

**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
«Нелинейная механика»

Направление подготовки 08.04.01 Строительство

Программа «Теория и проектирование зданий и сооружений»

Квалификация выпускника магистр

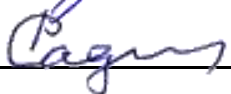
Нормативный период обучения 2 года

Форма обучения очная

Год начала подготовки 2021

Автор программы _____  /А.Н. Аверин/

Заведующий кафедрой
строительной механики _____  /В.А. Козлов/

Руководитель ОПОП _____  /Сафронов В.С./

Воронеж 2021

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1. Цели дисциплины

Получить необходимые представления, а также приобрести навыки в области анализа работы и расчета конструкций и их отдельных элементов с учётом нелинейностей, выполненных из различных материалов, на прочность, жесткость и устойчивость при различных воздействиях с использованием современного вычислительного аппарата.

1.2. Задачи освоения дисциплины

Вооружить будущего специалиста необходимыми знаниями для анализа работы и расчета строительных конструкций и их отдельных элементов в нелинейной постановке.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Нелинейная механика» относится к дисциплинам части, формируемой участниками образовательных отношений блока Б1.

3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс изучения дисциплины «Нелинейная механика» 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 методы 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
	уметь применять методы 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
	владеть практическими приемами 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	знать основные принципы проектирования конструкций зданий и сооружений, подвергаемых динамическим воздействиям
	уметь вести разработку эскизных, технических и рабочих проектов сложных объектов
	владеть навыками работы с системами автоматизированного проектирования
ПК-3	знать методики, планы и программы проведения научных исследований и разработок
	уметь готовить задания для исполнителей, организовывать проведение экспериментов и испытаний
	владеть практическими навыками по разработке программ проведения научных исследований, анализировать и обобщать результаты экспериментов и испытаний

4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины «Нелинейная механика» составляет 4 з.е.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий
очная форма обучения

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры
		3
Аудиторные занятия (всего)	36	36
В том числе:		
Лекции	18	18
Практические занятия (ПЗ)	18	18
Самостоятельная работа	81	81
Часы на контроль	27	27

Виды промежуточной аттестации - зачет с оценкой	+	+
Общая трудоемкость: академические часы зач.ед.	144 4	144 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.	СРС	Всего , час
1	Введение. Виды нелинейности в теории расчета конструкций	Общие фундаментальные понятия о природе возникновения геометрической и физической нелинейностей в задачах строительной механики. Физическая нелинейность. Нелинейно-упругий, упругопластический и жесткопластический материал. Аппроксимация экспериментальных кривых деформирования материалов. Геометрическая нелинейность, конструктивная нелинейность.	4	2	12	18
2	Основные положения нелинейной строительной механики	Тензоры напряжений, деформаций и скоростей деформаций. Инварианты тензоров напряжений и деформаций. Основные уравнения нелинейно-упругого и упругопластического тела. Простое и сложное нагружения. Активная и пассивная деформации.	4	2	14	20
3	Расчёт физически нелинейных стержневых систем. Расчет конструкций по несущей способности. Метод предельного равновесия	Основы расчета конструкций по предельному состоянию. Статический и кинематический методы решения задач предельного равновесия. Растяжение и сжатие стержней из упругопластического материала.. Кручение стержней с круглым поперечным сечением в упругопластической стадии. Предельная нагрузка при изгибе балки из упругопластического материала. Определение предельной нагрузки для статически неопределимых рамы, материал стержней рамы подчиняется диаграмме жесткопластического тела.	4	2	14	20
4	Конструктивно нелинейные задачи. Системы с точечными односторонними опорами и шарнирами. Системы с непрерывно распределенными по линии или поверхности односторонними связями. Методы определения рабочей системы	Двухсторонние и односторонние и связи. Неразрезные балки с односторонними опорами и односторонними шарнирами Системы с непрерывно распределенными по линии или поверхности односторонними связями, которые могут выключаться на любой части линии или поверхности. Балки и плиты на одностороннем упругом основании. Определения рабочей системы методом итераций и	2	4	14	20

		методом квадратичного программирования				
5	Геометрически нелинейные задачи. Большие перемещения и устойчивость конструкций	Расчёт плоских стержневых систем по деформированному состоянию методом последовательных приближений. Устойчивость стержневых систем. Общая и местная потеря устойчивости стержневой системы. Гибкие нити, гибкие стержни. Висячие и вантовые конструкции. Итерационный метод Ньютона для решения нелинейных уравнений.	2	4	14	20
6	Основы метода конечных элементов(МКЭ) для решения нелинейных задач	ПБК Лира, SCAD для решения нелинейных задач на ПЭМ. Создание конечно-элементных моделей конструкций. Управление нелинейным расчетом с использованием шагово - итерационных решателей. Учёт геометрической, физической и генетической нелинейности при расчёте стержневых систем методом конечных элементов. Расчет геометрически нелинейных большепролетных конструкций - вантовых и висячих систем.	2	4	13	19
Итого			18	18	81	117

5.2 Перечень лабораторных работ

Не предусмотрено учебным планом

6. ПРИМЕРНАЯ ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ (РАБОТ) И КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

В соответствии с учебным планом освоение дисциплины не предусматривает выполнение курсового проекта (работы) или контрольной работы.

