

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Воронежский государственный технический университет»


УТВЕРЖДАЮ
Декан строительного факультета
Ианфилов Д.В.
«31» августа 2021 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
дисциплины
«Прикладная теория упругости, ползучести и пластичности»

Направление подготовки 08.04.01 Строительство

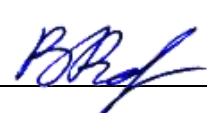
Программа «Теория и проектирование зданий и сооружений»

Квалификация выпускника магистр

Нормативный период обучения 2 года

Форма обучения очная

Год начала подготовки 2021

Автор программы  /В.С. Варнавский/

Заведующий кафедрой
строительной механики  /В.А. Козлов/

Руководитель ОПОП  /Сафронов В.С./

Воронеж 2021

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1. Цели дисциплины

Курс «Прикладная теория упругости, ползучести и пластичности» имеет своей **целью** ознакомить магистранта с основными методами теории упругости, ползучести и пластичности, используемыми при проектировании и прочностных расчетах конструкций зданий и сооружений.

1.2. Задачи освоения дисциплины

Получить необходимые представления о характере упругого и неупругого деформирования элементов конструкций. Освоить методы теории упругости, ползучести и пластичности для анализа и оценки напряжённо-деформированного состояния стержневых, плоских и пространственных элементов строительных конструкций.

Изучить общие методы определения напряжений, деформаций, усилий и перемещений в элементах конструкций любой формы, а так же оценить точность полученных в сопротивлении материалов приближенных решений.

Приобретенные знания способствуют формированию инженерного мышления.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Прикладная теория упругости, ползучести и пластичности» относится к дисциплинам части, формируемой участниками образовательных отношений блока Б1.

Дисциплина «Прикладная теория упругости, ползучести и пластичности» является предшествующей для курсов железобетонные и каменные конструкции, металлические конструкции, конструкции из дерева и пластмасс, основания и фундаменты.

3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс изучения дисциплины «Прикладная теория упругости, ползучести и пластичности» направлен на формирование следующих компетенций:

ПК-1 - Овладение знаниями методов проектирования и мониторинга зданий и сооружений, их конструктивных элементов, включая методы расчётного обоснования, в том числе с использованием универсальных и специализированных программно-вычислительных комплексов и систем автоматизированного проектирования;

ПК-2 – Способностью вести разработку эскизных, технических и рабочих проектов сложных объектов, в том числе с использованием систем автоматизированного проектирования;

ПК-3 - Способностью разрабатывать методики, планы и программы проведения научных исследований и разработок, готовить задания для исполнителей, организовывать проведение экспериментов и испытаний, анализировать и обобщать их результаты.

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции
ПК-1	знать теоретические основы современных методов проектирования и мониторинга зданий и сооружений, их конструктивных элементов, включая методы расчётного обоснования
	уметь использовать универсальные и специализированные программно-вычислительные комплексы и системы автоматизированного проектирования
	владеть современными методами проектирования и мониторинга зданий и сооружений, их конструктивных элементов, включая методы расчётного обоснования, с использованием универсальных и специализированных программно-вычислительных комплексов и систем автоматизированного проектирования
ПК-2	знать современные методики разработки эскизных, технических и рабочих проектов сложных объектов, в том числе с использованием систем автоматизированного проектирования
	уметь применять современные методики разработки эскизных, технических и рабочих проектов сложных объектов, в том числе с использованием систем автоматизированного проектирования
	владеть практическими приемами разработки эскизных, технических и рабочих проектов сложных объектов, в том числе с использованием систем автоматизированного проектирования
ПК-3	знать современные методики подготовки планов и программ проведения научных исследований и разработок
	уметь организовывать проведение экспериментов и испытаний, анализировать и обобщать их результаты, готовить задания для исполнителей,
	владеть практическими приемами проведения научных исследований и разработок, а также проведения анализа и обобщения их результатов

4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины «Прикладная теория упругости, ползучести и пластичности» составляет 4 з.е.

**Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий
очная форма обучения**

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры
		2
Аудиторные занятия (всего)	48	48
В том числе:		
Лекции	16	16
Практические занятия (ПЗ)	16	16
Лабораторные работы (ЛР)	16	16
Самостоятельная работа	96	96
Виды промежуточной аттестации - зачет	+	+
Общая трудоемкость:		
академические часы	144	144
зач.ед.	4	4

5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

5.1 Содержание разделов дисциплины и распределение трудоемкости по видам занятий очная форма обучения

№ п/п	Наименование темы	Содержание раздела	Лекц	Прак зан.	Лаб. зан.	СРС	Всего, час
1	<u>Основы теории напряжённо-деформированного состояния в точке тела.</u>	Предмет теории упругости. Прикладные аспекты теории упругости. Нагрузки и напряжения. Перемещения и деформации. Тензоры напряжений и деформаций. Интенсивности напряжений и деформаций. Главные напряжения и деформации.	2	2	3	13	20
2	<u>Основные уравнения теории упругости.</u>	Постановка задачи теории упругости. Уравнения равновесия (статика) элемента тела. Геометрические уравнения. Уравнения совместности деформаций. Физические уравнения. Применение метода напряжений и метода перемещений.	2	2	2	12	18
3	<u>Плоская задача теории упругости.</u>	Плоское напряжённое состояние и плоская деформация. Основные уравнения плоской задачи. Разрешающие уравнения в напряжениях и перемещениях. Функция напряжений. Методы	2	2	3	26	33

