползучести и релаксации напряжений.
5. Объясните суть моделей упруговязких тел Максвелла и Фойгта.
6. В чем суть установившейся и неустойчивой ползучести?
7. Объясните основное содержание наследственной теории ползучести и теории старения.

Варианты задач для практических и самостоятельных работ:

Задача 1

Определить усилия в заданной статически неопределимой стержневой системе в случае работы в упругопластической стадии.

Задача 2

Определить угол вида для различных видов напряженного состояния.

Задача 3

Решить задачу о кручении круглого упругопластического вала в случае линейного упрочнения.

Задача 4

Продольный удар упругопластического стержня о жесткую преграду. Случай линейно упрочняющегося материала.

Тема 7. Неустановившаяся ползучесть.

Перечень вопросов для устного опроса:

1. Запишите закон сохранения момента количества движения в локальной форме.
2. Какие вы знаете локальные формы записи уравнений равновесия при малых деформациях?
3. Чем отличаются уравнения движения сплошных сред от уравнений равновесия деформируемых тел?
4. Назовите основные параметры состояния твердых деформируемых тел. Какие из них могут быть приняты в качестве независимых?

Тема 8. Механика разрушения.

Перечень вопросов для устного опроса:

1. Тензор напряжений в некоторой точке М задан своими компонентами

$$(\sigma_{ij}) = \begin{vmatrix} 3 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 2 \\ 1 & 2 & 0 \end{vmatrix}. \text{ Определите главные напряжения.}$$

2. Какие виды напряженного состояния могут быть в произвольной точке деформируемого тела?

3. Как выглядят выражения инвариантов тензора напряжений, выраженные через компоненты тензора напряжений  $\sigma_{ij}$

и через главные напряжения  $\sigma_1, \sigma_2$  и  $\sigma_3$  ?

4. Каким образом определяются экстремальные значения касательных напряжений?
5. В чем заключается физический смысл шарового тензора и деватора тензора напряжений?
6. В чем заключается физический смысл интенсивности напряжений?
7. Сформулируйте общие законы физики, управляющие процессами деформирования сплошных сред.
8. Запишите закон сохранения массы сплошной среды в локальной форме.
9. Запишите закон сохранения количества движения в локальной форме в проекциях на вектора локального единичного базиса недеформированной лагранжевой системы координат.

Проведение промежуточной аттестации

Вопросы для подготовки к кандидатскому экзамену

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. Задано поле перемещений  $u_1=x_1+ax_2$ ,  $u_2=x_2+ax_3$ ,  $u_3=x_3+ax_1$  в лагранжевой системе координат, которая в начальный момент времени является прямоугольной декартовой системой. Считая деформации малыми, определите поле тензора деформаций.
36. Какой физический смысл шарового тензора деформаций?
37. Какой физический смысл девиатора тензора деформаций?

$$e_{ij} = \begin{vmatrix} 12 & 4 & 0 \\ 4 & 9 & -2 \\ 0 & -2 & 3 \end{vmatrix}$$

38. Разложите тензор деформаций на шаровую и девиаторную части.
39. Что понимается под уравнениями совместности деформаций и в чем заключается смысл этих уравнений?
40. Почему компоненты тензора деформаций в сплошном теле не могут быть совершенно произвольными функциями координат, а должны быть связаны между собой уравнениями совместности деформаций?
41. Каковы условия сплошности многосвязных и неоднородных тел и почему для обеспечения их сплошности не достаточно одних лишь уравнений совместности деформаций?
42. Что такое скорости деформаций и в чем смысл их введения?
43. Какую информацию о характере движения в окрестности произвольной точки несет в себе тензор скоростей деформации?
44. Что такое напряженное состояние в точке деформируемого тела?
45. Каким образом вводится в механику тензор условных напряжений, характеризующий напряженное состояние в точке деформируемого тела?
46. Как определяется истинное напряжение в произвольной точке на произвольной площадке через компоненты условного тензора напряжений?
47. Каким образом вводятся в рассмотрение тензоры напряжений Коши и Пиола-Кирхгофа?
48. Определите понятия главных напряжений, главных площадок и главных осей тензора напряжений.
49. Сформулируйте принцип определения главных напряжений и главных осей напряжений.

$$(\sigma_{ij}) = \begin{vmatrix} 3 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 2 \\ 1 & 2 & 0 \end{vmatrix}$$