6.1 Индивидуальные задания и их характеристики.

Индивидуальные задания представляют собой расчетно-графические работы (РГР) выполняемые в среде системы компьютерной математики **Mathcad**. Студенты самостоятельно решают и оформляют индивидуально выданные задачи по основным темам с последующей устной и письменной защитой.

6.2 Темы индивидуальных заданий.

1. РГР № 1 "Определение предельной нагрузки для дважды статически неопределимой стержневой системы. Материал стержней системы подчиняется диаграмме Прандтля".
2. РГР № 2 "Определение предельной нагрузки П-образной рамы. Материал стержней системы подчиняется диаграмме жесткопластического тела".
3. РГР № 3 "Определение рабочей системы для трехпролетной неразрезной

балки с консолью на односторонних опорах методом итераций и методом квадратичного программирования".

4. РГР № 4 "Расчет предварительно напряженной вантовой фермы методом конечных элементов".

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 методы 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	знать основные методы и практические приемы расчета реальных конструкций и их элементов в нелинейной постановке из различных материалов по предельным расчетным состояниям на различные воздействия.	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	уметь применять методы 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	уметь грамотно составить расчетную схему сооружения в нелинейной постановке, выбрать наиболее рациональный метод расчета при различных воздействиях, найти распределение усилий и напряжений, обеспечить необходимую прочность и жесткость его элементов с учетом реальных свойств конструкционных материалов, используя системы компьютерной математики (Mathcad, Maple) и проектные вычислительные комплексы (Lira, SCAD).	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	владеть практическими приемами проектирования и мониторинга зданий и сооружений, их конструктивных элементов, включая методы	владеть общими фундаментальными понятиями о различных видах нелинейностей конструкций и	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах

	расчётного обоснования, в том числе с использованием универсальных и специализированных программно-вычислительных комплексов и систем автоматизированного проектирования	сооружений, способами и приемами решения подобных задач, навыками расчёта конструкций с учётом нелинейностей; определения внутренних усилий, напряжений и перемещений в элементах статически определимых и неопределимых систем современными методами при различных воздействиях, применять, анализировать и проверять результаты расчетов.		
ПК-2	знать основные принципы проектирования конструкций зданий и сооружений, подвергаемых динамическим воздействиям	знать основные принципы проектирования конструкций зданий и сооружений, подвергаемых динамическим воздействиям	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	уметь вести разработку эскизных, технических и рабочих проектов сложных объектов	уметь вести разработку эскизных, технических и рабочих проектов сложных объектов	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	владеть навыками работы с системами автоматизированного проектирования	владеть навыками работы с системами автоматизированного проектирования	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
ПК-3	знать методики, планы и программы проведения научных исследований и разработок	знать методики, планы и программы проведения научных исследований и разработок	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	уметь готовить задания для исполнителей, организовывать проведение экспериментов и испытаний	уметь готовить задания для исполнителей, организовывать проведение экспериментов и испытаний	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	владеть практическими навыками по разработке программ проведения научных исследований, анализировать и обобщать результаты экспериментов и испытаний	владеть практическими навыками по разработке программ проведения научных исследований, анализировать и обобщать результаты экспериментов и испытаний	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 3 семестре для очной формы обучения по четырехбалльной системе:

«отлично»;

«хорошо»;
«удовлетворительно»;
«неудовлетворительно».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Отлично	Хорошо	Удовл.	Неудовл.
ПК-1	знать методы 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	Тест	Выполнение теста на 90- 100%	Выполнение теста на 80- 90%	Выполнение теста на 70- 80%	В тесте менее 70% правильных ответов
	уметь применять методы 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	Решение стандартных практических задач	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	владеть практическими приемами 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	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
ПК-2	знать основные принципы проектирования конструкций зданий и сооружений, подвергаемых динамическим воздействиям	Тест	Выполнение теста на 90- 100%	Выполнение теста на 80- 90%	Выполнение теста на 70- 80%	В тесте менее 70% правильных ответов
	уметь вести разработку эскизных, технических и рабочих проектов сложных объектов	Решение стандартных практических задач	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены

	владеть навыками работы с системами автоматизированного проектирования	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	задачах Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
ПК-3	знать методики, планы и программы проведения научных исследований и разработок	Тест	Выполнение теста на 90- 100%	Выполнение теста на 80- 90%	Выполнение теста на 70- 80%	В тесте менее 70% правильных ответов
	уметь готовить задания для исполнителей, организовывать проведение экспериментов и испытаний	Решение стандартных практических задач	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	владеть практическими навыками по разработке программ проведения научных исследований, анализировать и обобщать результаты экспериментов и испытаний	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	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)

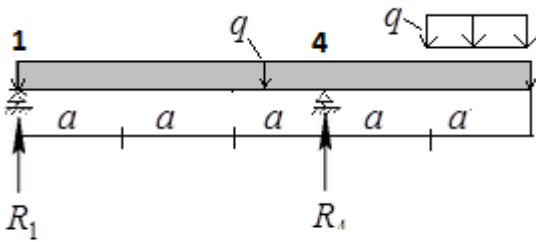
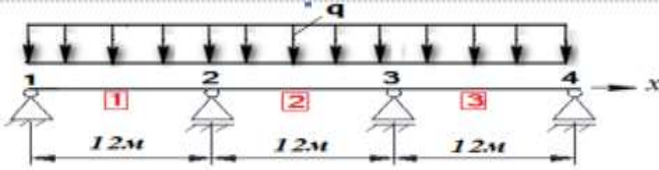
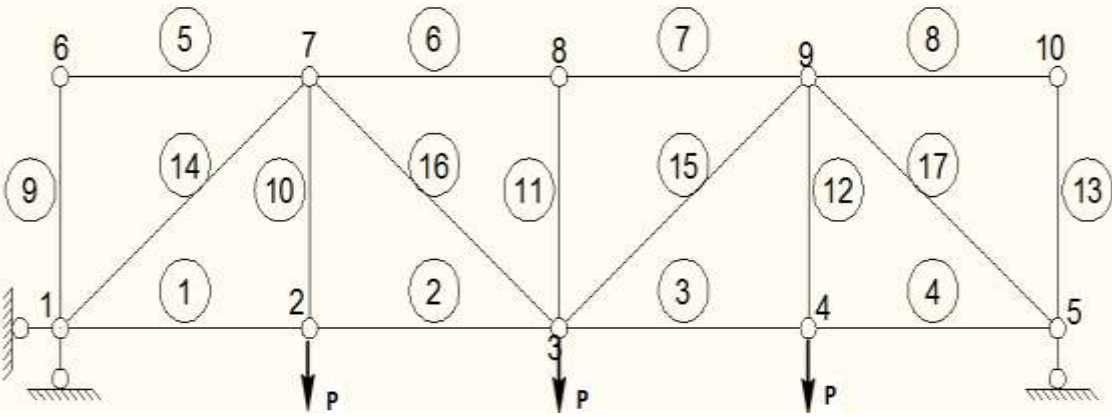
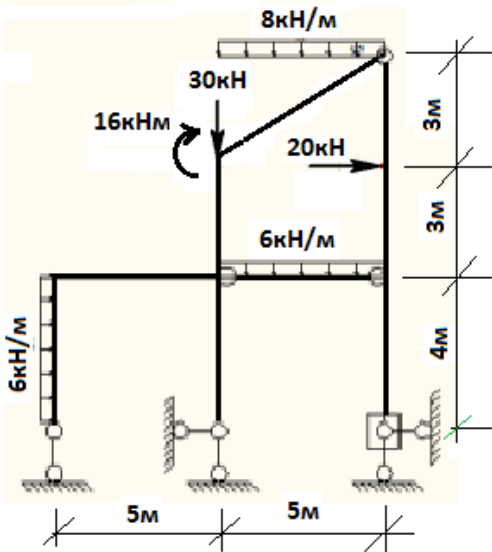
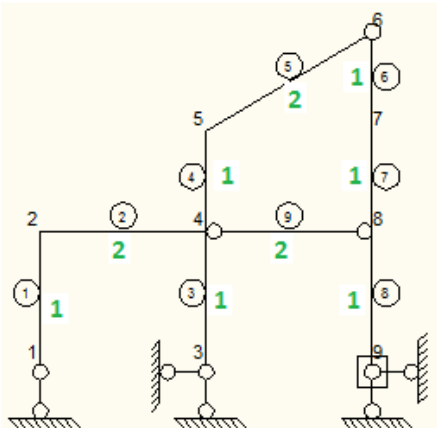
7.2.1 Примерный перечень заданий для подготовки к тестированию