		решения плоской задачи для прямоугольных односвязных областей. Плоская задача в полярных координатах.					
4	<u>Вариационная формулировка задач теории упругости.</u>	Энергия деформируемого тела как функционал. Вариационный принцип Лагранжа. Метод Ритца. Принцип Кастильяно.	2	4	-	10	16
5	<u>Основные понятия теории пластичности. Математическое моделирование пластических материалов.</u>	Линейно – упругий, нелинейно – упругий и упругопластичный материалы. Физическая нелинейность. Постановка задачи и уравнения теории пластичности. Общее и различие с постановкой задачи теории упругости. Активное нагружение и разгрузка. Повторно– переменное и знакопеременное нагружение. Аппроксимация диаграмм деформирования материалов и требования к ней. Упругопластическая и жесткопластическая задачи. Математическое моделирование поведения материалов и элементов конструкций в условиях повторно– попеременного и знакопеременного нагружений.	2	2	2	12	18
6	<u>Критерии пластичности материала. Условия упрочнения. Основные теории пластичности. Гипотезы, положения, условия применимости.</u>	Назначение критериев (условий) пластичности. Критерий Треска – Сен – Венана – Леви. Критерий Губера – Мизеса – Генки. Условия упрочнения материала. Простое и сложное нагружение. Основные типы теорий пластичности и их назначение. Теория малых упругопластических деформаций Генки – Надаи и ее развитие А.А. Ильюшным. Теория пластического течения (дифференциальная теория). Вариационные принципы теории пластичности.	2	2	2	12	18
7	<u>Основные</u>	Понятие и виды ползучести.	4	2	4	11	21

<u>понятия</u> <u>теории</u> <u>ползучести.</u>	Упругомгновенные деформации и деформации ползучести. Мера ползучести. Характеристика ползучести. Модели упруговязких тел. Линейная и нелинейная теории ползучести. Гипотезы линейной теории ползучести. Стареющие и нестареющие материалы. Принцип наложения деформаций ползучести, соответствующих приращениям напряжений. Понятие о наследственной теории старения (теории ползучести Г.Н. Маслова – Н.Х. Арутюняна), теории упругой наследственности, теории старения. Интегральные уравнения Вольтерры.					
Итого		16	16	16	96	144

5.2 Перечень лабораторных работ

№ п/п	№ Раздела дисциплины	Наименование лабораторной работы	Кол-во часов
1	1	Расчёт пространственного напряжённого состояния элемента конструкции на прочность	3
2	2	Расчёт плоского напряжённого состояния балки на прочность методами теории упругости	2
3	3	Решение плоской задачи теории упругости для прямоугольной пластины	3
4	5	Исследование влияния аппроксимации диаграммы неупругого деформирования материала на определение усилий в элементе конструкции	2
5	6	Моделирование упругопластического повторно-переменного нагружения для центрального растяжения-сжатия стержня и плоского изгиба балки	2
6	7	Расчётный анализ напряжённо-деформированного состояния железобетонной предварительно-напряжённой балки с учётом деформаций ползучести	4

№ п/п	Расчетно-графические работы
1	Расчёт предварительно напряжённой железобетонной балки на статическую нагрузку с учётом физически нелинейных свойств материала

7. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

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

7.1.1 Этап текущего контроля

Результаты текущего контроля знаний и межсессионной аттестации оцениваются по следующей системе:

«аттестован»;

«не аттестован».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Аттестован	Не аттестован
ПК-1	знать теоретические основы современных методов проектирования и мониторинга зданий и сооружений, их конструктивных элементов, включая методы расчётного обоснования	знание теоретических основ современных методов проектирования и мониторинга	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	уметь использовать универсальные и специализированные программно-вычислительные комплексы и системы автоматизированного проектирования	умение использовать специализированные программно-вычислительные комплексы и системы автоматизированного проектирования	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	владеть современными методами проектирования и мониторинга зданий и сооружений, их конструктивных элементов, включая методы расчётного обоснования, с использованием универсальных и специализированных	владение современными методами проектирования и мониторинга	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах

	программно-вычислительных комплексов и систем автоматизированного проектирования			
ПК-2	знать современные методики разработки эскизных, технических и рабочих проектов сложных объектов, в том числе с использованием систем автоматизированного проектирования	знание современных методик разработки эскизных, технических и рабочих проектов сложных объектов	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	уметь применять современные методики разработки эскизных, технических и рабочих проектов сложных объектов, в том числе с использованием систем автоматизированного проектирования	умение применять современные методики разработки эскизных, технических и рабочих проектов сложных объектов	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	владеть практическими приемами разработки эскизных, технических и рабочих проектов сложных объектов, в том числе с использованием систем автоматизированного проектирования	владение практическими приемами разработки эскизных, технических и рабочих проектов сложных объектов	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
ПК-3	знать современные методики подготовки планов и программ проведения научных исследований и разработок	знание современных методик проведения научных исследований	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	уметь организовывать проведение экспериментов и испытаний, анализировать и обобщать их результаты, готовить задания для исполнителей,	умение анализировать результаты научных исследований	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	владеть практическими приемами проведения научных исследований и разработок, а также проведения анализа и обобщения их результатов	владение практическими приемами проведения научных исследований	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах

7.1.2 Этап промежуточного контроля знаний

Результаты промежуточного контроля знаний оцениваются в 2 семестре для очной формы обучения по двухбалльной системе:

«зачтено»

«не зачтено»