50. Тензор напряжений в некоторой точке М задан своими компонентами  $(\sigma_{ij})$ . Определите главные напряжения.
51. Какие виды напряженного состояния могут быть в произвольной точке деформируемого тела?
52. Как выглядят выражения инвариантов тензора напряжений, выраженные через компоненты тензора напряжений и через главные напряжения и ?
53. Каким образом определяются экстремальные значения касательных напряжений?
54. В чем заключается физический смысл шарового тензора и девиатора тензора напряжений?
55. В чем заключается физический смысл интенсивности напряжений?
56. Сформулируйте общие законы физики, управляющие процессами деформирования сплошных сред.
57. Запишите закон сохранения массы сплошной среды в локальной форме.
58. Запишите закон сохранения количества движения в локальной форме в проекциях на вектора локального единичного базиса недеформированной лагранжевой системы координат.
59. Запишите закон сохранения момента количества движения в локальной форме.
60. Какие вы знаете локальные формы записи уравнений равновесия при малых деформациях?
61. Чем отличаются уравнения движения сплошных сред от уравнений равновесия деформируемых тел?
62. Назовите основные параметры состояния твердых деформируемых тел. Какие из них могут быть приняты в качестве независимых?
63. Лагранжев и эйлеров способы описания движения сплошной среды. Траектория частицы. Закон движения. Перемещение, скорость, ускорение. Полная, частная и конвективная производные по времени.

Задачи для экзамена.

Задача 1

Определить усилия в заданной статически неопределимой стержневой системе в случае работы в упругопластической стадии.

Задача 2

Определить угол вида для различных видов напряженного состояния.

Задача 3

Решить задачу о кручении круглого упругопластического вала в случае линейного упрочнения.

Задача 4

Продольный удар упругопластического стержня о жесткую преграду. Случай линейно упрочняющегося материала.

Задача 5

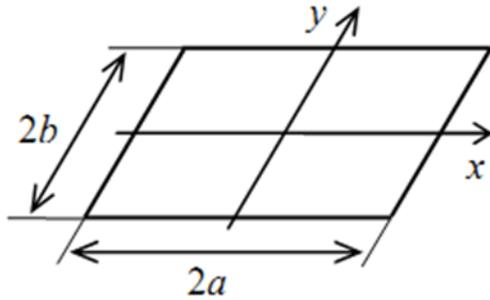
Пластинка изгибается под действием поперечной нагрузки. Задано уравнение упругой поверхности пластинки  $w(x, y)$ . Требуется:

- 1) установить, каким граничным условиям удовлетворяет предложенное уравнение упругой поверхности  $w(x, y)$ ;
- 2) определить постоянный коэффициент  $C$ , используя дифференциальное уравнение изогнутой срединной поверхности

пластинки;

3) составить выражения моментов и поперечных сил;

4) построить эпюры моментов и поперечных сил в сечениях  $x_c$ ,  $y_c$ . Числовые данные взять из табл.



Задача 6

Найти предельную нагрузку, соответствующую наступлению общей текучести, для заданной статически неопределимой системы стержней, нагруженной заданной нагрузкой.

Задача 7

Построить поверхность текучести для заданной статически неопределимой системы стержней.

Задача 8

Определить остаточные деформации и напряжения в заданной системе стержней, нагруженной заданной нагрузкой, если она была выведена в упругопластическую стадию, а потом разгружена.

Задача 9

Определить положение пластических шарниров в заданной статически неопределимой балке, нагруженной заданной нагрузкой.

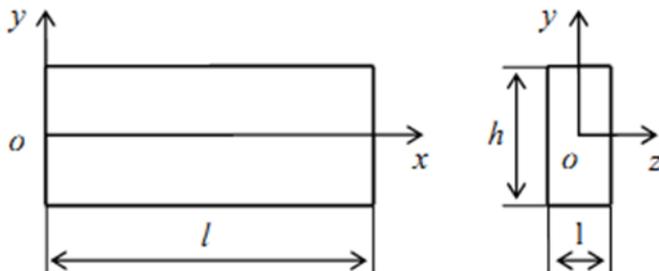
Задача 10

Построить поверхность текучести для заданной статически неопределимой балки, нагруженной заданным образом.