1	Что называется пределом пропорциональности материала? - <i>Максимальное напряжение, до которого материал подчиняется закону Гука.</i>
2	Что называется пределом текучести материала? - <i>Напряжение, при котором материал деформируется без увеличения нагрузки.</i>
3	Какие системы называются геометрически неизменяемыми ? - <i>Системы, перемещения отдельных точек которых возможны только в результате деформации систем.</i>
4	Какие связи называются двухсторонними? - <i>Если условия, налагаемые связями на перемещения (Δ_i) и усилия (X_i) в системе, выражаются уравнениями, то такие связи называются двухсторонними.</i>
5	Какие связи называются односторонними? - <i>Если условия, налагаемые связями на перемещения (Δ_i) и усилия (X_i) в системе, выражаются неравенствами или совокупностью уравнений с неравенствами., то такие связи называются односторонними.</i>
6	Что такое пластический шарнир ? - <i>Состояние сечения, когда во всех его точках развиваются пластические деформации, называют пластическим шарниром. Появление пластического шарнира означает исчерпание несущей способности сечения стержня.</i>

7	Как определяется предельный изгибающий момент в сечении балки из упругопластического материала ? $M_{\text{пред}} = \sigma_T \cdot W_{\text{пл}}, \quad W_{\text{пл}} = S_{\text{сж}} + S_{\text{р}},$ где σ_T -предел текучести; $S_{\text{сж}}$, $S_{\text{р}}$ -статические моменты растянутой и сжатой частей сечения относительно нулевой линии.
8	Что такое линия влияния усилия? Что показывает ордината линии влияния ? - График изменения усилия в зависимости от положения единичного безразмерного груза ($P=1$). - Величину усилия при расположении единичного груза над данной ординатой.
9	Что такое смешанная линия влияния усилия ? Что показывает ордината смешанной линии влияния? - Смешанными линиями влияния называются кривые, выражающие закон изменения той или иной величины, возникающей в сооружении, в функции от абсциссы движущегося груза P при условии совместного действия этого груза с заданной неподвижной нагрузкой. -Величину усилия в сечении при действии постоянной нагрузки и временной, расположенной над этой ординатой.
10	Запишите точное и приближенное дифференциальное уравнение оси изогнутой балки. $\text{-Точное} \quad \frac{\frac{d^2}{dx^2} V(x)}{\left[1 + \left(\frac{d}{dx} V(x) \right)^2 \right]^{\frac{3}{2}}} = -M(x)$ -Приближенное $\frac{d^2}{dx^2} V(x) = -M(x)$

7.2.2 Примерный перечень заданий для решения стандартных задач

1	Записать систему уравнений в матричной форме $\begin{cases} x_1 + x_2 + x_3 = 2 \\ 2x_1 - x_2 - 6x_3 = -1 \\ 3x_1 - 2x_2 = 8 \end{cases}$ $A = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 2 & -1 & -6 \\ 3 & -2 & 0 \end{pmatrix}, \quad p = \begin{pmatrix} 2 \\ -1 \\ 8 \end{pmatrix}, \quad Ax=p.$
2	Вычислить определитель матрицы A
3	Вычислить ранг матрицы A
4	Вычислить матрицу, обратную к матрице A методом Гаусса-Жордана
5	Решить систему уравнений $Ax=b$ методом обратной матрицы, сделать проверку.
6	Решить систему уравнений $Ax=b$ методом Гаусса, сделать проверку.

7	Для балки  $a=2\text{м}; q=2\text{кН/м.}$ $R_1 = \frac{4}{3}$ $R_4 = \frac{68}{3}$ построить эпюру изгибающих моментов на основе программы Mathcad.
8	Выполнить расчет неразрезной балки  с помощью уравнений 3-х моментов и проверить результаты расчетов в ПК Лира ($q=10\text{кН/м}; EJ=6920\text{кНм}^2$).
9	Определить усилия в стержнях фермы и проверить результаты расчетов в ПК Лира 
10	Построить эпюры изгибающих моментов, поперечных и продольных сил в ПК   Лира Модуль упругости $E=3,0\text{Е}7 \text{ кН/м}^2$ Тип 1 $J=1.6\text{Е}(-03) \text{ м}^4$; $A=1.2\text{Е}(-01) \text{ м}^2$ Тип 2 $J=5.4\text{Е}(-03) \text{ м}^4$; $A=1.8\text{Е}(-01) \text{ м}^2$

7.2.3 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач

1. Определить предельные нагрузки для стержневой системы (рис.1.1), работающей в упругопластической стадии. Материал системы подчиняется диаграмме Прандтля (рис.1.2). Модуль упругости и площадь поперечного сечения: $E = 2 \cdot 10^8 \text{ кН/м}^2$; $r = 0.02 \text{ м}$; $F = \pi \cdot r^2$.