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Зачтено	Не зачтено
ПК-1	знать теоретические основы современных методов проектирования и мониторинга зданий и сооружений, их конструктивных элементов, включая методы расчётного обоснования	Тест	Выполнение теста на 70-100%	Выполнение менее 70%
	уметь использовать универсальные и специализированные программно-вычислительные комплексы и системы автоматизированного проектирования	Решение стандартных практических задач	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	владеть современными методами проектирования и мониторинга зданий и сооружений, их конструктивных элементов, включая методы расчётного обоснования, с использованием универсальных и специализированных программно-вычислительных комплексов и систем автоматизированного проектирования	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
ПК-2	знать современные методики разработки эскизных, технических и рабочих проектов сложных объектов, в том числе с использованием систем автоматизированного проектирования	Тест	Выполнение теста на 70-100%	Выполнение менее 70%
	уметь применять современные методики разработки эскизных, технических и рабочих проектов сложных объектов, в том числе с использованием систем автоматизированного проектирования	Решение стандартных практических задач	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	владеть практическими приемами разработки эскизных, технических и рабочих проектов сложных объектов, в том числе с использованием систем автоматизированного проектирования	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
ПК-3	знать современные методики	Тест	Выполнение теста на 70-100%	Выполнение менее 70%

	подготовки планов и программ проведения научных исследований и разработок			
	уметь организовывать проведение экспериментов и испытаний, анализировать и обобщать их результаты готовить задания для исполнителей,	Решение стандартных практически задач	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	владеть практическими приемами проведения научных исследований и разработок, а также проведения анализа и обобщения их результатов	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены

7.2 Примерный перечень оценочных средств (типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности)

7.2.1 Примерный перечень заданий для подготовки к тестированию

1. Сколько неизвестных величин входят в общем случае в систему уравнений теории упругости?

1) 8; 2) 15; 3) 10; 4) 12.

2. Сколько уравнений входят в систему уравнений плоской задачи теории упругости?

1) 10; 2) 12; 3) 8; 4) 6.

3. Как записывается уравнение совместности деформаций для плоской задачи теории упругости?

1) $\frac{\partial^2 \varepsilon_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varepsilon_y}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 \gamma_{xy}}{\partial x \partial y}$; 2) $\frac{\partial^2 \varepsilon_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varepsilon_y}{\partial x^2} = 2 \frac{\partial^2 \gamma_{xy}}{\partial x \partial y}$; 3) $\frac{\partial^2 \varepsilon_x}{\partial y^2} - \frac{\partial^2 \varepsilon_y}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 \gamma_{xy}}{\partial x \partial y}$;

4) $\frac{\partial^2 \varepsilon_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varepsilon_y}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \gamma_{xy}}{\partial x \partial y} = 0$.

4. Как выражаются напряжения через функцию напряжений φ в случае плоского напряженного состояния (при отсутствии объемных сил)?

1) $\sigma_x = \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2}$, $\sigma_y = \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2}$, $\tau_{xy} = \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x \partial y}$; 2) $\sigma_x = \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2}$, $\sigma_y = \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2}$, $\tau_{xy} = -\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x \partial y}$;

3) $\sigma_x = -\frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2}$, $\sigma_y = -\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2}$, $\tau_{xy} = \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x \partial y}$; 4) $\sigma_x = -\frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2}$, $\sigma_y = -\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2}$, $\tau_{xy} = -\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x \partial y}$.

5. Как записывается бигармоническое уравнение для определения функции напряжений для плоской задачи теории упругости?

1) $\frac{\partial^4 \varphi}{\partial x^4} + \frac{\partial^4 \varphi}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 \varphi}{\partial y^4} = 0$; 2) $\frac{\partial^4 \varphi}{\partial x^4} - \frac{\partial^4 \varphi}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 \varphi}{\partial y^4} = 0$; 3) $\frac{\partial^4 \varphi}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 \varphi}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 \varphi}{\partial y^4} = 0$;

4) $\frac{\partial^4 \varphi}{\partial x^4} - 2 \frac{\partial^4 \varphi}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 \varphi}{\partial y^4} = 0$.

6. Какие величины связывают между собой уравнения равновесия (статики) элемента тела?

- 1) Напряжения и деформации
- 2) Напряжения и перемещения
- 3) Напряжения и объёмные силы
- 4) Нагрузку и перемещения

7. Какие величины связывают между собой геометрические уравнения Коши элемента тела?

- 1) Перемещения и нагрузку
- 2) Перемещения и напряжения
- 3) Нагрузку и деформации
- 4) Деформации и перемещения

8. Какие величины связывают между собой физические уравнения элемента тела?

- 1) Перемещения и нагрузку
- 2) Напряжения и деформации
- 3) Напряжения и перемещения
- 4) Нагрузку и деформации

9. Какие уравнения в постановке задачи теории пластичности принципиально отличаются от уравнений теории упругости

- 1) Уравнения равновесия (статики) элемента тела
- 2) Геометрические уравнения Коши элемента тела
- 3) Физические уравнения элемента тела
- 4) Уравнения совместности деформаций элемента тела

10. Какие критерии пластичности применяются в теории пластичности

- 1) Критерий наибольших нормальных напряжений
- 2) Критерий наибольших касательных напряжений
- 3) Критерий наибольших растягивающих деформаций
- 4) Критерий удельной энергии формоизменения элемента тела

11. Условие текучести Треска – Сен-Венана имеет вид (K – предел текучести при сдвиге)

$$1) \left. \begin{array}{l} |\sigma_1 - \sigma_2| \leq K, \\ |\sigma_2 - \sigma_3| \leq K, \\ |\sigma_3 - \sigma_1| \leq K. \end{array} \right\}; \quad 2) \left. \begin{array}{l} |\sigma_1 - \sigma_2| \geq K, \\ |\sigma_2 - \sigma_3| \geq K, \\ |\sigma_3 - \sigma_1| \geq K. \end{array} \right\}; \quad 3) \left. \begin{array}{l} |\sigma_1 - \sigma_2| \geq 2K, \\ |\sigma_2 - \sigma_3| \geq 2K, \\ |\sigma_3 - \sigma_1| \geq 2K. \end{array} \right\}; \quad 4) \left. \begin{array}{l} |\sigma_1 - \sigma_2| \leq 2K, \\ |\sigma_2 - \sigma_3| \leq 2K, \\ |\sigma_3 - \sigma_1| \leq 2K. \end{array} \right\}.$$

12. Пределом текучести называется

- 1) максимальное напряжение, до которого выполняется закон Гука;
- 2) максимальное напряжение, которое выдерживает материал;
- 3) напряжение, до которого деформации упругие;
- 4) напряжение, при котором наблюдается рост деформаций без увеличения нагрузки.