Задача 11

Дана прямоугольная полоса-балка длиной  $l$ , высотой  $h$  и толщиной, равной 1. Выражения для функции напряжений  $\varphi(x, y)$  и числовые значения выбрать из табл. Объемными силами пренебречь. Требуется:

- 1) проверить, можно ли предложенную функцию  $\varphi(x, y)$  принять для решения плоской задачи теории упругости;
- 2) найти выражения для напряжений  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$  и  $\tau_{xy}$ ;
- 3) построить эпюры напряжений  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$  и  $\tau_{xy}$  для сечений  $x = x_c$  и  $y = y_c$ ;
- 4) определить внешние силы (нормальные и касательные), приложенные ко всем четырем граням полосы-балки, дать их изображение на рисунке полосы-балки;
- 5) выполнить статическую проверку для найденных внешних сил.

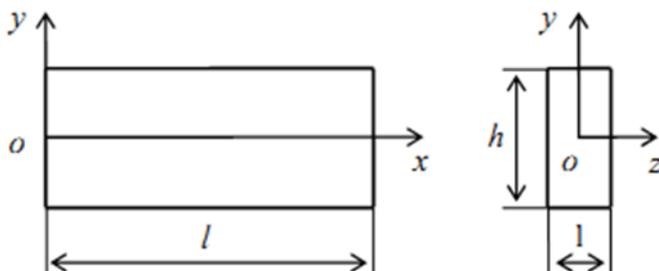


## 5.2. Темы письменных работ

5.2.1. Задачи для практических и самостоятельных работ к темам 1,2,3,4,5,6.

5.2.2. Задание для контрольной работы: Дана прямоугольная полоса-балка длиной  $l$ , высотой  $h$  и толщиной, равной 1. Выражения для функции напряжений  $\varphi(x, y)$  и числовые значения выбрать из табл. Объемными силами пренебречь. Требуется:

- 1) проверить, можно ли предложенную функцию  $\varphi(x, y)$  принять для решения плоской задачи теории упругости;
- 2) найти выражения для напряжений  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$  и  $\tau_{xy}$ ;
- 3) построить эпюры напряжений  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$  и  $\tau_{xy}$  для сечений  $x = x_c$  и  $y = y_c$ ;
- 4) определить внешние силы (нормальные и касательные), приложенные ко всем четырем граням полосы-балки, дать их изображение на рисунке полосы-балки;
- 5) выполнить статическую проверку для найденных внешних сил.



№ строки	Функция напряжений $\phi(x, y)$	$a$	$b$	$l$	$h$	$x_c$	$y_c$
		M					
1	$a(x^4 - y^4) + bx^3y + xy^3$	1	1	5	1	1	0,2
2	$ax(x^2 + y^2) + bx^2y + xy$	2	1	6	1	2	0,3
3	$ay(x^2 + y^2) + bxy^2 + xy$	2	1	5	2	2	0,4
4	$ax^3 + bx^2y + xy^2 + xy$	1	2	6	1	2	0,3
5	$a(y^4 - x^4) + bxy^3 + x^2y$	1	2	6	2	2	0,5
6	$ax^4 - 3ax^2y^2 + bxy^3$	2	2	4	2	1	0,5
7	$ax^3y - 3bx^2y^2 + by^4$	2	1	4	2	1	0,5
8	$ax^4 - 3(a+b)x^2y^2 + by^4$	2	1	6	1	3	0,3
9	$axy^3 + x^3 + y^3 - bxy$	1	2	5	1	2	0,2
0	$ax^3y + 3bx^2y^2 - by^4$	2	1	5	2	2	0,4
e		Д					

Методические указания

Предложенная для решения плоской задачи теории упругости функция  $\phi(x, y)$  должна удовлетворять бигармоническому уравнению

$$\frac{\partial^4 \phi}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 \phi}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 \phi}{\partial y^4} = 0$$

Выражения для напряжений  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$  и  $\tau_{xy}$  решаемой задачи получают по следующим формулам:

$$\sigma_x = \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2}; \quad \sigma_y = \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2}; \quad \tau_{xy} = \frac{\partial^2 \phi}{\partial x \partial y}$$

Для определения внешних сил (нормальных и касательных), приложенных ко всем четырем граням полосы-балки используют условия на поверхности тела (условия на контуре тела или статические граничные условия):

$$P_{xv} = \sigma_x \cos(x, v) + \tau_{xy} \cos(y, v);$$

$$P_{yv} = \tau_{yx} \cos(x, v) + \sigma_y \cos(y, v)$$

Здесь  $-pxv$ ,  $pyv$  – проекции на оси  $Ox$  и  $Oy$  внешних сил, действующих на гранях полосы-балки;  $v$  – нормаль к грани;  $\cos(x, v)$ ,  $\cos(y, v)$  – направляющие косинусы нормали  $v$ .