Предел текучести и предельное усилие: $\sigma_T = 240 \cdot 10^3 \text{ кН/м}^2$; $N_T = \sigma_T \cdot F = 301.593 \text{ кН}$.

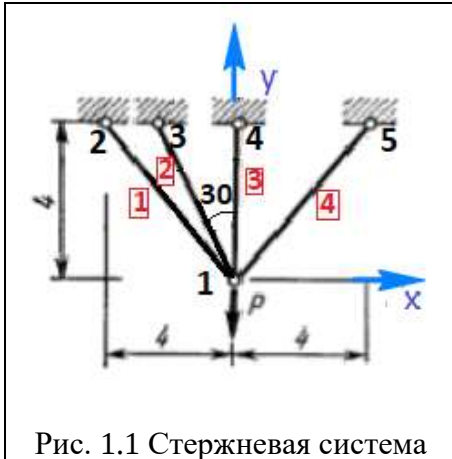


Рис. 1.1 Стержневая система

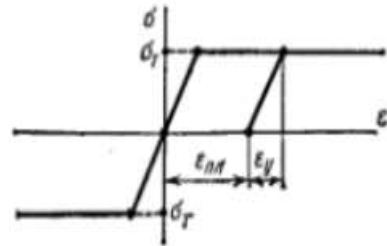


Рис. 1.2 Диаграмма Прандтля.
Разгрузка по прямой параллельной начальному участку соответствующему закону Гука

2. Определить предельные нагрузки для стержневой системы, работающей в упругопластической стадии (рис.2.1, рис.2.2). Материал системы подчиняется диаграмме жесткопластического тела.

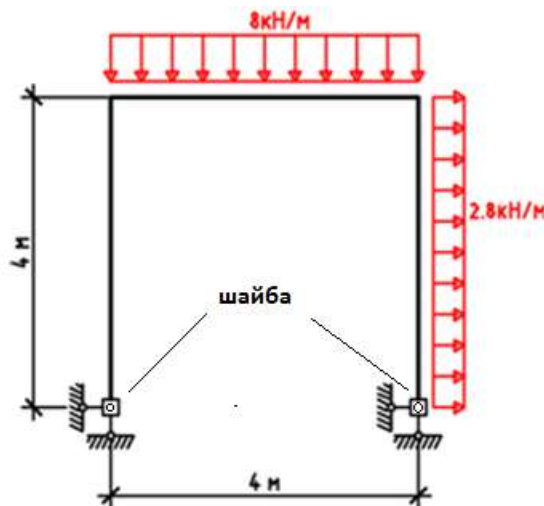


Рис.2.1 Расчетная схема

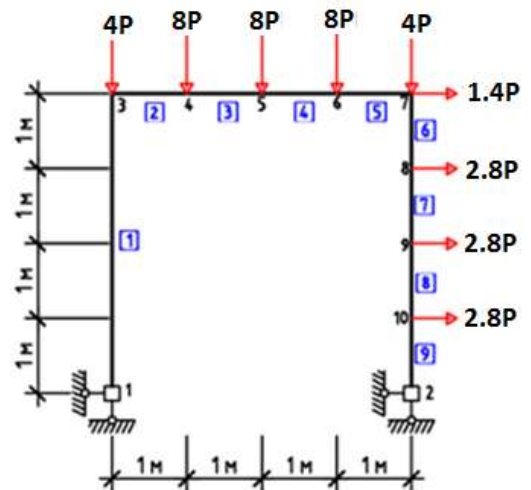
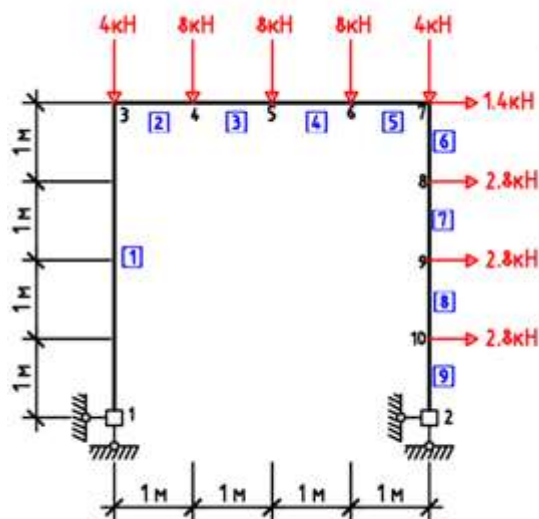