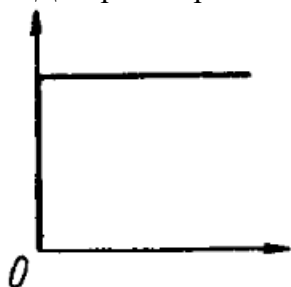
13. Ползучестью называется

- 1) рост деформаций с течением времени;
- 2) уменьшение напряжений с течением времени при постоянных деформациях;
- 3) рост пластических деформаций с течением времени при постоянных напряжениях и

температуре;

4) рост упругих деформаций с течением времени при постоянных напряжениях и температуре.

14. Диаграмма растяжения какого материала показана на рисунке



- 1) нелинейно упругого;
- 2) упругопластического;
- 3) линейно упругого;
- 4) жестко пластического.

15. Простым называется нагружение, при котором

- 1) все нагрузки, действующие на тело, постоянны;
- 2) все нагрузки, действующие на тело, увеличиваются;
- 3) все нагрузки, действующие на тело, увеличиваются пропорционально одному параметру;
- 4) на тело действует только одна нагрузка.

16. Какая механическая характеристика определяет наступление неустановившейся ползучести?

- 1) предел текучести;
- 2) предел выносливости;
- 3) предел длительного сопротивления;
- 4) предел ползучести.

7.2.2 Примерный перечень заданий для решения стандартных задач

- 1. Записать уравнения равновесия на контуре тонкой пластинки при известных нагрузках.
- 2. Выполнить проверку выполнения дифференциальных уравнений равновесия для напряжений в простой балке, найденных по формулам сопротивления материалов.
- 3. Найти напряжения на контуре прямоугольной пластинки, испытывающей плоское напряженное состояние, по заданной функции напряжений.
- 4. Найти выражения для нормальных и касательных напряжений в произвольном сечении, проходящем через внутреннюю точку тонкой пластинки, испытывающей однородное плоское напряженное состояние, по известным напряжениям на координатных сечениях.
- 5. Найти главные напряжения и положение главных сечений для плоского напряженного состояния по известным координатным напряжениям.
- 6. Найти главные напряжения для объемного напряженного состояния по известным координатным напряжениям.
- 7. Построить кривую пластичности для плоского напряженного состояния по заданным главным напряжениям и пределу текучести σ_T для условия текучести Треска – Сен-Венана.
- 8. Построить кривую пластичности для плоского напряженного состояния по

заданным главным напряжениям и пределу текучести σ_t для условия текучести Губера-Мизеса.

9. Найти решение обратной задачи для прямоугольной пластинки, находящейся в условиях плоского напряженного состояния, по известной функции напряжений.
10. Упругопластический расчет стержня при действии продольной силы.

7.2.3 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач

1	Суть содержания выражений, представленных формулами (1) $\sigma_x \cdot l + \tau_{yx} \cdot m = p_x, \quad \tau_{xy} \cdot l + \sigma_y \cdot m = p_y. \quad (1)$ А. уравнения равновесия Б. условия на поверхности В. уравнения закона Гука в прямой форме Г. уравнения Коши
2	Суть содержания выражений, представленных формулами (2) $\left(\frac{\partial}{\partial x} \sigma_x \right) + \left(\frac{\partial}{\partial y} \tau_{xy} \right) + X = 0, \quad \left(\frac{\partial}{\partial x} \tau_{xy} \right) + \left(\frac{\partial}{\partial y} \sigma_y \right) + Y = 0 \quad (2)$ А. уравнения равновесия Б. условия на поверхности В. уравнения закона Гука в обратной форме Г. уравнения Коши
3	Суть содержания выражений, представленных формулами (3) $\varepsilon_x = \frac{\partial}{\partial x} u, \quad \varepsilon_y = \frac{\partial}{\partial y} v, \quad \gamma_{xy} = \left(\frac{\partial}{\partial y} u \right) + \left(\frac{\partial}{\partial x} v \right). \quad (3)$ А. уравнения равновесия Б. условия на поверхности В. уравнения закона Гука в прямой форме Г. уравнения Коши
4	Суть содержания выражений, представленных формулами (4) $\varepsilon_x = \frac{\sigma_x - \mu \sigma_y}{E}, \quad \varepsilon_y = \frac{\sigma_y - \mu \sigma_x}{E}, \quad \gamma_{xy} = \frac{\tau_{xy}}{G}, \quad \text{где } G = \frac{E}{2(1 + \mu)} \quad (4)$ А. уравнения равновесия Б. условия на поверхности В. закон Гука в прямой форме Г. уравнения Коши

5 Суть содержания выражений, представленных формулами (5)

$$\sigma_x = \frac{E(\varepsilon_x + \mu \varepsilon_y)}{1 - \mu^2}, \sigma_y = \frac{E(\varepsilon_y + \mu \varepsilon_x)}{1 - \mu^2}, \tau_{xy} = \frac{1}{2} \frac{\gamma_{xy} E}{1 + \mu} \quad (5)$$