Для проверки найденных внешних сил можно использовать условия равновесия полосы-балки под их действием:  $\sum X = 0$ ;  $\sum Y = 0$ ;  $\sum M_0 = 0$ .

Решить такую же задачу, только при условии заделки по контуру.

Круглая сплошная пластинка радиуса  $R$  шарнирно оперта по контуру и нагружена изгибающим моментом  $M$ , равномерно распределенным по контуру. Найти:

- уравнение срединной поверхности;
- выражения изгибающих моментов.

## 6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

### 6.1. Рекомендуемая литература

	Авторы, составители	Заглавие	Издательство, год	Количество
Л1.1	Варданян Г. С., Андреев В. И., и др.	Сопrotивление материалов с основами теории упругости и пластичности: учебник	Москва: ИНФРА- М, 2023 <a href="https://znanium.com/catalog/product/1941755">https://znanium.com/catalog/product/1941755</a>	1

Л1.2	Победря Б. Е.	Основы механики сплошной среды. Курс лекций	Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2006. <a href="https://znanium.com/catalog/product/544635">https://znanium.com/catalog/product/544635</a>	1
Л1.3	Маневич Л.И., Гендельман О.В.	Аналитически разрешимые модели механики твердого тела: учебное пособие	Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика, Институт компьютерных исследований, 2016, <a href="http://www.iprbookshop.ru/69339.html">http://www.iprbookshop.ru/69339.html</a>	1
Л1.4	Бажанов В. Л.	Механика деформируемого твердого тела: учебное пособие	Москва: Юрайт, 2024, <a href="https://urait.ru/bcode/539465">https://urait.ru/bcode/539465</a>	1
Л1.5	Учайкин В. В.	Механика. Основы механики сплошных сред	Санкт-Петербург : Лань, 2021, <a href="https://e.lanbook.com/book/167379">https://e.lanbook.com/book/167379</a> .	1
Л1.6	Емельянов, В. Н.	Механика сплошной среды: теория напряжений и основные модели : учебное пособие для вузов	Москва : Издательство Юрайт, 2024. <a href="https://urait.ru/bcode/539122">https://urait.ru/bcode/539122</a>	1
Л1.7	Новожилов, В. В.	Теория упругости	Санкт-Петербург : Политехника, 2024. <a href="https://www.iprbookshop.ru/135125.html">https://www.iprbookshop.ru/135125.html</a>	1

#### 6.2. Электронно-библиотечные системы

Э1	Электронно-библиотечная система Znanium <a href="http://new.znanium.ru">http://new.znanium.ru</a>
Э2	Электронно-библиотечная система «Лань» <a href="http://e.lanbook.com">http://e.lanbook.com</a>
Э3	Электронно-библиотечная система IPR SMART (IPRbooks) <a href="http://www.iprbookshop.ru">http://www.iprbookshop.ru</a>
Э4	Электронно-библиотечная система «Юрайт» <a href="https://urait.ru">https://urait.ru</a>
Э5	Электронно-библиотечная система «Консультант студента» <a href="https://www.studentlibrary.ru">https://www.studentlibrary.ru</a>

#### 6.3. Информационные, информационно-справочные системы

6.3.1	Гарант – справочно-правовая система по законодательству Российской Федерации <a href="http://www.garant.ru">http://www.garant.ru</a>
6.3.2	КонсультантПлюс – справочно-правовая система <a href="http://www.consultant.ru">http://www.consultant.ru</a>