Рис.2.2 Переход от распределенной нагрузки к узловой (P – параметр групповой силы)



Расчетная схема

Исходные данные

Двутар №10

Площадь [м²];

Моменты инерции [м⁴];

Пластический момент сопротивления [м³]

$$F_0 := 1.2 \cdot 10^{-3} \quad J_z := 1.98 \cdot 10^{-6} \quad J_y := 1.79 \cdot 10^{-7}$$

$$W_z := 4.6 \cdot 10^{-5}$$

Предел текучести [кН/м²] $\sigma_T := 240 \cdot 10^3$

Модуль упругости [кН/м²] $E := 2 \cdot 10^8$

Предельный изгибающий момент [кНм]

$$M_{T0} := \sigma_T \cdot W_z = 11.04$$

3. Расчет пространственной гибкой нити на действие сложной системы сил.

Исходные данные:

Площадь поперечного сечения, модуль упругости, начальная длина

$$A := 10 \quad E := 50 \quad L := 2$$

Координаты начала и конца нити

$$x_0 := 0 \quad y_0 := 0 \quad z_0 := 0 \quad x_n := 1 \quad y_n := 0 \quad z_n := 0$$

Параметры дискретизации нити

$$n := 40 \quad n_1 := n - 1 \quad L_d := \frac{L}{n} \quad L_d = 0.05$$

Нагрузка во внутренних узлах нити

$$i := 1..n - 1 \quad P_{x_i} := 1 \quad P_{y_i} := 1 \quad P_{z_i} := 1$$

В центре сосредоточенная сила по трем направлениям

$$P_{x_{20}} := -1 \quad P_{y_{20}} := -10 \quad P_{z_{20}} := -15$$

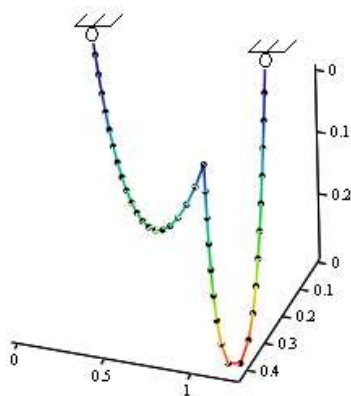


Рис.3.1 Форма равновесия гибкой нити

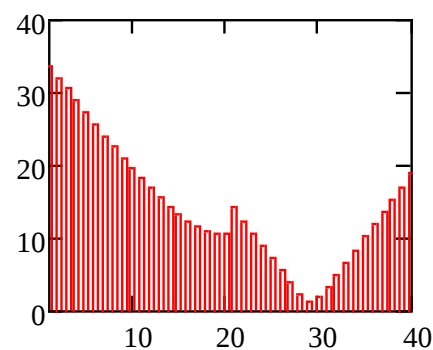


Рис. 3.2 Эпюра продольных сил

4. Расчет вантовой фермы.

На рис.4.1 изображена предварительно напряженная вантовая ферма. Модуль упругости вант $E=200\text{ГПа}$. Площадь поперечное сечение верхнего пояса $F_1=6\text{см}^2$, нижнего $F_2=4\text{см}^2$. Нагрузка в узле нижнего пояса $P=10;20;30;40;50\text{кН}$. Число нитей фермы $n_n=16$. Число звеньев, на которое разбивается каждая нить $n_z=20$. Начальные длины нитей верхнего и нижнего поясов принимались равными длине параболы, проходящей через три точки (пролет 40 м стрелка 3м). **Расчетная длина** отдельной нити задавалась меньше расстояния между узлами ее начала и конца. Приращение длины нити определялось так, чтобы предварительное натяжение в нити составляло 100кН. Жесткость на растяжение растяжек $EF_p=12\cdot 10^3\text{кН}$.

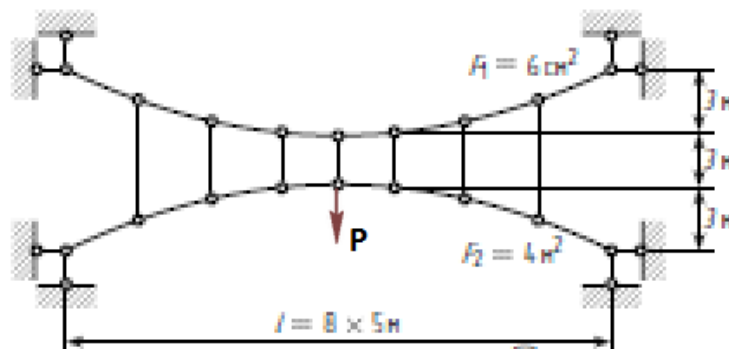


Рис.4.1

5.1 На рис. 5а представлена неразрезная балка с пятью двухсторонними опорами, а на рис.5 б с пятью односторонними опорами (упорами). В системе Mathcad необходимо выполнить сравнительный расчет напряженно-деформированного состояния (НДС) двух балочных систем. Расчет системы с односторонними связями выполнить методом итераций на основе метода сил.