А. уравнения равновесия

Б. условия на поверхности

В. уравнения закона Гука в обратной форме

Г. уравнения Коши

6 Суть содержания выражений, представленных формулами (6)

$$\frac{\partial^4 \varphi}{\partial x^4} + 2 \cdot \frac{\partial^4 \varphi}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 \varphi}{\partial y^4} = 0 \quad (6)$$

А. уравнения равновесия

Б. условия на поверхности

В. уравнения совместности деформации

Г. уравнения Коши

7 Нормальные и касательные напряжения через функцию напряжений определяются по формулам

А. $\varepsilon_x = \frac{\sigma_x - \mu \sigma_y}{E}, \varepsilon_y = \frac{\sigma_y - \mu \sigma_x}{E}, \gamma_{xy} = \frac{\tau_{xy}}{G}, \text{ где } G = \frac{E}{2(1 + \mu)}$

Б. $\sigma_x = \frac{E(\varepsilon_x + \mu \varepsilon_y)}{1 - \mu^2}, \sigma_y = \frac{E(\varepsilon_y + \mu \varepsilon_x)}{1 - \mu^2}, \tau_{xy} = \frac{1}{2} \frac{\gamma_{xy} E}{1 + \mu}$

В. $\varepsilon_x = \frac{\partial}{\partial x} u, \varepsilon_y = \frac{\partial}{\partial y} v, \gamma_{xy} = \left(\frac{\partial}{\partial y} u \right) + \left(\frac{\partial}{\partial x} v \right)$

Г. $\sigma_x = \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2}, \sigma_y = \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2}, \tau_{xy} = -\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x \partial y}$

8 Функция напряжений задана формулой

$$\varphi = -50 \cdot y^3$$

найти выражения для нормальных и касательных напряжений

А. $\sigma_x = -300 y, \sigma_y = 0, \tau_{xy} = 0.$

Б. $\sigma_x = -300 y, \sigma_y = 300, \tau_{xy} = 0.$

В. $\sigma_x = 0, \sigma_y = 300 x, \tau_{xy} = 300.$

Г. $\sigma_x = -300 y, \sigma_y = 0, \tau_{xy} = 150 y^2.$

9 Функция напряжений задана формулой

$$\varphi = -50 \cdot y^3$$

найти выражения для линейных и угловых деформаций

А. $\varepsilon_x = -\frac{300}{E}, \varepsilon_y = \frac{300 \mu y}{E}, \gamma_{xy} = 0.$

Б. $\varepsilon_x = -\frac{300 y}{E}, \varepsilon_y = \frac{300 \mu y}{E}, \gamma_{xy} = 0.$

В. $\varepsilon_x = -\frac{300 y}{E}, \varepsilon_y = \frac{300 y}{E}, \gamma_{xy} = 0.$

Г. $\varepsilon_x = -\frac{300 \mu y}{E}, \varepsilon_y = \frac{300 y}{E}, \gamma_{xy} = 0.$

10 Напряженно-деформированное состояние пластинки, показанной на рис. 1 представляет собой