#### 6.4. Профессиональные базы данных

*В локальной сети <http://lib.surgu.ru/ru/pages/resursi/bd/lan>*

6.4.1	Электронная библиотека СурГУ <a href="https://elib.surgu.ru">https://elib.surgu.ru</a>
6.4.2	Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU <a href="http://www.elibrary.ru">http://www.elibrary.ru</a>
6.4.3	Евразийская патентная информационная система (ЕАПАТИС) <a href="http://www.eapatis.com">http://www.eapatis.com</a>
6.4.4	Виртуальный читальный зал Российской государственной библиотеки (ВЧЗ РГБ) <a href="https://ldiss.rsl.ru">https://ldiss.rsl.ru</a>
6.4.5	Национальная электронная библиотека (НЭБ) <a href="http://nab.ru">nab.ru</a>
6.4.6	Архив научных журналов (NEICON) <a href="http://archive.neicon.ru">http://archive.neicon.ru</a>
6.4.7	Springer Nature <a href="https://link.springer.com">https://link.springer.com</a>
6.4.8	Полнотекстовая коллекция журналов РАН <a href="https://journals.rcsi.science">https://journals.rcsi.science</a>
6.4.9	Wiley Journals Database <a href="https://onlinelibrary.wiley.com">https://onlinelibrary.wiley.com</a>
6.4.10	Math-Net.Ru <a href="http://biblio.surgu.ru/ru/pages/resursi/bd/lan/math/">http://biblio.surgu.ru/ru/pages/resursi/bd/lan/math/</a>

*В свободном доступе сети Интернет*

6.4.11	Официальный сайт российского фонда фундаментальных исследований <a href="https://www.rfbr.ru/rffi/ru/">https://www.rfbr.ru/rffi/ru/</a>
6.4.12	Журналы по механике ТТ <a href="http://www.oajse.com/subjects/mechanical_engineering.html">http://www.oajse.com/subjects/mechanical_engineering.html</a>
6.4.13	ARXIV - крупнейший бесплатный архив электронных публикаций научных статей и их препринтов по физике, математике, астрономии, информатике и биологии, <a href="http://arxiv.org">http://arxiv.org</a>
6.4.14	База данных ВИНТИ РАН <a href="http://www.viniti.ru">http://www.viniti.ru</a>
6.4.15	Единое окно доступа к образовательным ресурсам - информационная система <a href="http://window.edu.ru">http://window.edu.ru</a>
6.4.16	КиберЛенинка - научная электронная библиотека <a href="http://cyberleninka.ru">http://cyberleninka.ru</a>
6.4.17	Электронные коллекции на портале Президентской библиотеки им. Б. Н. Ельцина <a href="http://www.prlib.ru/collections">http://www.prlib.ru/collections</a>
6.4.18	Elsevier - Open Archive <a href="https://www.elsevier.com/about/open-science/open-access/open-archive">https://www.elsevier.com/about/open-science/open-access/open-archive</a>
6.4.19	SpringerOpen <a href="http://www.springeropen.com">http://www.springeropen.com</a>
6.4.20	Directory of Open Access Journals <a href="https://doaj.org">https://doaj.org</a>
6.4.21	Multidisciplinary Digital Publishing Institute (Basel, Switzerland) <a href="http://www.mdpi.com">http://www.mdpi.com</a>

#### 7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

7.1	Учебные аудитории Университета для проведения занятий лекционного типа, занятий семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации оснащены: комплект специализированной учебной мебели, маркерная (меловая) доска, комплект переносного мультимедийного оборудования - компьютер, проектор, проекционный экран, компьютеры с возможностью выхода в Интернет и доступом в электронную информационно-образовательную среду.
7.2	Помещения для самостоятельной работы оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационную образовательную среду СурГУ:
	350, 351 Зал социально-гуманитарной и художественной литературы
	442 Зал естественно-научной и технической литературы.

## 8. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Проведение текущего контроля успеваемости по дисциплине

Методические рекомендации по проведению основных видов учебных занятий

При изучении дисциплины используются следующие основные методы и средства обучения, направленные на повышение качества подготовки аспирантов путем развития у аспирантов творческих способностей и самостоятельности:

- Контекстное обучение – мотивация аспирантов к усвоению знаний путем выявления связей между конкретными знаниями и его применением.

- Проблемное обучение – стимулирование аспирантов к самостоятельному приобретению знаний, необходимых для решения конкретной проблемы.

- Обучение на основе опыта – активизация познавательной деятельности аспиранта за счет ассоциации и собственного опыта с предметом изучения.

- Индивидуальное обучение – выстраивание аспирантами собственной образовательной траектории на основе формирования индивидуальной программы с учетом интересов аспирантов.