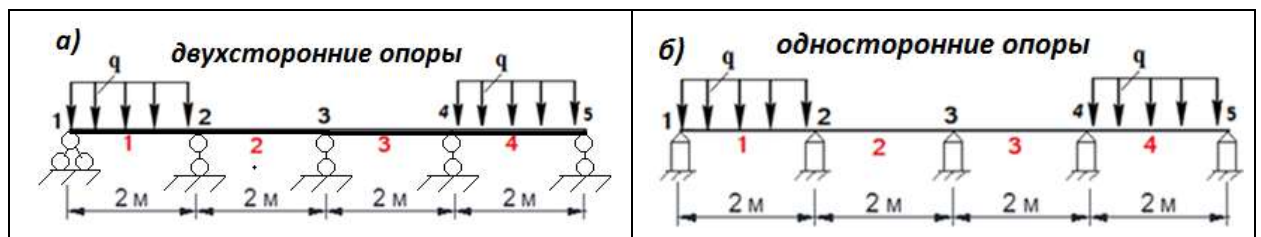


Рис.5

7.2.4 Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету

1. Основные принципы линейной строительной механики.
2. Виды нелинейности в задачах расчёта конструкций.
3. Примеры физически, геометрически и конструктивно нелинейных задач.
4. Физически нелинейные задачи. Основные расчётные модели материалов.
Диаграммы деформирования материала
5. Определение предельной нагрузки для статически неопределимой стержневой системы, стержни которой работают на растяжение-сжатие, материал стержней подчиняется диаграмме Прандтля (РГР№1).
6. Определение предельной нагрузки П-образной рамы. Материал стержней

системы подчиняется диаграмме жесткопластического тела (РГР №2).

7. Какие связи называются двухсторонними?
8. Какие связи называются односторонними?
9. Запишите условия работающей и выключающейся из работы односторонней связи.
10. Приведите примеры систем с абсолютно жесткими односторонними связями – упорами. Покажите все возможные рабочие системы.
11. Приведите примеры систем с абсолютно жесткими односторонними связями – односторонними шарнирами. Покажите возможные рабочие системы.
12. Как определить суммарное число всевозможных рабочих систем в системе с m односторонними связями.
13. Приведите пример систем с односторонними связями, установленными с зазорами. Покажите все возможные рабочие системы.
14. Приведите пример системы с зазорами с односторонними связями в виде гибких нитей. Покажите все возможные рабочие системы.
15. Приведите примеры систем с упругими односторонними связями. Запишите условия работающей и выключающейся из работы упругой односторонней связи.
16. Привести пример системы с непрерывно распределенными по линии односторонними связями, которые могут выключаться на любой части линии.
17. Привести пример системы с непрерывно распределенными по поверхности односторонними связями, которые могут выключаться на любой части поверхности.
18. Запишите выражение для потенциальной энергии упругой деформации при плоском изгибе.
19. Запишите выражение для потенциальной энергии упругой деформации при плоском изгибе через коэффициенты канонических уравнений метода сил (функция Кастильяно).
20. Скалярная форма записи квадратичной формы (функции Кастильяно).
21. Матричная форма записи квадратичной формы (функции Кастильяно).
22. Запишите условие стационарности функции потенциальной энергии $U(X_1, X_2)$ (функции Кастильяно).
23. Теорема Кастильяно.
24. Запишите условия минимума функции потенциальной энергии $U(X_1, X_2)$.
25. Сформулируйте задачу квадратичного программирования, эквивалентную задаче расчета систем с односторонними связями (в форме метода сил).
26. Минимум функции двух переменных с ограничениями. Решение задачи

квадратичного программирования в системе Mathcad (решающий блок Given-Minimize)

27. Что такое линия влияния усилия? Что показывает ордината линии влияния?
28. Как по линии влияния усилия определить наиболее опасное положение подвижной нагрузки?
29. Что такое смешанная линия влияния усилия?
30. Что показывает ордината смешанной линии влияния?
31. В каких случаях можно применять принцип суперпозиции к смешанным линиям влияния при действии грузов P и Q ?
32. Какую задачу необходимо решить, чтобы вычислить ординату смешанной линии влияния?
33. Расчет неразрезной балки с абсолютно жесткими односторонними связями методом итераций (РГР №3).
34. Сильный изгиб консольного стержня прямоугольного сечения под действием сосредоточенной силы.
35. Сильный изгиб консоли под действием момента.
36. Сильный изгиб консоли под действием сосредоточенной силы и момента (силовые факторы прикладываются в различной последовательности).
37. Расчет вантовой фермы методом конечного элемента (РГР №4 - Mathcad).