А. чистый сдвиг

Б. чистый изгиб

В. чистое растяжение

Г. растяжение-сжатие

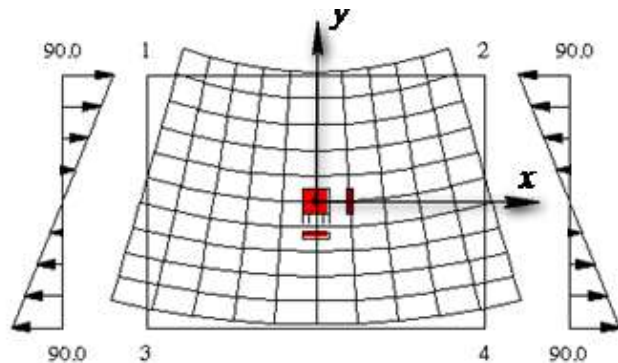


Рис. 1

11 На рис. 2.а показана балка-стенка, на рис. 2.б показаны эпюры

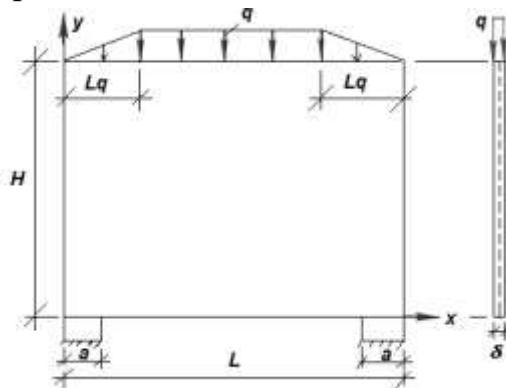


Рис. 2.а

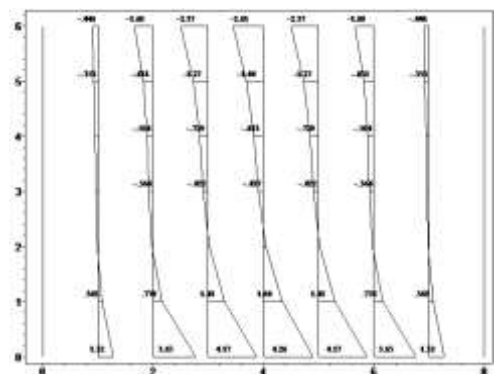


Рис. 2.б

А. нормальных напряжений σ_y

Б. нормальных напряжений σ_x

В. касательных напряжений τ_x

Г. наибольших касательных напряжений τ_i

12 На рис. 3.а показана балка-стенка, на рис. 3.б показаны эпюры

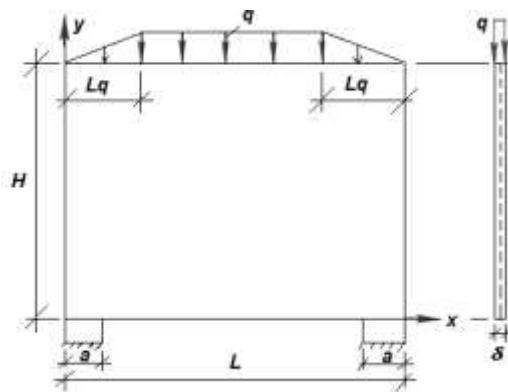


Рис. 3.а

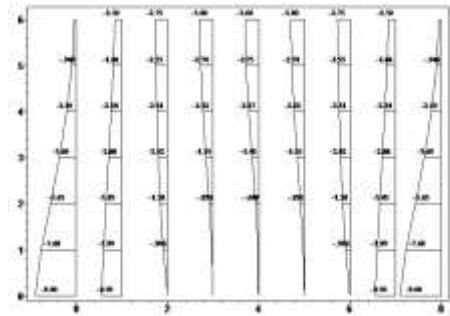


Рис. 3.б

- А. нормальных напряжений σ_y
- Б. нормальных напряжений σ_x
- В. касательных напряжений τ_x
- Г. наибольших касательных напряжений τ_i

13 На рис. 4.а показана балка-стенка, на рис. 4.б показаны эпюры

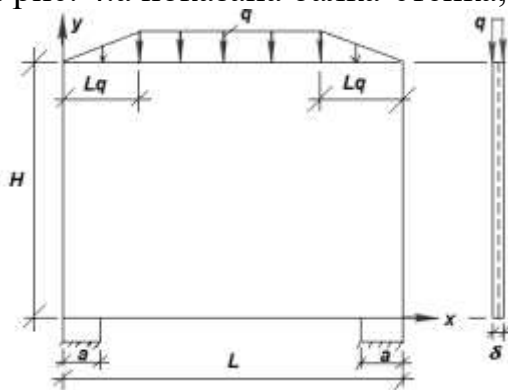


Рис. 4.а

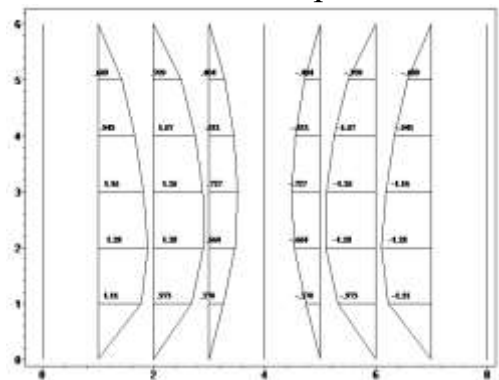


Рис.4.б

- А. нормальных напряжений σ_y
- Б. нормальных напряжений σ_x
- В. касательных напряжений τ_{xy}**
- Г. наибольших касательных напряжений τ_i

14 Какое напряженно-деформированное состояние имеет место в поперечных сечениях треугольной плотины?

- А. плоское напряженное состояние;
- Б. внецентренное сжатие;
- В. плоская деформация;**
- Г. изгиб.

- | |
|---|
| <p>15 Какое напряженно-деформированное состояние реализуется в балке-стенке?</p> <p>А. плоское напряженное состояние;</p> <p>Б. внецентренное сжатие;</p> <p>В. плоская деформация;</p> <p>Г. чистый сдвиг.</p> |
|---|

7.2.4 Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету

1. Предмет теории упругости. Прикладные аспекты теории упругости.
2. Нагрузки и напряжения. Перемещения и деформации. Тензоры напряжений и деформаций. Интенсивности напряжений и деформаций.
3. Главные напряжения и деформации.
4. Постановка задачи теории упругости. Уравнения равновесия (статики) элемента тела.
5. Геометрические уравнения. Уравнения совместности деформаций.
6. Физические уравнения.
7. Применение метода напряжений и метода перемещений.
8. Плоское напряжённое состояние. Основные уравнения плоской задачи.
9. Плоская деформация. Основные уравнения плоской задачи.
10. Разрешающие уравнения в напряжениях и перемещениях. Функция напряжений.
11. Методы решения плоской задачи для прямоугольных односвязных областей.
12. Плоская задача в полярных координатах.
13. Энергия деформируемого тела как функционал. Вариационный принцип Лагранжа.
14. Метод Ритца. Принцип Кастильяно.
15. Линейно – упругий, нелинейно – упругий и упругопластичный материалы. Физическая нелинейность.
16. Постановка задачи и уравнения теории пластичности. Общее и различие с постановкой задачи теории упругости.
17. Активное нагружение и разгрузка. Повторно– переменное и знакопеременное нагружение.
18. Аппроксимация диаграмм деформирования материалов и требования к ней. Упругопластическая и жесткопластическая задачи.
19. Математическое моделирование поведения материалов и элементов конструкций в условиях повторно–попеременного и знакопеременного нагружений.
20. Назначение критериев (условий) пластичности. Критерий Треска – Сен – Венана – Леви. Критерий Губера – Мизеса – Генки. Условия упрочнения материала.
21. Простое и сложное нагружение. Теорема Ильюшина о простом нагружении. Основные типы теорий пластичности и их назначение.