Междисциплинарное обучение – использование знаний из разных областей, их группировка и концентрация в контексте решаемой задачи.

Лекции являются одним из основных методов обучения по дисциплинам, направленным на подготовку к кандидатскому экзамену, которые должны решать следующие задачи:

- изложить основной материал программы курса;

- развить у аспирантов потребность к самостоятельной работе над учебником и научной литературой.

Главной задачей каждой лекции является раскрытие сущности темы и анализ ее основных положений. Содержание лекций определяется рабочей программой курса. Привлечение графического и табличного материала на лекции позволит более объемно изложить материал.

Целью практических занятий является:

-закрепление теоретического материала, рассмотренного аспирантами самостоятельно;

-проверка уровня понимания аспирантами вопросов, рассмотренных самостоятельно по учебной литературе, степени и качества усвоения материала аспирантами;

-восполнение пробелов в пройденной теоретической части курса и оказание помощи в его усвоении.

В начале очередного занятия необходимо сформулировать цель, поставить задачи. Аспирант выполняет задания, а преподаватель контролирует ход их выполнения путем устного опроса, проверки практических заданий.

Методические рекомендации по организации самостоятельной работы аспирантов

Целью самостоятельной работы аспирантов является формирование способностей к самостоятельному познанию и обучению, поиску литературы, обобщению, оформлению и представлению полученных результатов, их критическому анализу поиску новых неординарных решений, аргументированному отстаиванию своих предложений, умений подготовки выступлений и ведения дискуссий.

Методические рекомендации призваны помочь аспирантам организовать самостоятельную работу при изучении курса: с материалами лекций, практических и семинарских занятий, литературы по общим и специальным вопросам технических наук.

Задачами самостоятельной работы являются:

-систематизация и закрепление полученных теоретических знаний и практических умений;

-углубление и расширение теоретических знаний;

-формирование умений использовать нормативную, правовую, справочную документацию и специальную литературу;

-развитие познавательных способностей и активности: творческой инициативы, самостоятельности, ответственности и организованности;

-формирование самостоятельности мышления, способностей к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации;

-развитие исследовательских умений;

-использование материала, собранного и полученного в ходе самостоятельных занятий на семинарах, на практических и лабораторных занятиях, при написании научно- квалификационной работы, для эффективной подготовки к итоговым зачетам и экзаменам.

Аудиторная самостоятельная работа по дисциплине выполняется на учебных занятиях под непосредственным руководством преподавателя и по его заданию.

Внеаудиторная самостоятельная работа выполняется аспирантом по заданию преподавателя, но без его непосредственного участия.

Основными видами самостоятельной работы аспиранта без участия преподавателя являются:

-формирование и усвоение содержания конспекта лекций на базе рекомендованной лектором учебной литературы, включая информационные образовательные ресурсы (электронные учебники, электронные библиотеки и др.);

-подготовка к практическим занятиям, их оформление;

-составление аннотированного списка статей из соответствующих журналов по темам занятий;

-выполнение домашних заданий в виде решения отдельных задач, проведения типовых расчетов и индивидуальных работ по отдельным разделам содержания дисциплин и т.д.

Самостоятельная работа аспирантов осуществляется в следующих формах:

- подготовка к практическим занятиям,
- изучение дополнительной литературы и подготовка ответов на вопросы для самостоятельного изучения.

1) Подготовка к практическим занятиям.

При подготовке к практическим занятиям аспирантам необходимо ориентироваться на вопросы, вынесенные на обсуждение. На занятиях проводятся опросы, тестирование, разбор конкретных ситуаций, с активным обсуждением вопросов с целью эффективного усвоения материала в рамках предложенной темы, выработки умений и навыков в профессиональной деятельности, а также в области ведения переговоров, дискуссий, обмена информацией, грамотной постановки задач, формулирования проблем, обоснованных предложений по их решению и аргументированных выводов.

2) Изучение рекомендованной литературы при подготовке к практическим занятиям.

В целях эффективного и полноценного проведения таких мероприятий аспиранты должны тщательно подготовиться к вопросам занятия. Поощряется и положительно оценивается, если аспирант самостоятельно организует поиск необходимой информации с использованием периодических изданий, информационных ресурсов сети интернет и баз данных специальных программных продуктов.