7.2.6. Методика выставления оценки при проведении промежуточной аттестации

(Например: Экзамен проводится по тест-билетам, каждый из которых содержит 10 вопросов и задачу. Каждый правильный ответ на вопрос в тесте оценивается 1 баллом, задача оценивается в 10 баллов (5 баллов верное решение и 5 баллов за верный ответ). Максимальное количество набранных баллов – 20.

1. Оценка «Неудовлетворительно» ставится в случае, если студент набрал менее 6 баллов.

2. Оценка «Удовлетворительно» ставится в случае, если студент набрал от 6 до 10 баллов

3. Оценка «Хорошо» ставится в случае, если студент набрал от 11 до 15 баллов.

4. Оценка «Отлично» ставится, если студент набрал от 16 до 20 баллов.)

7.2.7 Паспорт оценочных материалов

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции	Наименование оценочного средства
1	Введение. Виды нелинейности в теории расчета конструкций	ПК-1, ПК-2, ПК-3	Тестирование, решение стандартных и прикладных задач, зачет с оценкой.

2	Основные положения нелинейной строительной механики	ПК-1, ПК-2, ПК-3	Тестирование, решение стандартных и прикладных задач, зачет с оценкой.
3	Расчёт физически нелинейных стержневых систем. Расчет конструкций по несущей способности. Метод предельного равновесия	ПК-1, ПК-2, ПК-3	Тестирование, решение стандартных и прикладных задач, зачет с оценкой.
4	Конструктивно нелинейные задачи. Системы с точечными односторонними опорами и шарнирами. Системы с непрерывно распределенными по линии или поверхности односторонними связями. Методы определения рабочей системы	ПК-1, ПК-2, ПК-3	Тестирование, решение стандартных и прикладных задач, зачет с оценкой.
5	Геометрически нелинейные задачи. Большие перемещения и устойчивость конструкций	ПК-1, ПК-2, ПК-3	Тестирование, решение стандартных и прикладных задач, зачет с оценкой.
6	Основы метода конечных элементов(МКЭ) для решения нелинейных задач	ПК-1, ПК-2, ПК-3	Тестирование, решение стандартных и прикладных задач, зачет с оценкой.

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. Александров А.В., Потапов В.Д., Сопротивление материалов. Основы

теории упругости и пластичности: Учеб. для вузов. – М.: Высш. шк. 2002 г. – 400 с. - Режим доступа: <https://search.rsl.ru/ru/record/01000963918>

2. Петров В.В. Нелинейная строительная механика: Учебник.-М.:Издательство ABC,2019.-432 с. ISBN 978-5-4323-0305-9
3. Шапиро, Д.М. Нелинейная механика грунтов [Текст] : учебное пособие / ФГБОУ ВО "Воронеж. гос. техн. ун-т". - 2-е изд., перераб. и доп. - Воронеж : [б. и.], 2019. - 117 с. : ил. - Библиогр.: с. 112-113 (30 назв.). - ISBN 978-5-7731-0809-2.
URL: <http://www.iprbookshop.ru/100455.html>

8.1.2 Дополнительная литература:

1. Дарков А. В., Шапошников Н. Н. Д 20 Строительная механика: Учебник. 9-е изд., испр.—СПб.: Издательство «Лань», 2010. — 656 с.: ил. — (Учебники для вузов. Специальная литература). ISBN 978-5-8114-0576-3.
2. Новожилов, В. В. Теория упругости / Новожилов В. В. - Санкт-Петербург : Политехника, 2012. - 409 с. - ISBN 978-5-7325-0956-4.
URL: <http://www.iprbookshop.ru/15914>

8.1.3 Периодические издания:

1. «Строительная механика и конструкции» (научный журнал, ВГТУ).

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

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

По дисциплине «Нелинейная механика» читаются лекции, проводятся практические занятия.

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 расчета конструкций и их отдельных элементов с учётом нелинейностей, выполненных из различных материалов, на прочность, жесткость и устойчивость при различных воздействиях с использованием современного вычислительного аппарата.

Занятия проводятся путем решения конкретных задач в аудитории.

Вид учебных занятий	Деятельность студента
Лекция	Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; помечать 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.
Самостоятельная работа	Самостоятельная работа студентов способствует глубокому усвоению 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 с оценкой три дня эффективнее всего использовать для повторения и систематизации материала.
--	--