22. Понятие о теории малых упругопластических деформаций Генки – Надаи и ее развитие А.А. Ильюшным.
23. Понятие о теории пластического течения (дифференциальная теория).
24. Понятие и виды ползучести. Упругомгновенные деформации и деформации ползучести. Мера ползучести. Характеристика ползучести.
25. Модели упруговязких тел.
26. Линейная и нелинейная теории ползучести. Гипотезы линейной теории ползучести. Стареющие и нестареющие материалы. Принцип наложения деформаций ползучести, соответствующих приращениям напряжений.
27. Понятие о наследственной теории старения (теории ползучести Г.Н. Маслова – Н.Х. Арутюняна), теории упругой наследственности, теории старения.
28. Интегральные уравнения Вольтерры.

7.2.5 Примерный перечень вопросов для подготовки к экзамену

Не предусмотрено учебным планом

7.2.6. Методика выставления оценки при проведении промежуточной аттестации

Зачет проводится по тест-билетам, каждый из которых содержит три вопроса из числа включенных в перечень, представленных в разделе 7.2.4 настоящей программы, и контрольную задачу. Правильное решение задачи оценивается в четыре балла, правильный ответ на теоретический вопрос оценивается в два балла. Максимальное количество набранных баллов – 10.

1. Оценка «Неудовлетворительно» ставится в случае, если студент набрал менее 3 баллов.

2. Оценка «Удовлетворительно» ставится в случае, если студент набрал от 3 до 6 баллов

3. Оценка «Хорошо» ставится в случае, если студент набрал от 6 до 8 баллов.

4. Оценка «Отлично» ставится, если студент набрал от 8 до 10 баллов.)

7.2.7 Паспорт оценочных материалов

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции	Наименование оценочного средства
1	Основы теории напряжённно-деформированного состояния в точке тела.	ПК-1, ПК-2, ПК-3	Тест, контрольная работа, зачёт
2	Основные уравнения теории упругости.	ПК-1, ПК-2, ПК-3	Тест, контрольная работа, зачёт
3	Плоская задача теории упругости.	ПК-1, ПК-2, ПК-3	Тест, контрольная работа, зачёт

4	Вариационная формулировка задач теории упругости.	ПК-1, ПК-2, ПК-3	Тест, контрольная работа, зачёт
5	Основные понятия теории пластичности. Математические модели пластичных материалов.	ПК-1, ПК-2, ПК-3	Тест, контрольная работа, зачёт
6	Критерии пластичности материала. Условия упрочнения. Основные теории пластичности. Гипотезы, положения, условия применимости.	ПК-1, ПК-2, ПК-3	Тест, контрольная работа, зачёт
7	Основные понятия теории ползучести.	ПК-1, ПК-2, ПК-3	Тест, контрольная работа, зачёт

7.3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

Тестирование осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных тест-заданий на бумажном носителе. Время тестирования 30 мин. Затем осуществляется проверка теста экзаменатором и выставляется оценка согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение стандартных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка, согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение прикладных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка, согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

8 УЧЕБНО МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ)

8.1 Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

8.1.1 Основная литература:

1. Молотников, В. Я.

Теория упругости и пластичности [Электронный ресурс] / Молотников В. Я., Молотникова А. А. - 1-е изд. - : Лань, 2017. - 532 с. - Книга из коллекции Лань - Инженерно-технические науки. - ISBN 978-5-8114-2603-4.

URL: <https://e.lanbook.com/book/94741>

2. Новожилов, В. В.

Теория упругости / В. В. Новожилов. - Теория упругости ; 2023-09-02. -

Санкт-Петербург : Политехника, 2020. - 410 с. - Текст. - Лицензия до 02.09.2023. - ISBN 978-5-7325-0956-4.

URL: <http://www.iprbookshop.ru/94829.html>

8.1.2 Дополнительная литература:

1. Кальмова, М. А.

Теория упругости : учебно-методическое пособие / М. А. Кальмова. - Теория упругости ; 2026-09-20. - Самара : Самарский государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2019. - 43 с. - Текст. - Гарантированный срок размещения в ЭБС до 20.09.2026 (автопродлонгация). - ISBN 2227-8397.

URL: <http://www.iprbookshop.ru/111596.html>

2. Стружанов, В. В.

Теория упругости: основные положения : учеб. пособие / В. В. Стружанов, Н. В. Бурмашева ; М-во науки и высш. образования Рос. Федерации, Урал. федер. ун-т. — Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2019. — 204 с. ISBN 978-5-7996-2541-2

8.2 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень лицензионного программного обеспечения, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем:

1. Консультирование посредством электронной почты, Skype, WhatsApp, Viber.
2. Использование презентаций при проведении лекционных занятий.
3. Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы по строительству.
4. Базы данных, информационно-справочная и нормативная документация по разделам «Строительство» и «Расчёт строительных конструкций».
5. Программные продукты MS Office Word, MS Office Excel.
6. Программные комплекс ЛИРА-САПР-2016;
7. Вычислительная статистическая программа STADIA разработки Московского государственного университета (НПО «Информатика и компьютеры»).
8. Вычислительный пакет MatLab.
9. Информационно-поисковая система «СтройКонсультант»: доступ в локальной сети ВГТУ (библиотечный корпус).
10. <http://www.cchgeu.ru>. Учебный портал ВГТУ.
11. <http://cchgeu.ru/university/library/elektronnyy-katalog/> Электронный каталог Научной Библиотеки ВГТУ.
12. <http://cchgeu.ru/education/cafedras/kafsm/> Учебно-методические разработки кафедры строительной механики.
13. ELIBRARY.ru;
14. <https://картанауки.рф/>;
15. dwg.ru.