Самостоятельная работа аспирантов должна опираться на сформированные навыки и умения, приобретенные во время прохождения других курсов. Составляющим компонентом его работы должно стать творчество. В связи с этим рекомендуется:

1. Начинать подготовку к занятию со знакомства с опубликованными законодательно-правовыми документами.
2. Обратит внимание на структуру, композицию, язык документа, время и историю его появления.
3. Определить основные идеи, принципы, тезисы, заложенные в документ.
4. Выяснить, какой сюжет, часть изучаемой проблемы позволяет осветить проанализированный источник.
5. Провести работу с неизвестными терминами и понятиями, для чего использовать словари терминов, энциклопедические словари, словари иностранных слов и др.

Затем необходимо ознакомиться с библиографией темы и вопроса, выбрать доступные Вам издания из списка основной литературы, специальной литературы, рекомендованной к лекциям и семинарам. Рекомендованные списки могут быть дополнены. Используйте справочную литературу. Поиск можно продолжить, изучив примечания и сноски в уже имеющихся у Вас в руках монографиях, статьях. Работая с литературой по теме семинара, делайте выписки текста, содержащего характеристику или комментарий знакомого Вам источника. После чего вернитесь к тексту документа (желательно полному) и проведите его анализ в контексте изученной исследовательской литературы.

Возникающие на каждом этапе работы мысли следует записывать. Анализ документа следует сделать составной частью проработки вопросов семинара и выступления аспиранта на занятии. Общее знание проблемы, обсуждаемой на занятии, должно сочетаться с глубоким знанием источников. Следует составить сложный план, схему ответа на каждый вопрос плана занятия.

Методические рекомендации по проведению контрольной работы

- 1) готовясь к контрольной работе аспирант должен выполнить все текущие практические задания;
- 2) во время выполнения контрольной работы, аспирант получает задание, состоящее из нескольких отдельных вопросов, задач, рассчитанное на два часа учебного времени.

Проведение промежуточной аттестации по дисциплине

Формой промежуточной аттестации освоения дисциплины является экзамен. Результаты промежуточного контроля знаний оцениваются по 4-балльной шкале с оценками: «отлично»; «хорошо»; «удовлетворительно»; «неудовлетворительно».

Методические рекомендации по подготовке к кандидатскому экзамену

Организация и проведение кандидатских экзаменов в СурГУ регламентируется следующими документами: постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. №842 «О порядке присуждения ученых степеней», приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 28.03.2014 г. №247 «Порядок прикрепления лиц для сдачи кандидатских экзаменов, сдачи кандидатских экзаменов и их перечень», СТО-2.12.11 «Порядок проведения кандидатских экзаменов».

Кандидатский экзамен является формой промежуточной аттестации аспирантов и лиц, прикрепленных для сдачи кандидатских экзаменов без освоения основных профессиональных образовательных программ высшего образования подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре, их сдача обязательна для присуждения ученой степени кандидата наук.

Кандидатский экзамен ставит целью установить глубину профессиональных знаний соискателя ученой степени кандидата технических наук, уровень подготовленности к самостоятельной научно-исследовательской работе.

К экзамену допускаются аспиранты и соискатели, не имеющие задолженности по дисциплинам учебного плана на момент сдачи экзамена. Аспирант, не сдавший кандидатский экзамен по специальности, считается незавершившим обучение в аспирантуре.

Экзамен по специальности включает обсуждение двух теоретических вопросов и собеседование по теме диссертации (третий вопрос) в соответствии с программой кандидатского экзамена, утверждённой проректором по учебно-методической работе СурГУ.

Для успешной сдачи экзамена аспиранту необходимо выполнить несколько требований:

- 1) регулярно посещать аудиторные занятия по дисциплине; пропуск занятий не допускается без уважительной причины;
- 2) в случае пропуска занятия аспирант должен быть готов ответить на экзамене на вопросы преподавателя, взятые из пропущенной темы;
- 3) аспирант должен точно в срок сдавать письменные работы на проверку и к следующему занятию удостовериться, что они зачтены;
- 4) готовясь к очередному занятию по дисциплине, аспирант должен прочитать соответствующие разделы в учебниках, учебных пособиях, монографиях и пр., рекомендованных преподавателем в программе дисциплины, и быть готовым продемонстрировать свои знания; каждое участие аспиранта в обсуждении материала на практических занятиях отмечается преподавателем и учитывается при ответе на экзамене.