9 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА

Наименование помещений для проведения всех видов учебной деятельности, предусмотренной учебным планом, в том числе помещения для самостоятельной работы, с указанием перечня основного оборудования, учебно-наглядных пособий	Адрес (местоположение) помещений для проведения всех видов учебной деятельности, предусмотренной учебным планом (в случае реализации образовательной программы в сетевой форме дополнительно указывается наименование организации, с которой заключен договор)
Ауд. 2121 Комплект учебной мебели: -рабочее место преподавателя (стол, стул); -рабочие места обучающихся (столы, стулья) на 23 человека Персональные компьютеры с установленным ПО, подключенные к сети Интернет – 11 штук Типовой ком-кт д/информатики Интерактивный комплект SMART SBM680A5	394006, Воронежская область, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября д. 84 (Здание – учебный корпус №2)
Ауд. 3117 Комплект учебной мебели: -рабочее место преподавателя (стол, стул); -рабочие места обучающихся (столы, стулья) на 150 человек Акустическая система Система акустическая Экран с электроприводом Spectra	394006, Воронежская область, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября д. 84 (Здание – учебный корпус №3)
Ауд. 2303 Комплект учебной мебели: -рабочее место преподавателя (стол, стул); -рабочие места обучающихся (столы, стулья) на 30 человек	394006, Воронежская область, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября д. 84 (Здание – учебный корпус №2)
Ауд. 2307 Комплект учебной мебели: -рабочее место преподавателя (стол, стул); -рабочие места обучающихся (столы, стулья) на 26 человек	394006, Воронежская область, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября д. 84 (Здание – учебный корпус №2)
Ауд. 2104 Комплект учебной мебели: -рабочее место преподавателя (стол, стул); -рабочие места обучающихся (столы, стулья) на 20 человек 1. Комплект плакатов для сварочного производства	394006, Воронежская область, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября д. 84 (Здание – учебный корпус №2)

Ауд. 6412 Комплект учебной мебели: -рабочее место преподавателя (стол, стул); -рабочие места обучающихся (столы, стулья) на 30 человек	394006, Воронежская область, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября д. 84 (Здание – учебный корпус №6)
Ауд. 2305 Комплект учебной мебели: -рабочее место преподавателя (стол, стул); -рабочие места обучающихся (столы, стулья) на 30 человек	394006, Воронежская область, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября д. 84 (Здание – учебный корпус №2)
Ауд. 2209 Комплект учебной мебели: -рабочее место преподавателя (стол, стул); -рабочие места обучающихся (столы, стулья) на 42 человека	394006, Воронежская область, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября д. 84 (Здание – учебный корпус №2)

Перечень материально-технического обеспечения дисциплины

В наличии имеется специализированная аудитория, оборудованная интерактивными технологиями (интерактивная доска, проектор, персональный компьютер или ноутбук) представления видеоматериала при проведении лекционных и практических занятий. Компьютерный класс (ауд. 2121).

10. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

По дисциплине «Прикладная теория упругости, ползучести и пластичности» читаются лекции, проводятся практические занятия и лабораторные работы.

Основой изучения дисциплины являются лекции, на которых излагаются наиболее существенные и трудные вопросы, а также вопросы, не нашедшие отражения в учебной литературе.

Практические занятия направлены на приобретение практических навыков представления о характере упругого и неупругого деформирования элементов конструкций. Освоению методов теории упругости, ползучести и пластичности для анализа и оценки напряжённо-деформированного состояния стержневых, плоских и пространственных элементов строительных конструкций.

Изучить общие методы определения напряжений, деформаций, усилий и перемещений в элементах конструкций любой формы, а так же оценить точность полученных в сопротивлении материалов приближенных решений

Занятия проводятся путем решения конкретных задач в аудитории.

Лабораторные работы выполняются на лабораторном оборудовании в соответствии с методиками, приведенными в указаниях к выполнению работ.

Вид учебных занятий	Деятельность студента
Лекция	Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; пометать важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Проверка терминов, понятий с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь. Обозначение вопросов, терминов, материала, которые вызывают трудности, поиск ответов в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на лекции или на практическом занятии.
Практическое занятие	Конспектирование рекомендуемых источников. Работа с конспектом лекций, подготовка ответов к контрольным вопросам, просмотр рекомендуемой литературы. Прослушивание аудио- и видеозаписей по заданной теме, выполнение расчетно-графических заданий, решение задач по алгоритму.
Лабораторная работа	Лабораторные работы позволяют научиться применять теоретические знания, полученные на лекции при решении конкретных задач. Чтобы наиболее рационально и полно использовать все возможности лабораторных для подготовки к ним необходимо: следует разобрать лекцию по соответствующей теме, ознакомиться с соответствующим разделом учебника, проработать дополнительную литературу и источники, решить задачи и выполнить другие письменные задания.
Самостоятельная работа	Самостоятельная работа студентов способствует глубокому усвоения учебного материала и развитию навыков самообразования. Самостоятельная работа предполагает следующие составляющие: - работа с текстами: учебниками, справочниками, дополнительной литературой, а также проработка конспектов лекций; - выполнение домашних заданий и расчетов; - работа над темами для самостоятельного изучения; - участие в работе студенческих научных конференций, олимпиад; - подготовка к промежуточной аттестации.
Подготовка к промежуточной аттестации	Готовиться к промежуточной аттестации следует систематически, в течение всего семестра. Интенсивная подготовка должна начаться не позднее, чем за месяц-полтора до промежуточной аттестации. Данные перед зачетом три дня эффективнее всего использовать для повторения и систематизации материала.

